

**Miljøprojekt
nr.112**

1989

**Kvantitative og
kvalitative kriterier
for risikoaccept**

Miljøstyrelsen

Miljøprojekt

- Nr. 62: Luftforurening med kvælstofoxider i Danmark
- Nr. 63: Anvendelse af analyseresultater ved vandkontrol
- Nr. 64: Kosmetik - bivirkninger
- Nr. 65: Miljøfremmede stoffer i kommunalt spildevand
- Nr. 66: Undersøgelser af blødt aggressivt vand
- Nr. 67: Kilder til grundvandsforurening
- Nr. 68: Aktiveret iltning af ferrojern i vand fra Hvidmosen
- Nr. 69: Forbrug og forurening med chlorphenoler
- Nr. 70: Organiske opløsningsmidler
- Nr. 71: Kviksølv i havneslam
- Nr. 72: Organic solvents
- Nr. 73: Arealanvendelse og geologi - nitrat i grundvand
- Nr. 74: Kviksølv i danske ferskvandsøkosystemer
- Nr. 75: Forureningstilstanden i danske svømmebade
- Nr. 76: Nitrat og pH i drikkevand
- Nr. 77: Kviksølv i jord
- Nr. 78: Drænvandskvalitet fra pyritholdige arealer
- Nr. 79: Leptospira-bakterier i rotter ved dambrug og landbrug
- Nr. 80: Svømmebade og sygdomsrisici
- Nr. 81: Lokale forureninger og helbredseffekter
- Nr. 82: QSAR og toksikologi - en ny strategi i kemikalievurdering
- Nr. 83: Forurening fra gamle affaldsdepoter uden kemikalieaffald
- Nr. 84: Alternativ lossepladsteknologi - en litteraturgennemgang
- Nr. 85: Tilførsel af næringsstoffer til vandløb
- Nr. 86: Genanvendelse af tekstilaffald
- Nr. 87: Substitution af PVC-plast med andre plastmaterialer
- Nr. 88: Emballage til mælk og juice
- Nr. 89: Vandressourcerne og klimasvingninger
- Nr. 90: Nikkelafgivelse fra metallegeringer
- Nr. 91: Algetoksicitetstest
- Nr. 92: CFC-forbrugsmønster i Danmark
- Nr. 93: Mikrobiel nedbrydning af miljøfremmede stoffer i grundvand
- Nr. 94: Genanvendelse af madaffald fra storkøkkener i København
- Nr. 95: Bundfaunaundersøgelser som redskab til overvågning
- Nr. 96: Svovlbrintedannelse og -kontrol i trykledninger
- Nr. 97: Renere teknologi i fiskeindustrien
- Nr. 98: Renere teknologi i træ- og møbelbranchen
- Nr. 99: Kompostering af haveaffald i Frederiksborg amt
- Nr. 100: Hazard Assessment of 1,1,1-Trichloroethane
- Nr. 101: Organiske opløsningsmidler i husholdningsprodukter
- Nr. 102: Fuglefaunaen på konventionelle og økologiske landbrug
- Nr. 103: Sprøjtefri randzoner i kornmarker
- Nr. 104: Miljøforbedring ved hovedseparation i rejepilleindustrien
- Nr. 105: Forbrug og forurening med bly i Danmark
- Nr. 106: Haloner - forbrugsmønster i Danmark
- Nr. 107: Galvanisk overfladebelægning uden affald og spildevand
- Nr. 108: Madaffald fra storkøkkener - organisation af indsamling og oparbejdning
- Nr. 109: Erstatningsstoffer for fosfat - spredning og effekter i miljøet
- Nr. 110: Olie/kemikalieaffald - en spørgeskemaundersøgelse
- Nr. 111: Undersøgelser af vejledende pyritgrænseværdier
- Nr. 112: Kvantitative og kvalitative kriterier for risikoaccept

Miljøprojekt nr.112

1989

**Kvantitative og
kvalitative kriterier
for risikoaccept**

**Miljøministeriet
Miljøstyrelsen**

Miljøstyrelsen vil, når lejlighed gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

FORORD

Denne rapport er udført som en uafhængig faglig udredning, på anmodning af og med finansiering fra Miljøstyrelsen.

Rapporten er resultatet af et samarbejde mellem 8 personer:

J.R. Taylor	ITSA (Projektleder)
C.G. Petersen	ITSA
J. Kampmann	COWIconsult
L. Schepper	COWIconsult
E.K. Kragh	OC Rådgivende Ingeniører
R.S.Selig	OC Rådgivende Ingeniører
P. Becher	Forskningscenter Risø
K.E. Petersen	Forskningscenter Risø

Diskussioner om risikoaccept er altid vanskelige, og arbejdet har været både langt og kompliceret. Gruppen anså det dog for vigtigt at opnå et resultat, således at forskellige former for risikoanalyser af kemiske anlæg, der i dag udarbejdes i Danmark, kan bedømmes efter ensartede eller sammenlignelige kriterier. Dette er lykkedes, og arbejdet er derved et fremskridt i forenkling og nyttiggørelse af risikoanalyseteknikken, uafhængig af de aktuelle risikoniveauer, der anbefales som maksimalt tilladelige.

De anbefalede maksimumniveauer er blevet relateret til "god ingeniørmæssig praksis". Dette er en variabel størrelse, og erfaring fra "lande vi plejer at sammenligne os med", er blevet benyttet, for at danne referencerammen. En efterprøvning af de anbefalede kriterier vil kræve langt mere omfattende projekter med gennemførte praktiske analyser af flere anlæg. Konklusionerne kan derfor kun opfattes som vejledende, og må kun benyttes som et udgangspunkt for afgørelser.

Rapporten skal således ikke opfattes som en færdig vejledning i, hvorledes man vurderer eller godkender på basis af risikoanalyser, end ikke på ingeniørplan. Der er dog en tilstrækkelig basis i anbefalingerne og metodebeskrivelserne til at danne et udgangspunkt for de risikoanalytiske aspekter i en vurdering.

INDHOLD**SIDE****FORORD**

1.	Risikoaccept - baggrund og motivering	7
	Målsætning for rapporten	7
	Afgrænsning af projekt	8
	Risikoanalysens begrænsninger	10
	Rapportens opbygning	11
2.	Konklusioner	12
	Hovedkonklusioner	12
	Tekniske acceptkriterier	14
	Valg af fremgangsmåde	15
3.	Risikobegreber, mål og vurdering	18
	Måling af risiko	18
	Vurdering af risiko	19
4.	Eksisterende risikoniveauer	22
	Individuel risiko	22
	Samfundsrisiko	22
5.	Analysemetoder og acceptkriterier	27
	Risikoaccept - processen	27
	Mulige acceptprincipper	28
	Risikoreduktion	30
	Inherent sikkerhed	31
	Fremgangsmåde ved kvalitativ analyse	32
	Fremgangsmåde ved kvantitativ analyse	33
	Fordele ved kvantitativ analyse	34
	Fordele ved kvalitativ analyse	35
6.	Normer og standarder	37
	Normer	37
	Udarbejdelse og vedligeholdelse	38
	Normers opbygning	39
	Standarder	39
	Tekniske varestandarder og sikkerhed	40
	Sikkerhedsrelaterede standarder	40
	Godkendelse på basis af standarder	41
7.	Kvantitative kriterier for risikoaccept	43
	Lovgivning og regler	43
	Præcedens fra aktuelle sager	44
	Anbefalinger fra litteraturen	46
	Risikoindex	49
	Anlæggets størrelse	49
	Anbefalede kriterier	51
	Argumenter, individuelt risikokriterium	52
	Argumenter, samfundsmæssigt kriterium	53

8.	Kvalitative kriterier for risikoaccept	55	
	Beskrivelse af farlige hændelsesforløb	56	
	Vurdering af hyppighed	57	
	Konsekvensvurderinger	58	
	Vurdering af barrierer	61	
	Vejledende acceptkriterier	62	
	Afstand som barriere	64	
	Barriere - pointsystem (tabeller)	65	
	Forenklede kriterier	69	
	Argumenter for og imod kriterierne	70	
9.	Forudsætninger for anvendelse af kriterierne	71	
	Krav til sikkerhedsstyring		73
	Referencer	74	
	Appendix A Afstand som barriere.	77	
	Appendix B Eksempel 1, LPG lagertank.	101	
	Appendix C Eksempel 2, Uheld hos Nobel Kemi, Karlsskoga, Sverige.	121	

1. Risikoaccept - baggrund og motivering.

Mange former for moderne industrianlæg har et potentiale for større uheld. Disse omfatter energiforsyningsystemer, transportsystemer, anlæg til produktion og distribution af kemiske stoffer, fremstilling af madvarer og medicinalprodukter, gødnings og pesticidanvendelse i landbrug, og fremstilling af mange former for plastprodukter.

Blandt disse aktiviteter er risikoforholdene ved energiforsyning, kemiske produktion og transport de mest undersøgte og bedst kendte. Denne rapport omhandler primært energi- og kemiindustrier, ikke fordi disse frembyder den største risiko, men fordi flere love herunder miljøbeskyttelsesloven (med underbygning af bekendtgørelser mv.) kræver, at risikokilder ved mange virksomheder i disse industrier kortlægges.

Risikoanalyse

Enhver form for menneskelig aktivitet medfører risiko. Formålet med risiko- eller sikkerhedsanalyse er at kortlægge disse risici på systematisk vis, således at risikoen kan begrænses. Total fjernelse af risiko er umuligt, med mindre man opgiver aktiviteten. At opgive en aktivitet medfører ofte at en risiko ændres til en anden. Der er derfor behov for kriterier til at afgøre, hvornår man har reduceret risikoen tilstrækkeligt, hvornår en aktivitet bør opgives eller erstattes af alternativer.

Godkendelse af potentielt farlige anlæg kræver beslutninger, som ofte er meget vanskelige. Risikoen bestemmes ikke kun af mængden af et farligt stof, men også af dets tilstand, af tekniske detaljer i behandlingsprocessen, anlæggets placering og af de personer, som er ansvarlige for processen. En rationel godkendelsesprocedure skal i det mindste tage hensyn til disse faktorer. En ideel procedure vil derudover tage hensyn til fordele og ulemper for alle de involverede parter.

Krav til acceptkriterier

Der er nogle grundlæggende krav til ethvert godkendelsesprincip, hvis det skal kunne bruges i praksis. Det skal være operationelt og ikke kræve for megen tolkning, ellers kan senere beslutninger baseres på misvisende præcedens, idet forudsætningerne for tolkningen er skjult. Det skal være ensvirkende, således at nogle anlæg ikke diskrimineres, og det skal være forståeligt og gennemskueligt, således at beslutninger ikke drages i tvivl på grund af misforståelser eller forvirring. Det skal helst være effektivt. Og endelig skal det være dækkende, således at ingen væsentlige kilder til risiko overses.

Målsætning for projektet

Baggrunden for projektet er arbejdet med opfyldelse af "Risikodirektivet" (ref. de Europæisk Økonomiske Fællesskaber, 82/501/EØF) og de tilhørende danske bekendtgørelser, som er udformet som et led i implementeringen af direktivet i dansk lovgivning.

Målsætningen for dette arbejde har været:

1. At beskrive kvalitative kriterier for risikoaccept, sikkerhedsbarrieretyper samt eksisterende sikkerhedsnormer og - standarder relateret til barrierefilosofien.
2. Beskrive hvordan det kan vises, at kvantitative kriterier er opfyldt ved tilstedeværelsen af barrierer, når der er behov for at relatere til kvantitative kriterier.
3. Beskrivelse af metoder til bedømmelse af barrierers pålidelighed og kvalitet. Beskrivelsen underbygges ved eksempler.
4. Beskrivelse af kriterier til vurdering af muligheden for "smutveje" omkring sikkerhedsbarrierer.
5. Beskrivelse af vurderingsmetoder for kvalitative analyser, belyst ved eksempler.
6. Vurdering af afstand og vejrforhold som barriere.
7. Dokumentere hvilke kvantitative niveauer der svarer til god praksis og almene kriterier om risikoaccept. (jfr Betænkning om betydelige risici, no 1045 1985)
8. Beskrive hvorledes kvantitative vurderinger kan dokumenteres på en betryggende måde.
9. Beskrive de omstændigheder som vil gøre en kvantitativ vurdering nødvendig.

Afgrænsning af projektet

Risikoaccept er dels et etisk og dels et politisk spørgsmål. Der er intet teknisk eller videnskabeligt grundlag, der kan bruges til at afgøre om et niveau er rigtigt og acceptabelt, og at et andet er uacceptabelt. Denne situation afspejles i en variation af acceptabilitetens grænser fra land til land, fra egn til egn og mellem forskellige risikotyper.

Teknisk vurdering

Teknisk vurdering af risiko kan derfor kun være et led i en samlet risiko-vurdering. Det er alligevel hensigtsmæssigt, at der eksisterer en vejledning eller norm for "det som plejer at accepteres". Uden dette er det sandsynligt, at der vil forekomme forslag til nye konstruktioner, som alene af tekniske årsager er uacceptable. Derved vil ressourcer spildes og godkendelsesprocessen belastes unødvendigt. Teknikere skulle helst kunne gøre deres hjemmearbejde færdigt og have et mål at designe efter. Hvordan man vil tilrettelægge en helhedsvurderingsprocedure er i dag uklart, men tekniske risikovurderinger er antageligt kun en del af det samlede beslutningsgrundlag. Det er imidlertid sikkert, at der er et behov for at gøre den tekniske risikovurdering og de tilhørende vurderingskriterier, forståelige og gennemskuelige.

Dette projekt beskæftiger sig med de tekniske aspekter af risikoaccept. For at kunne fremstille planer, analyser og anmeldelser af anlæg er teknikeren nødt til at vide, hvad man normalt betragter som acceptabelt. Projektet har til formål at præcisere disse niveauer, i en form som kan

bruges i en teknisk vurdering af et anlæg.

Det må forventes at en helhedsvurdering vil kræve vurdering af mange andre faktorer. Nogle af disse beskrives i kapitel 3, og vil for det meste falde udenfor teknikeres kompetenceområde og dermed også udenfor rammen af dette projekt.

Figur 1.1 udtrykker dette på en måde som fremhæver forskellen imellem en teknisk vurdering og en administrativ/politisk vurdering.

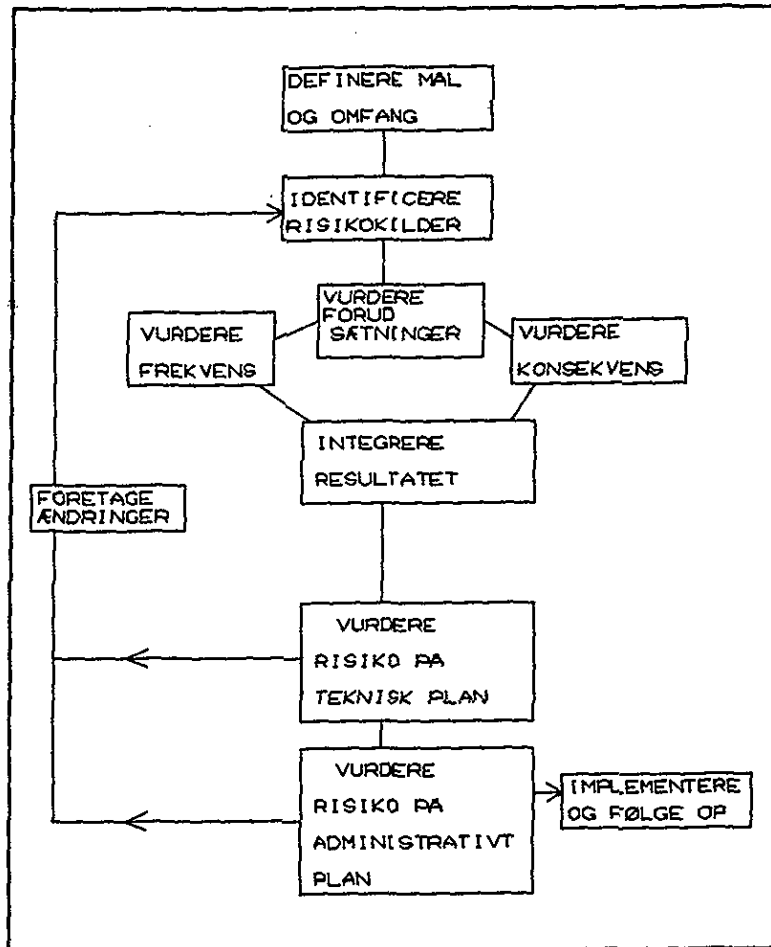


Fig. 1.1 Fremgangsmåde ved risikovurdering

Projektet beskæftiger sig alene med risikoen uden for virksomhedens område. Projektet beskæftiger sig hovedsagelig med risiko for dødsfald og varige skader.

Der er andre aspekter af risikoaccept, som ligger inden for det tekniske område, men som kun er nævnt her for fuldstændighedens skyld. Der er f. eks. problemerne om kortvarige skader, senskader, og miljøskader. Disse emner er relevante, men ligger uden for rammen af projektet. En lødig behandling af dette område vil derfor kræve et langt mere omfattende arbejde, end der her er mulighed for.

Risikoanalysens begrænsninger.

