



LUND UNIVERSITY

Naturgas Säkerhetsnivå Riskanalys

Andersson, Berit; Andersson, P; Holmstedt, Göran; Särdaqvist, Stefan

1994

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Andersson, B., Andersson, P., Holmstedt, G., & Särdaqvist, S. (1994). *Naturgas Säkerhetsnivå Riskanalys*. (LUTVDG/TVBB--3073--SE; Vol. 3073). Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.

Total number of authors:

4

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

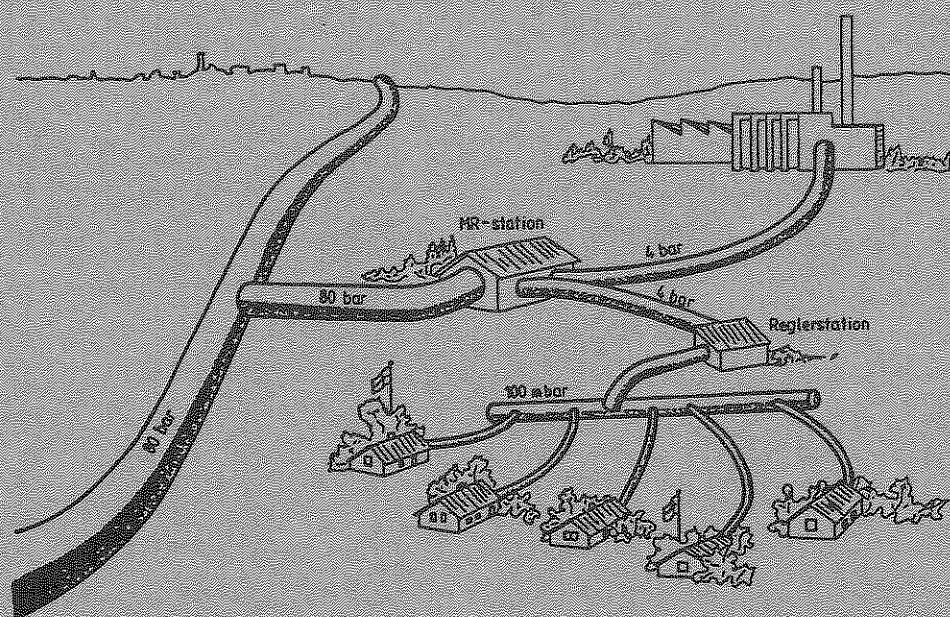
Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Lund University • Sweden
Institute of Technology
Department of Fire Safety Engineering
ISSN 1102-8246
ISRN LUTVDG/TVBB--3073--SE



B. Andersson, P. Andersson, G. Holmstedt och
S. Särdaqvist

Naturgas Säkerhetsnivå Riskanalys

Lund, juni 1994

Innehållsförteckning

	Sammanfattning	1
1	Inledning	2
1.1	Allmänt om risker i samhället	2
1.2	Acceptabla risknivåer	3
1.3	Lagstiftning - tillsyn - kontroll - utbildning. Hur de påverkar riskerna	4
1.4	Behovet att bedöma risker, metoder som används	4
1.5	Risken för större olyckor med naturgas	6
1.6	Hur man bedömer risker för olyckor som inte inträffat	6
2	Lagstiftning - tillsyn - kontroll - utbildning	7
2.1	Lagstiftning	7
2.2	Tillsyn - kontroll	9
2.3	Utbildning	13
3	Risker - retrospektivt	17
3.1	Risker och stora olyckor	17
3.2	Sannolikheter och felfunktion hos komponenter	20
4	Konsekvensmodeller	28
4.1	Utsläppsmodeller	30
4.2	Närfältet	32
4.3	Fjärrfältet	33
4.4	Toxicitet	34
4.5	Jetflamma	34
4.6	Flamförbränning	36
4.7	Gasmolnsexplosion	37
4.8	Utsläpp inomhus	38
5	Diskussion - slutsatser	40
	Referenser	42

Bilaga 1 Naturgasens sammansättning och förbränningsegenskaper

1.1 Naturgasens sammansättning

1.2 Naturgasens förbränningsegenskaper

Referenser

Bilaga 2 Olyckstabell

Bilaga 3 Behörig installationsledare

Bilaga 4 Några konsekvensberäkningar

Sammanfattning

Efter en inledande diskussion om risker i samhället görs en genomgång av lagstiftning, kontroll och utbildning vad gäller distribution samt industriell användning av naturgas i Sverige och utomlands. Vidare redovisas en retrospektiv undersökning av statistiska data över olyckor och incidenter med naturgas, jämförelser görs med övriga risker. Rapporten behandlar även beräkning av konsekvenser av utsläpp av naturgas.

- * Naturgas har en potential att orsaka svåra olyckor framförallt om den på något vis ansamlas och antänds vid ett eventuellt utsläpp. Dock får sannolikheten för detta bedömas som ringa. Internationellt ligger sannolikheten för att omkomma i en naturgasolycka på ca 10^{-7} per år i länder med stor naturgasanvändning.
- * Vid introduktionen av naturgas i Sverige har erfarenheter från länder med en långvarig och omfattande användning av naturgas tagits väl tillvara. Detta har som resultat givit att man har kunnat undvika en mängd fel och olyckor som normalt uppstår då en ny teknik införs. Det gäller nu att även i fortsättningen ha en bra kontroll och organisation så att denna goda start följs av en lika säker framtida naturgasanvändning i Sverige.
- * I Sverige bedrivs utbildning inom naturgasområdet av flera olika organisationer och utbildningsföretag. Detta är en helt annorlunda uppbyggnad av utbildningssystemet än i t ex Holland och Danmark, där all utbildning vad gäller användning och distribution av naturgas organiseras av ett enda organ.
- * För att korrekt kunna bedöma de risker som naturgasanvändningen medför behövs det någon standard för vad som kan tolereras av samhället. Holland och England har en sådan standard medan den i Sverige saknas helt.
- * Det bästa sättet att jämföra olika risker är att göra en "Quantified Risk Analysis", QRA.
- * Stora osäkerheter på statistiksidan föreligger främst avseende felfunktioner. Utomlands finns det bristfälliga uppgifter på hur ofta komponenter felfungerar men i Sverige saknas detta helt. Det är ofta inte lämpligt att använda de utländska uppgifterna direkt då felfrekvensen påverkas av skötsel och underhåll. Det vore därför av största vikt att skapa ett fungerande system för central rapportering av incidenter och olyckor, även för incidenter inuti anläggningar. Dock kräver detta en attitydförändring hos anläggningsinnehavarna.
- * Det är av största vikt att välja rätt beräkningsmodell vid beräkning av konsekvenserna när man utför en QRA.
- * Information saknas om strålnings- och tryckpåverkan på vitala komponenter.
- * Erfarenheten från all slags olyckor har vidare visat att olyckor sker i regel i gränsen mellan olika ansvarsområden. Detta bör man vara speciellt uppmärksam vid skapande av regler och driftsinstruktioner både allmänt och på specifika anläggningar.

1 Inledning

Denna rapport har tillkommit på uppdrag av NUTEK och avser att belysa riskerna med distribution och industriell användning av naturgas. Tidigare har en rapport avseende naturgasinstallationer i hemmen utgetts [1,2]. Rapporten inleds med en allmän diskussion om risker. Vidare tas frågan om lagstiftning, tillsyn, kontroll och utbildning för naturgasanvändning i olika länder upp. Dessutom har en retrospektiv sökning efter statistik om naturgasolyckor samt incidenter gjorts. En kort genomgång av hur man beräknar konsekvenser av naturgasutsläpp görs också.

1.1 Allmänt om risker i samhället

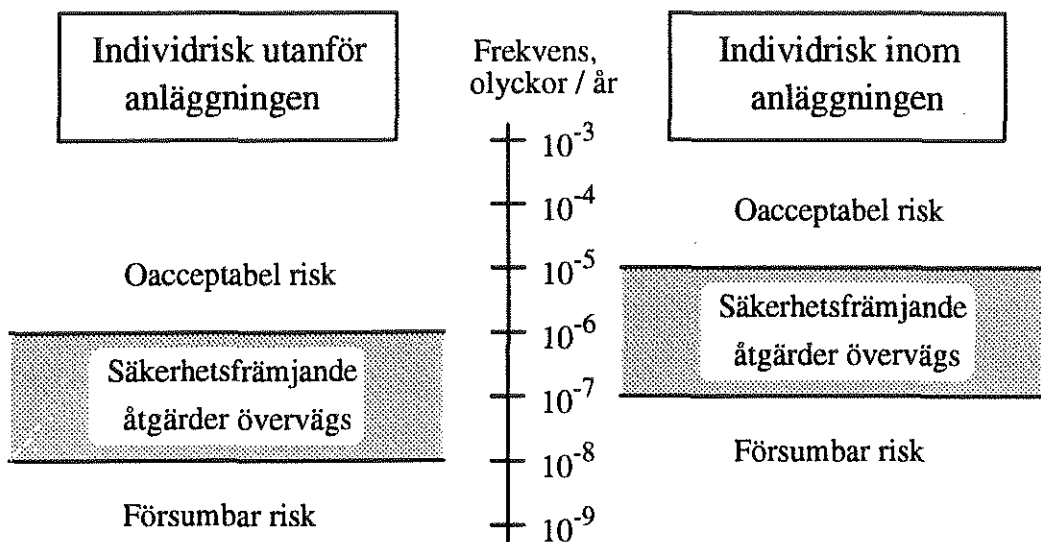
Vårt samhälle blir allt mer komplicerat och nya risker införs. Samtidigt ökas människors medvetande om risker och gemene man accepterar allt mindre så kallade ofrivilliga risker. OFrivilliga risker är sådana som individen själv inte har kontroll över, frivilliga risker är sådana som t.ex. bergsklättring. Dock finns det ännu inte några riktigt klara regler om vilka risknivåer ett samhälle kan acceptera. Samhället anser t ex idag att de risknivåer som fanns vid sekelskiftet var helt oacceptabla. Samhället är dessutom mindre tolerant mot stora olyckor, dvs mot att 100 människor dör vart hundra år än mot att en människa dör varje år. Vidare är det väldigt svårt att bedöma konsekvenser för miljön, vad vi kan acceptera och hur det blir om 100 år. Definitionen av risk är också ofta föremål för diskussion. I vissa sammanhang inkluderas riskperceptionen vid beräkning av risken. Dock anser vi i denna rapport att en risk består dels av sannolikhet för att en händelse ska inträffa dels av konsekvenserna av denna händelse. Risken är sedan produkten av sannolikhet och konsekvens.

I [3] görs en jämförelse mellan risker med transport via främst järnväg och bil. Man kom fram till att transport på järnväg inte nödvändigtvis är säkrare än transport med bil främst beroende på att järnvägen ofta går genom centrum av städer. Vad gäller transport till sjöss så sker detta i väldigt stora kvantiteter och konsekvenserna vid en eventuell olycka blir katastrofala. Ofta är hamnen ganska nära centrum av städer också. Transport med flyg medför ingen ytterligare risk förutom flygningen som sådan. Vad det gäller transport via markförlagda ledningar så är risken för individen mer ojämnt fördelad eftersom ledningen ligger fast. Vidare studerades huruvida riskerna minskas om man har kortare och färre transporter och i stället har fler anläggningar, dock blir det ofta inte så. Gemensamt för alla transportsätten är att risken för olyckor är störst i gränsen mellan olika ansvarshavare.

Jämför man olika risker i samhället finner man att de dominerande är faktiskt frivilliga risker såsom rökning, bergsklättring etc. Att dödas vid en naturgasolycka är ungefär lika sannolikt som att dödas av blixten. Ändå är människor i regel mer oroad över naturgas än av blixten, dock blir ju risken att omkomma av en naturgasolycka för en människa som vistas nära naturgas ofta större än risken att omkomma på grund av ett blixtnedslag.

1.2 Acceptabla risknivåer

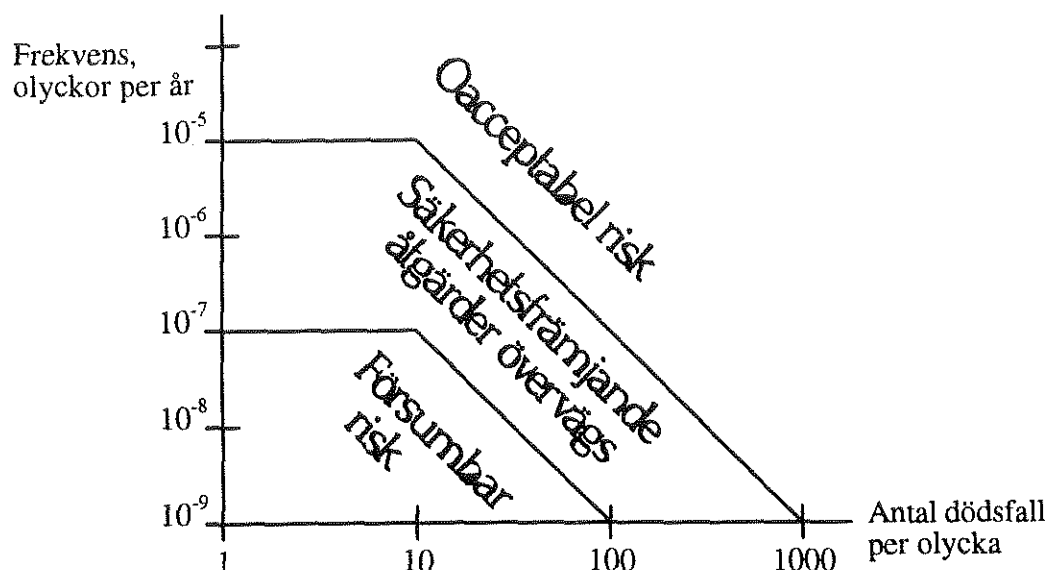
I en rapport av the Advisory Committee on Dangerous Substances [3] ger man två olika nivåer på risker, en helt oacceptabel och en helt försumbar nivå, däremellan finns en gråzon vari man bör optimera risk och kostnad för eliminering av risken. En likartad filosofi tillämpas i Holland där den oacceptabla nivån t o m finns angiven i lagen [4]. Man skiljer i de holländska bestämmelserna, som beskrivs nedan, mellan tre olika dödsriskbegrepp, individrisk utanför anläggningen, individrisk inom anläggningen och grupprisk som omfattar både risk inom och utanför anläggningen.



Figur 1 Individrisk [4]

Den oacceptabla risken har valts till 10^{-6} /år respektive 10^{-5} /år vilket härrör från att anläggningen högst skall öka den genomsnittliga dödsrisken för en medelålders person med mindre än 1% utanför anläggningen och dödsrisken p g av olycksfall med mindre än 10% inom anläggningen. Sannolikheten att omkomma vid olika olyckstyper finns redovisade längre fram i rapporten. Sannolikheten att omkomma inom olika industrigränar varierar ganska mycket, men kan vara upp till ca 10^{-4} /år. Inom området 10^{-6} - 10^{-8} /år resp 10^{-5} - 10^{-7} /år skall säkerhetsfrämjande åtgärder övervägas. Kostnaderna för dessa åtgärder skall ställas i relation till effektivitet och grupprisk m.m. Under 10^{-8} resp 10^{-7} betraktas riskerna som försumbara.

I grupprisken ingår antalet omkomna både inom och utanför anläggningen vid en och samma olycka. Gränsen för oacceptabel risk är för 10 och 100 dödsfall 10^{-5} /år resp 10^{-7} /år. Grupprisken anses försumbar då risken understiger 1% av den acceptabla nivån. Kraven är med andra ord högre för större olyckor.



Figur 2 Grupprisk [4]

1.3 Lagstiftning - tillsyn - kontroll - utbildning. Hur de påverkar riskerna

Det är möjligt att minska risker genom att minska sannolikheten för att en händelse ska inträffa genom lagstiftning - tillsyn - kontroll och utbildning. I viss mån kan även konsekvenser minskas genom regler för placering av riskobjekt samt skyddsavstånd. Dock ligger de stora vinsterna i minskning av sannolikheten. Vidare så är det väldigt besvärligt att skapa heltäckande regler för placering av objekt, det bör i regel bestämmas från fall till fall. Samhällets insatser via lagstiftning etc för att reducera risker, mätt som kostnaden per räddat människoliv, varierar mycket. Ett begränsat underlag finns från USA [5]. En svensk undersökning [6] redovisas i tabell 1. Kostnadseffektiviteten av åtgärder för att reducera riskerna vid naturgasanläggningar finns för närvarande inte tillgängliga.

1.4 Behovet att bedöma risker, metoder som används

Vid diskussion av risker och metoder för att bedöma dessa är det lämpligt att särskilja fyra olika nivåer av "riskmanagement". Den enklaste formen är riskidentifiering, därefter riskanalys, riskbedömning (assessment) samt slutligen riskhantering (management). Dessa bygger på varandra och för att kunna bestämma sig för en riskhanteringsplan måste man ha gjort en riskidentifiering, en riskanalys samt en bedömning av risken, med bedömning menar vi då "hur allvarlig är denna risk för mig" häri kan även ingå riskperceptionen. Vi talar i denna rapport om riskidentifiering samt riskanalys. För riskidentifiering finns det ett antal checklistor som kan användas, dessa resulterar i en kvalitativ bedömning

Tabell 1 Kostnader för att rädda ett människoliv i åtta olika fall [6].

Fall	Implicerat livsvärde	Källa för beräkning av livsvärde
Återföringssystem, bensingaser	1	SNV:s beräkningar kombinerat med riskbedömningar från olika expertgrupper
Brunnsolyckor	140 mkr	Boverkets beräkningar
Brandskydd vid vårdanläggningar	50 - 100 mkr	Våra beräkningar på grundval av uppgifter från Locum, Juås och SBF
Halvbomsprogrammet	högst ca 12 mkr	Uppgifter från Banverkets beräkningshandledning
Benmärgstransplantation	2 mkr	SBU:s beräkningar
Radon	0.1 - 1.3 mkr	SSI:s beräkningar
Kampanj mot rökning	540 - 5400 kr	Våra beräkningar utifrån uppgifter från Folkhälsoinstitutet och Socialstyrelsen
Härdplaster i arbetsmiljö	okänt	ASS:s beräkningar

Not (1). Åtgärden till stor del motiverad av miljöpolitiska skäl. Om hela kostnaden hänförs till inbesparade människoliv blir det implicerade livsvärdet av storleksordningen 250 mkr.

grundad på mångårig erfarenhet från fältet, det är dock viktigt att välja en checklista som är utvecklad för anläggningstypen i fråga. Till checklistorna räknas FMEA, HAZOP, Gretener-systemet (sjukhem), DOW Fire and Explosion index etc. Till de mer sofistikerade riskidentifieringsmetoderna tillhör funktionsblockscheman samt felträds- och händelseträdsanalyser. Ofta kan man vid en kvantitativ riskanalys inleda med att göra en riskidentifiering med hjälp av en checklista eller felträdsanalys. Därefter vidtar arbetet att beräkna konsekvenserna av riskerna samt att sammanväga det hela till en total risk. Riskanalysen kan behandla skador på tre områden: skador på människor, egendom eller i miljön. I regel är man främst intresserad av skada på människor men även ekonomiska förluster kan vara intressanta. Ofta resulterar förlust av människoliv också i en ekonomisk förlust i fråga om ersättning till anhöriga, eventuell förlust av kompetens om det är en anställd samt förlust av Goodwill. Dock kan det vara lämpligt att utföra en riskanalys inriktad på människoliv och miljö även i de fall man har utfört en ekonomisk analys. Denna analys får då ses ur ett samhällsekonomiskt perspektiv.

Vid en riskanalys av en anläggning används i princip följande beräkningsgång:

1. Beskrivning av möjliga scenarior (med hjälp av HAZOP, felträdsanalys e dyl)
2. Bedömning av sannolikheter för de händelsekombinationer som ger olycka enligt punkt 1
3. Bedömning av konsekvenser och skadekostnad för respektive scenario
4. Beräkning av risk för respektive scenario
5. Summering till total risk

Bedömning av sannolikheten för olika händelser behandlas i kapitel 3. Olyckors konsekvenser och olika konsekvensmodeller behandlas i kapitel 4.

1.5 Risken för större olyckor med naturgas

Det finns få rapporterade större olyckor med naturgas. I bilaga 2 ges en förteckning på större olyckor med gasutsläpp. Av dessa är det endast två olyckor av 55 som beror på utsläpp av naturgas. Detta beror på att naturgas inte ansamlas särskilt lätt vid ett eventuellt utsläpp. Vidare så är transport via pipeline ett säkrare sätt än transport via båt/tåg/bil förutsatt att pipelinen sköts ordentligt. Dock kvarstår en viss risk för läckage pga korrosion av ledningarna med mindre utsläpp som följd.

Vid ett naturgasutsläpp bildas en jetflamma om gasen antänds. Är antändningen fördröjd sker normalt en flammförbränning. Om naturgasen bromsas upp kan den ansamlas och orsaka en explosion. Speciellt utsläpp inom en byggnad kan då få allvarliga konsekvenser. Vad gäller industriella installationer finns det risk för att en panna inte tänder när den ska och på så vis orsakar en explosion vid en fördröjd antändning. Detta kräver dock att även övervakningsanordningarna fallerar. Även vid mindre installationer finns risk för olyckor, men dessa berörs inte i denna rapport. Här behandlas endast distribution och industriell hantering av naturgas.