Alle vurderingsprincipper, som er beskrevet i denne rapport, bygger på, at anlæggets risiko er korrekt beskrevet i en risikoanalyse. Der er nogle fundamentale svagheder ved dette udgangspunkt. Svaghederne ligger dels i, at nogle risikokilder og -fænomener kan være ukendte, når analysen foretages, dels i at risikoniveauet kan ændres senere ved ændring af sikkerheds- og ledelsespraksis. Dette medfører, at selv de bedste analyser skal tolkes. Risikoanalysens udsagn er baseret på en model af virkeligheden, og forskellen imellem analysen og virkeligheden skal vurderes og tolkes i forhold til kvaliteten og detailgraden i analysen (fig 1.2).

Anlægs- og ledelsesændringer medfører endvidere, at risikoanalysen ikke bør være en statisk engangsførelse, men bør være et fortløbende, hyppigt opdateret studie. Analysen bør indgå i det daglige sikkerhedsarbejde, som et ledelsesværktøj og som et styrende element.

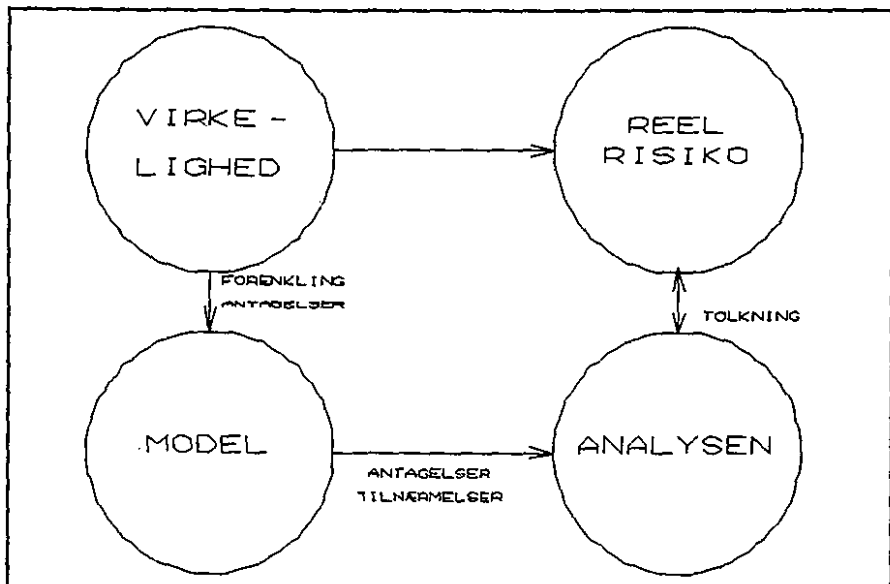


fig 1.2 Vurdering og tolkning af analysen.

Rapportens opbygning

Projektets konklusioner findes i kapitel 2. Kapitel 3 og 4 angiver definitioner og informationer om risikoniveauer. Kapitel 5 beskriver samtlige behandlede acceptprincipper på overordnet basis og sammenligner dem. Kapitel 6 beskriver normer, standarder, og deres anvendelse i anlæg med potentiel for større uheld.

Kapitel 7 og 8 er rapportens hovedkapitler og beskriver henholdsvis kvantitative og kvalitative acceptkriterier. Kapitel 9 beskriver de forudsætninger, som skal være opfyldt, for at kriterierne kan anvendes.

I appendix A beskrives en række forhold vedrørende afstand som sikkerhedsfaktor, og i appendix B og C gives eksempler på anvendelsen af de foreslåede kriterier.

2. Konklusioner

Risikovurdering og risikoaccept er meget komplekse emner, som omfatter mere end kun tekniske aspekter. En lang række elementer, ud over summen af risici er vigtige, f.eks. omkostninger, fordele, samfundsinteresser, psykologiske og sociale faktorer. Disse aspekter er dog ikke beskrevet her.

Målsætningen ved udformning af kriterierne har været at beskrive hvilke acceptkriterier der svarer til en nuværende god ingeniørmæssig praksis. På denne måde betragtes en teknisk sikkerhedsvurdering kun som et led på vejen til en helhedsvurdering, hvori også indgår politiske faktorer. I praksis har det vist sig overordentligt vanskeligt at leve op til denne målsætning, idet det vil kræve en grundig efterprøvning på mange anlæg, før målet helt kan opfyldes. Resultatet kan derfor kun betragtes som retningsgivende.

I Danmark bruges der i dag tre fremgangsmåder ved risiko- eller sikkerhedsanalyse.

- kvalitative analyser, hvor uheldsmuligheder og de tilsvarende sikkerhedsforanstaltninger identificeres og beskrives, og hvor konsekvenserne beregnes eller vurderes.
- kvantitative analyser, hvor uheldsmuligheder og sikkerhedsforanstaltninger identificeres og beskrives, og hvor uheldskonsekvenser og forventede hyppigheder beregnes.
- sammenligning med normkrav.

Den hidtidige erfaring med kvantitative vurderingskriterier er beskrevet, og der er gjort status med hensyn til normkrav på større uhelds området. Der findes kun lidt materiale om kvalitative acceptkriterier, idet den kvalitative fremgangsmåde ved sikkerhedsanalyser af denne art i nogen grad er et dansk fænomen og en ret ny fremgangsmåde. Der opstilles to kvalitative kriterier, og disse sammenlignes med de kvantitative kriterier og normkriterier.

Hovedkonklusioner

Flere kriterier
nødvendige

På basis af forfatterens egne erfaringer fra det praktiske arbejde, konkluderes det, at ingen fremgangsmåde alene er tilstrækkelig. En vurdering skal baseres på en kombination af metoder.

Forudsætninger
for accept

For alle fremgangsmåder gælder det, at ingen analyse er af værdi, med mindre den svarer i det mindste tilnærmelsesvis til virkeligheden. Der kan opstå stor forskel imellem beregnet og reel risiko, hvis driftsformen eller driftsstandard ændres. Det kræver derfor opfølgning af de antagelser, der ligger til grund for analyserne. I praksis betyder det, at en vurdering af den generelle sikkerhedspraksis, sikkerhedsstyring, og kvalitetssikring på anlægget er en nødvendig del af analysen.

Det konkluderes, at de følgende kombinationer af analyse/vurderingsprincipper er praktisk anvendelige under de eksisterende danske forhold, at de ikke bryder med præcedens, og at de danner en basis for teknisk vurdering af anlæg med mulighed for større uheld.

Kombination 1

1. Kvalitative risiko- eller sikkerhedsanalyser (som defineret ovenfor samt i kap. 8), samt:

Vurdering i henhold til normer

Vurdering af det generelle sikkerhedsniveau, sikkerhedsstyring og anlæggets kvalitetssikring.

Kvalitative acceptkriterier som beskrevet nedenfor.

Kvalitetskrav til selve analysen.

Kombination 2

2. Kvantitative risikoanalyser (som defineret ovenfor, samt i kap. 7) samt:

Vurdering i henhold til normer.

Vurdering af det generelle sikkerhedsniveau, sikkerhedsstyring og anlæggets kvalitetssikring.

Kvantitative acceptkriterier, som beskrevet nedenfor.

Kvalitetskrav til selve analysen.

Mulighed 3

En tredje vurderingsmåde er:

3. Vurdering alene i henhold til en anlægsnorm som er specielt udarbejdet for anlæg med mulighed for større uheld. Denne fremgangsmåde kan i dag kun benyttes på nogle få typer anlæg, og det forudsætter en betydelig indsats i form af normarbejde, før denne fremgangsmåde kan bruges som eneste vurderingsmåde på en større del af anlæg med mulighed for større uheld.

Det har vist sig muligt at sammenligne resultatet fra de kvantitative og kvalitative fremgangsmåder, således at disse under visse forudsætninger kan tilvejebringe resultater, som er sammenlignelige med hinanden. Forudsætningerne er bl.a., at sikkerhedsstyring og kvalitetssikring for det analyserede anlæg er af høj standard.

Foreslåede tekniske acceptkriterier

Der er opstillet forslag til kriterier på såvel samfundsrisiko som individuel risiko. Som basis for fastlæggelse af disse er benyttet det niveau, som findes på anlæg, om hvilke det er erfaret af forfatterne, at sikkerhedsniveauet accepteres, og som synes at være i overensstemmelse med god praksis.

Faste kriterier kan medføre en fare for, at udviklingen på sikkerhedsområdet bremses. En løbende revurdering bør derfor foretages, for eksempel hvert 3. eller 5. år.

Individuel risiko kriterium

Et individuelt risikoniveau af 10^{-6} pr. år for dødsfald for den nærmeste nabo er foreslået. Det forventes, at dette vil kun opfyldes af eksisterende anlæg med god ingeniørmæssig praksis, selv når disse har nærliggende beboelser. Med dette kriterium er risikoen meget lille i forhold til den samlede baggrundsrisiko, som et individ udsættes for i Nordeuropa. Det svarer iøvrigt til risikoen fra naturkatastrofer.

Man bør tage hensyn til varige alvorlige skader, som beskrevet i kapitel 7.

Samfundsrisiko kriterium

Et samfundsmæssigt risikoniveau for dødsfald svarende til 1 pr. 10,000 anlægsår for et uheld med et dødsfald, og med en frekvens som falder som kvadratet på antallet af samtidige dødsfald, betragtes som det bedste af de eksisterende kriterier i den aktuelle sammenhæng (fig 7.4). Kriteriet er konsistent med det individuelle risikokriterium. Kriteriet passer til den eksisterende uheldsstatistik for så vidt hældningen på risikokurven angår.

Kriteriet er ikke anvendeligt ved anlæg med mulighed for ulykker med flere tusinde dødsfald. Dette emne uddybes i kapitel 7.

Samfundsrisikokriteriet medfører en frekvens, som er en størrelsesorden højere end den, som er anbefalet i Holland for nye anlæg. Denne forskel er bevidst, og hensigten er at tage højde for de praktiske vanskeligheder, som ellers vil opstå ved vurdering af eksisterende anlæg, selv når disse er af høj teknisk standard. Såvidt man skulle ønske et "progressivt" kriterium, giver det hollandske forslag et godt udgangspunkt.

Kvalitative kriterier

To kvalitative acceptkriterier er beskrevet i kap. 8. Det ene, "barriere-optællingsmetoden", angiver antallet af sikkerhedsbarrierer af forskellige typer, som er nødvendige for at opnå et teknisk acceptabelt risikoniveau. Det andet, "pointgivningssystemet", er baseret på tildeling af point, svarende til kvaliteten af sikkerhedsbarriererne.

Sidstnævnte kriterium tillader en vurdering, der er mere nuanceret og mindre på den sikre side end "barriereoptællingsmetoden", men den er mere kompliceret.

De kvalitative kriterier i denne udformning har ikke været benyttet i praksis, og der er derfor kun begrænset erfaring med deres anvendelse. Kriterierne er dog udformet, således at de er strengere end de kvantitative.

De kvalitative kriterier vil kun kunne bruges på de områder, hvor standardtyper af sikkerhedsforanstaltninger anvendes. Kriterierne skal

suppleres med krav, som skal sikre, at sikkerhedsbarrierer er af tilstrækkelig kvalitet, ikke passerer og to eller flere barrierer ikke ødelægges samtidigt af samme årsag.

Valg af fremgangsmåde ved risikovurdering

En af målsætningerne for projektet var at finde de situationer, hvor en kvalitativ analyse vil være utilstrækkelig og en kvantitativ analyse nødvendig.

Generelt set skulle de kvalitative kriterier, som er opstillet i kapitel 8, kunne udvides og modificeres til at kunne omfatte alle typer anlæg. Dette vil dog kræve et omfattende arbejde ved at vurdere andre typer af sikkerhedsbarrierer. De barrierer, som er beskrevet i kapitel 8, er de, der er typiske for danske kemiske og petrokemiske anlæg.

De kvalitative kriterier opstillet her er afstemt efter uheld, som kan medføre dødsfald eller varige alvorlige skader på op til 30 personer. Kriterierne, som de står, kan ikke bruges i situationer, hvor der kan opstå hundreder eller tusinder af dødsfald.

En forudsætning for brugen af de kvalitative kriterier er, at der er et begrænset antal af mulige uheldsforløb, f. eks. mindre end 100. Hvis der viste sig at være flere hundrede mulige uheldsforløb, ville det være nødvendigt at øge det krævede antal af sikkerhedsbarrierer i forhold til dem beskrevet i kapitel 8, og fremgangsmåden herfor beskrives i kap. 8.

Fordele og ulemper ved de forskellige fremgangsmåder er opsummeret i tabel 2.1 og 2.2

Konklusionen er derfor, at man bør vælge enten kvalitative eller kvantitative risikovurderings kriterier, når de mulige uheldskonsekvenser er begrænsede. De kvalitative analyser i deres nuværende udformning er lettere tilgængelige end de kvantitative, og lettere at gennemføre.

Man bør vælge den kvantitative fremgangsmåde, når der er mulighed for meget store uheld med mange titals tilskadekomne, og i situationer hvor sikkerhedsforanstaltninger er af speciel art, som ikke dækkes af den normale pointgivning.

Fremgangsmåderne i rapporten er beskrevet i forhold til vurdering af enkelte anlæg. Hvis man ønsker en helhedsvurdering eller sammenligning af risikoniveauet ved forskellige anlægstyper, bør kvantitative kriterier anvendes. En standardisering af analysemetoder og forudsætninger vil dog være nødvendig for, at dette kan gøres.

En kombination af kvalitative og kvantitative kriterier synes nærliggende. Kvantitative kriterier kan bruges på de uheldsforløb, hvor kvantitative kriterier er uhensigtsmæssige eller utilstrækkelige, for eksempel på grund af overdreven krav til sikkerheden, eller på grund af nye og specielle former for sikkerhedsforanstaltninger.

Tabel 2.1 Fordele og ulemper ved kvalitativ analyse

Fordele:

- Fremgangsmåden er simpel at gennemføre.
- Metoden sætter fokus på sikkerhedsforanstaltninger og deres kvalitet.
- Den grafiske fremstilling tillader, at lægfolk kan forstå resultatet og kan begynde at tage stilling til kvalitet og antal af sikkerhedsbarrierer. Denne fremgangsmåde er den mest gennemskuelige.

Ulemper:

- Fremgangsmåden kan ikke bruges alene. Information om anvendte standarder, kvalitetssikring og sikkerhedsstyring kræves for at kunne støtte vurderingen af barrierens kvalitet.
 - Praktisk erfaring kræves for at kunne vurdere hyppigheden af forstyrrelsen eller starthændelsen for uheldet.
 - Barriereoptællingsmetoden er infleksibel og approksimativ, således at det er nødvendigt at anvende konservative vurderings principper. Pointgivningssystemet løser nogle af disse problemer.
 - Fremgangsmåden er vanskelig at anvende ved sammenligning eller helhedsvurdering af flere anlæg, fordi resultaternes form er afhængig af, hvordan analytikeren vælger at fremstille dem i langt højere grad end ved andre fremgangsmåder.
-

Tabel 2.2 Fordele og ulemper ved kvantitativ analyse

Fordele:

- kvantitative analyser er entydige, og gør det muligt at sammenligne uensartede anlæg
- de kan danne basis for en bredere risiko/nytte analyse, på en måde som ikke kan gøres ved andre former for analyse.
- kvantitativ risikovurdering er den eneste fremgangsmåde, som tillader en sammenligning og helhedsvurdering for en række anlæg.
- fremgangsmåden er meget fleksibel, og kan behandle nye og hidtil ukendte anlægstyper.

Ulemper:

- Fremgangsmåden kan ikke bruges alene. Information om anvendte standarder, kvalitetssikring og sikkerhedsstyring kræves for at kunne støtte vurderingen af barrierens kvalitet.
- Fremgangsmåden kræver mange eksplicite antagelser.
- Fremgangsmåden er ofte uigennemskuelig, med mindre læseren studerer analyserapporten indgående.
- Fremgangsmåden kræver fejlfri data, før den kan bruges. Dataen er ofte svært tilgængelig eller manglende.
- En sidste ulempe ved kvantitative risikoanalyser er, at de er mere ressourcekrævende og dyrere end de kvalitative. Merarbejdet ved en korrekt udført kvantificering forbedrer dog den kvalitative del af analysen.

(Note:

- Et punkt, som der ofte refereres til som en ulempe er, at vurdering af sandsynligheden for menneskelige fejl er meget usikker. Dette er kun delvist sandt. Beskrivelsen af muligheder for menneskelige fejl er en vanskelig proces og introducerer store usikkerhedsmomenter, med mindre man bruger meget håndfaste analyseprocedurer. Dette er en svaghed ved alle analyseprocedurer og ikke kun ved de kvantitative.)
-

Kapitel 3. Risikobegreber, mål, og -vurdering

Begreber

Risiko

Begrebet risiko udtrykker, at man ikke kan forudsige den fremtidige konsekvens af en hændelse. En konsekvens kan være god - ønsket, en anden dårlig - uønsket. Det er den uønskede konsekvens, der forbindes med risiko. Den ønskede forbindes med sikkerhed. Den sekvens af hændelser, der fører frem mod handlingens endelige konsekvens, består af hændelser, hvis udfald er tilfældigt. Nogle hændelser er mere sandsynlige end andre. En entydig konsekvens af hændelsen kan ikke forudsiges.

I begrebet risiko indgår de to parametre: Konsekvens og sandsynlighed.

Risikoanalyse

En risikoanalyse er en systematisk undersøgelse af de uønskede konsekvenser af en hændelse. Ved analysen tydeliggøres de hændelsessekvenser, der fører til de uønskede konsekvenser. Samtidig kan man danne sig et indtryk af, hvor stor sandsynligheden er for en uønsket hændelse.

Risikoanalyse finder bl.a. anvendelse på tekniske anlæg, hvor tilstedeværelsen af energi eller giftige stoffer rummer potentiale for uheld med uønskede konsekvenser.

På et teknisk anlæg kan man naturligvis ikke direkte måle sandsynlighed og konsekvens. De to parametre må beregnes/vurderes ud fra teoretisk viden om uheldsforløb og skadevirkning samt statistiske oplysninger om uheldssandsynligheder. Risikoanalysen bør udføres af teknikere med indgående kendskab til anlægget.

Sikkerhedsanalyse

Ved sikkerhedsvurdering forstås en risikoanalyse, hvori der er lagt særlig vægt på sikkerhedsforanstaltninger.

Risikoaccept

Viser en risikoanalyse, at der på et teknisk anlæg kan indtræffe uheld med uønskede konsekvenser, skal der tages stilling til, om anlægget kan accepteres, som det er, om anlægget skal forbedres, eller om anlægget må afvises.

Acceptkriterium Risikovurdering

Hvis man ønsker at bruge risikoanalysen som basis for risikoaccept, er det nødvendigt at måle risikoen på en veldefineret måde. For at kunne afgøre om en aktivitet er acceptabel, må den målte risiko sammenlignes med et generelt acceptkriterium, som 'passer til' målemetoden. Denne sammenligning kaldes risikovurdering.

Måling af risiko

Konsekvens

De umiddelbare konsekvenser af uheld på tekniske anlæg kan f.eks. være spredning af giftige stoffer, varmestråling, trykbølger eller sprængstykker. Konsekvensbeskrivelsen rummer ud over de rent fysiske fænomener også en vurdering af, om mennesker og miljø kan skades og i hvilket omfang. Konsekvensen er således ikke en simpel ensartet størrelse.

Den måleenhed, der anvendes for konsekvens, er i princippet mindre væsentlig, blot den afspejler alle risici ved aktiviteten. I nogle analyser har akutte dødsfald været anvendt som måleenhed, idet man har anført, at denne størrelse er proportional med aktivitetens farlighed. Denne

måleenhed er uanvendelig, hvis aktiviteten også rummer potentiale for uheld med senskader eller miljøskader.

Der er til tider gjort forsøg på at måle skader på en enkel måde, nemlig i penge. En sådan måling er særdeles vanskelig, idet principper for værdiansættelse af menneskeliv, sygdom eller miljøskader er langt fra klare. De involverer mange etiske problemer.

Sandsynlighed

De hændelsessekvenser, som leder til uønskede konsekvenser, kan indebære svigt både af mekanisk og menneskelig art. Menneskelige fejl dækker ikke alene fejlbetjening af anlæg, men også fejl ved ledelsen af aktiviteten - mangelfuld vedligeholdelsespolitik, utilstrækkelig uddannelse af medarbejdere, dårlig oprydning o.lign. Der findes i de fleste tilfælde gode statistiske oplysninger om fejlhyppigheden for mekaniske svigt; men oplysninger om menneskelige fejl er mangelfulde eller svært tilgængelige.

Sandsynlighedsaspekter af risiko måles almindeligvis som en frekvens eller hyppighed. Resultatet bliver f.eks.: Det gennemsnitlige antal uheld man må forvente over en periode på 1 million år.

Individuel risiko

Individuel risiko, er den risiko som den enkelte person er udsat for. Individuel risiko angives normalt for den mest udsatte person, som er ofte den nærmeste nabo til et anlæg.

Samfundsrisiko

Den samfundsmæssige risiko er den risiko, samfundet udsættes for pga. aktiviteten.

Har anlægget en mulighed for meget store uheld med mange tilskadekomne eller omfattende miljøskader, tales der om samfundsrisiko. Ved vurdering af samfundsrisiko tages der hensyn til alle, der kunne blive påvirket og ikke kun til de mest udsatte. Samfundsrisikoen vil således være højere, hvis der er beboelser i alle retninger fra anlægget, end den vil være, såfremt der kun er beboelse til den ene side.

Vurdering af risiko

De to målte (beregnete) størrelser, konsekvens og sandsynlighed, betragtes ved risikovurderingen som kendte størrelser - der dog kan være behæftet med en vis usikkerhed. Ved risikovurderingen skal de to størrelser sammenstilles og eventuelt suppleres med andre faktorer. Herefter sammenlignes de med det fastsatte acceptkriterium.

Holdningen til risici præges imidlertid af en række forhold. Enkeltpersoner, interessegrupper og samfundets beslutningstagere kan ved risikovurderingen tillægge disse forhold varierende betydning og dermed forskellig vægt.

Dette afspejler sig enten i den måde, de målbare størrelser kombineres på, eller i valget af acceptkriterium.

Der kan nævnes en række aspekter, som har indflydelse på, hvordan risiko vurderes.

Uheldets omfang

Reaktionen på et stort uheld er normalt mere voldsom end på en serie af små uheld med tilsammen det samme antal skadede.

Det betyder, at de krav, der stilles til sikkerhedsforanstaltninger over for uheld med voldsomme konsekvenser, bliver uforholdsmæssigt strenge. Risikoen er ikke blot 'produktet af konsekvens og sandsynlighed'.

Et eksempel på dette er kontrasten mellem reaktionen på brandene på Hotel Hafnia og i Stengade i 1975 som kostede 41 mennesker livet. Ulykkerne udløste et brandsikringsprogram til flere milliarder kroner. Dette svarer dårligt til, hvad der gennemsnitligt investeres i trafik-sikkerhed. Der investeres generelt flere penge for at forhindre ét stort uheld, end der investeres for at forhindre flere mindre uheld.

Nødvendigheden af aktiviteten

Visse aktiviteter vurderes af beslutningstagerne som nødvendige for samfundet, f.eks. militære installationer, kraftværker, gaslagre, og affaldsbehandlingsanlæg. Andre aktiviteter tilstedeværelse kan diskuteres f.eks. anlæg til fremstilling af plantebeskyttelsesmidler og PVC. Finder man, at en aktivitet er nødvendig, kan man blive nødsaget til at acceptere et forhøjet risikoniveau.

Umiddelbar eller senere virkninger

Nogle typer uheld indebærer risiko for senskader. Dette gælder bl.a. uheld, som indebærer udslip af kræftfremkaldende eller mutagene stoffer. En enkelt eksponering kan måske forårsage kræft mange år senere.

Den enkeltes holdning til dette punkt vil variere.

Uheldets karakter

Mennesker er generelt mere tilbøjelige til at acceptere en risiko, hvis konsekvensen er velkendt og uheldstypen almindelig. Nye former for risiko, som nye sygdomme, uheld i forbindelse med ny teknologi eller nye virksomheder fremkalder ofte voldsomme reaktioner.

Det betyder, at der må forventes at være forskellige acceptkriterier for velkendte og for specielle eller nye former for uheld.

Frivillig eller påtvungen risiko

Den enkelte person kan være parat til at acceptere en risiko, hvis vedkommende har erkendt risikoens tilstedeværelse og selv taget stilling til, hvorvidt han vil lade sig udsætte for den. En tilsvarende risiko, der bliver påtvunget uden mulighed for at undgå den, vil vanskeligere kunne accepteres.

Egen fordel

Den enkelte kan være parat til at tage en risiko, hvis det ønskede udfald af aktiviteten indebærer en fordel for vedkommende.

Erfaring

En gennem tiden erhvervet erfaringsmæssig opfattelse af en virksomheds håndtering af risikomæssige forhold vejer tungere end risikoanalysens udsagn.

Virksomhedens økonomi

Der kan tages hensyn til, hvilke risikoniveauer der er teknisk opnåelige inden for rimelige økonomiske grænser. ALARA princippet- "as low as reasonably achievable" (se kap 5)

Samfundets økonomi

I nogle tilfælde kan beslutningstagerne såvel som befolkning acceptere et højere risikoniveau, hvis aktiviteten skaber nødvendige arbejdspladser eller goder. Også hensynet til landets betalingsbalance kan have en vis indflydelse.

**Teknikerens
vurdering**

Teknikerne vurderer traditionelt anlægget ud fra oplysninger, der alene omhandler anlæggets design og drift, dvs. 'lokale oplysninger'. Formålet med teknikerens vurdering er at afgøre, om den sikkerhed, der findes på anlægget, er rimelig i forhold til de mulige konsekvenser af uheld.

Kriterierne for accept kan være sammenligning med tilsvarende accepterede anlæg eller accepterede risikoniveauer.

Denne rapport's kapitler 5 til 8 omhandler alene teknisk risikovurdering og de dertil hørende acceptkriterier.

**Samfundets
vurdering**

Beslutningstagernes vurderingsgrundlag er i stor grad risikoanalysen dvs. den målte konsekvens og sandsynlighed, og teknikernes egen (teknisk) risikovurdering. Dette suppleres med økonomiske, administrative og politiske vurderinger.

Kriterierne for accept sammenstilles ud fra holdningen til de ovenfor nævnte aspekter. Der burde være entydige kriterier for alle vurderinger, men dette er i praksis vanskeligt.

4. Eksisterende risikoniveauer

Den væsentligste metode, der anvendes ved vurdering af risici, er sammenligning.

"Det hører med til god skik, at man for såvidt angår de aktiviteter, som frembyder risiko for større uheld, tilstræber et sikkerhedsniveau, der ikke er ringere end sikkerhedsniveauet i de lande, man sammenligner sig med." (den grønne betænkning, AT 1985)

For at foretage sammenligninger er det nødvendigt at vide, hvad det eksisterende risikoniveau er. Der er heldigvis udført flere studier over dette emne inden for de sidste 20 år. De mest brugbare sammenligninger er for dødsfald, idet andre statistikker ikke samles på ensartet basis.

Individuel risiko

Data om individuel risiko er samlet af Pochin, Sowby, Gibson, Crouch and Wilson, Cohen and Lee, Fryer and Griffiths og Kletz. Resultater fra deres arbejde vises i tabel 4.1. Kilder til disse data er nationale statistikker, de forskellige arbejdsministeriers statistikker, samt rapporter over ulykker, der berører få personer. Disse data er hovedsageligt fra UK og USA. Lignende statistikker findes ikke i Danmark, men antallet af dødsfald er (heldigvis) så lavt, at usikkerheden i værdibestemmelsen er høj. I kemisk industri for eksempel er beregninger af hyppigheden for dødbringende uheld baseret på kun 9 dødsfald over en periode på 20 år. De statistikker, der er lavet, er tilstrækkelige til at konstatere, at der ikke for Danmark er væsentlig forskel fra de britiske værdier. (AT 1985)

I denne sammenhæng er hyppigheder for dødsfald, der knytter sig til naturkatastrofer, de væsentligste. Disse benyttes i forskellige anbefalinger af acceptkriterier, specielt i den type hvor det antages, at risikoen, som påføres naboerne til en industri, bør være mindre end risikoen fra naturens side. Niveauet ligger på ca. $5 \cdot 10^{-6}$ pr. år i USA (tabel 4.1), og på ca. $2 \cdot 10^{-6}$ pr. år i Norge. Tilsvarende værdier for Danmark savnes.

Samfundsrisiko

Samfundsrisiko i forbindelse med større uheld er for Storbritanniens og USA's vedkommende studeret af Fryer og Griffiths. Fryer og Griffiths resultater vises i figur 4.1

Ud fra disse statistikker kan der ses nogle meget tydelige mønstre.

- en hyppighed som falder (omtrent) som kvadratet på uheldsstørrelsen.
- maximum ca. 120 dødsfald for de største uheld ved menneskeskabte anlæg.

Det er værd at bemærke, at det sidste tal, 120 dødsfald, som grænse for maksimal uheldsstørrelse, er afhængig af landet og omstændighederne. I flere tredje verdens lande, er der sket uheld inden for kemisk industri og transport, med over til 3500 dødsfald.

Til sammenligning har de største naturkatastrofer, som oversvømmelser og jordskælv, medført op til ca 50000 døde (muligvis flere).

Et af problemerne ved statistiske opgørelser af denne type er, at de ikke kan relateres til specifikke procesanlæg. Hvis man vil relatere risikoen til et enkelt anlæg, er der utilstrækkelig statistik til at kunne bruge erfaring. Der er derimod flere risikoberegninger, der kan bruges. Et udsnit af disse er angivet i figur 4.2. Værdierne er baseret på offentliggjorte risikoanalyser (Canvey, Holden, Mankamo) og på analyser udført af medlemmer af projektgruppen (JRT).

Typen af risiko	Referencer	Dødsfald risiko pr. million aar	Antaget eksponering timer pr aar	Risiko for dødsfald pr. 100 million timer
<u>UK</u>				
Alle uheld	gb	345		
Vejtransport	gb	145		
Brand	gb	18		
Fald	gb	111		
Kvælning	gb	16		
Forgiftning	gb	16		
Drukning	gb	11		
Electrocution	gb	2.4		
Medicinsk uheld	k	1.6		
Natur begivenhed	k	3.6		
Lyn	k	.17		
Flystyrt	k	.02		
Meteorit	k	.00006		
Supernova eksplosion	k	.0001		
At blive hjemme	k			3
Lufft	gb	3.3		240
Togtransport	gb	3		5
Vejtransport	k	145		57
Bustransport	k			3
Skibsfart	k	2.6		
Motorcykling	p	20000		660
Kørt ned	k	60		
Transport kem/olie produkter	k	.02		
Industri	gb	73.6	1840	4
Fiskeri	gb	644	1840	35
Stålindustri	gb	147.2	1840	8
Bygningindustri	gb	1232.8	1840	67
Kulminer	gb	736	1840	40
Kemisk industri	gb	64.4	1840	3.5
Hestevæddeløb	s			10000
<u>Danmark</u>				
Jern, stål, transport	a	80.96	1840	4.4
Bygningsindustri	a	66.24	1840	3.6
Kemisk industri (1975)	a	58.88	1840	3.2
Al industri	a	53.36	1840	2.9
<u>USA</u>				
Brandbekæmpelse	cw	800	1920	42
Kulminer	cw	630	1920	33
Landbrug	cw	240	1920	13
Rodeo	cw	30	200	15
Politiarbejde	cw	50	2100	2.4
Oversvømmelse	st	2.2		
Jordskælv	st	1.7		
Tornado, midtvest	st	2.2		
Storm	st	8		
Flystyrt	b	.1		
Transport kem/olie produkter	k	.05		
Traffic uheld, fodgænger	k	50		

Tabel 4.1 Individuel risiko niveauer for arbejder og aktiviteter

nøgle

k	Kletz	SRS Quarterly Digest Oct 1978
st	Sowby	Health Physics 1975 p869 ff
a		AT 1985, se referenceliste
cw	Crouch and Wilson	Citeret af Kletz
p	Pochin	BM Bulletin 1975 p184 ff
b	Bulloch	I Chem E Symposium series Sept 75
gb	Gibson, B.	Risk criteria in hazard analysis, CEP Feb 1976

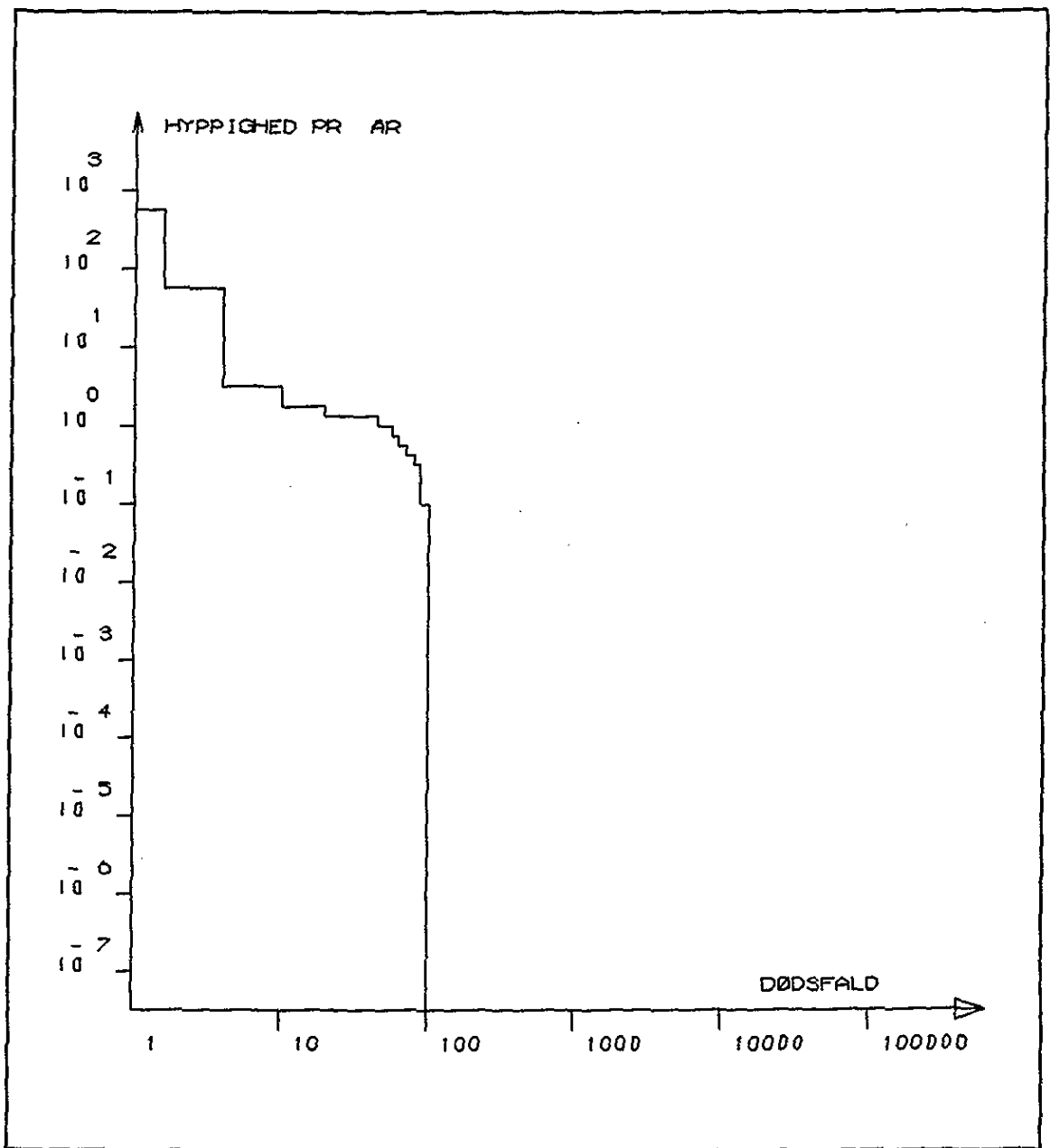


Fig. 4.1 Aktuelle risikoniveauer for storulykker i UK, brand og transportuheld. (efter Fryer og Griffiths)