1.6 Hur man bedömer risker för olyckor som inte inträffat

När det gäller risken för en aldrig tidigare inträffad olycka så hjälper det inte att endast gå igenom statistik. Denna statistik kan möjligen ge en uppfattning att en olycka inte inträffar oftare än kanske en gång på 10 år. Dock är ofta den eftersträvade nivån en gång på 500 år eller en gång på 10 000 år. Man måste då på något vis räkna fram denna sannolikhet. Ofta har det förekommit incidenter som skulle ha kunnat leda till en olycka t.ex. utsläpp som inte har antänts. Det gäller då att få en uppfattning om hur stor risken för antändning är samt hur stor skada den eventuella antändningen orsakar. Det bästa sättet att få fram en korrekt riskbild är att göra en QRA (Quantified Risk Assessment) det vill säga en kvantifierad riskbedömning. Man skall dock vara medveten om att både det statistiska underlaget och konsekvensmodellerna är behäftade med stora osäkerheter. Styrkan i metoden ligger snarare i möjligheten att bedöma säkerhetsfrämjande åtgärders kostnadseffektivitet.

2 Lagstiftning - tillsyn - kontroll - utbildning

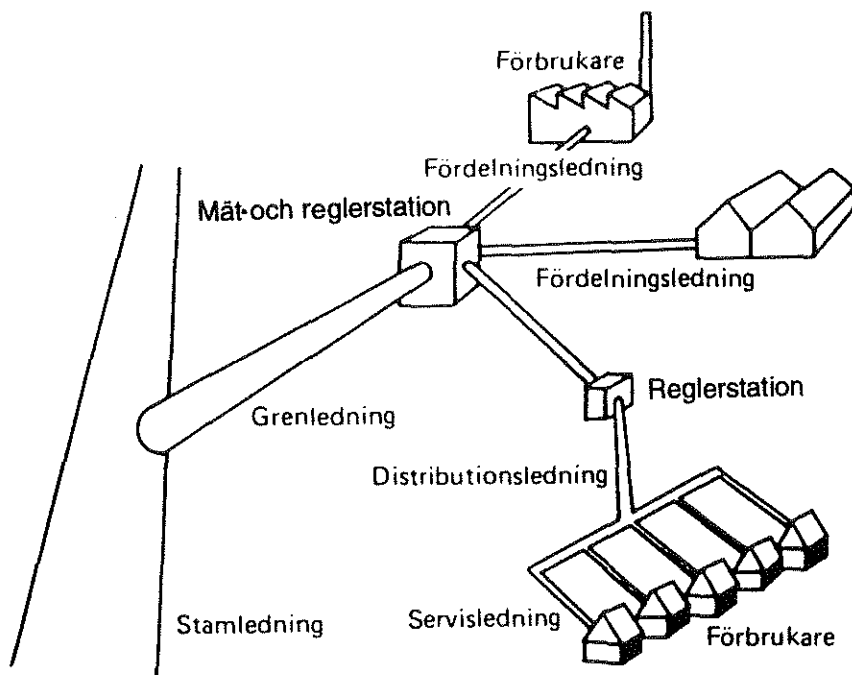
2.1 Lagstiftning

Sverige

Huvudansvaret för föreskrifter och tillsyn när det gäller skydd mot brand och explosion i Sverige ligger hos Sprängämnesinspektionen (SÄI). I princip består ett naturgassystem av tre huvuddelar:

- stam- och grenledningar (mer än 4 bar) med tillhörande mät- och reglerstationer
- distributionsnät (högst 4 bar) med reglerstation och servisledning
- installation (högst 4 bar eller högst 100 mbar).

Naturgassystemets principuppbyggnad framgår av figur 3. Trycket reduceras till högst 4 bar i mät- och reglerstationer. Trycket reduceras ytterligare från högst 4 bar till högst 100 mbar i reglerstation eller abonnentcentral.



Figur 3 Naturgassystemets principutförande (Källa: NGDN 90)

Naturgas är en brandfarlig gas och regleras därför enligt Lagen om brandfarliga och explosiva varor (SFS 1988:868) och förordningen om brandfarliga och explosiva varor (SFS 1988:1145).

Utformning, anläggning och drift av ledningssystem för naturgas i gasfas vid tryck över 4 bar övertryck regleras i Sprängämnesinspektionens författningssamling, SÄIFS 1987:2 samt i Naturgassystemnormerna (NGSN).

SÄI har utfärdat föreskrifter (SÄIFS 1991:2) om undantag från krav på tillstånd för hantering av vissa brandfarliga gaser. Tillståndet ersätts med följande särskilda krav för anläggande och drift av distributionssystem för naturgas i gasfas om:

- drifttrycket uppgår till högst 4 bar och
- gasen distribueras från en central enhet till flera abonnenter och
- ett distributionsföretag ansvarar för att anläggning, drift och kontroll av systemet utförs enligt regler som utarbetats i samråd med SÄI och
- föreståndare är utsedd på samma sätt som enligt 36 och 37 §§ förordningen (1988:1145) om brandfarliga och explosiva varor.

För att uppfylla det tredje kravet har gasbranschen genom Svenska gasföreningen (SGF) åtagit sig att skriva normer för naturgassystem med drifttryck på högst 4 bar. Dessa normer finns samlade i Naturgasdistributionsnormerna (NGDN 90) som ersätter den tidigare Naturgasmanualen.

Enligt en överenskommelse mellan Arbetarskyddsstyrelsen (ASS) och SÄI gäller SÄIs regler och bestämmelser för naturgassystem. Naturgas på en arbetsplats följer således naturgasreglerna i stället för ASS's tryckkärlsföreskrifter.

Tyskland

I Tyskland görs inte någon skillnad i lagstiftningen mellan olika typer av bränslen. När naturgasen infördes i Tyskland gjorde man endast tillägg i existerande lagstiftning. Det som regleras centralt styrs av Miljöskyddslagen "Die Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes" och avser kontroll av utsläpp från förbränningsanordningar av alla typer.

Grundläggande regler för naturgassystem i Tyskland finns i lagstiftningen för de olika förbundsstaterna. Tekniska beskrivningar och byggnadsnormer ges ut av Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V. (DVGW). Gemensamt för hela Tyskland finns bygglagen som är grunden för övriga föreskrifter.

Storbritannien

Health and Safety Executive (HSE) är den myndighet som reglerar användandet av naturgas i Storbritannien.

Danmark

Danmarks Gasmateriel Prövning (DGP) är ansvarig säkerhetsmyndighet på distributionsområdet i Danmark. DGP är en myndighet och certifieringsorgan under

Boligministeriet och utger bl a Gasreglementet i vilket installation och underhåll av gasutrustning regleras. Gasreglementet följs av gasinstallatörer som utför arbete på naturgassystemet och av gasdistributörer, som är ansvariga för kontroll av säkerheten. I det regelsystem som DGP utfärdat ingår följande delar:

- installationsföreskrifter
- godkännande av gasutrustning
- utbildning och firmaauktorisering
- gasleverantörernas tillsyn av nya installationer
- systematiskt underhåll.

Arbeidstilsynet är myndighet för transmissionssystemet.

EG

EG har utarbetat ett direktiv för gasapparater som gäller för samtliga typer av icke industriella apparater, t ex campingutrustning och brännare för villor.

2.2 Tillsyn - kontroll

Sverige

Transmissionssystem

Kontroll och tillsyn av transmissionssystem regleras i Sprängämnesinspektionens naturgasföreskrifter (SÄIFS 1987:2).

Idrifttagande av en transmissionsledning inleds med en period av försöksdrift. SÄI meddelar försöksdriftstillstånd. Till grund för detta tillstånd ligger alla krav i SÄIFS 1987:2. Bland dessa krav kan nämnas konstruktionskontroll, tillverkningskontroll och installationskontroll som utförs av AB Svensk Anläggningsprovning, som är riksprovplats (RPP). Efter en period med visad bra drift och uppfyllda koncessionsvillkor erhålles ett drifttillstånd som utfärdas av NUTEK.

När systemet tagits i drift kontrollerar SÄI fortlöpande transmissionsledningarna genom systemtillsyner och granskning av egenkontroll. Systemet ska dessutom genomgå återkommande besiktning med ett intervall på högst tre år. Även den återkommande besiktningen utförs av RPP.

I vissa fall får RPP efter ansökan medge att återkommande besiktning ersätts av utvidgad och protokollförd fortlöpande tillsyn. För att medgivande ska lämnas måste följande

villkor vara uppfyllda:

- Det ska finnas en detaljerad instruktion för den utvidgade fortlöpande tillsynen. Av instruktionen ska klart framgå hur kontrollen ska gå till och dokumenteras.
- Brukaren ska ha en från driften fristående organisationsenhet som svarar för säkerheten hos företagets tryckbärande anordningar. Enheten ska ha egen chef och utbildad personal samt utrustning för ifrågavarande kontrollarbete.
- Avtal ska finnas med RPP om återkommande uppföljning.

Distributionssystem

Gasinstallationer ska vara utförda av auktoriserat gasinstallationsföretag. Auktorisation utfärdas av SGFs Auktorisationsnämnd. Bland de krav som ställs på ett auktoriserat gasinstallationsföretag gäller att företaget har minst en hos sig anställd, namngiven person, benämnd behörig installationsledare som uppfyller på denna angivna fordringar (se bilaga 3) och som har rätt att träffa för företaget bindande uppgörelser. Behöriga installationsledare ska utöva tillsyn och kontroll av installatonsföretagets arbete. De som utför installationsarbetet ska ha erforderlig kompetens.

Armatyr, brännare och gasapparater ska ha gastekniskt godkännande. Utrustning kan godkännas efter två olika metoder, typgodkännande eller individuellt godkännande, systemgodkännande. Typgodkännande utfärdas av SGFs Typprovningsnämnd efter typprovning enligt SGFs provningsnormer på av SGF godkända provningslaboratorier. Icke typgodkända brännare ska ha ett individuellt godkännande, systemgodkännande. Systemgodkännande utfärdas av systemgranskare som är godkänd av SGF. Granskning ska utföras på uppdrag av gasdistributören.

Sverige har till skillnad från övriga europeiska länder, ett system av kanadensisk modell där gasdistributören ansvarar fram till lågan.

Gasdistributören ska kontrollera att kraven på naturgasdistributionssystemet enligt NGDN 90 är uppfyllda. Provningsresultat ska godkännas av distributören och all kontroll ska vara dokumenterad.

Följande typer av kontroll och provning gäller (uppgifterna är hämtade ur NGDN 90):

- Tillverkning, leverans
- Svetsarprovning
- Fogar
- Kontroll av yttre korrosionsskydd av ledning i mark
- Tryckprovning och täthetskontroll

- Driftsättningskontroll
- Återkommande kontroll

Installationer inklusive ledningsdraging och installationsutrymme, men exklusive avgassystem ska besiktigas vart tredje år. Installationer enligt ovan ska också besiktigas efter ändring eller reparation. Gasspisar i hushåll besiktigas inte. Abonnentcentral med tryckreducering och ingående tryck över 100 mbar ska dessutom besiktigas ett år efter varje ny driftsättningskontroll.

Besiktningen ska omfatta kontroll av:

- * korrosion
- * täthet
- * funktion
- * inställningsvärden
- * installationsutrymme

Vid besiktning av brännarinstallationer ska CO-halten i avgaser kontrolleras med avseende på hög CO-halt.

Tyskland

I Tyskland är kontrollverksamheten starkt kopplad till miljöskydd och energibesparing. Miljöskyddslagen styr kontrollen av utsläpp från förbränningsanordningar av alla typer. Kontroll av förbränningsanläggningar är obligatorisk sedan den 1 januari 1981. Kontrollen är kopplad till verkningsgraden (optimal förbränning). Man vill därigenom försäkra sig om minsta möjliga utsläpp av oförbrända rökgaser.

Förbränningsanläggningarna är i förordningen uppdelade efter brännareffekt: 4-25 kW, 25-50 kW, 50-120 kW och över 120 kW. I förordningen finns gränsvärden angivna för tillåtna värmeförluster för de olika brännareffekterna. Tillåtna värden anges i tabellen nedan.

Värmeeffekt kW	Gränsvärde för värmeförluster i rökgaserna i % från anläggningar uppförda		
	t o m 1982	fr o m 1983	fr o m okt 1988
4 - 25	16	14	12
25 - 50	15	13	11
50 - 120	14	12	10
över 120	13	12	10

Bestämning av värmeförluster kan baseras antingen på mätning av syrekoncentration eller på koldioxidkoncentration. Dessutom mäts temperaturen i rökgaserna och i förbränningsluften.

Kontrollen, enligt ovan, genomförs av skorstensfejarna som även är ansvariga för övrig kontroll av installationerna. Kontrollen görs en gång efter installation och efter reparationer o d. På anläggningar för effekter på 4-11 kW sker kontrollen en gång per år.

England

Informationen från England angående tillsyn och kontroll är begränsad. British Gas är ensam gasleverantör och de sköter själva tillsyn och kontroll av naturgassystemet. Transmissionsnätet inspekteras var 14:e dag från luften med hjälp av flygplan. 1-2 gånger per år träffar man entreprenörer för att kontrollera var grävnings- eller pålningsarbeten ska utföras nära ledningar.

Danmark

I Danmark har man mångårig erfarenhet av användning av naturgas. Tillsyn och kontrollverksamheten är väl utbyggd. Den ansvariga myndigheten för transmissionsnätet är Arbejdstilsynet och för distributionsnätet är Danmarks Gasmateriel Prøvning (DGP) ansvarig myndighet.

DGP utför provning av gasutrustning och utfärdar godkännanden. Godkänd utrustning förses med DG-märket. Installationer ska underhållas och utsättas för regelmässig kontroll. Det är brukarens ansvar att tillsyn av utrustning sker. Gassällskap som t ex Hovedstadsregionens Naturgas (HNG) erbjuder komplett serviceabonnemang, där en regelbunden kontroll och justering av gasinstallationen ingår.

Gasleverantören är ansvarig för besiktning omedelbart efter installationen och för kontroll minst vart 5:e år. Besiktningen utförs av utbildade besiktningsmän, gasmästare. Ca 20% av personalen hos gasleverantörerna arbetar med kontroll. En gasmästare utför även kontroll efter ett ingrepp i en installation och är sedan ansvarig för funktionen tills nästa ingrepp sker, ev av en annan gasmästare. Om arbetet görs av en annan gasmästare övergår ansvaret till denne.

För att ge en uppfattning om storleken av kontrollverksamheten i Danmark kan nämnas att vid slutet av 1990 fanns det:

- 620 personer med auktorisation att starta och kontrollera större gaseldade anläggningar

- 110 personer med tillstånd att utföra och kontrollera gasolininstallationer i campingvagnar
- 1641 personer med A-certifikat för installation och kontroll av mindre gaseldade anläggningar.

Holland

Holland är en stor och väl etablerad förbrukare av naturgas. Man har ett utbyggt system för tillsyn och kontroll. Alla gasapparater, material i ledningar och övriga komponenter som ingår i ett naturgassystem ska vara noga kontrollerade och märkta med GIVEG. Detta är en förutsättning för att gas ska levereras. Godkännandeprovning utförs av VEG-GASINSTITUUT, som står för all typ av kontroll på installationer och materiel för distributions- och transmissionssystem.

Systematiska kontroller görs enligt följande:

- Läcksökning 1 gång per 3-4 år (oftare på "gamla" system)
- Avstängnings- 1 gång per år
och nödventiler
- Reglerstationer A-check 2 gånger per 8 år
 (okulärbesiktning)
 B-check 2 gånger per 8 år
 (funktionstest/underhåll)
 C-check 1 gång per 5 år
 (total genomgång)

2.3 Utbildning

Sverige

Utbildning inom naturgasområdet erbjuds av ett antal organisationer och utbildningsinstitutioner. Bland dessa återfinns dels statliga och dels privata institutioner. Nedan ges en sammanfattning över de utbildningar som ges i Sverige. I bilaga 3 ges de krav som Svenska gasföreningen ställer för auktorisation.

- Svetsning av PE-rör
Gasdistributionssystemet är till stor del uppbyggt av ledningar av polyeten (PE). Den som ska utföra sammanfognings-, svetsningsarbete med PE-rör avsedda för naturgas ska ha genomgått en grundläggande kurs i svetsning av PE-rör. Dessa kurser är på

10 dagar och ges av Tumab i Landskrona. Där ges också kortare kurser på 3 dagar för distributionsföretagens beredskapspersonal.

- Gasteknik - montörskurs
Gasmontörer utbildas av SIFU och av Energiteknisk utbildning (ETU). Kurserna är på 5 dagar och ska ge deltagarna praktiska och teoretiska kunskaper i gasteknik.
- Behörig installationsledare - gas
I Sverige finns ca 180 auktoriserade gasinstallationsföretag. Hos dessa företag måste finnas minst en behörig installationsledare. För att bli behörig installationsledare krävs först antingen sex års praktisk erfarenhet inom rör- eller gasinstallationsyrket eller utbildning t ex kursen Gasteknik - montörskurs hos SIFU eller ETU. Därefter krävs kurs för Behörig installationsledare hos SIFU eller ETU. Denna kurs omfattar 5 dagar. Kraven ges i bilaga 3.
- Systemgranskare
Normalt ska alla gasapparater vara typgodkända. Det finns emellertid undantag. Vissa gasapparater importeras i enstaka exemplar för speciella ändamål eller är avsedda för höga effekter och är därför inte typgodkända. Ej typgodkända apparater måste godkännas av systemgranskare som utses av SGF. Man kan utgå från att det i första hand är denna typ av godkännande som är aktuellt för industrianläggningar av mer komplicerad karaktär.
- Auktoriserad besiktningsman
Vid drifttagning av en naturgasanläggning måste en kontroll göras av en auktoriserad besiktningsman. Denne kan vara auktoriserad för installationer (typgodkända), installationer (systemgranskade), distributionssystem och/eller reglerstationer. Auktorisation utfärdas av SGF.

Utöver de kurser som nämnts ovan ges längre kurser inom gasteknik-området av Drifttekniska institutionen, Lunds tekniska högskola.

Tyskland

Kontroll och tillsyn av naturgasinstallationer i Tyskland åligger skorstensfejarmästarna och skorstensfejarna. Utbildningen av dessa sker vid särskilda skolor. Utbildningen om naturgas har lagts till som en ytterligare byggsten i grundutbildningen. Skorstensfejarmästare får efter grundutbildning minst en vecka vidareutbildning per år. Vad gäller kontroll och tillsyn distributionsnätet varierar det mellan delstaterna. När det gäller transmissions- och distributionssystem är det gasdistributören som är ansvarig. Här gäller olika system och regler i de olika delstaterna.

Danmark

Danmark har ett väl utbyggt och fungerande system för olika kategorier av personal som på något sätt arbetar med naturgasanvändning. Utbildningen är utformad som ett paket med fem olika nivåer.

Nivå 5: Fastighetsskötare i fastigheter som har naturgassystem för uppvärmning.

Utbildning: 1 dags orienteringskurs, ges hos gassällskapen.

Nivå 4: Driftspersonal i industrin eller på värmekraftverk.

Utbildning: Gasbolaget ger riktad utbildning, ofta som internutbildning på den egna anläggningen.

Nivå 3: Gasmästare som har hand om tillsyn och kontroll av gasanläggningar

Utbildning: 80 timmar gasteknik för driftspersonal.

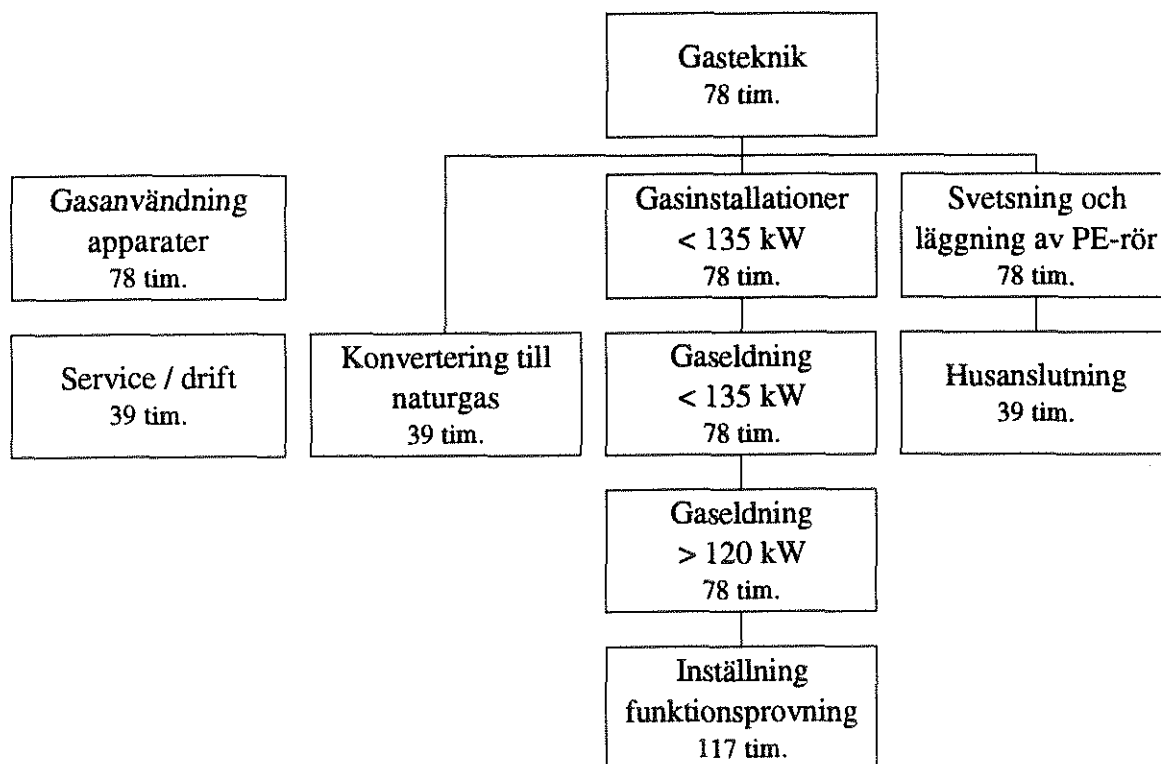
Nivå 2: Som nivå 3 och dessutom vissa reparationer av anläggningar.