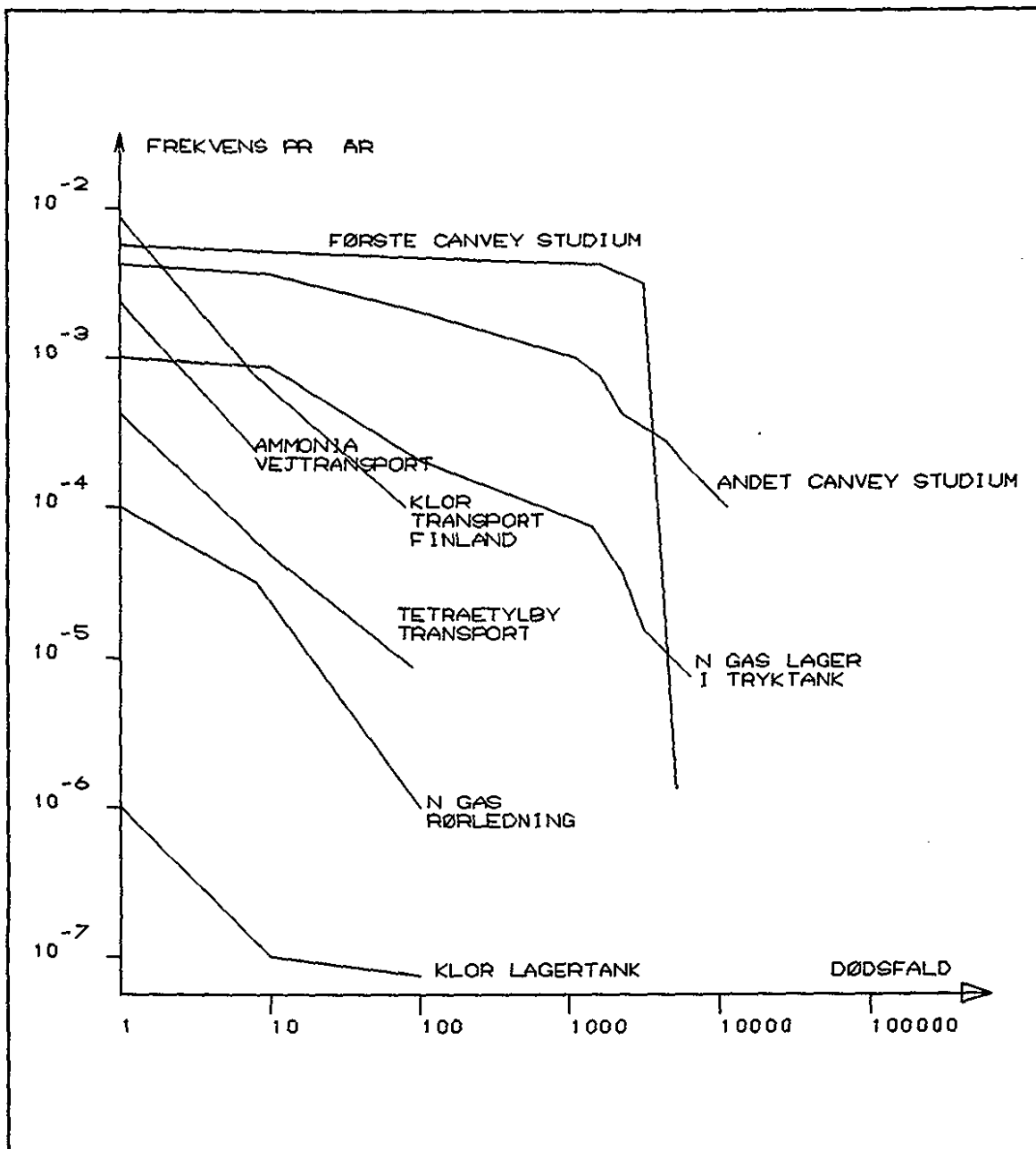


Fig. 4.2 Nogle risikokurver, baserede på risikoanalyseresultater.
 (Holden, Mankamo, HSE, Ramsey)

5. Analysemetoder og acceptkriterier.

Risikoaccept - processen

Forskellige typer risici accepteres hver dag. Man opfører bygninger, planlægger og bygger veje og fabrikker og foretager tekniske udviklinger. Enhver af disse aktiviteter medfører nye risici og involverer en form for risikoaccept. Processen, hvorved risikoen accepteres, er normalt indviklet og svær at gennemskue.

Love, standarder, normer

Basis for den daglige accept af risiko ved en ny konstruktion er, at konstruktionen opfylder alle love, standarder og normkrav. Det er sjældent, at der forekommer en direkte politisk indblanding i godkendelsesprocessen, idet administrationen, d.v.s normalt kommunernes tekniske forvaltninger, arbejdstilsynet eller brandinspektionen kontrollerer, at kravene er opfyldt. Kontrollen er til tider grundig og til andre tider bygger den på et tillidsforhold mellem myndigheden og de ansvarlige ingeniører. Tillidsforholdet er i visse tilfælde formaliseret i form af en autorisation (f.eks. ved prøvning af trykbeholder).

Politisk indflydelse

Indirekte udøves der politisk indflydelse på denne proces. Såfremt man bemærker en risikokilde, og der opstår offentligt røre omkring denne type risiko, påvirkes myndighederne. Fagforeningerne har den mest direkte indflydelse, idet de har mange kanaler, der kan pege på mangler og urimeligheder i de eksisterende normer og regulativer. Forskning, der frembringer ny viden om risici, medvirker til at ændre normgrundlaget. Myndighederne selv sætter forskning og udvikling i gang for at frembringe grundlag for normkrav ved nye tekniske udviklinger, eller på områder hvor risikoen er højere end gennemsnittet (eks. kranrisiko, grundvandsbeskyttelse).

Normarbejde

Ingeniørorganisationer har et kontinuerligt normarbejde i gang, som fastsætter nye normer med tilhørende sikkerhedskrav. Nogle af disse refereres i lovgivningen, (f.eks. stærkstrømsreglementet).

Uheldserfaring

Oftest sker der direkte offentlig og politisk indflydelse som respons på uheld. Et uheld, som fremkalder en offentlig og eventuelt også en politisk diskussion, kan medføre en ændring af de administrative forhold og eventuelt føre til en ny lovgivning. Som eksempler på denne proces kan nævnes den offentlige, politiske og administrative respons på Hafnia hotelbranden samt reaktioner på retssager om forgiftning p.g.a. opløsningsmidler.

Ændringer i opfattelse

En offentlig og politisk reaktion på en aktuel sag kan være et tegn på en ændring af offentlighedens acceptgrænser. Der er næppe nogen tvivl om, at der er sket en sådan ændring i løbet af de sidste 20 år med hensyn til miljøbeskyttelse og arbejdsmiljø. En offentlig opmærksomhed kan lige så vel være et udtryk, for at risikostyringsprocessen ikke lever op til forventningerne.

Begrænset erfaring med storuheld

Den proces, der er beskrevet ovenfor, er kompliceret, og risikoaccept principperne foreligger ofte implicit og dunkelt. Man skal studere de enkelte normer, krav, cirkulærer osv. for at finde principperne for sikkerhed, som oftest er implicite. Hvor de er eksplicite, kræves der ofte en tolkning.

Til daglig fungerer norm- og lovsystemet udmærket, for så vidt at det tillader personer og organisationer at udføre deres arbejde, at bygge nyt, og at holde den daglige risiko på et normalt niveau. Der er kun begrænset kommunikation mellem de forskellige dele af systemet og derfor kun lidt ensartethed i de opnåede sikkerhedsniveauer og meget lidt optimering. Der er stor forskel mellem investeringer pr. reddet liv inden for de forskellige risikoområder.

Potentielle større uheld har en særlig position i denne sammenhæng. Der er normalt kun ringe eller ingen aktuel erfaring med de forskellige typer af større uheld. Det er derfor vanskeligt at opbygge normer på basis af erfaring. De normer som eksisterer, er normalt baseret på "normale" produktioner og ikke på produktioner med potentiale for større uheld. Der eksisterer kun få normer, der direkte vedrører større uheld. Derudover er risikoen ved disse uheld i særlig høj grad afhængig af den menneskelige faktor. Dette medfører et behov for nye former for acceptkriterier, eller i hvert fald et behov for en udvidelse af de traditionelle normer. Det medfører også et ønske om klare acceptprincipper.

Mulige acceptprincipper

Der er en række filosofiske/etiske principper, som kan bruges som grundlag for risikoaccept. Nogle af disse blev beskrevet i "den grønne betænkning" (AT 1985):

1. *Det hører med til god skik, at man for så vidt angår de aktiviteter, som frembyder risiko for større uheld, tilstræber et sikkerhedsniveau, der ikke er ringere end sikkerhedsniveauet i de lande, man sammenligner sig med.*
2. *Den risiko, som man udsætter sig for i det daglige liv, bør ikke øges væsentligt ved deltagelse i erhvervslivet.*
3. *Den risiko, man udsættes for i det daglige liv fra naturens side, bør ikke øges væsentligt af aktiviteter, såsom industri og lignende, skabt af andre uden vores personlige accept.*
4. *Ved etablering af et procesanlæg bør der allerede i planlægningsfasen, forinden produktion påbegyndes, foretages en undersøgelse af, om der findes alternative processer, der er i stand til at fremstille tilsvarende produkter, med mindre risiko for uheld.*
5. *De ressourcer, der er til rådighed for sikkerhedsfremmende aktiviteter, skal først og fremmest sættes ind der, hvor indsatsen giver det største resultat for helheden.*

Andre principper foreligger i lovgivningen, f. eks. princippet om erstatningsansvar.

Der er et gammelt juridisk princip "De minimis". "Retten beskæftiger sig ikke med trivialiteter", som eventuelt kan bruges til at udelukke de allermindste risici.

	<p>Fælles for disse etiske principper er, at de ikke kan bruges direkte i tekniske sammenhænge. De kræver en tolkning.</p>
Principper for accept	<p>En række principper kan bruges i praksis, med forskellig grad af rimelighed, som grundlag for en godkendelse.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Et anlæg kan godkendes på basis af erfaring med lignende anlæg. 2. Et anlæg kan godkendes, hvis det opfylder alle normkrav, som er relevante. 3. Et anlæg kan godkendes, hvis det har "en høj grad af sikkerhed", udtrykt ved antallet af sikkerhedsanordninger i forhold til de mulige uheldsforløb. 4. Et anlæg kan godkendes, hvis en grundig og velfunderet beregning af risikoniveauet viser et acceptabelt eller tolerabelt lavt niveau. 5. Et anlæg kan godkendes, hvis fordelene ved anvendelse af anlægget er større end risikoen ved anlægget. 6. Et anlæg kan godkendes, hvis det anvender den bedst mulige praksis.
Erfaring	<p>Princip 1, "erfaring", bruges i almindelighed på mange former for anlæg, men kan næppe bruges på anlæg med potentiale for større uheld, idet princippet kræver, at man har oplevet et sådant.</p>
Normer	<p>Princip 2, "normer", er en grundlæggende og nødvendig del af enhver godkendelsesprocedure. Man kan under normale ingeniørmæssige forhold hverken stole på sikkerhedsanordninger eller beregne deres pålidelighed, med mindre de er bygget i henhold til en eller anden norm. Eksisterende nationale og internationale normer (API, BPI, ASME, osv) er anerkendt som en god basis, men er ikke tilstrækkeligt vidtgående. De fleste større olie- og kemisekskaber har deres egne interne normer. Disse omfatter ofte flere tusinde sider, og alligevel anerkendes de af virksomhederne som utilstrækkelige i sig selv, hvorfor normerne ofte suppleres af risikoanalyser.</p>
Dybdeforsvar	<p>Princip 3, kan betegnes "dybdeforsvar". Princippet anerkender, at ingen sikkerhedsforanstaltning er fuldkommen, og kræver derfor, at der eksisterer flere sikkerhedsanordninger for hver type uheld. Princippet er simpelt og gennemskueligt, men faldt i unåde i 1970'erne som resultat af flere uheld på nukleare kraftværker, hvor flere sikkerhedsanordninger svigtede samtidig. Disse såkaldte "common cause failures" eller "fællesfejl" førte til megen nytænkning indenfor projektering af sikkerhedssystemer. Princippet præsenteres i kapitel 8 i en moderniseret form, hvor tidligere svagheder afhjælpes.</p>
Kvantitativ analyse	<p>Princip 4, "kvantitativ eller probabilistisk risikoanalyse" er en dækkende og operationel fremgangsmåde. Den kan næppe betegnes som effektiv, og analyseprocessen og resultaterne har vist sig at være svære at gennemskue for uindviede.</p>

Cost/benefit

Princip 5, "cost-benefit analyse", er blevet anvendt især i USA, som et led i vurderingen af transportsikkerhed, medicinalsikkerhed, arbejdsmiljø og miljøbeskyttelse. Den største ulempe ved princippet er, at en "cost-benefit" analyse er særdeles vanskelig og tidskrævende. Princippet kan i dag formodentlig kun anvendes ved de vigtigste og vanskeligste beslutninger, på grund af omkostningerne. Princippet kræver også en stillingtagen til spørgsmålet om værdien af menneskeliv, og er derfor vanskelig at anvende i teknisk sammenhæng. (Der er gjort forsøg på at finde en definition af disse faktorer til brug i forbindelse med trafikksikkerhed, og i forbindelse med medicinsk arbejde)

Så sikker som praktisk muligt

Princip 6, "så sikkert som praktisk muligt", anvendes i dag ved nogle facetter af sikkerhed i nukleare anlæg, og anvendes jævnligt i miljø- og arbejdsmiljøspørgsmål. Princippet beskrives nedenfor.

Alle de nævnte principper har deres anvendelsesområder. En operationel anvendelse kræver dog, at principperne understøttes af både metoder og specifikke kriterier, og også disse skal være anvendelige, forståelige og operationelle.

Risikoreduktion

Ingen risiko bør accepteres, såfremt det er simpelt at fjerne den. Risikoreduktion er et af de vigtigste sikkerhedsprincipper.

"As low as practically achievable"

Kravet om risikoreduktionen afspejles i princippet ALAPA, "as low as practically achievable", som beskrevet ovenfor. Princippet er kendt især fra USA, hvor det bruges bl.a. i miljøbeskyttelsessager.

I praksis sættes der et mål for risiko eller forureningsreduktion, og der inviteres til forslag om, hvordan forbedringen kan opnås. Derefter følger en periode med praktiske forsøg og tekniske høringer. Herefter erklæres den nye fremgangsmåde for "praktisk" og indbygges i loven eller i de administrative krav.

"Best practicable means"

Princippet kendes også under navnet "Best Practicable Means". Det britiske Health and Safety Executive, f.eks., udgiver notater om bedste praktiske måder til opfyldelse af miljøkrav.

ALAPA princippet er værdifuldt i sager hvor risikoen er accepteret som værende for høj, men hvor reduktion er vanskelig og kræver en teknisk udvikling. Her forhindrer den amerikanske praksis en overilet indførsel af ny teknologi, men fremmer samtidig sikkerhed og miljøforbedringer.

Der er mange områder, hvor fremgangsmåden er ret upraktisk, endog ubrugelig. Ved kemisk produktion er det så godt som altid muligt at reducere risikoen til lavere niveauer, uanset hvor lav den allerede er. Man kan for eksempel flytte fabrikken længere væk fra beboelser, bygge højere og tykkere mure, installere flere overrøslingsrør osv. At bruge alle disse foranstaltninger ukritisk på selv de mindst farlige anlæg vil resultere i økonomiske belastninger, som er totalt uden sammenhæng med, hvad der ellers kræves på andre områder. Problemet ligger i, at "det praktiske" er ofte langt mere omfattende end "det rimelige".

"As low as reasonably achievable"

Et andet princip anvendes i disse situationer, "ALARA" "as low as reasonably achievable". Ideen er, at risikoen reduceres så langt, som det er "rimeligt", i modsætning til så meget som muligt.

Hvad der er "rimeligt" fortolkes forskelligt. I en højesteretsdom i USA (ref. Lave and Romer 1981) blev det fortolket som "investering i arbejds-sikkerhedsudstyr i et sådant omfang, at det ikke truede virksomhedens eksistens, men således at den kun krævede hele virksomhedens overskud." Om et sådant princip kan holde i længden er tvivlsomt. Der er mange virksomheder, hvor der ikke er noget overskud, men hvor man alligevel behøver sikkerhedsudstyr. Det er samtidig umuligt at køre virksomheder i et vestligt frihandelssamfund, med mindre de har et overskud. Den amerikanske Office of Technology Assessment har på denne basis anbefalet anvendelse af cost benefit kriterier i fremtidige sager af denne art.

Den anden fortolkning af ALARA princippet medfører, at man balancerer omkostningerne ved sikkerhedsudstyr mod "værdien" af den øgede sikkerhed. Her bliver teknikere i højeste grad involveret i politiske vurderinger, idet det er nødvendigt at fastsætte en værdi for en øgning i sikkerhed, og derved en værdi for et reddet liv eller et undgået uheld.

I offentligt regi er det muligt at finde frem til "værdien" af den øgede sikkerhed ved at sætte prioriteter på forskellige sikkerhedsforanstaltninger, f.eks. således, at de muligheder hvor de fleste uheld undgås for færrest penge, sættes højest på prioritetslisten. Man kan derefter søge investeringsbevillinger og undersøge hvilke foranstaltninger, man har råd til. De foranstaltninger, som kommer uden for bevillingsrammen, er derved "urimelige" i hvert fald på bevillingstidspunktet.

Fremgangsmåden bliver især brugt ved trafikinvesteringer. Den sikrer et maksimum af politisk indflydelse på de tekniske beslutninger, men også konsekvente og teknisk håndterlige beslutninger. Traditionel opsplnitning i beslutningsprocessen har hidtil forhindret anvendelsen af princippet på tværs af industri og myndighedsgrænser.

Det er tvivlsomt, om man vil kunne anvende den samme fremgangsmåde inden for privatindustrien, idet der ikke er nogen faste rammer for bevillinger. Offentlige investeringer i sikkerhed giver dog et fingerpeg i retning af, hvad der er rimeligt.

"Inherent sikkerhed"

Der findes et designprincip for tekniske anlæg, som hedder inherent sikkerhed, og som har meget med risikoreduktion at gøre. (se Kletz 1982)

Princippet betyder, at man ved projektering af anlæg reducerer risikoen så meget som muligt. Forskellige metoder kan bruges til dette. Nogle af de væsentligste er:

- At erstatte farlige stoffer i processen med mindre farlige. Et eksempel er erstatning af processer i olieopløsning med processer i vandig opløsning.
- At bruge reaktorer og opkoncentreringsenheder som hver har en høj omsætningstæthed og derfor små mængder af stof i kritisk tilstand. Eksempel er brugen af rørreaktorer i stedet for batchreaktorer.

- At anvende integrerede anlæg, hvor farlige stoffer bliver anvendt lige så hurtigt, som de bliver dannet, og derfor ingen oplagring kræver. Et eksempel er brug af fosgen til isocyanat produktion, hvor moderne anlæg ikke har mellemlagringstanke.
- Brug af reaktioner, som er stabile eller selvbegrænsende, således at løbske reaktioner er umulige. Et eksempel er en reaktion i et lavtkogende opløsningsmiddel, således at kogning begrænser maksimumtemperaturen til under den kritiske.

Inherent sikkerhed er et gammelt princip, som nu får en renaissance især i nuklear sammenhæng, hvor en systematisk anvendelse af princippet er startet, især i Sverige. Det vil være hensigtsmæssigt at anvende princippet i højere grad end det gøres i dag på kemisk område.

Fremgangsmåde ved kvalitativ risikoanalyse

Ved kvalitativ risikoanalyse forstås en analyse baseret primært på identifikation af risikokilder og kvalitativ vurdering af sikkerhedsforanstaltninger. En speciel form for kvalitativ analyse beskrives i Kap 8. Denne analyseform er speciel, idet den afspejler en udvikling, som er foregået i Danmark siden 1986. Kun få analyser af denne form er udført uden for Danmark, selv om de enkelte elementer af analysen er alment kendt. Analyseformen er vigtig, fordi mange, muligvis de fleste analyser der udføres i Danmark i dag, anvender denne analyseform.

Udgangspunktet for en kvalitativ risikovurdering er en definition af analysens målsætning og dækningsområder og detaljering, og en beskrivelse af anlægget, driftsforhold, procedurer og sikkerhedsforanstaltninger. Det næste trin i analysen er identifikation af fejl- og forstyrrelsesmuligheder og mulige uheldsforløb. En typisk metode som anvendes, er "hazard and operability analysis", eventuelt suppleret med "aktion-fejl" analyse til identifikation af muligheder for operatør- og vedligeholdelsesfejl.

Når forstyrrelsesmulighederne er fundet, er det næste trin en beskrivelse af de forskellige sikkerhedsforanstaltninger, som bruges til at forhindre de enkelte uheldsforløb. I den særlige form, som anvendes i Danmark, illustreres uheldsforløb og sikkerhedsforanstaltninger med "barriere-diagrammer" (se kapitel 8)

Endelig foretages der beregninger af konsekvenserne af repræsentative uheldsforløb. En typisk kvalitativ analyse er kun kvalitativ, hvad uheldsmuligheder angår. Konsekvenserne analyseres kvantitativt, i tilstrækkeligt omfang til at kunne konstatere den fysiske størrelse af eventuelle uheld.

Fremgangsmåde ved kvantitativ risikoanalyse

Udgangspunktet for en kvantitativ risikoanalyse er en definition af analysens målsætning, dækningsområde og detaljering. Det er nødvendigt at analysere alle områder, der på en signifikant måde kan bidrage til risikoen. Ud over proces og lager er det nødvendigt at analysere transport og naboanlæg, biprodukter, dræn og jordforurening.

Det næste trin i risikoanalysen involverer identifikation af fejl, forstyrrelser og uheld. For et kemisk procesanlæg er det normalt at starte ved at bruge "hazard and operability analysis" (Hazop). Et alternativ er at bruge detaljerede checklister eller fejlmåde og effektmetoden.

Når forstyrrelsesmulighederne er fundet, er det næste skridt at beskrive uheldsforløbet, det vil sige sekvensen af hændelser i uheldet. Alternative udfald, for eksempel på grund af indvirkninger fra sikkerhedssystemer, beskrives oftest ved hjælp af hændelsestræer eller årsags- konsekvensdiagrammer.

Undersøgelse af fejlmuligheder i sikkerhedssystemer er en vigtig del af identifikationen. Man forsøger at bestemme uheldsmuligheder i så store detaljer, at fejlhyppighedsdata kan opsamles eller indhentes. Fejltræsmetoden anvendes normalt til dette formål.

Menneskelige fejl er meget hyppigt årsag til uheld. Menneskelige fejl ved betjening og vedligehold af anlægget analyseres med metoder, som aktion-fejl analyse, work safety analysis, eller fejltræsanalyse.

Når identifikationen er færdig, foretages konsekvensberegninger ved brug af fysiske modeller. For at gøre dette er det nødvendigt at tage hensyn til et komplet sæt af uheldsstørrelser for eksempel udslip fra små, mellem eller store huller. Det er også nødvendigt at tage hensyn til forskellige vind- og vejrforhold.

En typisk analyse vil tage hensyn til tre eller fire vindhastigheder og tre forskellige stabilitetsklasser. Der er ofte en tendens til at reducere antallet af tilfælde, som beregnes i en risikoanalyse, ved for eksempel at beregne et "normalt tilfælde, og en "worst case". Problemet herved er, at man ikke får et sandfærdigt billede af det totale spektrum af uheld. Kvantitativ risikovurdering kræver, at man tager hensyn til hele spektret af uheld.

Samtidig med konsekvensberegningerne foretages uheldshyppighedsberegninger. Disse kan i nogle få tilfælde baseres på erfaring, men kræver normalt, at man kombinerer fejlhyppigheden for udstyr, sikkerhedsanordninger og menneskelige fejl. I bedste fald samles data på selve anlægget. For anlæg, som er under planlægning, er man henvist til at anvende gennemsnitsdata fra industrien. Der er efterhånden mange tilgængelige data. Man er dog nødt til at vurdere godheden af industridata kritisk, samt anslå usikkerheden på den, og foretage følsomhedsberegninger på resultatet.

Følgende antagelser må lægges til grund for anvendelse af industridata i en risikoanalyse:

- Det analyserede anlæg er bygget til den standard, der er almindelig i industrien.
- Udstyret er afprøvet og vedligeholdt til en standard, der svarer til industristandard.
- Der er ingen usædvanlige muligheder for menneskelige fejl.

Disse antagelser er vigtige, idet forskellige niveauer af sikkerhedsstyring kan medføre forskelle på op til en faktor 100 i uheldshyppigheder, som kan ses i det praktiske arbejde ved at sammenligne uheldsstatistik fra forskellige virksomheder inden for samme branche. (se f.e. Joschek)

Det sidste skridt i en kvantitativ risikoanalyse er beregning af antallet af personer, som påvirkes af de forskellige uheld. Det vil normalt være nødvendigt at beregne konsekvenser ved flere forskellige toksiske koncentrationer, svarende til grænser ved flere afstande fra uheldskilden, for at vurdere antallet af skadede. Forskellige koncentrationer af toksiske stoffer vil give forskellige påvirkninger i den eksponerede befolkning. Grunden hertil er, at de enkelte personers reaktioner og følsomhed overfor toksiske stoffer varierer. Specifik viden herom er vanskelig at frembringe.

Fordele og ulemper med kvantitative analyser.

Selv om man kan etablere et sæt af vurderingskriterier, som skal tjene til en teknisk evaluering, er der alligevel problemer ved brugen af kvantitative risikoanalyser, som gør det nødvendigt at overveje alternative muligheder.

Et af de væsentligste problemer med kvantitativ risikoanalyse er det store antal explicitte antagelser, og den udviklede proces som kræves for at kunne gennemføre en kvantitativ analyse. Resultatet er, at kvantitative analyser ofte er uigennemskuelige. At vurdere om resultatet er korrekt, eller om risikoen kan reduceres, kræver at man gennemgår analysen i detaljer.

En anden ulempe ved kvantitative analyser er, at der kræves fejllhyppighedsdata, som ofte ikke er til stede for det pågældende anlæg. Man er derfor nødt til at anvende "generiske" data, taget fra industridatabanker, og at vurdere i hvilket omfang disse data er relevante, samt i hvilken grad de kan korrigeres. På denne måde introduceres et usikkerhedsmoment.

Et tredje punkt, der ofte refereres til som en ulempe, er at vurdering af sandsynligheden for menneskelige fejl er meget usikker. Dette er kun delvis sandt. Beskrivelsen af muligheder for menneskelige fejl er en vanskelig proces og introducerer store usikkerhedsmomenter, med mindre man bruger meget håndfaste analyseprocedurer. Dette er en svaghed ved alle analyseprocedurer og ikke kun ved de kvantitative. Vurdering af sandsynligheden for menneskelige fejl, når fejlmekanismerne er kendt,

giver rimelig konstante og reproducerbare resultater (EPRI, 1983).

En sidste ulempe ved kvantitative risikoanalyser er, at de med den udformning, de har i dag, er dyrere end de kvalitative. Det har dog vist sig, at dækningsgraden af analysen er tilsvarende forbedret. (Taylor 1984)

Fordelene ved kvantitative vurderinger er:

- De kan danne basis for en bredere risiko/benefit analyse, på en måde som ikke kan gøres ved anden metodik
- Kvantitativ risikovurdering er den eneste fremgangsmåde, som tillader en sammenligning og helhedsvurdering for en række anlæg.
- Fremgangsmåden er meget fleksibel og kan behandle nye og hidtil ukendte anlægstyper.
- Arbejdet med at kvantificere risikoen forbedrer kvaliteten af den kvalitative analyse.
- Analyserne kan bruges som basis for beredskabsplanlægning, idet antallet af tilskadekomne vurderes.

Fordele og ulemper ved kvalitative analyser

Der er en række fordele ved brugen af kvalitative risikoanalyser, især når disse er anvendt sammen med sikkerhedsbarrierediagrammer. (se kapitel 8):

- Fremgangsmåden er simpel at gennemføre.
- Metoden sætter fokus på sikkerhedsforanstaltninger og deres kvalitet.
- Den grafiske fremstilling tillader, at lægmænd kan forstå resultatet og kan begynde at tage stilling til kvalitet og antal af sikkerhedsbarrierer. Denne fremgangsmåde er den mest gennemskuelige.
- Det er ikke nødvendigt at tælle antallet af tilskadekomne ved anvendelse af metoden. Mange finder sådanne optællinger anstødelige.

Metoden har nogle ulemper:

- Metoden kan ikke bruges alene. Information om anvendte standarder, kvalitetssikring og sikkerhedsstyring kræves for at kunne støtte vurderingen af barrierens kvalitet.
- Praktisk erfaring kræves for at kunne vurdere hyppigheden af forstyrrelsen.
- Metoden er infleksibel og approximativ, således at det er nødvendigt at anvende konservative vurderingsprincipper.

- Metoden kan, i sin nuværende udformning, ikke bruges ved beredningsplanlægning, idet den ikke beskæftiger sig med antallet af tilskadekomne.
- Metoden er approximativ i langt højere grad end kvalitativ analyse. Metoden er derfor i mange tilfælde tvunget til at være "overforsigtig". Ulempene herved er ikke kun, at sikkerhedsforanstaltninger bliver dyrere, men også at der derved kan opstå situationer, hvor den nødvendige sikkerhed ikke kan opnås inden for metodens grænser af tekniske årsager. Eksemplerne i bilag B og C indeholder tilfælde af denne slags.

En kombination af en kvalitativ analyse med en begrænset anvendelse af kvantitative metoder giver en mulighed for at overvinde den sidste ulempe, idet der f.eks. bruges kvantitative metoder til vurdering af godheden af den enkelte barriere.

6. Normer og standarder

I det følgende belyses en række af de problemstillinger, der kan forekomme i forbindelse med anvendelsen af normer og standarder som helt eller delvist grundlag for sikkerhedsvurdering og godkendelse af anlæg og systemer, der er beregnet til brug ved risikobetonede aktiviteter.

Det er vanskeligt at forestille sig et anlæg eller en virksomhed, som ikke i en vis udstrækning er baseret på normer. Der kan være tale om normer, reglemter eller standarder for bygninger, installationer, anlæg, anlægsdele og komponenter eller normer for brug eller vedligeholdelse af enkeltdele eller systemer.

Normer og
risikoniveau

De regler, som findes i normer og standarder, er et udtryk for de minimumskrav, som må opfyldes for at opnå et acceptabelt sikkerhedsniveau. Accepten dækker dog i langt de fleste tilfælde kun de risici, som er knyttet til den specifikke anlægs- eller systemtype. Dominoeffekter som følge af svigt i det normdækkede system kan i sagens natur kun vurderes, når anlæggets omgivelser kendes, eller hvis normen stiller krav til anlæggets placering i forhold til andre skadekilder og/eller skadeobjekter.

Vurderingen af sikkerhedsniveau for et systemkompleks, som indeholder elementer dækket af forskellige regelsæt, normer m.v., kræver derfor en godkendt procedure f.eks. en analysemetode, eller der må være et overordnet regelsæt, som sammenfatter og dækker grænseområderne. Forudsætninger og gyldighedsområder må være klart defineret.

Det må understreges, at denne gennemgang kun dækker et lille udsnit af de normer og standarder, som er relevante for vurdering af betydelige risici, og de publikationer, som nævnes, er udvalgt alene for at illustrere generelle emner.

Normer og Standarder

Begreberne norm og standard anvendes i flæng, og da der i arbejdet med emnet ofte refereres til udenlandske regelsæt, har det været nødvendigt at definere, hvilken betydning der er tillagt de enkelte begreber:

Norm

Regelsæt udarbejdet af interesseorganisation(er), eventuelt i samarbejde med repræsentanter for myndigheder.

Standard

Regelsæt (f.eks. en norm) legaliseret af en myndighed.

Varestandard

Overenskomst om udformning, funktion m.v. af entydigt defineret komponent eller vare. Varestandarder kan være legaliseret af en myndighed, og formålet med udarbejdelsen er primært af handelsmæssig karakter.

Reglement

Lovfæstede bestemmelser eller bekendtgørelser, som indeholder tekniske og administrative retningslinier og/eller udstikker disse på basis af henvisning til normer og standarder.

Tekniske forskrifter

Opfattes her som svarende til reglement.

Kvalitetsstyring

Planlægning, gennemførelse og kontrol af kvalitet

Kvalitetssikring

De systematiske aktiviteter, der er nødvendige for at sikre, at produktets eller tjenesteydelsens kvalitet bliver specificeret, opnået og opretholdt.

Kvalitetskontrol

Måle-, overvågnings-, afprøvningsaktivitet m.v., der udføres for at konstatere eller vurdere, om kvalitetskrav er opfyldt.

Normer

Normers formål

Ordet norm har sin oprindelse i latin, norma, som betyder vinkelmål eller rettesnor. Udarbejdelse af normer med det formål at rationalisere en fremstillingsproces er således af ældre dato. Der er dog næppe tvivl om, at rationaliseringsgevinsten stadig er en af de væsentligste sporer, som driver det ofte meget store arbejde det er at udforme og vedligeholde en norm. Rationaliseringen ligger både i designprocessen, under bygning og senere ved brug af den genstand, som er dækket af normen. Et nok så betydningsfuldt aspekt ved udarbejdelse af normer er dog det sikkerhedsmæssige.