Utbildning: 120 timmar specialkurs för driftspersonal.

Nivå 1: Installation av gasanläggningar, arbetsledande funktion för tillsyn och drift.

Utbildning: 120 timmar.

En omläggning av den danska utbildningen påbörjades 1990. Nedan ges en bild av hur kursutbudet ska se ut i framtiden.



Figur 4 Danska kursutbudet

Holland

VEG-GASINSTITUUT är utbildningsanstalt för installatörer och inspektörer. Användningen av naturgas är väl integrerad i det holländska samhället. Undervisning i allmän gasteknik ingår som en del i utbildningen vid de tekniska gymnasierna. Oftast sker detta m h a lärare från VEG-GASINSTITUUT.

3 Risker - retrospektivt

3.1 Risker och stora olyckor

Sannolikheten att omkomma i en olycka är i Sverige totalt ca $3-5 \cdot 10^{-4}$ per person och år. Det innebär att varje år omkommer 3000-4000 personer i Sverige i samtliga olyckstyper. För trafikolyckor är motsvarande siffror $8-9.5 \cdot 10^{-5}$, eller 700-800 per år. Att omkomma i brand har sannolikheten, $1-1.2 \cdot 10^{-5}$, eller ca 100-150 personer per år. Det är alltså mycket små sannolikheter det handlar om. I figur 5 redovisas sannolikheten att omkomma av olika orsaker.

För naturgasolyckor finns i figur 5 angivet en sannolikhet att omkomma till mellan $1.3 \cdot 10^{-07}$ (dansk statistik) och $1.2 \cdot 10^{-06}$ (holländsk statistik). Den tredje punkten har engelsk bakgrund [7]. Det bör noteras att statistiken innefattar samtliga led, både transport-, industri- och hushållsrisker. För Sveriges del skulle siffran innebära 1-2 omkomna per år vid en fullt utbyggd naturgasanvändning. Detta är fullt jämförbart med sannolikheten att omkomma efter blixtnedslag, eller en i stort sett försumbar risk i förhållande till de alldagliga riskerna. Detta är dock risken sett ur ett samhällsperspektiv. Mellan enskilda individer kan risken dock variera betydligt.

Det har endast inträffat ett fåtal större olyckor i naturgasnät genom historien. I en sammanställning av större kemikalieolyckor under perioden 1959-1989 finns två större olyckor med naturgas redovisade [3]:

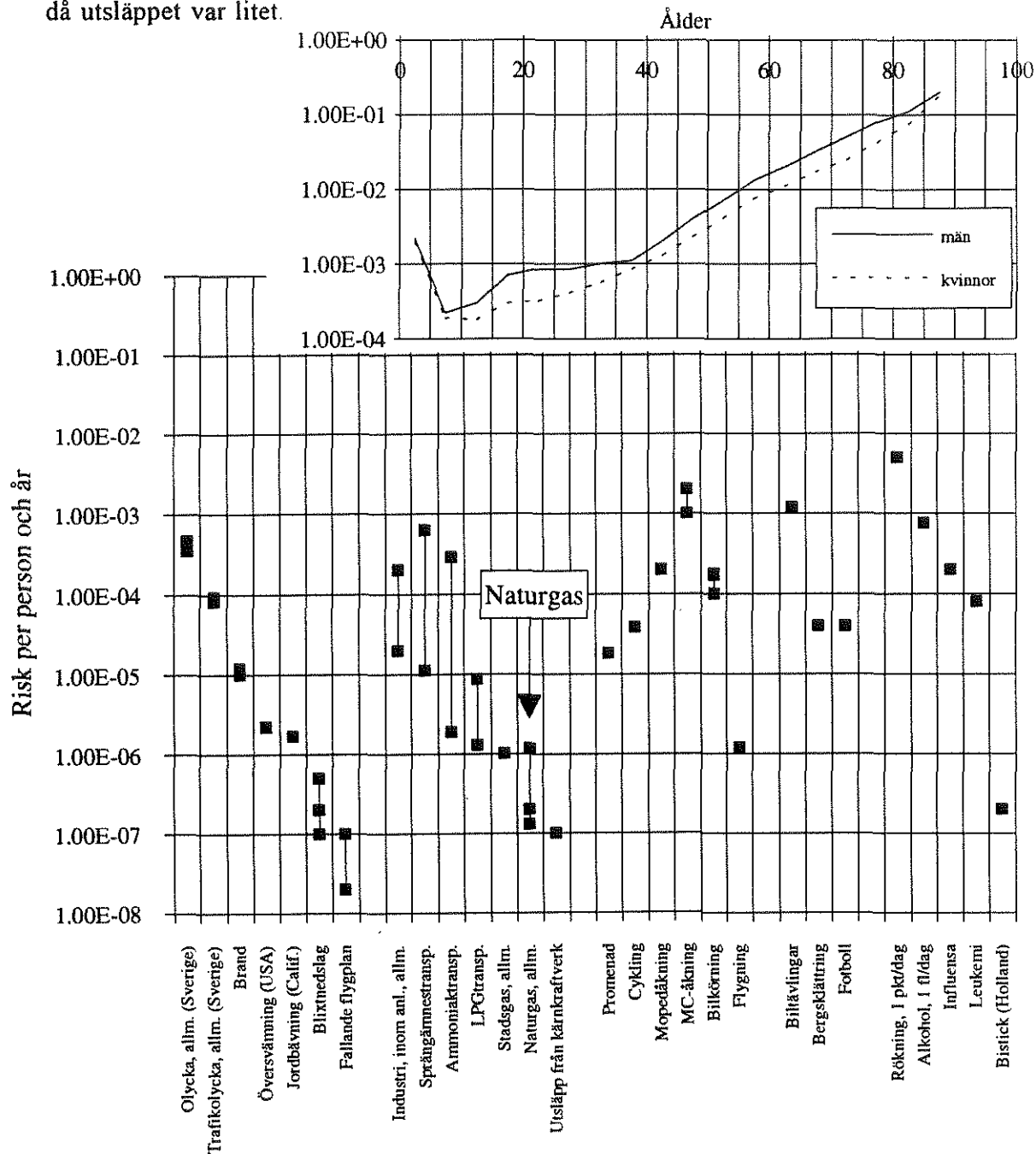
21 maj 1974, Meridian, Mississippi, USA. Läckage i pipeline efter inre rostangrepp och försvagning. En okänd mängd naturgas läckte ut och antändes. Olycksplats: landsbygd. Antal dödsoffer: 5.

13 dec. 1984, Kashmor, Pakistan. Läckage i pipeline p.g.a. för högt tryck. En okänd mängd naturgas läckte ut och antändes. Olycksplats: landsbygd. Antal dödsoffer: 16. Antal skadade: 14.

Som jämförelse kan nämnas att femtiofem större olyckor under transport av farliga ämnen finns med i statistiken för samma tidsperiod. Av olyckorna inträffade tolv vid transport med pipeline. Av dessa var, utöver olyckorna ovan, fem med vätskeformiga petroleumprodukter (bensin, råolja m.fl.) och fyra med gasformiga (propan m.fl.). En av de inträffade olyckorna rörde kolmonoxid.

I Sverige har det inte inträffat någon större naturgasolycka. Däremot finns exempel på allvarigare incidenter:

6 okt.1993, Falkenberg. Läckage i 4 bars distributionsledning p g a spricka i röret. Sprickan uppstod i samband med grävningsarbeten runt ledningen, VMA-larm utlöstes, och ett sjuttioal personer evakuerades. Dock förelåg aldrig någon risk för antändning då utsläppet var litet.



Figur 5 En sammanställning över risken att omkomma i olika olyckstyper (Allmänna risker - industri - transport - frivilliga - sjukdom). Som framgår är risken att omkomma i en naturgasolycka liten. Som en jämförelse visas också det totala dödstalet (hämtat ur engelsk statistik) beroende på ålder och kön.

Allmänt betraktas en ensam olycka som kräver flera dödsoffer som allvarligare än flera olyckor med enstaka döda. Det är alltså viktigare att förhindra de stora olyckorna än vardagsolyckorna. Denna rapport behandlar endast den storskaliga hanteringen av naturgas. Givetvis inträffar olyckor även på förbrukarnivån. Ett exempel är olyckan som inträffade då en person försökte begå självmord genom att fylla lägenheten med gas. Förgiftningen misslyckades då naturgasen inte alls har samma giftighet som stadsgasen. Däremot antändes gasen med omfattande skador som följd.

Vid en engelsk undersökning [8] där man studerat två större katastrofer, nämligen skred-olyckan i Aberfan 1966 och tunnelbanebranden i King's Cross 1987, fann man ett flertal likheter. Vid Aberfan inträffade ett skred i ett upplag av rester från kolbrytning. Skredet begravnade delvis byn och dödade totalt 144 personer, däribland 116 barn i byns skola. Vid King's Cross orsakades katastrofen av brand i en gammal rulltrappa. Skräp, smörjett m.m. som samlats under trappan och en stor mängd trämaterial i trappa och omgivande konstruktion gav branden ett snabbt förlopp som orsakade 31 dödsoffer.

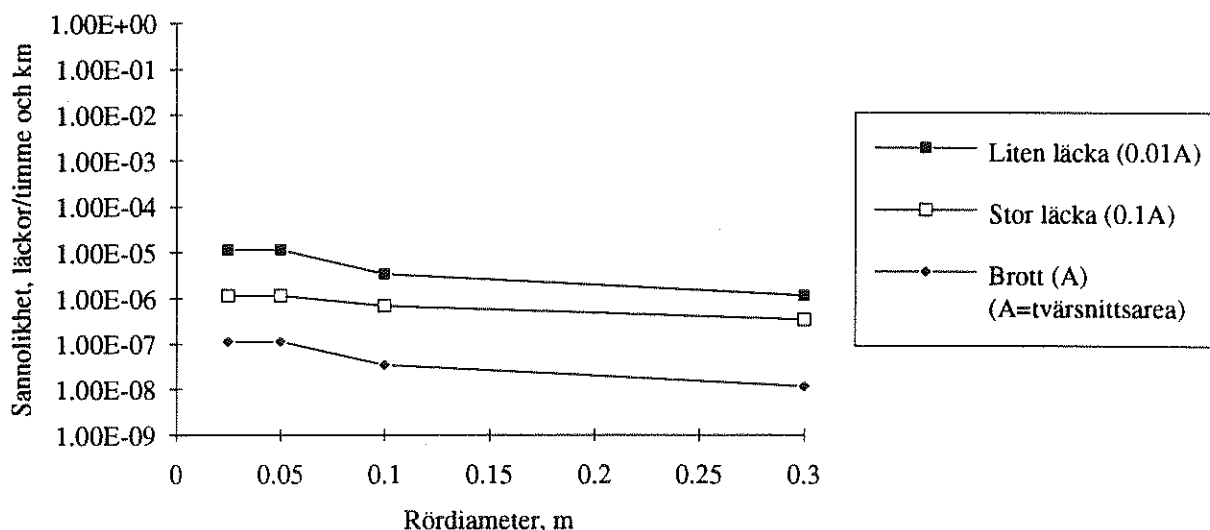
Vid undersökningen fann man ett flertal likheter mellan de två katastroferna:

1. Olyckorna var inga okända fenomen. Båda olyckorna hade kunnat förutsägas och förebyggas. Ingen av organisationerna hade lärt sig av tidigare, liknande händelser.
2. Det fanns inte en ensam orsak eller en oförsiktig person, som vid olyckor i allmänhet. Katastroferna föregicks av en inkubationstid, med ett antal incidenter. Katastroferna inträffade i system som kan beskrivas som socio-tekniska, med både teknologiska och beteendevetenskapliga delar. Felen var mer på användar- än tekniknivån. Tekniken var mer tillförlitlig än vad som utnyttjades.
3. Tidigare incidenter hade inte orsakat några dödsoffer. Detta ledde till att ansvariga inte insåg allvaret och vidtog förebyggande åtgärder.
4. Avsaknad av lagstiftning gjorde att problemen ignorerades.
5. I det som skulle kunnat betraktas som säkerhetskulturer var säkerhetsbegreppet varken definierat eller allmänt känt.
6. Det fanns allvarliga brister i organisation, ansvarsfördelning och övervakning.
7. Det fanns brister i kommunikationen, vilket ger belägg för formeln: Katastrof = Energi + Desinformation.
8. Kritik och hjälp utifrån hade ignorerats.

Den engelska undersökningen visar alltså att det är snarare *organisatoriska* än *tekniska* brister som orsakar katastroferna. Förmodligen är synsättet även tillämpligt i fråga om naturgasdistribution. Genom att vara observant på incidenter och genom en väl fungerande kommunikation kan många olyckor undvikas. Tidigare nämndes två naturgasolyckor. I källan framgår inte vad som orsakade det för höga trycket, resp. att röret tilläts rosta sönder. Det är möjligt att man sett trycket och rostangreppet som isolerade tekniska företeelser, vilket långt ifrån säkert är fallet. Även vid tillbudet i Falkenberg finns inslag i förloppet som är beroende av brister i organisation och rutiner.

3.2 Sannolikheter och felfunktion hos komponenter

Risken för en olycka är starkt beroende av sannolikheten för att de ingående komponenterna inte fungerar. De enheter som används uttrycker normalt sannolikheten i antal händelser per tidsenhet, till exempel antalet läckor per år och km ledning eller antalet felfunktioner per timme och ventil. Dessa värden används som indata i en riskanalys. De möjliga händelseförloppen analyseras, och man studerar särskilt hur olika komponentfel slår igenom i slutresultatet. Det handlar om mycket små siffervärden, normalt i storleksordningen mellan 0.0001 ($1 \cdot 10^{-4}$) och 0.0000001 ($1 \cdot 10^{-7}$) fel per timme för varje enskild komponent. De sannolikhetstal som finns angivna ger sannolikheten för att komponenten går sönder. Man bör dock notera att det finns olika felfunktioner. En ventil kan t.ex. ha följande felfunktioner: går ej att öppna, går ej att stänga, inre läckage samt yttre läckage. Det är först efter en riskanalys där man ser komponenten i sitt sammanhang, som man kan ange vilka av dessa fel som kommer att leda till ett utsläpp och vilka utsläpp som kommer att leda till skador. Dessutom har felfunktionerna olika gradskillnad, från ett litet läckage till ett totalt brott. Allt detta gör att man får varierande sannolikhet för en olycka beroende på hur scenariot definierats. Oftast är sannolikheten något större för ett litet utsläpp, och lite mindre för ett stort. Figuren nedan visar sannolikheten för skada på naturgasledningar som funktion av rörets diameter och skadans storlek. Dock bör påpekas att sannolikheten för ett läckage snarare beror på rörets godstjocklek.



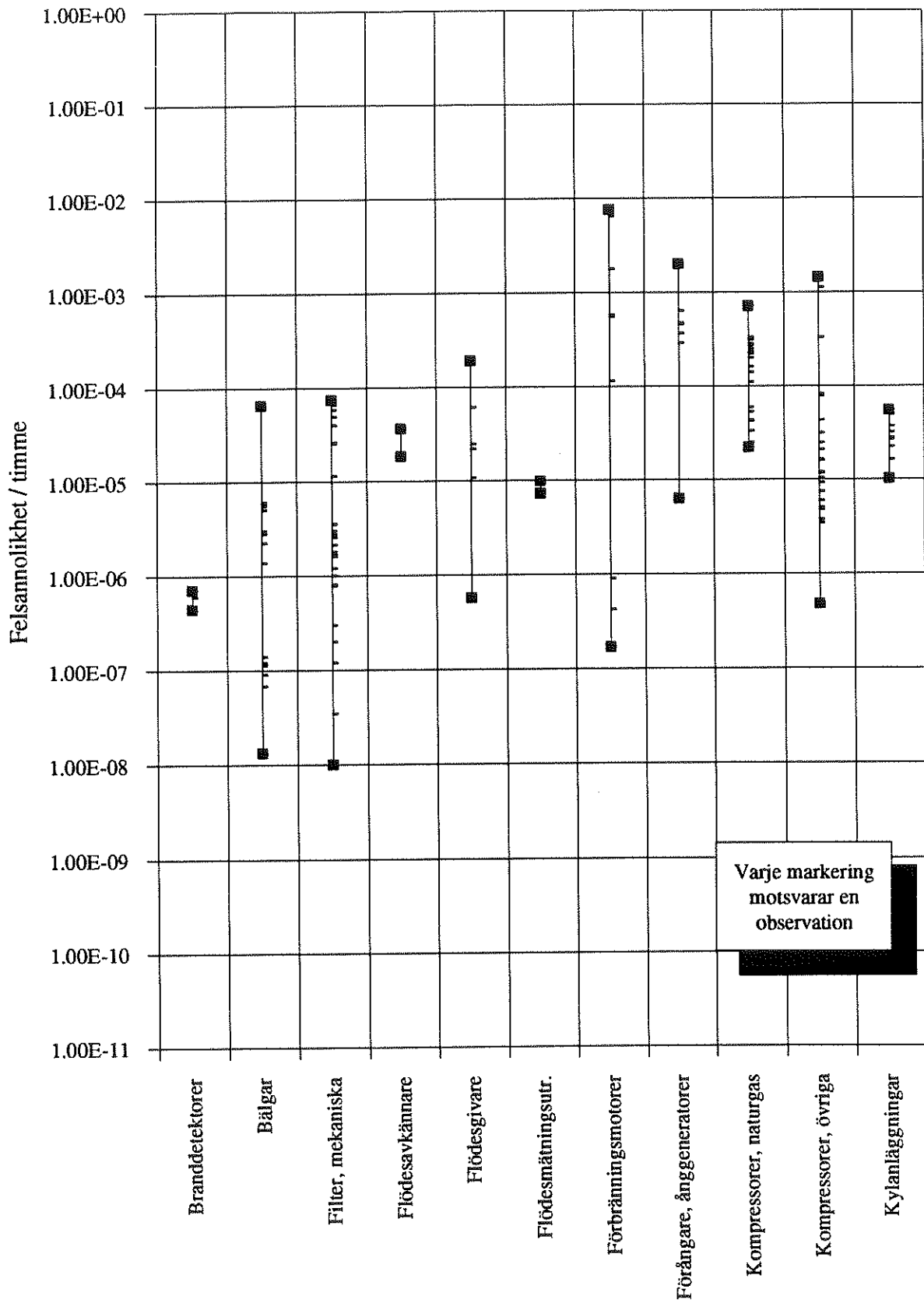
Figur 6 Sannolikheten för att en naturgasledning skall skadas varierar både med rörets diameter och skadans storlek [9].

Som om inte dessa variationer skulle vara nog tillkommer det faktum att felsannolikheten varierar med vad man brukar kalla en "badkarskurva". Det innebär att man har många fel i början, under systemets inkörningsperiod, och i slutet av dess livslängd, när slitaget börjar att visa sig. Däremellan finns en period med ganska låg felsannolikhet då systemet fungerar som bäst.

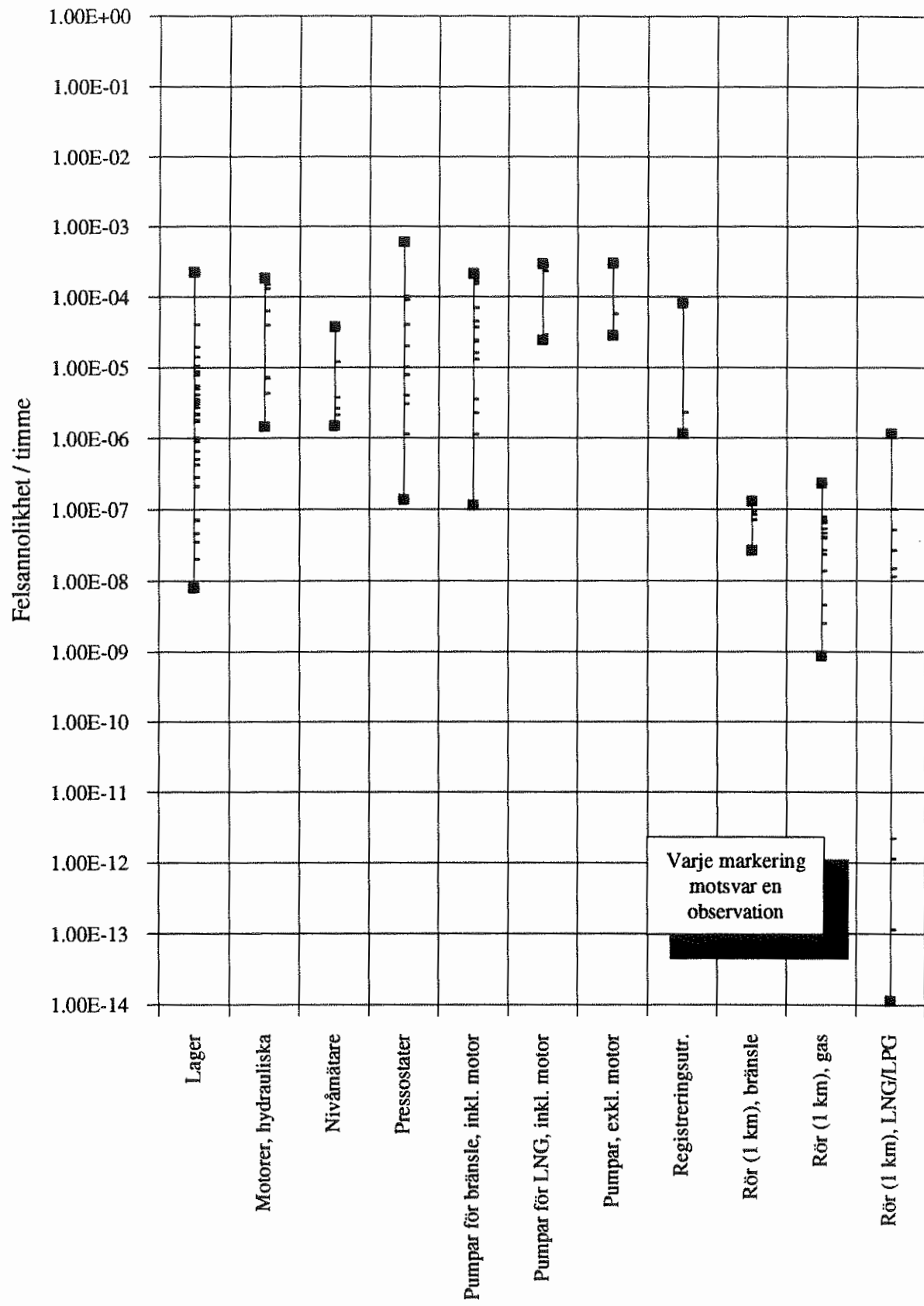
En sammanställning av felsannolikheter för några olika komponenter hämtade från den holländska databasen COMP1 visas i figurerna 7-10. I diagrammen motsvarar varje markering en observation. Som synes är det stor spridning på de mätdata som finns, också för likartade komponenter. Detta gör det än viktigare att studera hur variationer i indata påverkar slutresultatet. Att spridningen är så stor har olika orsaker. En är att det rör sig om så små sannolikheter att rena mätfel kan orsaka skillnader i fråga om tiopotenser. En annan orsak är att sannolikheten går att påverka från anläggningsinnehavarens sida. Att en välskött anläggning har en mindre olycksrisk än en vanskött torde knappast råda något tvivel om. Kvaliteten har givetvis också en stor påverkan på sannolikheten för att de ingående komponenterna går sönder.

Det är tyvärr inte möjligt att göra indelningen i transmissions-, distributions- och konsumtionsnät vid beskrivningen av felsannolikheter. Data över felsannolikheter för olika komponenter finns i olika databaser, men flertalet data är ofullständiga. Det kan gälla en rörledning som har en felsannolikhet angiven till säg $1 \cdot 10^{-6}$ fel per timme och km. För att siffran skall vara användbar bör man veta vilken sorts rör det gäller, vad som transporteras i det, rörets dimensioner och vilket material det är tillverkat av. Denna typ av information saknas i flera fall. Att sannolikheten för en läcka är proportionell mot längden på röret är nästan alla överens om, ändå anger vissa sannolikheten i fel per ledning och år, utan hänsyn till längden. Detta gör att redovisningen blir något mer allmänt hållen. Vidare är det mycket svårt för att inte säga omöjligt att få fram felfrekvenser över komponenter inuti industriella anläggningar. Industrierna säger endast att här händer det aldrig något.

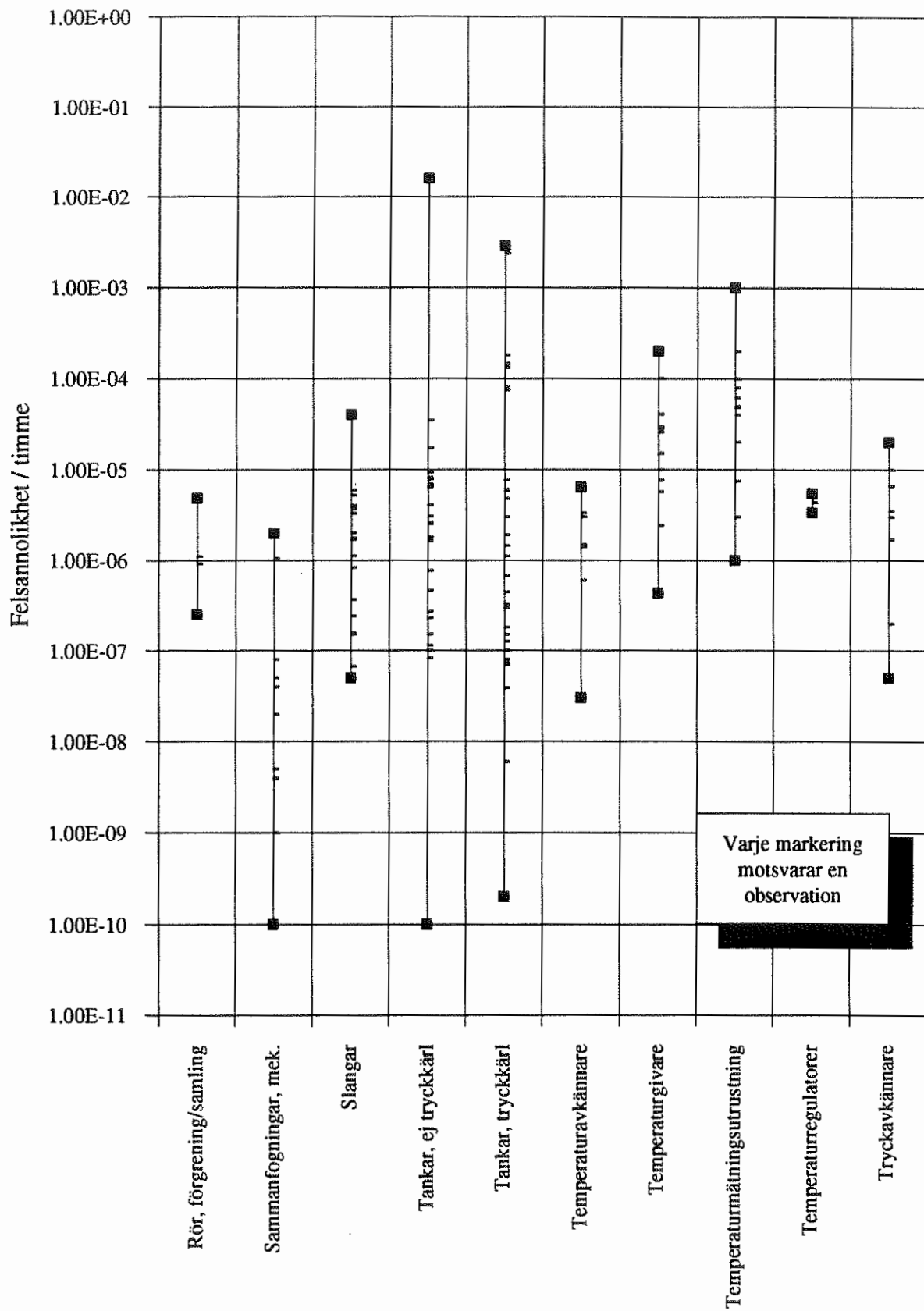
I figurerna 11 och 12 visas sannolikheten för felfunktion för olika komponenter i reglerstationer för naturgas [10]. I de två figurerna anger den kraftigare markeringen det förväntade värdet, omgivet av ett 80% konfidensintervall.



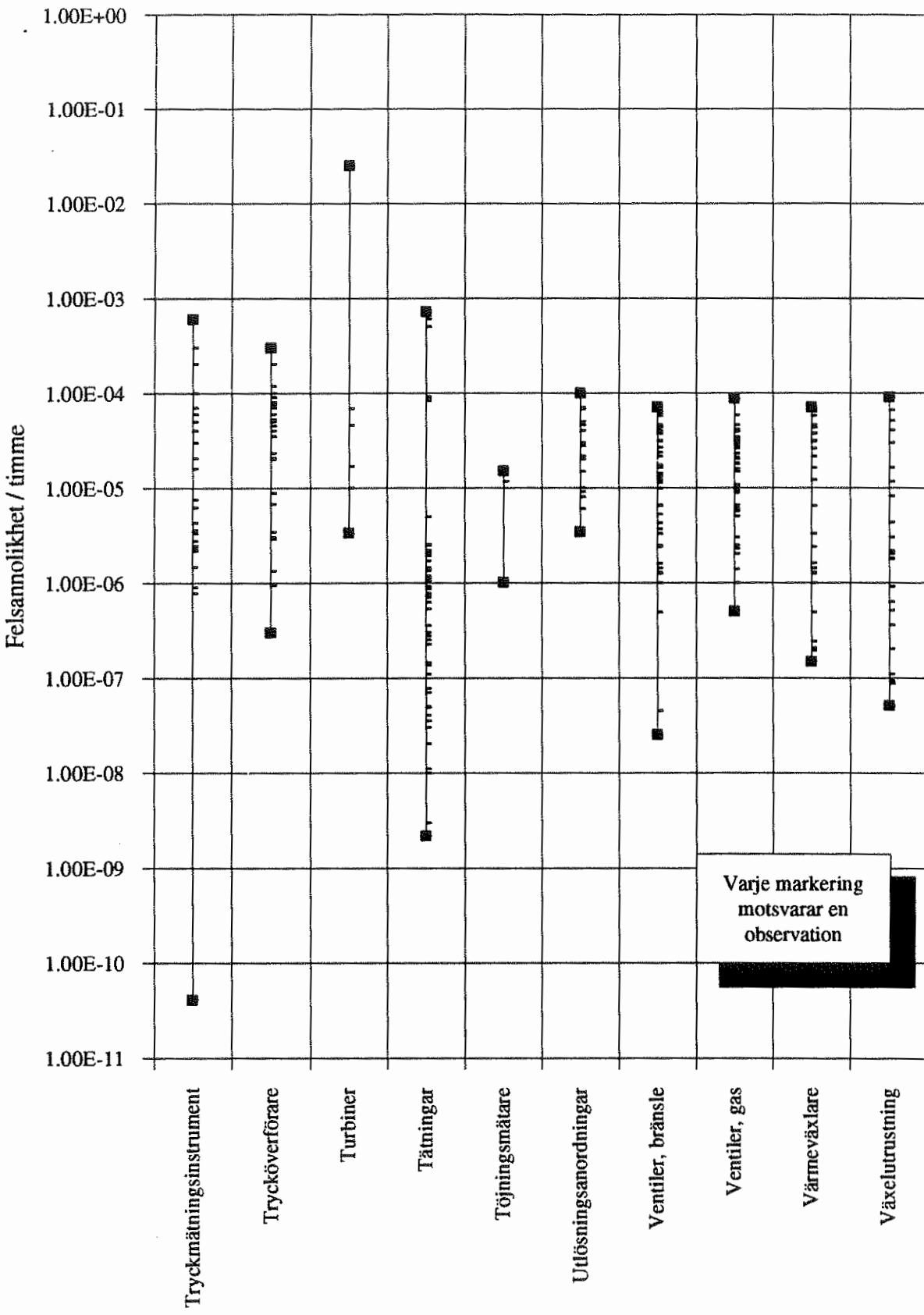
Figur 7 Felsannolikhet för olika komponenter



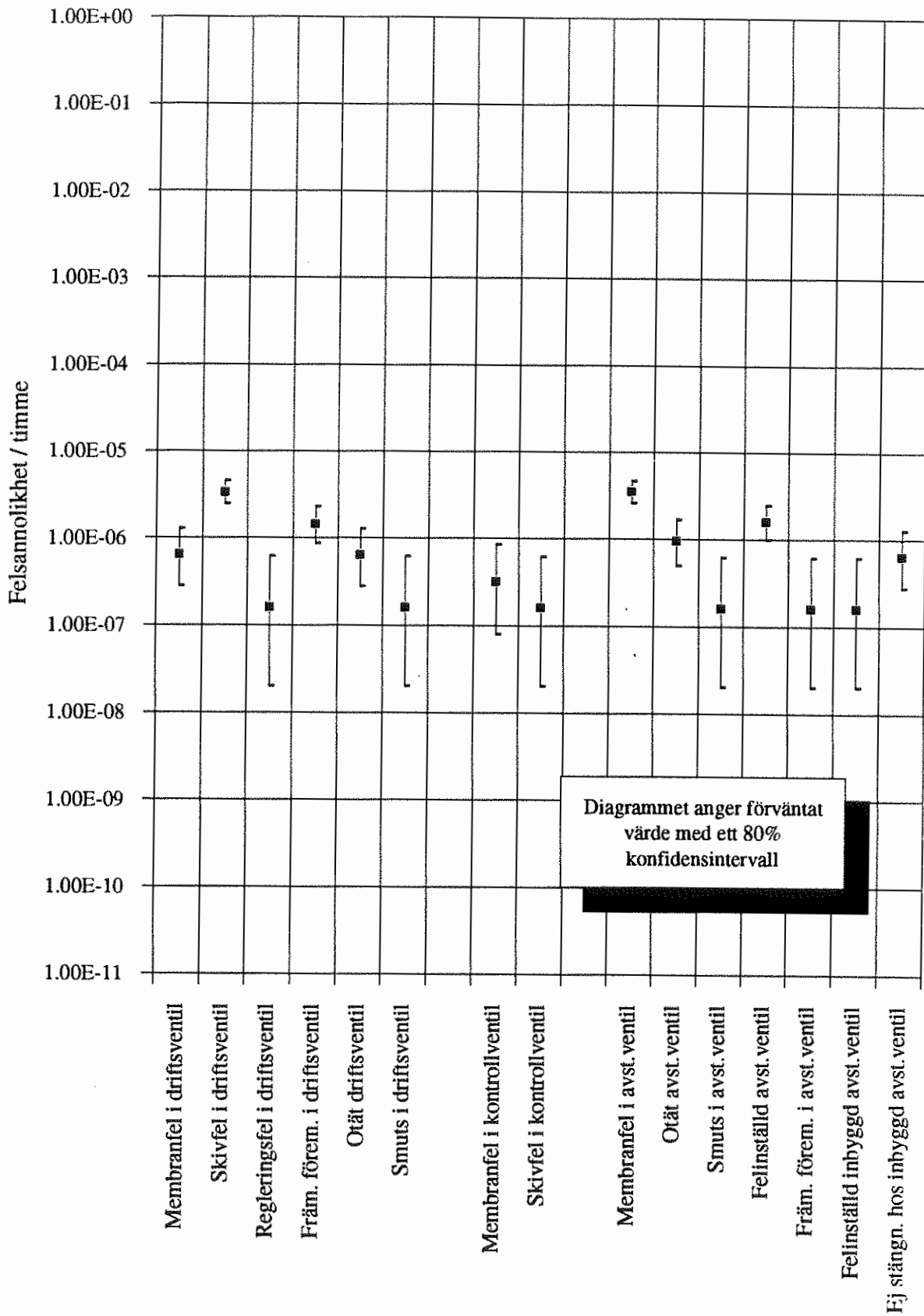
Figur 8 Felsannolikhet för olika komponenter



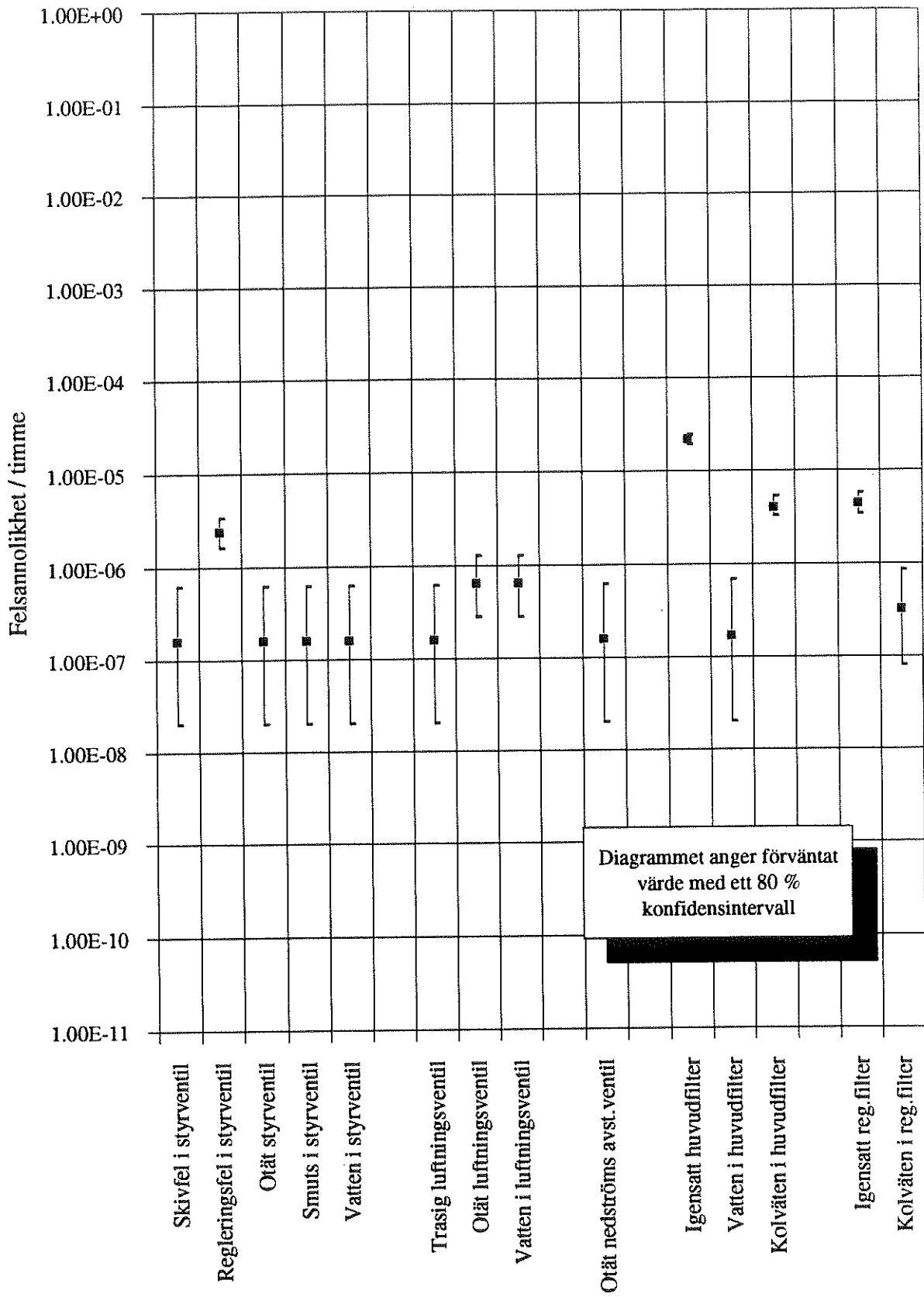
Figur 9 Felsannolikhet för olika komponenter