Udarbejdelse og vedligeholdelse af normer

Udgivere af normer

Normer udgives oftest, hvilket er naturligt, af de organisationer, som kan høste rationaliseringsgevinsten. Normudvalgene har imidlertid altid været nødt til at afbalancere økonomi og sikkerhed svarende til det sikkerhedsniveau, som til enhver tid har kunnet accepteres af det omgivende samfund, og som har svaret til organisationens etiske kodeks.

I praksis sammensættes normudvalgene oftest på en sådan måde, at både myndigheder og andre, som har interesse i netop den pågældende norm, er repræsenteret. Man sikrer derved den bedste mulighed for accept af normen. De første udkast til en norm vil afspejle den håndværksmæssige praksis, som eksisterer på området, og vil være baseret på den erfaring, der eksisterer på det tidspunkt om de risici, som knytter sig til feltet. Efterhånden som normen afprøves og revideres, kan dens kvalitet forbedres. Der kan være tale om stramninger, men lempelser kan også forekomme, hvis erfaring, teoretiske overvejelser eller statistik giver grundlag herfor.

Norm og sikkerhed

Normernes sikkerhedsmæssige betydning får derved en ekstra dimension, idet normudvalgene ikke kan undgå at blive en "erfagruppe" og center for opsamling af informationer om hændelser af sikkerhedsmæssig betydning.

Behov for mere radikal ændring af en norm kan opstå f.eks ved:

- Introduktion af nye materialer
- Nye beregningsredskaber eller metoder
- Behov for større flexibilitet
- Bedre mulighed for kvalitetsstyring
- Ændrede forudsætninger, f.eks. nye belastningstyper.

Det risikovurderingsmæssige princip i normer bygger på statistik, altså på historien, og vil derfor være følsom overfor risikoelementer, som introduceres ved en hurtig teknisk udvikling, og ved mere grundlæggende ændringer af normer. Det kan være meget vanskeligt at opretholde et helt jævnt sikkerhedsniveau i disse situationer.

Normers opbygning

Funktionsnorm

Den struktur, der benyttes ved opbygning af normer, varierer meget, og der er i det mindste to væsentligt forskellige grundprincipper. Den ene er den traditionelle norm, som stiller meget præcise krav og regler, den anden er funktionsnormen, som kun opstiller rammer og overlader til brugeren at dokumentere, at den valgte løsning svarer hertil.

Det kan ikke umiddelbart afgøres, hvilken normtype der sikkerhedsmæssigt er at foretrække. Dette vil i høj grad afhænge af udviklingstakten på området. På et område med stabilitet med hensyn til materialer, arbejdsmetoder, anvendelsesområder etc. er den traditionelle norm utvivlsomt langt at foretrække. På områder, hvor der er en kraftig udvikling, er funktionsnormer måske et bedre redskab, fordi revision er enklere.

Kontrolklasse

Dansk Ingeniør Forening har valgt i stor udstrækning at bruge funktionsnormen, og i en række tilfælde forøget flexibiliteten ved også at benytte flere kontrolklasser. Hvis brugeren vælger en klasse med relativ ringe kontrol, er hans spillerum mindre, jo mindre sikker brugeren er på de forskellige parametre, jo større sikkerhedsmargin kræves.

Funktionsnormerne suppleres med en vejledningstekst, i hvilken der redegøres for hvordan normkravene eksempelvis kan opfyldes. På denne måde åbnes for en anvendelse af funktionsnormen, som svarer til virkemåden af den traditionelle norm.

Standarder

Det er ikke muligt at definere forskellen mellem normer og standarder på anden måde end ved det forhold, at regelsæt, som i titlen indeholder ordet standard, oftest er udgivet eller godkendt af en myndighed, det være sig en national myndighed, militær myndighed eller en international organisation, som af medlemslandene er bemyndiget til at legalisere fælles forskrifter.

Er man på rejse i en anden verdensdel og medbringer sit kamera, er det naturligvis hensigtsmæssigt, at man kan købe en film på stedet, som

umiddelbart kan sættes i og anvendes. På samme måde kan man over hele kloden købe f.eks. tændrør og dæk til biler og være nogenlunde sikker på, at disse er udført efter en standard, som muliggør anvendelse til bilmodeller, ligegyldigt hvor disse er fabrikeret.

Samhandelen har medført et behov for standardisering af en uendelig lang række af varer, tjenesteydelser, produktionsmetoder m.v.. Det ligger i sagens natur, at en sådan standardisering bedst varetages centralistisk, og derfor er der internationalt opbygget et samarbejde om udgivelse af standarder, International Standardisation Organisation, ISO. Denne organisation forsøger at koordinere de nationale standarder.

ISO

Standarder er meget ofte baseret på, eller er identiske med, en norm udgivet af en privat organisation. Under alle omstændigheder søger den udgivende myndighed at sikre sig, at det tekniske (og politiske) indhold kan accepteres af de organisationer og virksomheder, der berøres af standardens ord. Dette forhold er måske grunden til, at den internationale standardisering tilsyneladende er meget vanskelig og tidskrævende.

Tekniske varestandarder og sikkerhed.

Design og standarder

Standarder, som er udgivet med et klart handelsmæssigt formål, f.eks. standarder vedr. betingelser for levering af produkter af stål, eller en standardisering af rørs godstykkelse, har naturlig indflydelse på tekniske anlægs sikkerhed. Disse standarder kan imidlertid kun benyttes til at forenkle designprocessen og en efterfølgende sikkerhedsmæssig vurdering. Selvom de enkelte komponenter i et anlæg opfylder kravene i relevante varestandarder, er der ingen garanti for, at de ikke belastes ud over specifikationerne.

Godkendelse og standarder

Antallet af varestandarder er meget stort, og det kan næppe forventes, at sagsbehandlere i forbindelse med godkendelse har tilstrækkeligt detailkendskab til dette meget store materiale. Skal brugen af standarder, som grundlag for godkendelse, udgøre en forenkling i forhold til at godkende på basis af specifik analyse, må det være en forudsætning, at der findes en sikkerhedsrelateret standard for den pågældende anlægstype.

Sikkerhedsrelaterede standarder.

Det har ikke været muligt at identificere bare en enkelt egentlig standard, som komplet dækker en anlægstype.

Drift og vedligehold

En standard som DS 320, trykbærende anlæg, har meget stor bredde, og er systematisk opbygget på en måde, som tvinger brugeren til at overveje en meget stor del af de fejlmuligheder, der kan forekomme. Standarden stiller ikke kun krav til anlæg på konstruktionstidspunktet, men specificerer tiltag i forbindelse med vedligeholdelse og regelmæssig kontrol.

Hvis man ser på den liste af andre standarder og normer, hvortil der henvises, står det imidlertid klart, at standarden bestemt ikke alene kan danne grundlag for godkendelse. Det vil også være relativt enkelt at pege på en række andre emner, som også burde være dækket af listen over tilknyttede standarder, normer og vejledninger. Der savnes f.eks. regler for dimensionering og udformning af eksplosionsaflastninger, sikkerhedsaflastningssystemer m.v.

En række helt selvfølgelige forudsætninger er meget ofte udeladt i standarder som f.eks. DS 320, og det er f.eks. krav til de strukturer, hvori udstyret placeres, bygninger m.v. og restriktioner med hensyn til de aktiviteter, som må foregå nær anlægget, og andre forhold, som på afgørende vis kan ændre sandsynligheden for uheld.

Der må i sagens natur være "løse ender" i forbindelse med standarder med stor "bredde", som f.eks. DS 320, der dækker et så stort område som trykbærende anlæg. At der er behov for yderligere forholdsregler, jo mere specifik anvendelsen af standarden bliver, kan sluttes ved den kendsgerning, at f.eks. tanke til opbevaring af F-gas tillige skal opfylde andre krav opstillet af brandmyndighederne.

Godkendelse på basis af standarder

Normer og standarder er et helt uundværligt værktøj i forbindelse med vurdering af sikkerhed, og det bør være en af grundpillerne i enhver risikovurdering at undersøge designgrundlaget for det pågældende anlæg.

Ved at designe i henhold til en standard sikrer man, at sandsynligheden for funktionsmæssige svigt begrænses til et vist niveau. Problemet er imidlertid, at dette niveau ikke er klart defineret og ikke fremgår af standarden. Konsekvenserne af eventuelle svigt kan ikke være forudsat kendt ved udformningen af standarden, da placeringen af anlæg eller komponent ikke kendes i enkeltheder. Da risiko jo netop udtrykkes ved produktet af sandsynlighed og konsekvens, er det på basis af standarder derfor ikke muligt at fastslå, om et sikkerhedsniveau er overholdt.

Forholdet kan let illustreres ved et eksempel:

En virksomhed, som forarbejder et meget *sundhedsskadeligt* metalpulver, benytter F-gas til opvarmningsformål.

Problemet er nu, om man blot ved at konstatere, at F-gasanlægget og tilhørende installation er udført i overensstemmelse med alle forskrifter, kan gå videre til produktionsanlæg og lager og undersøge, om disse opfylder relevante normer og standarder. Netop en gasekspllosion vil i dette tilfælde være et af de uheld, som kan resultere i spredning af giftigt materiale, en hændelse, som alt efter lokalitet, kan være langt farligere end gasekspllosionen selv.

Den uheldssandsynlighed, som er acceptabel for gasanlægget alene, vil her være uacceptabel, og der må stilles større krav til sikkerheden.

Det er således kun muligt at benytte sådanne regelsæt som eneste grundlag for godkendelse, når en hel række normer og standarder kædes sammen af overordnede regelsæt, reglementer, tekniske forskrifter m.v. Det er på nuværende tidspunkt kun meget få anlægstyper, som kan siges at være rimeligt dækket af standard regelsæt, f.eks. systemer til distribution af gas, og da kan reglerne kun benyttes alene, når der ikke findes andre farlige anlæg i forbindelse med disse systemer. Det må forventes, at der vil gå en meget lang årrække, før arbejdet med udarbejdelse af mere omfattende reglementer og forskrifter er så langt fremme, at en individuel bedømmelse af de enkelte anlæg kan begrænses til en dokumentation af overholdelse af en norm eller en forskrift.

Den meget hastige tekniske udvikling vil besværliggøre et forsøg på at opstille generelle regler, som er detaljerede i tilstrækkelig grad, og i fremtiden vil tekniske regelsæt givet i større og større grad blive udformet som funktionsnormer. Denne form for regelsæt kan langt lettere udformes, så man sikrer en rimelig tid imellem behov for revision. Skal sådanne rammenormer virke forsvarligt, forudsættes et fagligt højt niveau hos den sagsbehandlende myndighed, eller der må nødvendigvis findes en kontrolprocedure, kvalitetssikrings- og kvalitetskontrolprocedurer i alle bygge- og anvendelsesfaser, som afspejler normernes opbygning med en mangfoldighed af måder, hvorpå normkravene kan opfyldes.

Som det fremgår af forordet til en meget grundigt afprøvet og gennemarbejdet standard for trykbærende anlæg, ASME/ANSI B31, vil der altid være områder, hvor sikkerheden ligger i hænderne på konstruktøren af anlægget, eller hos brugeren, områder det ikke er muligt at få dækket af normen.

Når dette erkendes for en relativt detaljeret norm, må det konkluderes, at et behov for grundig gennemgang og kontrol af f.eks. et anlæg til produktion af meget giftige stoffer ikke kan forventes erstattet af standarder. Der vil vedblivende være behov for en kontrolfunktion, og i mange tilfælde for en godkendelsesprocedure, som omfatter en systematisk analyse af fejlmuligheder og identifikation af risici.

Kun i forbindelse med anlægstyper, som bygges igen og igen over samme læst, er godkendelse alene på basis af normer en realistisk mulighed, og da må en række forhold efterlades åbne, forhold som f.eks. knytter sig til anlæggets placering. En standard, som er udformet for at dække selv de mest ekstreme forhold, vil jo i sagens natur medføre overdimensionering i den overvejende del af alle øvrige tilfælde.

Der er i nyere tid udviklet normer dækkende hele anlæg for ammoniak og klor (HSE), og for LPG anlæg af HSE og de hollandske myndigheder. Normerne er baseret på erfaring fra bl.a. de nyere risikoanalyser og repræsenterer en alternativ måde, hvorpå man kan anvende analysens resultater.

Et andet eksempel på en standard, eller anbefalet praksis, som på systematisk vis afstikker retningslinier for den overordnede styring af sikkerhed for en anlægstype, knytter sig til offshoreområdet. Det drejer sig om API 14 C, "Recommended Practice for Analysis, Design, Installation and Testing of Basic Surface Safety Systems for Offshore Production Platforms".

I denne "standard" benyttes et "Safety Flow Chart" som grundstruktur, og dette diagram svarer nøje til de barrierediagrammer, som beskrives i afsnit 8.

Ved at lade en standardiseret analyse indgå som en del af standarden opnår man den fornødne fleksibilitet uden at tilsidesætte den generelle anvendelighed.

7. Kvantitative kriterier for risikoaccept

Kvantitative kriterier for risikoaccept involverer beregning af sandsynligheder og konsekvenser for uheld og sammenligning af resultaterne med et eller flere tal, som angiver, hvad der er acceptabelt.

Når man anerkender, at ingen aktivitet er risikofri, er spørgsmålet - hvor stor er risikoen, er den for høj, og kan og bør den reduceres? Kvantitative risikoberegninger kan give det aktuelle tal for et anlæg. Hovedproblemet er derefter - hvor stort må tallet være?

Naturkatastrofer
som reference

Som nævnt i kap. 5 formuleres nogle fundamentale principper i "den grønne betænkning" (AT 85). En af disse kan bruges som baggrund for en kvantitativ sikkerhedsvurdering:

"Den risiko, man udsættes for i det daglig liv fra naturens side, bør ikke øges væsentligt af aktiviteter, såsom industri og lignende, skabt af andre uden vores personlige accept."

Dette princip giver basis for valg af acceptkriterier.

Præcedens

En anden måde at fastsætte risikokriterier på er at benytte "præcedens", for hvad, der tidligere er godkendt.

God praksis

Man kan således "regne tilbage" fra det risikoniveau, som eksisterer på anlæg, der betragtes som gode set fra et ingeniørmæssigt og praktisk (erfaringsmæssigt) standpunkt.

Dødsfald som
hovedkriteriet

Risikokriterier udtrykkes oftest ved frekvens for dødsfald. Det er nyttig at studere, hvorfor man bruger denne konsekvens som vurderingsgrundlag. Det er ikke, fordi man vil negligere andre former for skader, men snarere fordi man antager, at dødsfald er repræsentative for andre former for uheld, og fordi analysearbejdet lettes på denne måde. Antagelsen har dog en uheldig bivirkning, idet den kan lede opmærksomheden væk fra f. eks., senskader og miljøskader. Resultatet kan spores i så godt som alle risikoanalyser indtil dato og også i denne rapport.

Lovgivning og regler som anvender risikoacceptkriterier

Der er flere områder hvor probabilistiske acceptkriterier anvendes direkte.

Godkendelse af fly

Ved projektering af fly anvendes et risikoniveau på 10^{-7} pr. time for frekvensen af store uheld. Dette svarer til 10^{-6} pr. år eller mindre for de fleste flyrejsende, men op til 10^{-4} pr. år for personer, der flyver som en del af deres arbejde.

Offshore anlæg

På offshore olie- og gasplatforme har Det Norske Olie- og Gasdirektorat etableret et sæt retningslinier, der inddeler uheld i seks kategorier. Hver kategori må højst bidrage med et stort uheld pr. 10.000 år, hvis uheldet forhindrer evakuering eller forårsager dødsfald udenfor uheldskildens umiddelbare nærhed. Kriterierne fra offshoreområdet kan næppe betragtes som relevante onshore, idet disse må siges at berøre en delvis frivillig risiko, men formen og anvendelsen af offshorekriterierne kan bruges som

eksempel ved udformningen af kriterier på land.

Ovennævnte kvantitative kriterier anvendes også i danske farvande.

Nuklear anlæg

I USA bruges kvantitative kriterier som et alternativt led i godkendelsen af nukleare kraftværker. Når kriteriet bruges, kræves en designmålsætning for frekvensen på mindre end 10^{-4} pr. år for en nedsmeltning.

Erfaring med brug af kriterierne

Erfaring med disse kriterier er generelt set gode, de er brugbare og medfører væsentlige forbedringer i design og beredskab, ud over det som kan opnås ved brug af standarder. Resultater indenfor aerospace og de militære områder er gode, og resultaterne er kun lidt afhængige af de enkelte analytikeres erfaringer (se f.e. FAA 1985). Resultaterne viser en god overensstemmelse mellem beregning og erfaring. Årsagen til de gode resultater er, at der er brugt mange ressourcer til indsamling af data og standardisering af metoderne, og at vedligeholdelses- og driftsstandarderne er høje og ensartede på disse områder.

Analysen på offshoreområdet er normalt mindre omfattende og giver derfor mindre ensartede resultater, hovedsageligt fordi de i de fleste lande kun laves ved begyndelsen af projektering (conceptual design), hvor mange detaljer er uafklarede. Analysen er mest nyttig på dette tidspunkt, idet det er muligt at lave væsentlige ændringer i projekteringen. Eksemplet illustrerer konflikten imellem ønsket om at anvende ensartede og ensvirkende acceptkriterier, og ønsket om at anvende risikoanalyse til at opnå størst mulig sikkerhed.