Figur 10 Felsannolikhet för olika komponenter



Figur 11 Felsannolikhet för olika komponenter i reglerstationer för naturgas

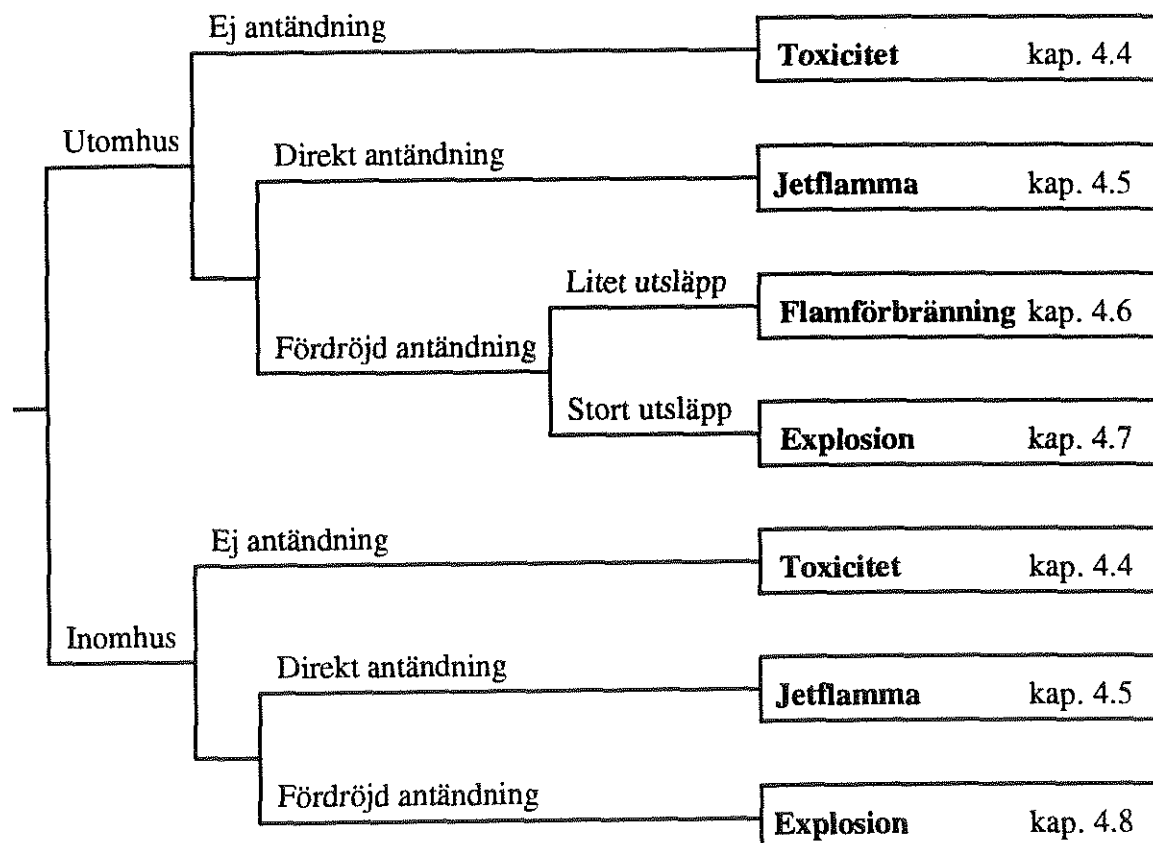


Figur 12 Felsannolikhet för olika komponenter i reglerstationer för naturgas

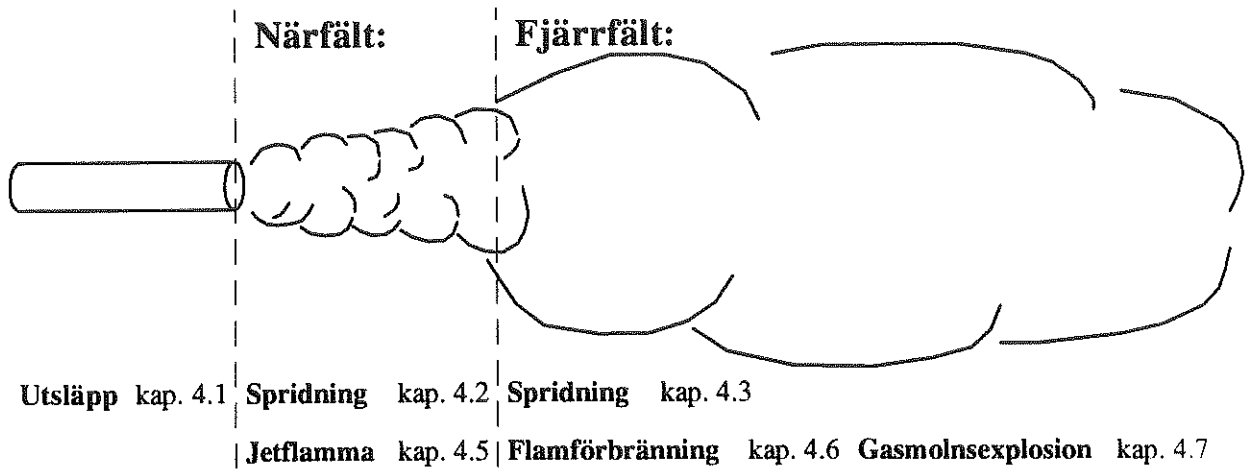
4 Konsekvensmodeller

Beräkning av konsekvenserna av ett gasutsläpp är en komplicerad process. Flera beräkningsmodeller används i en följd, där alla modellerna har sina egna förutsättningar. I figur 13 visas ett händelsetråd för naturgasutsläpp utomhus eller inomhus där det är angivet vilket scenario som blir följden av olika händelser. Beräkningsmodellernas giltighetsområde åskådliggörs i figur 14. I figurerna ges också hänvisning till respektive kapitel i rapporten. I bilaga 4 finns några genomräknade typfall.

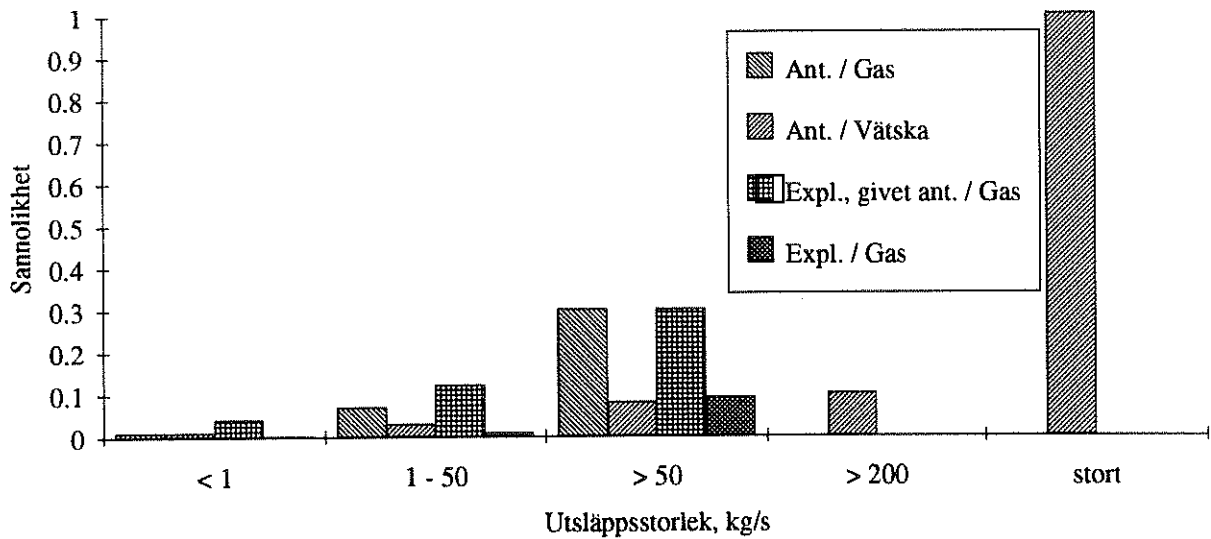
I princip finns det två olika antändningstyper, antingen direkt antändning som resulterar i en jetflamma eller fördröjd antändning som resulterar i en flamförbränning eller en gasmolnexplosion med efterföljande jetflamma. Vid vissa scenario kan antingen jetflamma eller flamförbränning/explosion vara omöjliga. Ett fritt naturgasutsläpp resulterar alltid i en jetflamma vid antändning. Vid utsläpp inomhus blir konsekvenserna jetflamma eller inomhusexlosion. Vidare kan man vid inomhusscenario tänka sig att utsläppet inte antänds utan sakta väller ut genom en öppning i byggnaden och blir på så vis ett utomhusutsläpp. Detta scenario är mycket farligare än ett utsläpp direkt i det fria och kan eventuellt orsaka en flamförbränning eller en gasmolnexplosion vid antändning. I figur 15 och 16 ges sannolikheter för antändning eller explosion vid olika utsläppssituationer [11].



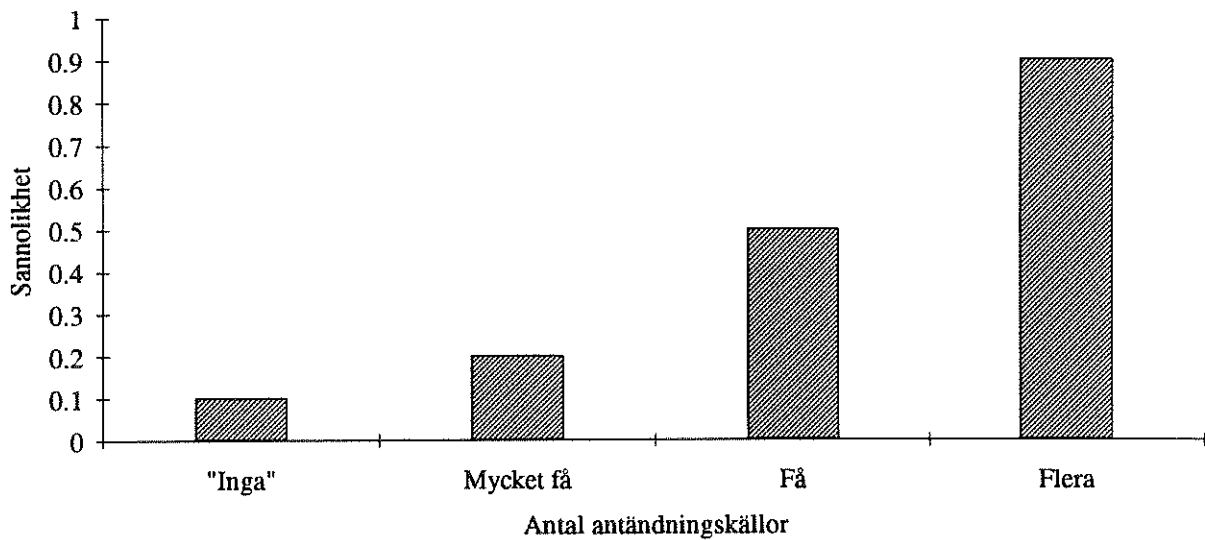
Figur 13 Händelsetråd för naturgasutsläpp



Figur 14 Beräkningsmodellernas giltighetsområde



Figur 15 Sannolikhet för antändning och explosion vid olika utsläppsstorlek



Figur 16 Sannolikhet för antändning beroende på antal möjliga antändningskällor

4.1 Utsläppsmodeller

Vid hål på t ex ett rör eller en tank kan utsläppshastigheten Q (kg/s) beräknas som [12]

$$Q = C_d \cdot A \cdot P \sqrt{\frac{\gamma M}{RT}} \cdot \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1} \frac{1}{2}} \quad (1)$$

där

C_d är en utströmningskoefficient (oftast lika med 0.6),

A är arean av hålet (m^2),

P (Pa) är tryck innanför hålet,

$\gamma = c_p/c_v = 1.31$ för metan,

M är molekylvikt = 0.016 kg/mol för metan,

R är allmänna gaskonstanten (= 8.3143 J/mol K)

och T är temperatur innanför hålet (K).

Sätter vi in värdena för metan får vi

$$Q = 0.029 \cdot C_d \cdot A \cdot \frac{1}{\sqrt{T}} P \quad (2)$$

Ovanstående formler gäller vid kritiskt tryckfall. Kritiskt tryckfall fås då

$$P/P_a \geq \left(\frac{\gamma+1}{2}\right)^{\gamma/\gamma-1} \quad (3)$$

där P_a är omgivningens tryck (= 1 atmosfär). För metan har vi alltså kritiskt tryckfall då

$$P \geq 1.86 \text{ bar}$$

dvs vi har i regel kritiskt tryckfall.

För $P < 1.86$ bar fås utstjäppshastigheten Q som

$$Q = C_d A \sqrt{2\rho_p P \frac{\gamma}{\gamma-1} \left(\frac{P_a}{P}\right)^{2\gamma} - \left(\frac{P_a}{P}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}} \quad (4)$$

där ρ är gasens densitet i röret/tanken. Med värden för metan får vi

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{p^{0,47}}{T} \cdot 741277 - \frac{645745276}{p^{1,76}}} \quad (5)$$

Beräkning av utsläppshastigheten med formlerna ovan ger oftast ett värde på den initiala utsläppshastigheten. Ofta sjunker utsläppshastigheten något under utsläppets gång allt eftersom temperaturen och trycket ändras. Men vet man hur tryck och temperatur varierar precis innanför hålet så gäller ovanstående formler hela tiden. Vid utsläpp från långa pipelines måste man ta hänsyn till friktionsförluster vid beräkning av trycket.

En approximativ formel för utsläpp från brott på en pipeline kopplad till ett större system ges av [13]

$$Q = \frac{AM}{RT} \sqrt{cR_f} \left(\frac{a}{\sqrt{t}} + b \cdot c \sqrt{t} \right) \quad (6)$$

där

c är ljudets hastighet = $\sqrt{\gamma RT/M}$,

R_f är = $D/(4f)$,

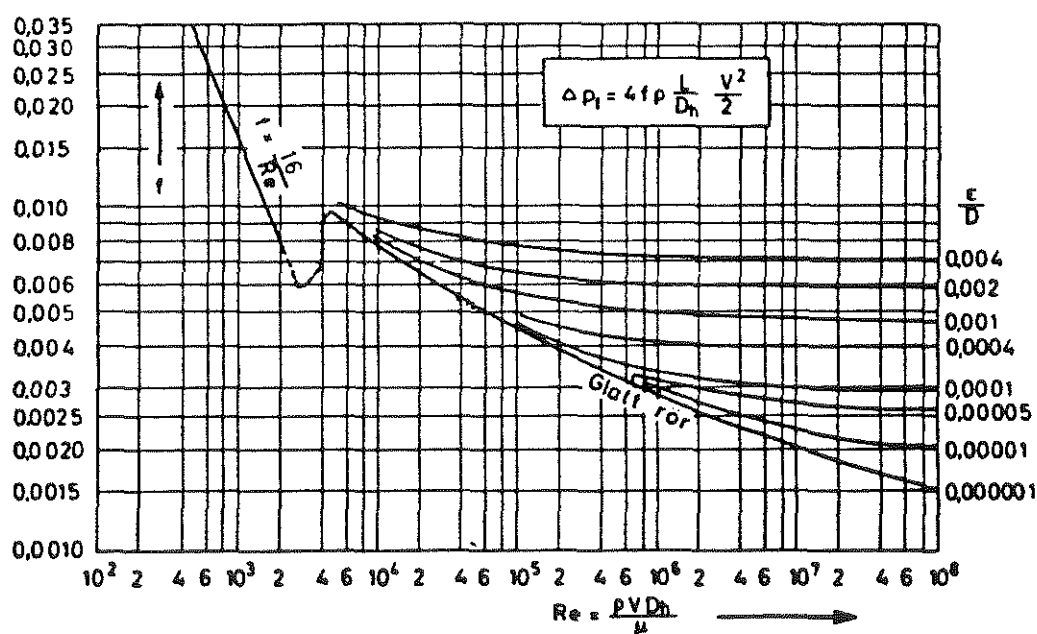
D är rørets inre diameter och f friktionsfaktor, se figur 17,

a är tryck vid hålet innan hålet uppstod,

b är tryckgradienten innan hålet uppstod (Pa/m),

och t är tiden (s).

Denna formel tar hänsyn till den snabba tryckminskningen i pipelinen p g a utsläppet.



Figur 17 Friktionskoefficienten som funktion av Reynolds tal

Vid utsläpp från brott på en pipeline som är stängd i ena änden gäller [14]

$$Q = \frac{Q_o}{1 + \frac{M_o}{\beta Q_o}} \left(\exp \left[-t \beta \frac{Q_o^2}{M_o^2} \right] + \frac{M_o}{\beta Q_o} \exp \left(-\frac{t}{\beta} \right) \right) \quad (7)$$

där

M_o är total massa i pipelinen vid utsläppets början (kg),

Q_o initial utsläppshastighet beräknad ur (1)

och β fås som $\beta = 0.67 \sqrt{\frac{\gamma L}{D}} \frac{L}{C}$

där L är längden av röret (m).

4.2 Närfältet

För beräkning av koncentrationen av gasen nära utsläppet där rörelsemängdsmoment är den stora drivkraften kan man använda Chen och Rodis uttryck [15] för utströmning

$$\frac{\bar{C}(x,r)}{C_o} = 5 \sqrt{\rho_d / \rho_o} \frac{d_o}{x} \exp(-57.3 r^2 / x^2) \quad (8)$$

där ρ_a är luftens densitet (kg/m^3)

ρ_o gasens densitet (kg/m^3)

d_o initiell jet diameter (m)

C_o initialkoncentration $C = 100 \%$.

För naturgas får vi då att nedre brännbarhetsgränsen passeras efter ungefär 125 diametrar.

Ovanstående uttryck gäller naturligtvis endast vid fri jet. Införes små obstruktioner kommer dessa att medföra att jeten blandas ut fortare. Slår däremot jeten i en vägg eller marken så blandas gasen upp och ansamlas. Vid högtrycksutsläpp under mark bildas en krater. Koncentrationen vid dessa fall är svår att förutsäga men en initiell luftinblandning av 10 ggr är lämplig att anta dvs en initialkoncentration på 10 %. Vidare antages total uppbromsning av rörelsemängdsmoment.

4.3 Fjärrfältet

När gasens hastighet blir ungefär lika med vindens hastighet övergår man till fjärrfältet och dispersionsmodeller. Dock ska sägas att denna övergång inträffar i regel efter det att nedre brännbarhetsgränsen har passerats i den fria jeten. Men då jeten har bromsats upp av en vägg eller marken så får vi användning för dessa modeller.

Då naturgas är en lätt gas kan vi använda Gaussdispersion. Standardformeln för en upphöjd kontinuerlig källa är [16]

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left(\exp\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2} + \exp\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2} \right) \quad (9)$$

där C är koncentration (kg/m^3) x lägeskoordinat medvinds, y lägeskoordinat tvärs vindriktningen och z höjdkoordinat, Q är utsläppshastighet kg/s, σ_y och σ_z är dispersionskoefficienter och H är källans höjd ovan marken. Dispersionskoefficienterna beror på väderstabilitet, markens struktur, tid att medelvärdesbilda över, lägeskoordinater x etc. Denna formel förutsätter att källan är upphöjd så att molnet ej nuddar marken, att källan är en punktkälla, samt att marken har samma ytråhet längs med molnet.

Vid momentant utsläpp har vi

$$C = \frac{M}{(2\pi)^{3/2}\sigma_x\sigma_y\sigma_z} \cdot \exp\left(\frac{-(x-ut)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left(\exp\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2} + \exp\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2} \right) \quad (10)$$

där M är utsläppt massa (kg), u vindhastigheten (m/s) och t är tiden (s).

Vid utsläpp med utsläppstider kortare än transporttiden fram till den punkt man är intresserad av använder man uttrycket för momentant utsläpp annars använder man uttrycket för kontinuerligt utsläpp.

Båda uttrycken förutsätter en punktkälla. I praktiken har man aldrig punktkällor utan man får då räkna fram en virtuell källa. Denna källa ska då vara placerad så att den ger den hastighet och koncentration som vi har vid källan. Allt detta gör att man i praktiken inte räknar för hand utan använder datorer i stället.

De beräkningsprogram för konsekvensanalys som finns för PC (CHEMS-PLUS [17], Whazan [18], Great [19], SLAB [20] osv) bygger på Gaussdispersion och de kan alltså

inte ta hänsyn till hinder i form av bebyggelse, nivåkillnader i marken m.m. Vill man göra det måste man ta till mer avancerade datorer och program så kallade CFD modeller (Computational Fluid Dynamics). Dessa modeller kräver en hel del indata och hög kompetens hos användaren.

4.4 Toxicitet

Naturgas i sig är inte giftig och risken för att koncentrationen av utläckande gas skulle bli så hög i ett utrymme att kvävning kan inträffa torde vara mycket begränsad, särskilt som gasen är lättare än luft och därigenom relativt enkelt transporteras bort. Förväxling får härvidlag ej göras med stadsgasen som med 3,5% CO-halt snabbt kan bli livshotande vid läckage i t ex bostadsutrymme. Vad beträffar naturgasen ligger faran i samband med läckage snarare i brand- och explosionsrisken. Vid nedre explosionsgränsen (4-5%) förekommer ingen kvävningsskada men alltså stor explosionsfara. Tyvärr har det inträffat självsvåldiga kvävningsskador med naturgas i bostad som istället lett till kraftiga explosioner.

4.5 Jetflamma

Vid direkt antändning av ett utsläpp fås en jetbrand. Längden L av denna flamma beräknas som [13]

$$\frac{L-s}{D} = \frac{5.3}{C_f} \left(\frac{T_F}{\alpha T} \left(C_f + (1-C_f) \frac{M_{air}}{M_f} \right) \right)^{1/2} \quad (11)$$

där s är "lift off", $C_f = (1+r_i)/(1+r)$, där r_i är initialt luft/bränsletal (oftast = 0) och r är stökiometriskt luft/bränsletal, T_F är adiabatisk flamtemperatur (≈ 2100 K för metan), α är kvoten reaktander/produkter, $M_{air} = 0.029$ kg/mol och M_f är molekylvikten för bränslet (i vårt fall $M_f = 0.016$ kg/mol. Med insättning av övriga värden för metan får vi $\alpha = 1$, $C_f = 0.095$ och alltså

$$\frac{L-s}{D} \approx 200 \quad (12)$$

Vid överljudsutstömning bör hålets diameter D ersättas av en effektiv diameter D_{ef}

$$\frac{D_{ef}}{D} = \frac{1}{M_{ef}} \left(2 + (\gamma - 1) \frac{M_{ef}^2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{4(\gamma - 1)}} \quad (13)$$

Där M_{ef} effektivt Mach tal fås som

$$M_{ef} = \sqrt{\frac{2}{\gamma - 1} \left(\left(\frac{P}{P_a} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right)} \quad (14)$$

med insättning av värden för metan får vi

$$M_{ef} = \sqrt{6.45 \cdot (P^{0.24} - 1)} \quad (15)$$

där P är i atmosfärer (atm) och på samma sätt fås

$$\frac{D_{ef}}{D} = \frac{1}{M_{ef}} \left(\frac{2 + 0.31 \cdot M_{ef}^2}{2.31} \right)^{1.86} \quad (16)$$

"liftoffen" fås som

$$s = \frac{6.4 \pi D}{4} \cdot \frac{u_e}{u_a} \quad (17)$$

där u_e är initial jethastighet och u_a är medeljethastighet, kvoten u_e/u_a är oftast lika med 0.4 och vi får då

$$s \approx 2D$$

Ovanstående uttryck för flamlängd gäller för fri jetflamma med tillräcklig lufttillförsel. Om den slår i något är det på samma sätt som vid beräkning av koncentration svårt att säga något om utseendet. Jetflammar med naturgas är dessutom instabila och slocknar lätt.

Noggrann beräkning av strålning från en flamma kräver tillgång till avancerade numeriska modeller. En god approximation får man dock om man delar upp flaman (ca 10-15 % av den totala effekten) i fem punkter och beräknar strålningen från dessa [18].

För beräkning av jetflammans utseende och strålning kan även CFD modeller användas. De modeller som finns i PC-programmen är i klass med de ovan beskrivna uttrycken.

4.6 Flamförbränning

Vid fördröjd antändning av ett gasmoln får vi oftast en flamförbränning. Flamförbränning är ett relativt ofarligt scenario med en "långsam" förbränningsvåg som förbrukar molnet utan tryckeffekter. För beräkning av strålning från molnet kan man antingen använda samma metod som för jetflamman nämligen fem punktkällor eller så kan man räkna på att molnet ser ut som en halv ellipsoid. Enklast är dock att räkna med fem punktkällor. Molnet antages vara format som en halv ellipsoid med plym V_r givet av ekvationerna [11]

$$V_r = \frac{2\pi}{3} \sigma_x \sigma_y \sigma_z (r_l^3 - r_u^3) \quad (18)$$

$$A_r = \frac{2\pi}{3} (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2) (r_l^2 - r_u^2) \quad (19)$$

med

$$r_l = \left[2 \ln \left[\frac{2m}{(2\pi)^{2/3} \sigma_x \sigma_y \sigma_z k_c} \right] \right]^{1/2} \quad (20)$$

$$r_u = \left[2 \ln \left[\frac{2m}{(2\pi)^{2/3} \sigma_x \sigma_y \sigma_z k_u} \right] \right]^{1/2} \quad (21)$$

där A_r är strålningsarean av det heta gaslagret, k_l koncentration vid nedre brännbarhetsgränsen (kg/m^3), k_u koncentration vid övre brännbarhetsgränsen, m utsläppt massa, r_l och r_u parametrar vid nedre respektive övre brännbarhetsgränsen.

Den effektiva strålningsnivån I_r (W/m^2) fås ur

$$\boxed{I_r = \sigma [T_g^4 - T_a^4]} \quad (22)$$

där σ är Stefan-Boltzmanns konstant, T_a omgivningens temperatur (K) och T_g fås ur

$$T_g = \frac{T_{gi} + T_a}{2} \quad (23)$$

där T_{gi} är adiabatisk flamtempertur. Den effektiva strålningstiden t_{eff} (s) fås ur

$$\boxed{t_{eff} = 3t_{1/2}} \quad (24)$$

där

$$t_{1/2} = \frac{1}{2kT_a^3} \left[\tan^{-1} \left(\frac{\beta+1}{2} \right) - \tan^{-1} \beta - \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\beta+1}{\beta+3} \right) \right] \quad (25)$$

med

$$k = \frac{A_r \sigma}{C_p \rho V_r} \quad (26)$$

där C_p , värmekapacitiviteten och ρ , densiteten hänför sig till det varma gaslagret

och

$$\beta = T_{gi}/T_a \quad (27)$$

Med hjälp av t_{eff} och I_r uppskattas skador på människor och materia.

4.7 Gasmolnsexplosion

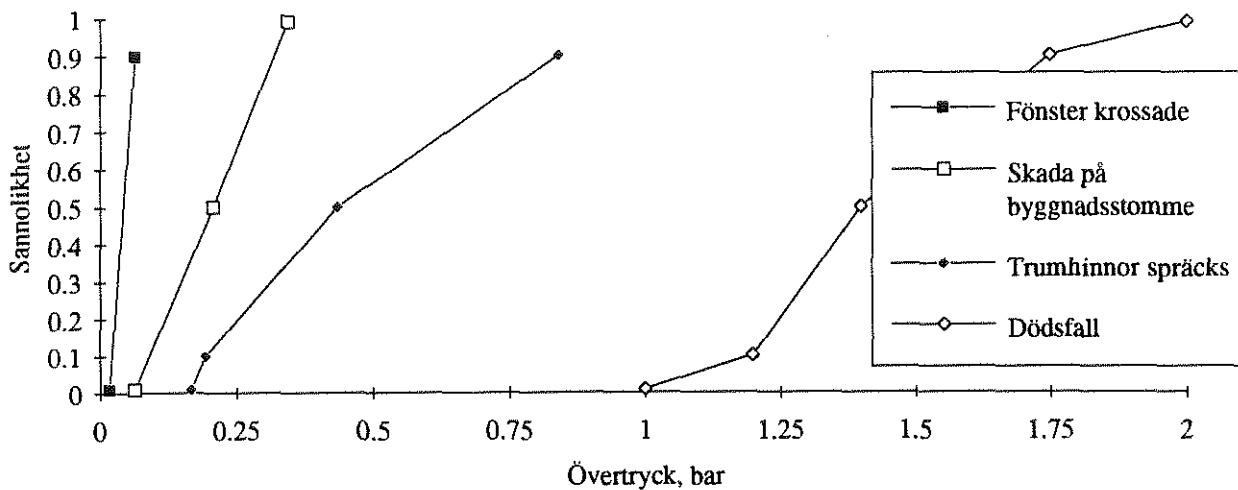
Under speciella förutsättningar kan en antändning av ett gasmoln ge upphov till en gasmolnsexplosion. Vad som krävs är ett stort utsläpp (> 1000 kg i molnet) samt något som ökar turbulensen vid förbränningen, någon form av små obstruktioner. Det är väldigt ovanligt att dessa förutsättningar är uppfyllda för naturgas. Det finns hitills inget fall rapporterat.

För beräkning av konsekvenserna av denna gasmolnsexplosion används den sk TNT-ekvivalentmodellen [11]. I denna modell ersätter man gasmolnets energiinhåll med en ekvivalent mängd av sprängmedlet TNT. Mängden W ges av

$$W = \frac{\eta m E_c}{E_{cTNT}}$$

(28)

där η är en empirisk explosionsfaktor ($0.01 \leq \eta \leq 0.1$), E_c förbränningsvärmets för gasen (= 50 000 kJ/kg) och E_{cTNT} förbränningsvärmets för TNT (= 4437-4765 kJ/kg). I olika diagram avläses sedan det uppkomna övertrycket vid givet avstånd från gasmolnets centrum. Slutligen kan skadeverkan bestämmas exempelvis med hjälp av figur 18.



Figur 18 Sannolikhet för skada vid tryckpåverkan

4.8 Utsläpp inomhus

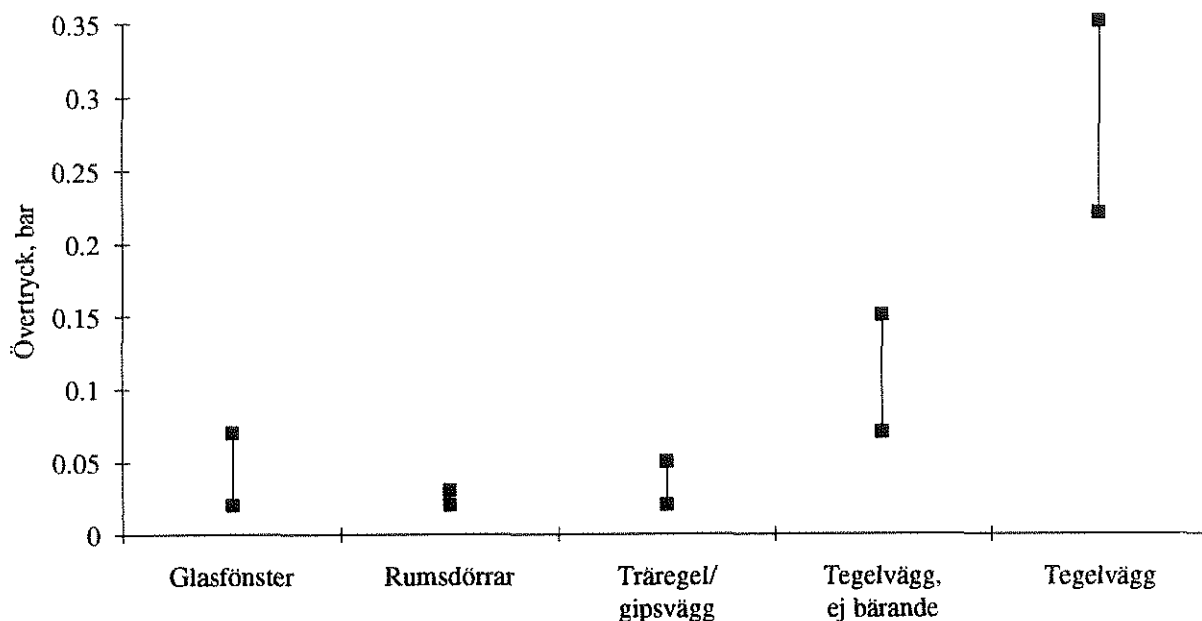
Vid utsläpp inomhus blir det litet annorlunda. Närfält och jetbrand beräknas på samma sätt som utomhus medan koncentrationen i ett rum efter lång tid fås som

$$C = \frac{Q_g}{Q_g + Q_a} (1 - \exp(-(Q_a + Q_g)t/v))$$

där Q_g är utsläppshastigheten för gasen (m^3/s), Q_a är ventilationen i rummet (m^3/s), v rummets volym och t tiden. Detta uttryck förutsätter fullständig omröring i rummet vilket vi oftast inte har. Därför brukar man anse att en antändning är möjlig om koncentrationen överstiger 1/4 LFL, och under vissa förutsättningar bör man endast räkna på den del av rummet som ligger ovanför utsläppspunkten.

Vid en antändning expanderar gasen och luften 5-8 ggr pga temperaturökningen och ger då ett övertryck på 4-7 bar. Ingen byggnad klarar av detta tryck, men man kan skydda

byggnadsstommen från kollaps med hjälp av explosionsavlastning. Storleken på denna tryckavlastning kan man bestämma genom att utgå ifrån det maximala övertrycket som byggnaden tål. Exempel på maximalt övertryck för olika byggnadstyper framgår av figur 19.



Figur 19 Tryckverkan på olika byggnadskomponenter

Avlastningens area kan bestämmas med hjälp av uttrycken [7]

$$P_1 = S_o (4.3 KW_{exp} + 28)/V^{1/3} \quad (30)$$

$$P_2 = 58 \beta S_o K \quad (31)$$

där P_1 är trycktopp (mbar) fram tills att explosionsavlastningen utlöser och P_2 (mbar) är trycktopp efter det att explosionsavlastningen har gett sig, W_{exp} är vikt per ytenhet av explosionsavlastningen (kg/m^2), S_o laminär förbränningshastighet ($= 0.37$ m/s för metan), β är en turbulensfaktor ($1.5 \leq \beta \leq 5$) och $K = A_v/A_v$ då ventilationsytan sitter på den största ytan i rummet och $= V^{2/3}/A_v$ annars A_v är explosionsavlastningsytan, V rummets volym och A_v den yta varpå avlastningen sitter.

5. Diskussion - Slutsatser

Naturgas har en potential att orsaka svåra olyckor framförallt om den på något vis ansamlas och antänds vid ett eventuellt utsläpp. Dock får sannolikheten för detta bedömas som ringa. Sannolikheten för att omkomma i en naturgasolycka är ca 10^{-7} per år i länder med omfattande naturgasanvändning. Man skiljer vanligen inte mellan olyckor som inträffar vid olika delar av naturgasanvändningen. Siffran innefattar alltså olyckor både vid transport och i industrier och hem.

Vid introduktionen av naturgas i Sverige har erfarenheter från länder med en långvarig och omfattande användning av naturgas tagits väl tillvara. Detta har som resultat givit att man har kunnat undvika en mängd fel och olyckor som normalt uppstår då en ny teknik införs. Det gäller nu att även i fortsättningen ha en bra kontroll och organisation så att denna goda start följs av en lika säker framtida naturgasanvändning i Sverige.

I Sverige bedrivs utbildning inom naturgasområdet av flera olika organisationer och utbildningsföretag. Detta är en helt annorlunda uppbyggnad av utbildningssystemet än i t ex i Holland och Danmark, där all utbildning vad gäller användning och distribution av naturgas organiseras av ett enda organ.

I Storbritannien sker en god samverkan mellan gasföretag och entreprenörer som utför grävnings- och pålningsarbeten. Detta kräver regelbundet återkommande kontakter och en god organisation. Ett liknande system vore kanske något att fundera över för svenska förhållanden.

För att korrekt kunna bedöma de risker som naturgasanvändningen medför behövs det någon standard för vad som kan tolereras av samhället. Holland och England har en sådan standard medan den i Sverige saknas helt. Det bästa sättet att jämföra olika risker är att göra en "Quantified Risk Analysis" (QRA). Här anser vi en risk vara sannolikheten för att en händelse ska inträffa multiplicerat med konsekvensen av denna. Dock ställer en QRA stora kompetenskrav både på den som utför analysen och den som ska utvärdera densamma. Lokalt saknas denna kompetens ofta.

Vidare innehåller en analys stora osäkerheter främst på statistiksidan. Utomlands finns det bristfälliga uppgifter på hur ofta komponenter felfungerar men i Sverige saknas detta helt. Det är ofta inte lämpligt att använda de utländska uppgifterna direkt då felfrekvensen påverkas av skötsel och underhåll. Det vore därför av största vikt att skapa ett fungerande system för central rapportering av incidenter och olyckor, även för incidenter inuti anläggningar. Dock kräver detta en attitydförändring hos anläggningsinnehavarna.

Dessutom är det av största vikt att välja rätt beräkningsmodell vid beräkning av konsekvenserna när man utför en QRA. I bilaga 4 ges ett exempel på några utsläppsscenario beräknat på tre olika sätt, varvid stora skillnader observeras.

Ett annat vitt område är strålnings- och tryckpåverkan på komponenter. Detta kan vara av stor vikt att veta då vissa komponenter kan vara av vital betydelse för en anläggnings drift. Vidare kan en liten olycka via påverkan på t.ex. rör orsaka större utsläpp och olyckor. En del industrier innehar viss konfidentiell kunskap om påverkan på komponenter. Vad gäller påverkan på människa så är det relativt väl undersökt. Svårigheterna med att utföra en QRA gör att man inte får se resultatet som en absolut sanning utan hela tiden ha osäkerheterna i åtanke. Däremot är det ett utmärkt verktyg för att kostnadseffektivisera åtgärder för att höja säkerhetsnivån.

Erfarenheten från all slags olyckor har vidare visat att olyckor sker i regel i gränsen mellan olika ansvarsområden. Detta bör man vara speciellt uppmärksam vid skapande av regler och driftsinstruktioner både allmänt och på specifika anläggningar.

Referenser

1. Holmstedt, G. och Löfgren, D., "Risker vid eldning med naturgas i värmeanläggningar för bostadshus - Etapp 1. Beskrivning av naturgas och värmeanläggningar", Lund 1989, SE-LUTVDG/TVBB-3045
2. Holmstedt, G. och Ondrus, J., "Risker vid naturgasuppvärmning i bostäder - Etapp 2. Brandrisker och behovsbedömning av kontrollåtgärder", Lund 1989, SE-LUTVDG/TVBB-3048
3. Major hazard aspects of the transport of dangerous substances, Health & Safety Commission, Advisory Committee on Dangerous Substances, HMSO 1991
4. Premises for Risk Management - Risk limits in the context of environmental policy. Annex to the Dutch National Environmental Policy Plan "Kiezen of Verliezen", Second Chamber of the States General, session 1988-1989, 21137, no 5
5. Morrell, I.F. "A review of the record", Regulation Nov/Dec 1986
6. Sjöberg, L. och Ogander, T.; "Att rädda liv - kostnader och effekter", Ds 1994:14
7. Harris, R.J.; "The Investigation and Control of Gas Explosions in Buildings and Heating Plant", British Gas, 1983
8. Young, P., "Management Responsibility in Disasters: Aberfan and King's Cross compared", Disaster Management, vol 5, no 3, 1993
9. Cox, A.W., Lees, F.P. and Ang, M.L., "Classification of Hazardous Locations", 1990
10. Scarrone, M., Piccinini, N. och Massobrio, C.; "A reliability data bank for the natural gas distribution industry", J. Loss Prev. Process Ind., vol 2, 1989
11. Lee, F.P.; "Loss Prevention in the Process Industries", Butterworth & Co Ltd, 1980
12. "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis". Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1989

13. "Handbook for Fire Calculations and Fire Risk Assessment in the Process Industry", Sintef, ScandPower, 1992
14. Hanna, S.R. och Drivas, P.J.; "Guidelines for the Use of Vapor Cloud Dispersion Models". Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1987
15. Chen, C.J. och Rodi, W.; "Vertical Turbulent Buoyant Jets - A Review of Experimental Data", HMT, The Science Applications of Heat and Mass Transfer, Volume 4, Pergamon Press, 1980
16. TNO; "Methods for the calculation of the physical effects of the escape of dangerous material", "Yellow Book", Directorate General of Labour, Ministry of Social Affairs, Holland 1979
17. "Chems-plus, Consequence modeling software" version 2.0, Arthur D. Little, 1991
18. Whazan manual, Technica 1988
19. Nielsen, M. och Ott, S.; "HEAVY PUFF - an Interactive Bulk Model for Dense Gas Dispersion with Thermodynamical Effects. Risø-M-2635, Risø, 1988
20. Ermak, D.L.; "User's manual for SLAB: An atmospheric dispersion model for denser-than-air releases", Lawrence Livermore National Laboratory, 1990

1 Naturgasens sammansättning och förbränningsegenskaper

1.1 Naturgasens sammansättning (ref 1)

Hur naturgas bildas är ännu ej definitivt klarlagt. Den etablerade och allmänt accepterade uppfattningen är att de största gasfyndigheterna bildades under samma tidsperiod och på ungefär samma sätt som oljan - d v s genom förkolning av djur- och växtorganismer för 300-400 miljoner år sedan. Det finns dock naturgas som inte är äldre än 100-150 miljoner år, t ex den danska Nordsjögasen. Under senare år har emellertid nya teorier framförts som anger att flera olika ursprung skulle kunna vara möjliga, bl a från jordmanteln kommande icke biologisk naturgas - s k djuggas.

Naturgas består av en blandning av olika gaser, vars halter varierar beroende på i vilket område gasen utvinns och hur gammal källan är. Metan (CH_4) är huvudbeståndsdel och utgör normalt 90-99% - det finns dock naturgas som endast innehåller 65% metan. Andra kolväten är etan (C_2H_6), propan (C_3H_8), butan (C_4H_{10}), pentan (C_5H_{12}), hexan (C_6H_{14}) osv. Halterna av dessa varierar, men överstiger sammanlagt sällan 10%. Resterande beståndsdelar är mindre mängder koldioxid (CO_2), kväve (N_2), syre (O_2) och vissa föroreningar. Obehandlad naturgas innehåller dessutom vattenånga, som tillsammans med koldioxid, svavelväte och tyngre kolväten avskiljs i olika behandlingsanläggningar innan gaser distribueras ut i rörledningssystemen.

Tabell 1.1 Naturgasens kemiska sammansättning (Ref 1)

Typ av naturgas	Referens	Deudan	Sovjet	Troms
Kemisk sammansättning				
Metan CH_4 vol %	91,1	88,7	98,9	91,6
Etan C_2H_6 vol %	4,7	5,3	0,2	3,6
Propan C_3H_8 vol %	1,7	1,6	0,0	1,1
Butan C_4H_{10} vol % och tyngre kolväten	1,4	0,6	0,0	0,4
Koldioxid CO_2 vol %	0,5	1,4	0,0	2,4
Kvävgas N_2 vol %	0,6	2,4	0,9	0,9
Övre värmevärde (MJ/Nm^3)	43,0	42,0	37,0	41,0
Undre värmevärde (MJ/Nm^3)	39,0	37,0	34,0	37,0
Relativ densitet	0,62	0,63	0,56	0,62

Referens i tabellen är den danska Nordsjögasen, som ju är aktuell för Sverige och därför används som referensgas. Deudan - naturgas från det västtyska gassystemet. Sovjet - naturgas från de sovjetiska gastillgångarna. Troms - naturgas från de nordnorska gaskällorna på Tromsflaket.