Generelt set viser analyserne et behov for at balancere imellem en standardiseret beregningsmetodik, således at forskellige analyser er sammenlignelige, og behovet for frihed i beregningsstrukturen, således at nye udviklinger og ny viden indenfor risikoanalyse disciplinen kan udnyttes.

Præcedens fra aktuelle sager

Offentlige instanser både i Danmark og udlandet har vurderet nogle aktuelle sager på basis af kvantitative risikoanalyser. Disse vurderinger kan benyttes til at vise hvilke risikoniveauer, der betragtes som acceptable under forskellige forhold. Dette er især tilfældet, såfremt godkendelsen foretages, efter at de anbefalede forbedringerne er udført, således at man ved, at anlægget betragtes som et grænsetilfælde. De beregninger, der er lavet til dette formål, er af forskellig art. Nogle beregninger gælder for uheldsfrekvenser, uden at der nødvendigvis sker dødsfald. Andre beregninger gælder for individuel risiko, og nogle beskriver samfundsrisikoen. En liste over relevante "præcedens" findes i tabel 7.1.

Canvey Island

To af disse tilfælde er specielt relevante. Det ene er Canvey Island ved Thames munden, hvor der ligger en by og fem petrokemiske anlæg. I 1976 blev der udpeget en undersøgelseskommission til at vurdere rimeligheden af, at der skulle bygges et nyt raffinaderi. Der blev foretaget en større risikoanalyse, og resultaterne blev offentliggjort.

Kommissionen bedømte risikoniveauet til at være uacceptabelt og anbefalede flere forbedringer i de eksisterende forhold. En ny analyse blev foretaget, og resultatet blev bedømt til at være acceptabelt for en alferede eksisterende virksomhed, men at risikoniveauet formodentlig ikke ville kunne accepteres for en ny virksomhed.

Bedømmelsen begrundedes med den individuelle risiko, og kommissionen lagde ikke særlig megen vægt på samfundsrisikoen. Samfundsrisikoniveauet var beregnet som ekstremt højt. Kommissionen tog hensyn til, at beregningerne var "konservative", det vil sige, at de overvurderede risikoen. Konservatisme var i øvrigt et krav til beregningerne fra kommissionens side.

Kommunekemi

Den anden relevante "præcedens" er analysen af Kommunekemi i 1982. Man bestræbte sig på at lave en grundig analyse, der gav et kvantitativt resultat og tog eksplicit hensyn til menneskelige fejl. Risikoen blev vurderet som acceptabel af de centrale myndigheder. Det individuelle risikoniveau blev beregnet til at være højst 10^{-7} pr. år for dødsfald for den mest udsatte nabo, for hver af tre anlægsenheder.

Anlæg	Uhelds frekvens pr. mill. år	Samfundsrisiko døde pr. mill. år	Individuel risiko, død pr. mill. år
Mosmorran pipeline	40		
Første Canvey Island studie (uacceptabel)		1610 (10 d.) 20 (18000 d.)	770
Andet Canvey Island studie (vurderet til at være acceptabel)		1005 (10 d.) 5 (18000 d.)	67
Rijnmond, 6 anlæg			mindre end 40 (ansatte)
Olie platforme, Norge		400 (grupperisiko, ansatte)	
Goteborg havn		1000	
Lysekil LPG terminal			.001
Nuclear anlæg USA	1 (pr. anlæg)		
FAA aircraft licensing	1 (pr maskine)		
Kloralkali anlæg, København (uaccepteret) (efter reduktion)		3000 ca. 30	
Kommunekemi		10	.3(nabo) 100(ansatte)
Danlink kemisk transport		1	
Kemisk Værk Køge Phenmedipham			< .1

Tabel 7.1 Risikoniveauer, som myndigheder har taget stilling til.

Anbefalinger fra litteraturen

Forskellige personer har i tidens løb anbefalet accept eller tolerancekriterier og retfærdiggjort dem. En af de første var Gibson (1974), som anbefalede en værdi for menneskeliv på 200.000 engelske pund, med den begrundelse at investeringer i sikkerhed over dette beløb normalt ville kunne anvendes bedre et andet sted (til at forbedre sikkerhed, underforstået). Dette er et argument ud fra eksisterende normal praksis og viser niveauet ved normal god praksis i en stor og sikkerhedsbevidst virksomhed. (Niveauet vil være højere i dag, på grund af inflationen om ikke andet).

Kletz anbefalede et niveau for dødsfald på maksimum $4 \cdot 10^{-8}$ pr. time for medarbejdere, og påpegede at ingen dele af anlæg bør bidrage mere end en brøkdel af dette. Han anbefalede også et niveau på højst 10^{-6} pr. år for dødsfaldrisiko for større uheld for den nærmeste nabo. Begrundelsen for disse niveauer var, at de var sammenlignelige med eksisterende god ingeniørmæssige praksis. Niveauet, som beskrevet af Kletz, er blevet brugt rutinemæssigt igennem flere år i risikoanalyser internt i flere virksomheder i England, USA og i Danmark.

I en præsentation af risikoanalysen af en større rørledning, anbefalede Ramsey et niveau på $4 \cdot 10^{-6}$ for naboer til rørledningen. Hans begrundelse var, at dette niveau ikke ville ændre naboernes samlede risikoniveau på nogen nævneværdig måde.

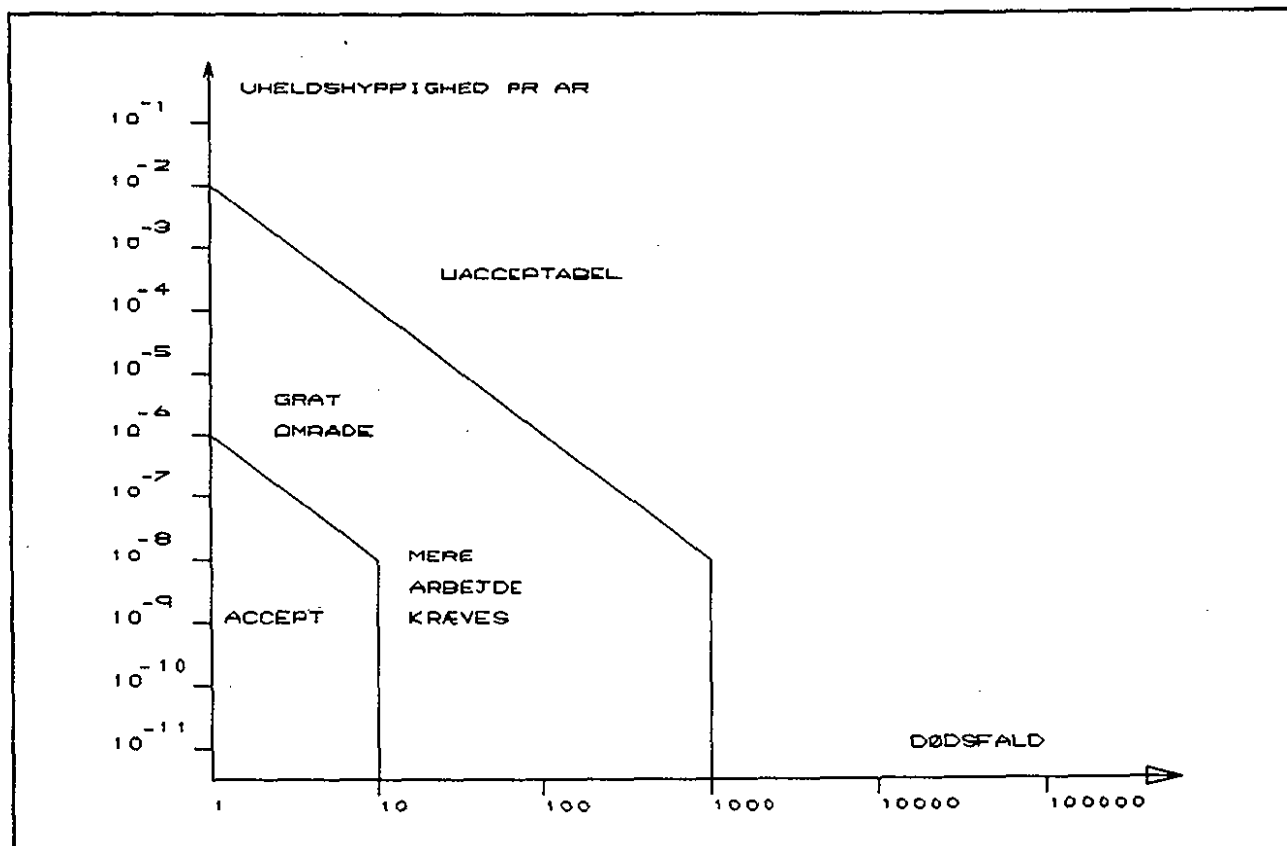


Fig 7.1 Groningen myndigheders forslag, 1979

Groningen

Myndighederne i Groningen i Holland formulerede et acceptkriterium for samfundsrisikoaccept i 1979. Udgangspunktet for kriteriet er en risikokurve, som viser et begyndelses niveau på 10^{-6} p.a. for et enkelt dødsfald, faldende med kvadratet på antallet af dødsfald, og med et maksimum på 1000 dødsfald. En vigtig punkt ved dette forslag var et "gråt område", hvor man skulle tilstræbe forbedring.

Risikokurver af denne type angiver hyppigheden af uheld med mindst N dødsfald. Kurver af denne type kaldes "kumulative risikokurver".

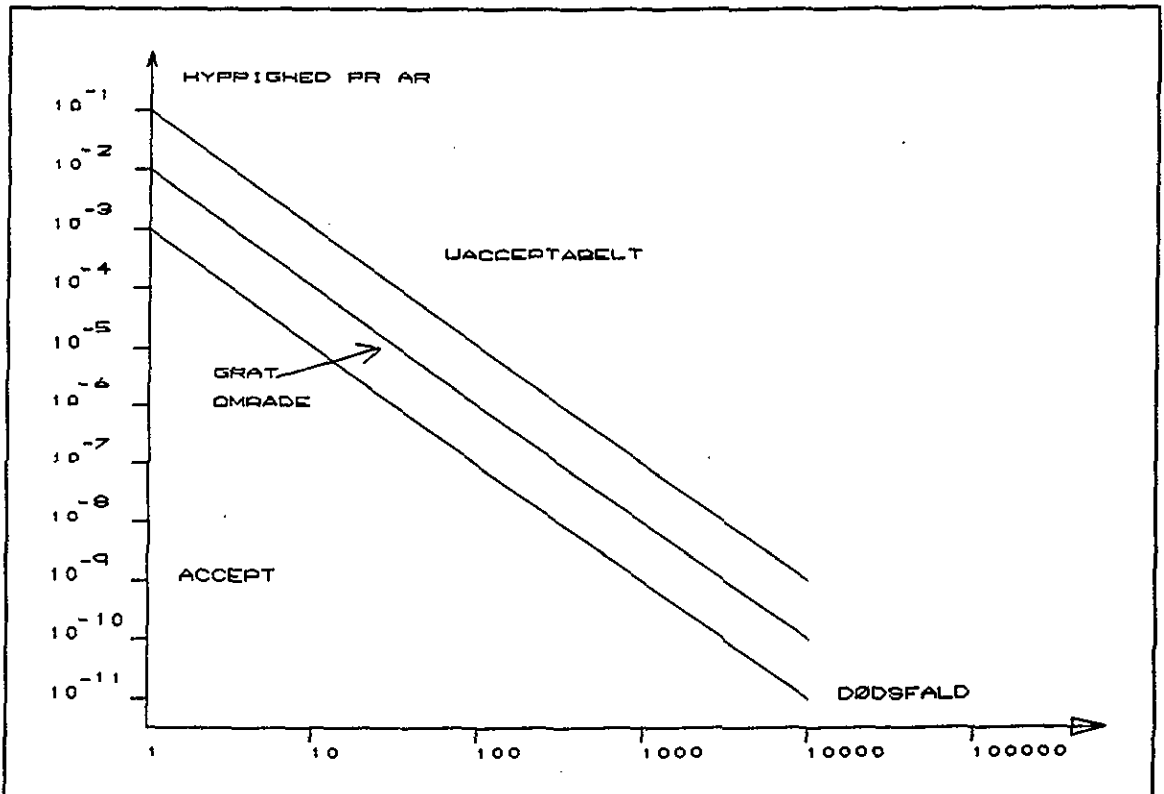


Fig 7.2 Styhr Petersens kurve 1984

Det hollandske kriterium blev studeret af Styhr Petersen og præsenteret i en revideret form med argumentation, delvis baseret på vurderinger fra Royal Society study group on risk assessment (ref. Styhr Petersen, 1984, Royal Society, 1983), delvis på arbejde af Lans og Bjørdal, og studie-gruppe arbejde udført af en gruppe under den Europæiske Føderation af Kemiingenører.

Det hollandske kriterium er blevet revideret i tidens løb. Den seneste version for nye anlæg vises i fig. 7.3. De hollandske myndigheder nævner vanskelighederne ved at opfylde kriteriet på eksisterende anlæg, og højere acceptgrænser er blevet fastsat for eksisterende anlæg.

Et vigtigt aspekt af det oprindelige hollandske forslag var en afskæring svarende til en maksimum tilladelig uheldsstørrelse. En sådan grænse er også foreslået af bl.a. A. Jensen, notater over nuklear reaktorerne ved Barsebæk. Grænsen er fjernet i de senere hollandske kriterier.

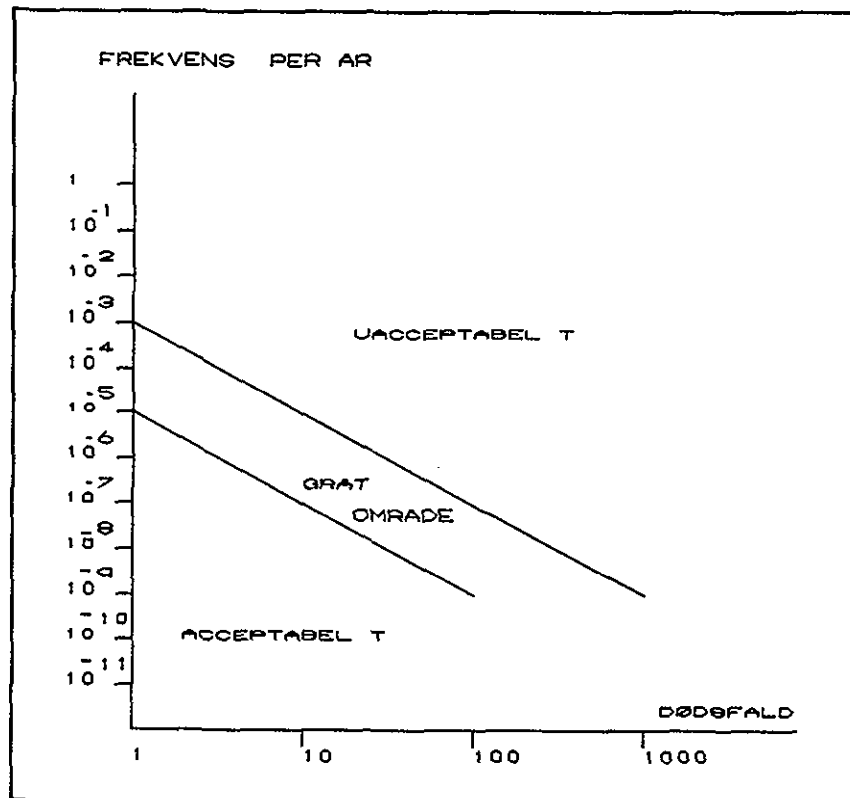


Fig 7.3 Reviderede hollandske kriterier, 1985

Kriteriet blev revideret ved at øge frekvenserne med en faktor 10 for at tage højde for de problemer, som er blevet bemærket ved at anvende kriteriet på eksisterende anlæg (Fig. 7.4)(Garcia, 1989). Dette reviderede kriterium blev brugt i mange analyser som basis for beredskabsplanlægning. Erfaringen nævnes her, fordi projektet repræsenterer et af de få tilfælde, hvor mange anlæg er blevet analyseret kvantitativt med moderne risikoanalyseteknik på ensartet vis.

Erfaringen fra projektet bekræfter de hollandske observationer, idet de anlæg, som blev betragtet på basis af erfaringen som problemfri, viste sig at opfylde kriteriet, mens de anlæg, som blev vurderet som problematiske, ikke opfyldte kriteriet. For næsten samtlige eksisterende anlæg ville opfyldelsen af de hollandske kriterier i en urevideret form volde alvorlige problemer. Et problem, som er blevet bemærket, er, at det er meget vanskeligt/umuligt at opfylde kriteriet ved hjælp af beredskabsplaner eller konventionelle tekniske forbedringer, hvis der eksisterer en mulighed for uheld med flere tusinde dødsfald. Dette svarer godt til erfaringen fra Canvey Island analysen (se tidligere).

Fig 7.4 er brugt her som basis for et forslag om kriterier til brug i Danmark.(se 3 sider frem)

En interessant mulighed ligger i at sammenligne disse risikoacceptniveauer med samfundsrisiko fra brande, større trafikuheld osv. Dette er gjort i fig. 7.5. Kurverne er baseret på Fryer og Griffiths optællinger for England. Deres værdier kan ikke bruges umiddelbart, fordi de gælder for et helt land og ikke for et enkelt anlæg. Som basis for sammenligning er deres tal blevet divideret med en værdi 10.000, svarende til forholdet imellem antallet af personer i et "trusselsområde" fra et typisk anlæg med

potentiale for store ulykker (antaget på basis af erfaring fra mange analyser til at være 6000: fig 7.5 er betinget af antagelsen), og antallet af personer i UK. Der dannes derved basis for sammenligning af risikoen i et område, der ligger i nærheden af et anlæg, med de øvrige muligheder for store uheld, f. eks. p.g.a. naturkatastrofer, transportuheld og brande. Selv om sammenligningen kun er tilnærmet, kan det ses, at risikokriteriet svarer til et niveau, som kun er en lille procentdel af det eksisterende risikoniveau fra storuheld.