Naturgas innehåller dessutom en del föroreningar, om än i mycket små mängder jämfört med andra bränslen. Vid behandlingsanläggningarna renas dessutom gasen ytterligare från dessa, vilket medför att t ex svavelhalten i den renade gasen inte får ett högre årsmedelvärde än maximal 3 mg S/MJ. Den danska Nordsjögasen innehåller emellertid inte mer än 0.2 mg S/MJ. Detta värde innefattar dessutom de luktämnen som tillförs den luktfria rena naturgasen, för att eventuella läckage lättare skall kunna uppdagas. I Svenska system tillsätts tetrahydrothiophene (C₄H₈S) vilket utgör ett tillägg på 0.17 mg S/MJ.

Övriga föroreningar är mycket låga halter av olika spårelement, varav Radon-222 är det vanligast förekommande radioaktiva. Vid borrhål i Västtyskland har halter på 0,4-0,19 Gq/l uppmätts, men p.g.a. den korta halveringstiden för Radon-222 - 3,8 dagar - överstiger halten i den gas som når konsumenten aldrig 0,014 B1/l, vilket är betydligt lägre än i byggnadsmaterial. I tabell 1.2 jämföres förekomsten av föroreningar i några olika bränslen.

Referensbräns- len		Naturgas	Kol	Eo 1	Eo 5	Torv	Ved
Förorening							
Svavelhalt	mg/MJ	< 0,1 ¹⁾	310	70,0	240,0	120 ²⁾	20 ²⁾
Arsenik As	µg/MJ	< 0,00003	150	0,5	2,0	100	5
Beryllium Be	"	--	40	0,2	0,2	5	--
Kadmium Cd	"	< 0,04	10	0,2	0,7	10	10
Kobolt Co	"	< 0,0001	150	0,5	11,0	100	7
Krom Cr	"	< 0,003	400	0,6	1,2	250	50
Koppar Cu	"	< 0,0003	400	2,5	8,5	500	100
Kvicksilver Hg	"	< 0,004	4	0,09	0,06	5	1
Mangan Mn	"	< 0,001	2000	0,5	0,5	4500	5000
Nickel Ni	"	< 0,001	400	1,0	400,0	300	30
Bly Pb	"	< 0,006	500	3,0	25,0	250	200
Selen Se	"	< 0,0005	60	0,2	2,5	50	10
Torium Th	"	--	120	--	--	--	--
Uran U	"	--	50	--	--	--	--
Vanadin V	"	< 0,0003	900	2,0	300,0	450	100
Zink Zn	"	< 0,003	1000	2,0	20,0	900	1200

Värdena är uträknade med följande under värmevärde							
MJ/kg		49 (39 MJ/Nm ³)	26	41,2	40,5	22 ³⁾	19 ³⁾

¹⁾ inklusive luktämne (åtminstone under de första åren kommer svavelhalten i naturgasen från Danmark att vara högst 0,2 mg/MJ inklusive luktämne)

²⁾ mg/MJ av brännbart

³⁾ torr askfri substans

Streck innebär att uppgift saknas

Naturgasen innehåller alltså avsevärt mycket mindre föroreningar än de övriga bränslena. Jämför man med kol är halterna mer än en faktor 1000 lägre för alla föroreningar utom kadmium och svavel, vilka är en faktor 250 lägre. Den danska naturgasen som används som referensgas i tabellen, innehåller extremt lite svavel, men även i naturgas från andra naturgaskällor överstiger, som omnämnts, ej halten svavel (efter behandling) 3 mg S/MJ. Tung eldningsolja - med 1 % svavelhalt - innehåller som en jämförelse 240 mg S/MJ. Som synes ger själva bränslet i sig, till skillnad från olja och kol, inte upphov till några utsläpp av betydelse. Vid förbränning av naturgas bildas däremot en del miljöförstörande produkter, som har sitt ursprung i själva förbränningsprocessen och inte härrör från föroreningar i bränslet.

1.2 Naturgasens förbränningsegenskaper

Alla fasta och flytande bränslen måste förgasas innan förbränning kan ske, men naturgasen är redan i gasform och klarar sig därför med enklare förbränningsutrustning. Detta medför lägre drift- och underhållskostnader samt längre livslängd än för de konventionella anläggningarna. Dessutom kan förbränningen lättare styras till önskat luftöverskott och reglerbarheten är i de flesta fall bättre än för fasta eller flytande bränslen. Andra fördelar vid förbränning av naturgas är givetvis de låga halterna av svavel och andra föroreningar. Naturgasens renhet och förbränningsegenskaper gör att det inte bildas någon sotbeläggning i förbränningsrum eller på värmeförande ytor, vilket bidrar till en ökad verkningsgrad. Dessa förbränningsegenskaper medför också att en mindre del av den utvecklade energin utgöres av strålningsvärme. Vid eldning av naturgas i pannor flyttas därför värmeöverföringen delvis från eldstaden till konvektionsdelen. Den obetydliga halten av svavelföreningar gör att man utan risk för svavelsyrautfällning kan arbeta med låga rökgastemperaturer vilket ger en högre verkningsgrad.

Rökgasernas sammansättning vid naturgaseldning blir alltså annorlunda än vid förbränning av kol, olja, torv och ved. Stoft i rökgaserna bildas vid ofullständig förbränning av tyngre kolväten och reduktion av kolmonoxid till elementärt kol. Vid naturgasförbränning bildas en avsevärd mindre mängd stoft än vid t ex förbränning av tjockolja. Emissionen av stoft vid naturgaseldning ligger på 0-0,15 mg/MJ, medan motsvarande värde för oljeeldning är ca 10 mg/MJ, d v s omkring 1000 ggr högre (Ref 1). De stora stoftpartiklar som bildas innehåller dessutom nästan enbart kol och inte den mängd av tungmetaller som karakteriserar stoft från förbränning av kol, olja, torv och ved.

Som tidigare framhållits innehåller naturgas en viss mängd svavel, bundet i olika föreningar varav den viktigaste är svavelväte (H_2S). Vid förbränning av dessa bildas den svaveldioxid (SO_2) och svaveltrioxid (SO_3) som förekommer i rökgaserna. För den danska Nordsjögasen, som antas innehålla max 1 mg S/MJ (i själva verket betydligt lägre, åtminstone de första leveransåren), innebär detta ett utsläpp av SO_2 med 2 mg/MJ efter förbränning. Detta kan jämföras med utsläppen från kol- och oljeeldning, där rekommendationen från riksdagen för stora koleldade anläggningar är 100 mg SO_2 /MJ, för mindre koleldade anläggningar 340 mg SO_2 /MJ och där oljelagen sätter en gräns vid oljeeldning på 480 mg SO_2 /MJ. Eldning med flis och torv ger 40 respektive 240 mg SO_2 /MJ (Ref 1).

Av ovanstående framgår att emissioner från naturgaseldning avseende stoft, tungmetaller, svavel m m är av helt underordnad betydelse i jämförelse med emissioner från eldning med kol, olja, torv och ved. Den huvudsakliga emissionen vid naturgaseldning utgöres av kväveoxider, kolmonoxid och oförbrända kolväten. Kväveoxider (NO_x) bildas i samband med förbränningen i eldstaden genom en reaktion mellan kväve och syre. Det finns två källor för kvävet i de kvävoxider som emitteras vid förbränning av fossila bränslen, kväve från förbränningsluften samt kväve bundet i föroreningar i bränslet - s k fuel NO_x .

Fuel NO_x , som för t ex kolförbränning ger det största bidraget till kväveoxidering, förekommer ej vid naturgaseldning, då naturgas helt saknar bränslebundet kväve. Jämfört med andra bränslen ger naturgaseldning normalt lägre halter av NO_x . Vid mätningar har följande värden uppmätts:

Tabell 1.3 (Ref 1)

Typ	Effekt MW	NO_x (beräknat som NO_2) mg/MJ
Kraftverk	> 50	200
Industri	1 - 50	70
Uppvärmning	0,01 - 1	70

Dessa mätningar är gjorda på de naturgaspannor som finns idag, av vilka flertalet ej konstruerats med tanke på låg NO_x-emission. En avsevärd reduktion av NO_x-emissionen kan dock uppnås genom olika förbränningstekniska åtgärder, t ex sänkt förbrännings-temperatur, rökgascirkulation, stegvis förbränning m m. Den största minskningen kan ske i större anläggningar där också de flesta åtgärderna är applicerbara. Som jämförelse anges motsvarande emissioner för kol- och oljeeldade anläggningar med tillämpning av den förbränningsteknik som idag är kommersiellt tillgänglig.

Tabell 1.4 (Ref 1)

Typ	Effekt	NO _x (beräknat som NO ₂), mg/MJ		
		naturgas	olja	kol
Kraftverk	> 50	85	170	150
Industri	1 - 50	60	100	130
Uppvärmning	0,01 - 1	30	70	--

Emission av kolmonoxid och andra oförbrända organiska föreningar förekommer i rökgaser från all förbränning utom vid rena vätgaslägor. Höga halter av dessa ämnen tyder på ofullständig förbränning. Detta innebär att utsläppen av dessa föroreningar blir störst i de mindre panntyperna avsedda för uppvärmning. Några nämnvärda mängder kolmonoxid förekommer dock inte vid riktiga eldningsförhållanden, oavsett bränsle och panntyp. Från undersökningar på pannor vet man att vid naturgaseldning är både halten kolmonoxid och halten oförbrända komponenter något lägre än vid kol- och oljeeldning. Ur luftföroreningssynpunkt är emissionen av kolmonoxid vid naturgaseldning helt betydelselös (Ref 1). Vad beträffar övriga oförbrända komponenter finns det, p g a de mättekniska svårigheterna att påvisa de låga halterna av oförbrända kolväten, lite och osäker emissionsdata att tillgå. De flesta dokumenterade mätresultat som finns rör det cancerogena ämnet benz(a)pyren, där följande halter kan antas:

Tabell 1.5 (Ref 1)

Typ	Effekt	Emission av benz(a)pyren µg/MJ			
		Naturgas	Olja	Kol	Flis
Kraftverk	> 50	0,005	0,01	0,1	0,1
Industri	1 - 50	0,02	0,05	1	10
Uppvärmning	0,01 - 1	0,06	0,1	10	100

Vid alla förbränningsprocesser emitteras koldioxid (CO₂), som ju ger upphov till den s k drivhuseffekten. Olika bränslen emitterar olika stora mängder koldioxid. Jämför vi naturgas, kol och olja, är utsläppen av CO₂ vid naturgasförbränning mindre än hälften jämfört med kol och ca 60% av utsläppen vid oljeeldning.

Sammanfattningsvis kan sägas att de grundläggande skillnaderna mellan naturgaseldning och eldning med kol, olja, torv och ved, är att naturgas är ett betydligt renare bränsle, fritt från tungmetaller och innehållande mycket ringa mängder svavel. Av detta följer att vid naturgaseldning är emissionen av stoft, svaveloxider, tungmetaller och oförbrända kolväten väsentligt mycket mindre. För NO_x och CO₂ är skillnaderna inte så stora, men även där ger eldning med naturgas mindre utsläpp. Vidare är naturgas i gasform, vilket ger vissa förbränningstekniska fördelar, såsom bättre reglerbarhet, mindre och enklare förbränningsanläggningar, lägre drift- och underhållskostnader samt längre livslängd på förbränningsutrustningen.

Slutligen bör det också tilläggas att naturgas i sig inte är giftig och risken för att koncentrationen av utläckande gas skulle bli så hög i ett utrymme att kvävning kan inträffa torde vara mycket begränsad, särskilt eftersom gasen är lättare än luft och därigenom relativt enkelt transporteras bort. Förväxling får härvidlag ej göras med stadsgasen som med 3,5% CO-halt snabbt kan bli livshotande vid läckage i t ex bostadsutrymme. Vad beträffar naturgasen ligger faran i samband med läckage snarare i brand- och explosionsrisken. Vid nedre explosionsgränsen (4-5%) förekommer ingen kvävningsfara men alltså stor explosionsfara. Tyvärr har det inträffat självsvåldiga kvävningsförsök med naturgas i bostad som istället lett till kraftiga explosioner.

Referenser

1. Naturgas, Hälsa, Miljö: "State of-the-Art"-rapport, september 1984, Vattenfall
2. "Naturgasteknik för bostadsuppvärmning", Swedegas augusti 1987

RAIL

Date of incident	Location	Area/site	Substance	Quantity		Consequences			
				Total available	Actually released	Nature of incident		Fatalities	Source of information
28 June 1959	Meldrim, Georgia, USA	Rural/Picnic Area	LPG	36 tonnes	18 tonnes	Derailment Tank ruptured by coupler	Tank breached and released contents, minor explosions and subsequent flash-fire	23	Interstate Commerce Commission Report
18 February 1969	Crete, Nebraska, USA	Urban	Anhydrous Ammonia	90 tonnes	90 tonnes	Derailment Tank fractured on impact	Total release of contents to form toxic cloud	3 from derailment: 6 from exposure to toxic cloud	NTSB Report
21 January 1970	Belle W. Virginia USA	Urban	Anhydrous Ammonia	75 tonnes	75 tonnes	Tank car collision and puncture of tank	Total release of contents to form toxic cloud	0	Safety in Ammonia Plants - 1970
19 July 1974	Decatur, Illinois, USA	Urban (Rail yard)	Isobutane	69 tonnes	69 tonnes	Tank car collision and puncture of tank	Total release of contents, ignition of cloud and explosion	7	NTSE Report
10 November 1979	Mississauga, Canada	Urban	11 Tanks Propane 3 Tanks Toluene 4 Caustic Soda 1 Tank Chlorine 3 Tanks Styrene	90 tonnes	70 tonnes	Derailment of mixed freight wagons. 3 propane tanks exploded	Explosion and fire ruptured propane tankers and chlorine tanker which leaked contents - 25,000 persons evacuated	0	Chemical Age Press Cuttings
31 July 1981	San Luis, Potosi, Mexico	Urban (Railway Station)	Mixed freight including Chlorine (6 vehicles)	3,200 tonnes	90-150 tonnes	Derailment and tank breached	Release of contents to form toxic cloud which spread over wide area	14-20 deaths 280 affected by toxic vapours but subsequently recovered	Press Cuttings

ROAD

Date of incident	Location	Area/site	Substance	Quantity		Consequences			
				Total available	Actually released	Nature of incident		Fatalities	Source of information
25 July 1962	New Berlin, New York, USA	Urban	Propane	13 tonnes	13 tonnes	Failure of tank caused by jack-knifing on collision with tree	Release of tank contents resulted in fire	10	NFPA Quarterly, July 1963
21 August 1968	Lieven, France	Urban	Ammonia	19 tonnes	19 tonnes	Tank collapsed due to corrosion and stress fatigue	Release of tank contents to form cloud	6	Ammonia Plant Safety Vol 12, AICLE
23 October 1970	Hull, UK	Urban	Propane	2 tonnes	0.1 tonnes	Control valve and protective dome of tank sheared off in collision with subway roof	Partial release of tank contents to form cloud and subsequent flash fire	2	Police Report
8 December 1972	Nr Wigan, UK	Rural	Oleum	20 tonnes	15 tonnes	Tanker collided with another vehicle in thick fog	Tank ripped by corner of the other vehicle, contents leaked out, pool formed with heavy fumes	1	Press Report
11 May 1976	Houston, Texas, USA	Urban	Ammonia	19 tonnes	19 tonnes	Vehicle crashed and fell 30 feet. Tank ruptured on impact	Release of contents to form cloud	6	City of Houston Health Dept Review
4 January 1978	Nr Hatfield, UK	Rural	Petrol	19 tonnes	19 tonnes	Vehicle involved in multiple crash and tank ruptured	Release of contents followed by ignition and fireball	0	Press Report
11 July 1978	San Carlos, Spain	Nr Camp Site	Propylene	22 tonnes	22 tonnes	Rupture of overfilled tank	Release of contents followed by ignition and flowing fireball	200	Press Report
16 July 1978	Nr Tula, Mexico	Rural	Butane	4-23 tonnes	4-23 tonnes	Vehicle crashed and overturned. Tank ruptured	Release of contents followed by ignition and explosion	10-15	Press Report

Date of Incident	Location	Area/site	Substance	Quantity		Consequences			
				Total available	Actually released	Nature of incident		Fatalities	Source of information
16 January 1976	Landskrona, Sweden ("Rene 16")	Docks	Anhydrous Ammonia	533 tonnes	180 tonnes	Rupture of rubber liquid hose	Release, formation of toxic cloud	2	Ammonia Plant Safety Vol 19 (1977)
30 December 1978	Sullom Voe, Shetland (Esso Bernicia)	Terminal Jetty	Fuel Oil	---	1174 tonnes	Ship collided with jetty	Fuel tank ruptured and contents released on to sea	0	New Scientist 26 April 1979
8 January 1979	Bantry Bay, Ireland (Betelgeuse)	Terminal Jetty	Heavy crude oil, light crude oil	75,000 tonnes 40,000 tonnes	? ?	Incorrect ballasting caused corroded hull to buckle	Fire and explosion of cargo vapours	50	Official Enquiry
30 August 1979	Good Hope, Louisiana, USA (Inca Tapuo Yupanqui, Panama City)	Mississippi River	General cargo Butane	600 tonnes (7,000 barrels)	600 tonnes (7,000 barrels)	Freighter collided with barge, ruptured butane tanks	Butane exploded and formed fireball	12	NTSB Report
24 July 1980	Rotterdam, Holland (Energy Concentration)	Terminal Jetty	Crude Oil	150,000 tonnes	?	Incorrect unloading caused vessel to split amidships and sink	No fire or explosion	0	Press Reports
3 August 1981	Solent, Nr Southampton, UK (Melpo Lemos)	Inland Waters	Crude Oil	150,000 tonnes	—	Vessel ran aground	No release of cargo	0	Lloyds Report

PIPELINE

Date of incident	Location	Area/site	Substance	Quantity		Consequences			Source of information
				Total available	Actually released	Nature of incident	Nature of incident	Fatalities	
9 December 1970	Port Hudson, Missouri, USA	Rural	Propane	-	360 tonnes	Pipeline failed due to corrosion	Contents released	0	USA Dept of the Interior - Report
22 February 1973	Austin, Texas, USA	Rural	Natural Gas Liquids (Methane to Hexanes)	-	530 tonnes	Pipeline failed due to pipe stress	Contents released and ignited	6	NTSB Report Par-73-4
21 May 1974	Meridian, Mississippi, USA	Rural	Natural Gas	-	?	Pipeline failed due to internal corrosion and embrittlement	Contents released and ignited	5	NTSB Report Par-76-1
12 May 1975	Devers, USA	Rural	Ethane/Propane Mixture	-	800 tonnes	Pipeline failed due to pipe stress	Contents released, ignited and subsequent explosion	4	NTSB Report Par-76-5
20 July 1977	Ruff Creek, Pennsylvania, USA	Rural	Propane	-	145 tonnes	Pipeline failed due to stress corrosion cracking	Contents released, ignited and caused flash fire	2	NTSB Report Par-78-1
4 August 1978	Donnellson, Iowa, USA	Rural	Propane	-	300 tonnes	Pipeline failed due to combined stresses and weakening of line caused by a dent and gouge	Contents released and ignited	3	NTSB Report Par-79-1

Date of incident	Location	Area/site	Substance	Quantity		Nature of incident	Consequences		
				Total available	Actually released		Fatalities	Injuries	
									Nature of incident
4 December 1984	Salford, UK	Urban	Gas oil (not a classified dangerous substance)	136 tonnes	?	Express train ran into back of 14-car tank train. 3 tanks ruptured	Fireball, poolfire	3	76
19 September 1985	Fushun, China	Urban	Chlorine	?	?	Train tanker leaked chlorine into a crowded area	2,000 people forced to seek medical help	?	?
8 July 1986	Miamisburg, Ohio, USA	Urban	Phosphorous	82 tonnes	?	Derailment, rail tanker burst on impact	Fire - 3,000 residents evacuated to avoid phosphoric acid cloud	0	275
12 November 1987	Iri, South Korea	Urban	Dynamite	?	?	Sleeping watchman knocked over candle in a freight car causing large explosion	Explosions spread causing load to explode at a crowded station. 10,000 people made homeless	57	1300
9 April 1988	Manchester, UK	Urban	Petrol	?	?	3 tank wagons derailed - contents started leaking	BR closed all adjacent tracks for 1 day	0	0
2 January 1989	Helena, Montana, USA	Urban	LPG	?	?	48 runaway rail wagons ran downhill for 9 miles before striking LPG wagon	Resulting explosions cut local electricity supply and forced evacuation of 2,000 people in sub-zero temperatures	0	2
3 May 1989	Sarnia, Ontario, Canada	Urban	Ammonia	?	?	15 ammonia wagons derailed following collision with another train	Fire erupted near wagons with ammonia residues. 250 people evacuated	0	0

Date of incident	Location	Area/site	Substance	Quantity		Nature of incident	Consequences
				Total available	Actually released		
7 April 1982	Oakland, California, USA	Urban	Petrol	24 tonnes	24 tonnes	Petrol tanker/trailer collided with stalled car in 2-lane tunnel	Explosion and fire 0
13 June 1984	Salmon Arm, British Columbia, Canada	Rural	Propane	?	?	Tanker collided with another vehicle. Fell down embankment	Gas was released and subsequently exploded 23
1 November 1985	Padaval, India	Rural	Petrol	?	?	Vehicle crashed into ditch, Tank ruptured	Explosion and fire >43
21 March 1986	Calcutta, India	Urban	Petrol	?	?	Tanker collided with crowded bus	Explosion and fire 2
July 1987	Anhui Province, China	Rural	Ammonia	?	?	Ammonia on board truck exploded	
7 July 1987	Herborn, W. Germany	Urban	Petrol	25 tonnes	25 tonnes	Brake failure caused tanker to crash into town centre shop	Explosions and fires over large area - petrol spread through sewers and ignited gas from ruptured mains 4
25 February 1988	Wiltshire, UK	Urban	Diesel	20 tonnes	?	Tanker overturned at road junction, crushing a van and hitting a car nearby river. Drivers of tanker and van killed, car driver injured	Fuel spill onto road and into nearby river. Drivers of tanker and van killed, car driver injured 2
11 April 1988	Walton-on-Thames, UK	Urban	Petrol/Diesel	9 tonnes	9 tonnes	Tanker overturned: failure of internal walls	Most of spill cargo drained into River Thames, necessitating week-long closure of water intakes 0
23 December 1988	Memphis, Tennessee, USA	Urban	Propane	26 tonnes	26 tonnes	Tanker skidded while leaving a busy road	Explosion and fireball. Tanker propelled into house 125 yards away 9
23 May 1989	Alconbury, Cambs, UK	Rural	Ammonia	22 tonnes	?	Tanker began leaking in a cafe lorry park	Cafe evacuated. Load transferred to another tanker 0

Date of incident	Location	Area/site	Substance	Total available	Actually released	Nature of incident	Fatalities	Injuries	
23 December 1981	Millford Haven, UK	Berth	Petrol	?	?	While loading petrol, cargo leaked from the leading hose into the tanker's engine room, where it was ignited. The explosion in the engine room caused the casualties. Port closed for 2 days	Explosion and fire	1	6
26 February 1982	New York, USA	?	Petrol	?	?	When passing under a bridge, sparks from welding on bridge fell into ships manhole	Explosion and fire	1	3
30 July 1984	Louisiana, USA	Channel	Crude oil	10,000 tonnes	?	Grounding caused circumferential split of hull	Release pool	0	0
26 May 1985	San Roque, Spain	Nr oil refinery	Naptha	c. 6,000 tonnes?	c. 6,000 tonnes?	A tanker was unloading naptha on a floating jetty – vapour escaping from the tanks may have been ignited. Tanker exploded, with 500m high fireball. Another tanker (loading gasoline) was engulfed in a poolfire suffering explosions	Explosion and fire	33	37
15 June 1985	Pajaritos, Mexico	Berth	LPG	?	?	A refrigerated tanker was loading LPG when the transfer hose failed (there was no ESD facility). Spilled cargo formed a cloud, which spread to a tug, where it exploded. The fire spread back to the tanker, engulfing it	Explosion and fire	2	15
24 September 1987	Manila Bay, Philippines	Bay	Flammable chemicals	?	?	An oil/chemical tanker was unloading its cargo into 2 barges moored alongside. A fire broke out on one of the barges as a cigarette was lit, causing a chain of explosions	Explosion and fire	15	?

PIPELINE

Date of incident	Location	Area/site	Substance	Quantity		Consequences			
				Total available	Actually released	Nature of incident		Fatalities	Injuries
16 January 1982	River Moselle, France	Rural	Carbon monoxide	?	?	Ship struck bridge causing rupture of carbon monoxide pipeline for 2 days		7	?
25 February 1984	Cubatao, Brazil	Urban	Petrol	700 tonnes	700 tonnes	Pipeline failed due to corrosion	Contents released and ignited	89	?
13 December 1984	Kashmor, Pakistan	Rural	Natural gas	?	?	Pipeline failed due to excessive gas pressure	Contents released and ignited	16	14
28 August 1988	San Juan, De los Reye, Veracruz, Mexico	Rural	Crude oil	?	?	Pipeline ruptured, releasing crude oil and toxic gases	After leak stopped, release exploded. Subsequent fire burned for 5 hours, with heavy damage within 3 mile radius. Many homes destroyed	12	80
25 May 1989	San Bernadino California, USA	Urban	Petrol	?	?	13 days after a train crash, pipeline fractured	Burning contents thrown 400ft into the air. 3 residents killed as 10 houses destroyed by blaze	3	7
4 June 1989	Asha-Ufa, USSR	Urban	LPG	?	?	Long distance NGL pipeline carrying 30% petrol/70% LPG believed to be leaking for 4 hours before spark from passing train ignited gas cloud	Massive explosion and fire. Poor design/construction and operation of pipeline blamed for leak	>500	>500

Behörig installationsledare

Behörig installationsledare skall uppfylla fordringar ifråga om arbetserfarenhet, utbildning och gasröntörskompetens enligt följande:

- **Arbetserfarenhet**

Minst sex års arbetserfarenhet inom rör- eller gasinstallationsyrket, varav minst två år som arbetsledare eller egen företagare. Godkänt avgångsbetyg från teknisk högskola, 4-årig teknisk gymnasieutbildning eller likvärdig utbildning, där denna har värme- och sanitetsteknisk eller maskinteknisk inriktning, minskar kravet på arbetserfarenhet inom rör- eller gasinstallationsyrket till fyra år och ersätter kravet på erfarenhet som arbetsledare eller egen företagare. Innehavare av mästarbrev inom rörinstallationsyrket fyller fordringarna ifråga om arbetserfarenhet. Sökande som saknar mästarbrev skall visa att han under angiven tid arbetat inom nämnda fackområde.

- **Utbildning**

Installationsledareutbildning enligt SGFs krav avslutad med av SGF fastställd examination.

- **Gasröntörskompetens**

Arbetserfarenhet av gasinstallationsyrket enligt ovan uppfyller kravet på gasröntörskompetens. Erfarenhet av rörinstallationsyrket skall kompletteras med gasröntörspraktik, verifierad av gasdistributör eller av SGF anvisad gasröntörsutbildning.

Några konsekvensberäkningar

Nedan redovisas resultat från beräkningar av sex olika utsläppssituationer. Beräkningarna vill visa på de osäkerheter som råder vid beräkningar av konsekvenser. Utsläppsscenarioerna är valda med hänsyn till de vanligast förekommande rören. Beräkningarna är gjorda med programmen Whazan och ChemsPlus samt med de formler som finns redovisade i denna rapport och spridningsprogrammet SLAB. Whazan och ChemsPlus är två enkla, men ganska användarvänliga program som bygger på handräkningsmetoder. SLAB är ett rent spridningsprogram som ger ett bra resultat, men som inte är särskilt användarvänligt. De sex utsläppssituationerna är:

1. Totalbrott på 80 bars ledning Ø400. Detta scenario är i och för sig väldigt osannolikt men tas med för fullständighetens skull.
2. 80 mm hål på 80 bars ledning. Ett möjligt grävhål på en ledning.
3. Totalbrott på 16 bars ledning Ø200.
4. 80 mm hål på 16 bars ledning.
5. Totalbrott på 4 bars ledning Ø63.
6. Litet hål, 1cm^2 , (=5.6mm diameter) på 80,16 och 4 bars ledning

Vid beräkningarna har omgivningstemperaturen satts till 20°C, vindhastigheten till 3 m/s och väderstabiliteten till D, en vanlig vädertyp.

Vid ett fritt utsläpp utan hinder som bromsar upp luftinblandningen resulterar alla utsläppen i jetflammar. Detta beror på att luftinblandningen är så stor att koncentrationen snabbt sjunker under nedre brännbarhetsgränsen. I tabellerna nedan finns jetflammans längd samt avstånd till 20 kW/m² vilket ger 2:a gradens brännskador inom 10s. I Chemstabellen anger siffran inom parentes i kolumnen jetflamlängd och den utsläppshastighet som programmet plötsligt ändrar sig till av någon outgrundlig anledning. I figur 1 visas riskområdet till en strålningsnivå på 32 kW/m² beräknat med WHAZAN från en jet från ett utsläpp ur ett 80 mm hål på en 80 bars ledning.

Vid beräkning av konsekvenserna vid utsläpp som bromsas upp ansätter man ett utsläpp helt utan initial hastighet i Whazan och Chems. I fallet handräkning + SLAB har den "utsläppande" ytan satts till 2 m² i scenario 1 och till 1 m² i övriga fall. I tabellerna redovisas längd * bredd till nedre brännbarhetsgränsen för Whazan, endast längd för Chems, samt längd * bredd för SLAB. Framförallt resultaten för den ofria jeten varierar kraftigt. Detta beror på att SLAB tar hänsyn till att naturgas är en lätt gas och lättar från marken enligt figur 2. Som resultat anger SLAB också brännbar massa, som är ingångsdata vid beräkning av konsekvenserna av en gasmolnexplosion. I figur 3 visas konsekvenserna av ett moln innehållande 1000, 5000 och 10000 kg, beräknat med Whazan.

Tabell 1. Beräkning av utsläppshastighet (kg/s)

Scenario	Handräkning + SLAB utsläppshast. (kg/s)	Whazan utsläppshast. (kg/s)	ChemsPlus utsläppshast. (kg/s)
400 mm, 80 bar	1050	1070	1080
80 mm, 80 bar	42	43	43
5.6 mm, 80 bar	0.83	0.84	0.86
200 mm, 16 bar	55	55.0	56.8
80 mm, 16 bar	8.8	8.93	9.09
5.6 mm, 16 bar	0.17	0.18	0.18
63 mm, 4 bar	1.6	1.63	1.66
5.6 mm, 4 bar	0.05	0.052	0.053

Tabell 2. Beräkning av jetflamlängd (m)

Scenario	Handräkning + SLAB jetflamlängd (m)	Whazan jetflamlängd (m) ^a	ChemsPlus jetflamlängd (m) ^a
400 mm, 80 bar	133	293 (1000 kg/s)	797 (1740 kg/s)
80 mm, 80 bar	27	83	159 (69.8 kg/s)
5.6 mm, 80 bar	3.8	17	22 (1.39 kg/s)
200 mm, 16 bar	55	92	183 (91.6 kg/s)
80 mm, 16 bar	22	45	73 (14.7 kg/s)
5.6 mm, 16 bar	3.1	9.3	10.3 (0.292 kg/s)
63 mm, 4 bar	15	23	31 (2.7 kg/s)
5.6 mm, 4 bar	2.7	7.4 (0.10 kg/s)	5.6 (0.0862 kg/s)

^a Utsläppshastighet inom parentes

Tabell 3. Beräkning av avstånd till 20 kW/m², längd x bredd (m)

Scenario	Handräkning + SLAB avstånd, l x b (m)	Whazan avstånd, l x b (m)	ChemsPlus avstånd, l (m) ^a
400 mm, 80 bar	255 x 173	392 x 184	216 (1745 kg/s)
80 mm, 80 bar	52 x 35	99 x 36	45 (69.8 kg/s)
5.6 mm, 80 bar	8 x 5	19 x 5	7 (1.39 kg/s)
200 mm, 16 bar	76 x 38	110 x 41	51 (91.6 kg/s)
80 mm, 16 bar	31 x 16	51 x 16	21 (14.7 kg/s)
5.6 mm, 16 bar	5.1 x 3.0	10 x 3 (14 kW/m ²)	3.3 (0.292 kg/s)
63 mm, 4 bar	18 x 6	25 x 7	9 (2.7 kg/s)
5.6 mm, 4 bar	3.7 x 2.0	8 x 2 (12 kW/m ²)	1.8 (0.0826 kg/s)

^a Utsläppshastighet inom parentes

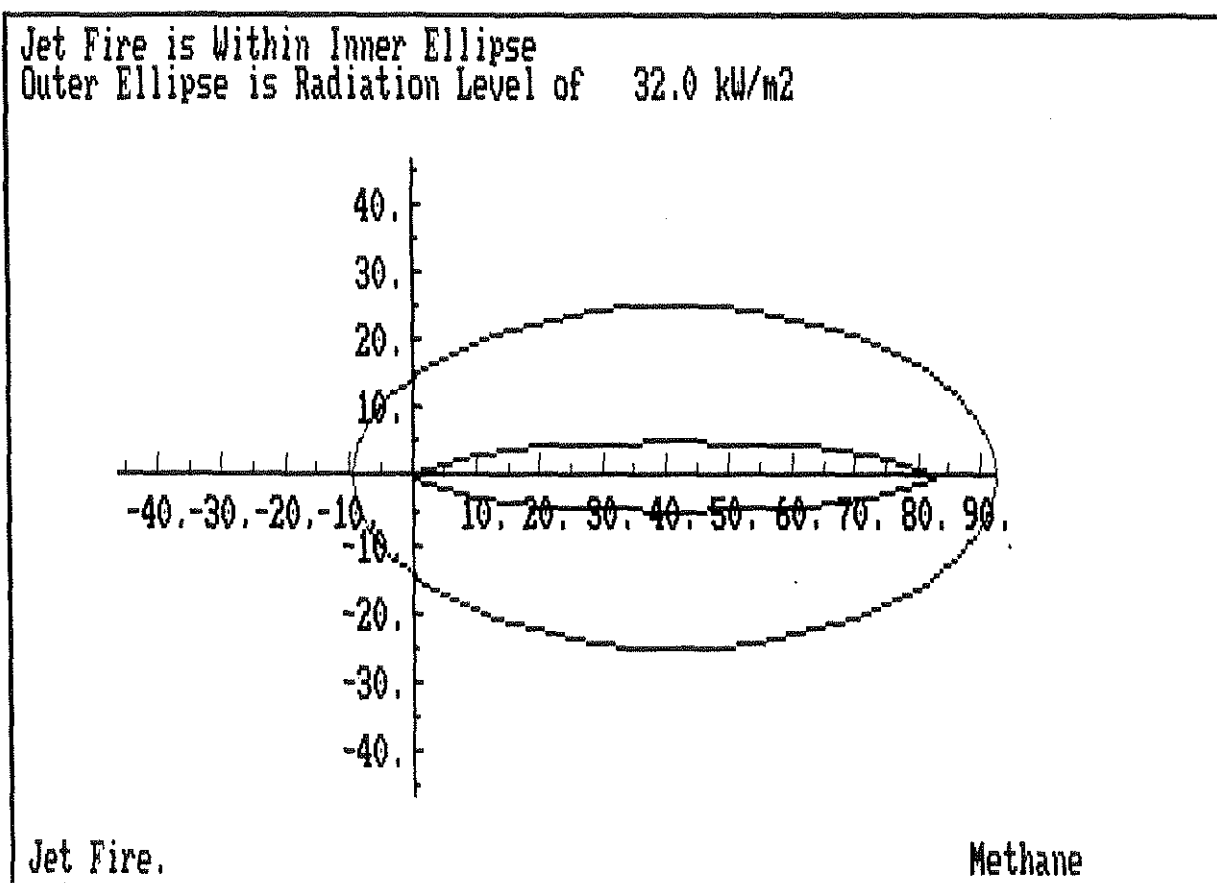
Tabell 4. Beräkning av moln vid bromsat utsläpp, längd x bredd (m)

Scenario	Handräkning + SLAB moln, l x b (m) ^a	Whazan moln, l x b (m)	ChemsPlus moln, l (m)
400 mm, 80 bar	148 x 45 (42100 kg) ^b	1090 x 61	1890
80 mm, 80 bar	148 x 14 (32200 kg) ^c	172 x 11	249
5.6 mm, 80 bar	44 x 3 (29 kg) ^c	31 x 2	27
200 mm, 16 bar	148 x 15 (4050 kg) ^c	199 x 13	296
80 mm, 16 bar	127 x 8 (679 kg) ^c	75 x 5	92.3
5.6 mm, 16 bar	18 x 2 (4 kg) ^c	15 x 1	4.41
63 mm, 4 bar	59 x 4 (69 kg) ^c	32 x 2	38.5
5.6 mm, 4 bar	8.9 x 1 (1 kg) ^c	-	1

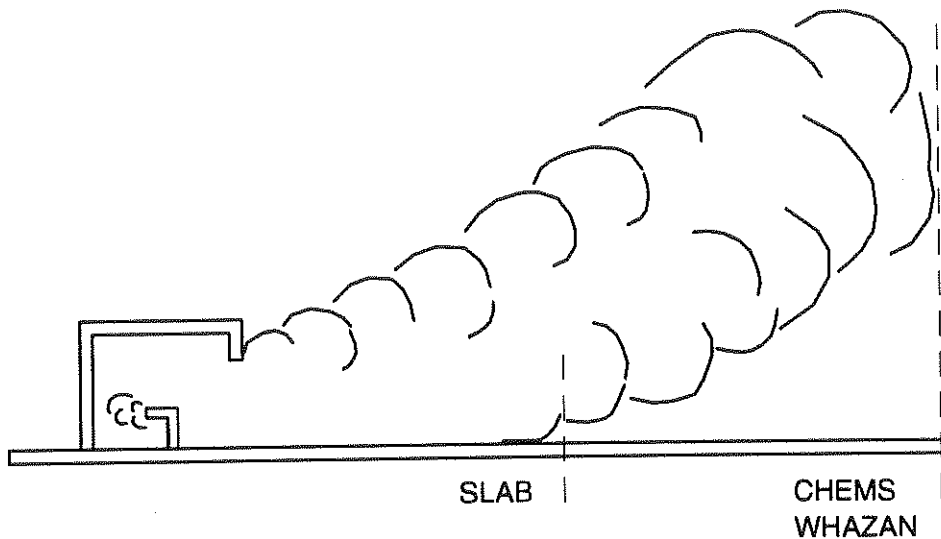
^a Utsläppsmängd inom parentes

^b Utsläppsyta 4 m²

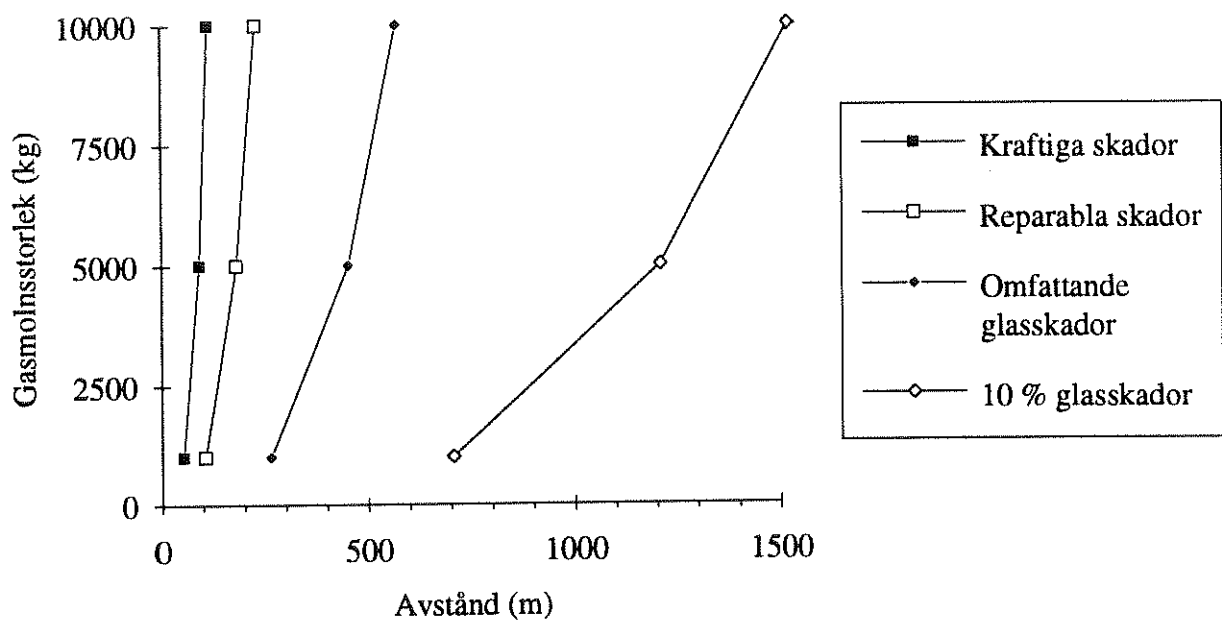
^c Utsläppsyta 1 m²



Figur 1 Avstånd till 32 kW av jetflamma ur 80 mm hål 80 barö, Whazan



Figur 2 Spridning av utsläpp utan rörelsemängdsmoment.



Figur 3 Konsekvenser av gasmolnexplosion, Whazan

Utsläpp av naturgas inomhus resulterar i jetflamma eller explosion. Jetflammans längd och strålning blir detsamma som utomhus. Vid ett utsläpp på 1.66 kg/s i ett rum 10 x 20 x 6 m med fem luftväxlingar per minut kommer en antändning efter 6 s och mer att resultera i en inomhusexlosion.