Risikoindeks

Informationen i de ovenstående kurver kan udtrykkes ved at beregne et risikoindeks, således

$$R = F N^2$$

hvor

R er risikoindeks

F er uheldsfrekvensen

N er forventede antal af dødsfald eller permanent invaliderede

Indexet giver en mulighed for en overordnet sammenligning af mange forskellige anlæg og uheldstyper, idet værdierne kan bruges til opstilling af prioriteringslister.

Anlæggets størrelse

Et bemærkelsesværdigt aspekt af risikokriterierne er, at de aldrig bliver relateret til størrelsen af virksomhederne.

Det ligger implicit i anbefalingerne, at de gælder for alle størrelser af anlæg. Dette fører til mærkværdige situationer, hvor små anlæg tillades at påføre lige så megen risiko som meget store anlæg. Den nuværende fremgangsmåde er næppe holdbar i længden og skaber straks problemer, når man begynder at evaluere transport eller mindre lagre. Accepten bør relateres til værdien eller omfanget af den nævnte produktion, ellers kunne kriterierne opfyldes ved at dele en større enhed ud i mindre enheder uden nogen reel ændring af risikoniveauet.

En mulighed for at overvinde dette problem er at vurdere risikoen i forhold til samfundsværdien ved et bestemt anlæg. Samfundsfordel kan eventuelt måles i form af udbetalt løn eller skatter. For nogle anlæg, f.eks. medicinsk produktion, destruktion af farligt affald er dette princip utilstrækkeligt, men der er nogle typer anlæg, hvor fremgangsmåden i praksis giver et direkte mål imellem risiko og samfundsfordel.

For at kunne skabe en relation imellem samfundsnytten af et anlæg er risikoniveauerne for et typisk F-gas lager, klor produktion, raffinaderienhed og benzintransport undersøgt. Disse blev valgt, fordi aktuelle tal for produktionsværdierne fandtes i form af skatter, afgifter og løn.

For at kunne beregne værdierne i forhold til risikoen blev risiko udtrykt som et risikoindeks.

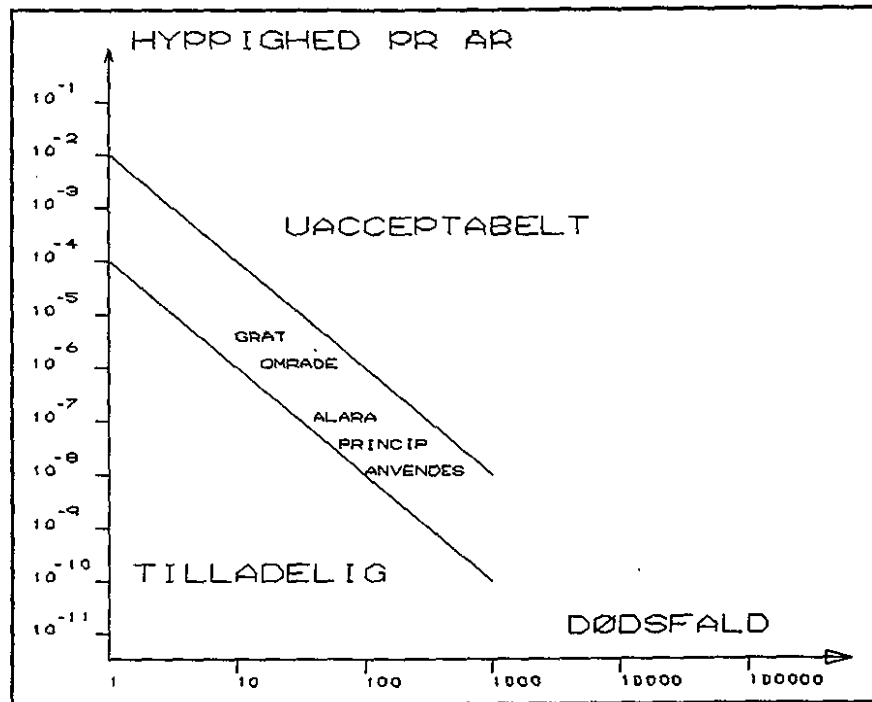


Fig.7.4 Risikoacceptkriterie anvendt i praktiske projekter i 1988, og anbefalet her som samfundsrisikoacceptkriterium.

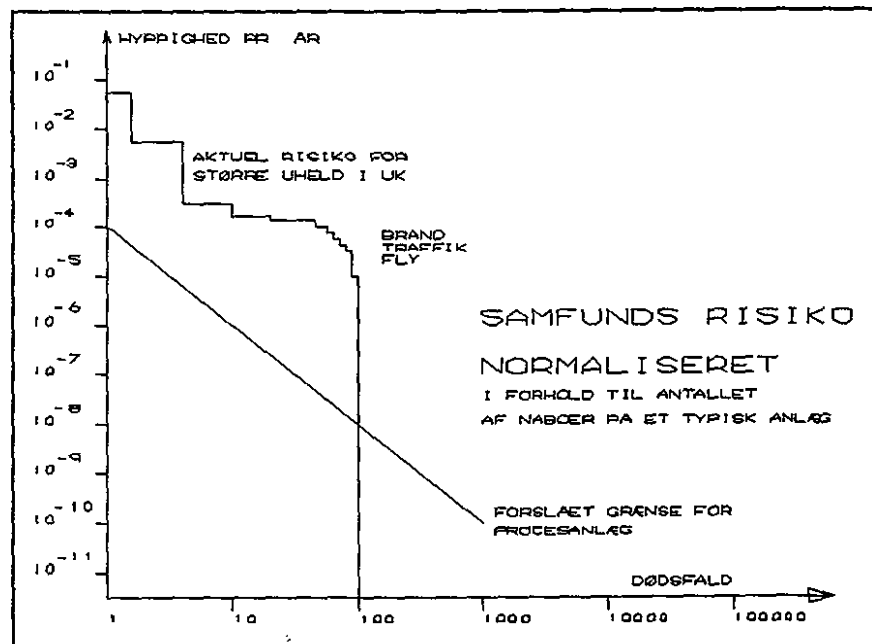


Fig 7.5 Sammenligning af aktuel risiko for større uheld i UK med det foreslåede kriterium.

Tabellen viser resultatet af disse beregninger.

Anlæg, rute	Risikoindex pr. million dollar samfundsfordel
Alkylerings anlæg	$6 \cdot 10^{-7}$
Kloralkali anlæg	$7 \cdot 10^{-7}$
F-gas anlæg (produktion)	$35 \cdot 10^{-7}$
Benzintransport	$3 \cdot 10^{-7}$

Værdierne ligger overraskende tæt på hinanden, og må give udtryk for en vis ensartethed i holdninger til de tekniske aspekter af sikkerhed, som vi p.t. ikke forstår til bunds.

Anbefalede kriterier

Her gives et forslag til brugbare kriterier for teknisk vurdering af anlæg. Argumenter for og imod kriterierne gives senere.

På basis af de ovenstående diskussioner betragtes følgende niveauer, så vidt det kan bedømmes, som værende i overensstemmelse med eksisterende god ingeniørmæssig praksis for de fleste anlæg. (En enegyldig basis for kriteriet vil kræve en grundig risikoanalyse af flere anlæg af anerkendt god standard):

- En individuel dødsfaldsrisiko for den mest udsatte nabo på 10^{-6} p.a.
- En samfundsrisiko for dødsfald på 10^{-4} p.a. for et uheld med mindst 1 dødsfald .
- Et niveau som falder i forhold til kvadratet på antallet af døde (fig. 7.4).
- Et gråt område som ligger over "acceptabilitetskurven", hvor risikoen bør være "As Low As Reasonably Achievable"

Igen på basis af de ovenstående diskussioner bør kriterierne suppleres med følgende:

- Risici, som på rimelig vis kan reduceres eller fjernes, skal reduceres eller fjernes.
- Der skal tages hensyn til muligheden for alvorlige eller varige skader, samt senskader. Det mest nærliggende er at vurdere permanent invalidering enten på lige fod med dødsfald eller med en procentvis vurdering, på samme måde som man gør ved forsikrings- eller erstatningssager.

Kriterierne gælder ikke umiddelbart for anlæg med mulighed for uheld med mange hundrede døde. Udenlandsk erfaring viser (HSE, Garcia), at selv om anlæggene er bygget og placeret i forhold til god eksisterende praksis, vil disse ofte ikke kunne opfylde kriterierne. For sådanne anlæg

anbefales en samfundsrisikogrænse, som er højere end den ovenstående, at alt, som er praktisk muligt, gøres for at reducere risikoen, og at der anvendes flere sammenligninger som basis for beslutningerne. Andre kriterier, specielt sikkerhedsstyringskriterier, vil normalt blive den vigtigste del af beslutningsgrundlaget i sådanne tilfælde.

Det er muligt at et anlæg, der opfylder de ovenstående kriterier, ikke vil kunne accepteres alligevel, for eksempel på grund af indvirkning på anden planlægning, utilstrækkelige muligheder for at etablere beredskab eller manglende fordele osv. Afgørelsen vil være afhængig af, hvem der foretager vurderingen, og hvilke beføjelser vedkommende har.

Det er også muligt, at et anlæg der ikke opfylder ovenstående kriterier, alligevel vil kunne godkendes. En af grundene kunne for eksempel være, at anlægget eksisterede og udførte en værdifuld funktion, og at yderligere reduktion ville være praktisk umuligt.

Til trods for disse muligheder vil en analyse, der viser, at et anlæg opfylder ovenstående kriterier, være et godt udgangspunkt for en vurdering.

Argumenter for og imod kriteriet for individuel risiko

Den individuelle risiko: en maksimal hyppighed for dødsfald på 10^{-6} p.a., fremhæves som den foretrukne. Argumenter for og imod dette niveau er skitseret.

Det bør være klart, at et krav om en beregnet sandsynlighed for dødsfald på 10^{-6} p.a. i sig selv er et forenklet kriterium. Det skal nødvendigvis, selv på et teknisk plan, suppleres med kriterier for kortvarige-, permanente- og senskader. Kriterierne skal også understøttes af krav som sikrer, at forudsætningerne for brug af kriteriet er opfyldt (se kap. 10).

Niveauet svarer typisk til en frekvens for større uheld med mulighed for skade på naboer på 10^{-4} p.a. De to størrelsesordener mellem værdierne 10^{-6} og 10^{-4} fås ved at tage hensyn til vindretnings- og eksponeringsfaktorer.

Argumenter imod kriteriet er:

- Kriteriet er ikke progressivt, idet det formentlig svarer til det nuværende sikkerhedsniveau på anlæg med god sikkerhedsmæssig standard.

Argumenter for kriteriet er:

- Det svarer til risikoen fra naturkatastrofer (jfr. den grønne betænkning)
- De fleste eksisterende anlæg med en god sikkerhedsmæssig praksis, vil formentlig kunne opfylde kriteriet.
- Den resulterende risiko er en ekstrem lille brøkdel af den samlede risiko for dødsfald p.g.a større ulykker selv for den nærmeste nabo, nemlig mellem .01% og .1% af den gennemsnitlige individuelle risiko, og op til 1% af risikoen for unge mennesker mellem 12 og 16 år.

- Niveauet er opnåeligt på langt de fleste anlæg, eventuelt efter praktiske forbedringer i sikkerheds systemerne.

Argumenter imod en øgning af niveauet er:

- En øgning til f.eks. 10^{-5} vil formentlig svare til en sænkning af det eksisterende sikkerheds niveau på de fleste anlæg.

Argumenter imod en reduktion af niveauet er:

- En reduktion vil formentlig kræve en væsentlig ændring i den nuværende sikkerhedspraksis, eller en ændring af den nuværende placering af mange anlæg, således at afstanden til den nærmeste nabo typisk kom op over 1 til 2 km.

Som konklusion foreslås et individuelt risikoniveau for dødsfald på 10^{-6} som maksimum tilladeligt.

Argumenter for og imod acceptkriteriet for risikoen for samfundet.

Argumenter for og imod det ovenfor beskrevne samfundsrisikokriterium er vanskeligere at opstille end for det individuelle risikoacceptkriterium, hovedsagelig fordi der er mindre erfaring med samfundsrisikoanalyser. Der er kun lavet få af disse analyser, og de fleste af dem er ikke offentligt tilgængelige. I Danmark er kun DS's klorkalianlæg blevet analyseret på denne måde.

Der er tre spørgsmål m.h.t. samfundsrisikokriteriets værdier:

- Hvor skal udgangspunktet (skæringen med frekvens akse) være for uheld med kun et dødsfald?
- Hvad skal hældningen på risikokurven være?
- Skal der være en afskæring, ved en bestemt uheldsstørrelse, hvorefter anlæg med uheldsmuligheder over denne størrelse ikke tillades?

Hovedargumentet for, at 10^{-4} skal være udgangspunktet for risikokurven er, at denne værdi er 100 gange større end den individuelle risikoværdi beskrevet tidligere. Dette er netop værdien, som logisk passer til det individuelle risikokriterium, idet vindretningssandsynligheden og eksponeringsgraden bidrager med en faktor 30 - 100 imellem disse to værdier ved de fleste anlæg, se appendix A.

Argumentet for en hældning på samfundsrisikokurven, der er omvendt proportional med kvadratet på antallet af dødsfald ved et uheld, er:

- Hældningen passer til det der er observeret i de fleste statistiske undersøgelser over større uheld.
- Værdien diskriminerer de største uheld, og tager derfor højde for den ekstra belastning som større uheld påfører samfundet i form af behovet for udvidet beredskab.

- Værdien understøttes af diskussioner, som er blevet præsenteret i litteraturen (hovedsagelig som resultat af hollandsk arbejde), når der tages hensyn til de praktiske vanskeligheder ved eksisterende anlæg.
- Kriteriet kan opfyldes på de fleste anlæg, med mindre der er mulighed for meget store uheld (flere tusinde dødsfald) (se afsnittet om præcedens).

Argumenter for en højere værdi end 2 for eksponenten i risikokurvens formel har ikke kunnet findes. En øgning over værdien to vil ikke kunne opfyldes på anlæg med mulighed for uheld med mere end 10 dødsfald udenfor hegnet (en værdi på 2.5 vil for eksempel typisk kræve en ulykkesfrekvens på 10^{-9} pr. år. eller en uheldsfrekvens på 10^{-7} pr. år inden der tages hensyn til vejforhold og ophold. Sådanne lave uheldsfrekvenser er meget vanskelige at opnå ved normal praksis på mindre anlæg.)

Argumenter, der støtter en lavere værdi end to, er:

- Det bør være gennemsnitstabet, (det gennemsnitlige antal af ulykker/dødsfald over en årrække), og ikke størrelsen af det enkelte uheld, som danner vurderingsbasis. Størrelsen kan bruges til at fastsætte beredskabsstørrelsen, eventuelt også prisen for dette, men kan ikke bruges til at vurdere samfundets tab.
- En værdi på mellem 1 og 1.5 passer bedre til det der i dag godkendes på vejtransportområdet, som kan ses bl.a. fra Mankamo's analyser.
- Der er "præcedens" for, f.eks. ved Canvey Island høringen, at man ikke lægger så megen vægt på uheldsstørrelsen. Beslutninger er blevet taget på basis alene af individuel risiko.

Der er ikke lagt særlig megen vægt på disse argumenter for ændring af kriteriet her, idet der lægges mest vægt på eksisterende sikkerhedspraksis på anlæg af den størrelse der findes i Danmark. Målsætningen ved valg af forslag har været at få en afspejling af eksisterende god praksis, således at alle anlæg kan bringes op til standarden snarere end at forbedre eksisterende god praksis.

Argumentet imod at anvende et afskæringspunkt for den maksimale uheldsstørrelse er, at et sådant krav aldrig vil kunne opfyldes. Selv det mindste og bedst placerede anlæg indenfor næsten alle industriområder vil kunne forårsage meget store ulykker under ekstreme omstændigheder, f.eks. ved kontaminering af fødevarer eller vandforsyning. (En illustration af dette findes ved uheldsforløbet i Ohio, 1978. Her blev en sæk med brandbekæmpelsesmidler forvekslet med en foderstoftilsætning. Resultatet var, at en stor del af statens kvægbestand blev forgiftet, og mange mennesker blev påvirket. Selv om der kun var dødsfald i kvægbestanden i dette tilfælde, viser uheldet det principielle - kontaminering af madvarer o.s.v. kan føre til ekstremt stort uheld.) Andre situationer, som kan medføre større uheld, er vindstille og inversionstilstande i atmosfæren.

Der er derfor ikke foreslået noget "maksimalt tilladeligt uheld".

8. Kvalitative kriterier for accept af risiko

Kvalitative kriterier for accept af risiko har til formål at sikre, at de tilstedeværende sikkerhedsforanstaltninger står i et rimeligt forhold til de mulige uheldsstørrelser og forventede hyppigheder.

Præstationskrav	Kvalitative krav kan have form af præstationskrav eller funktionskrav, der specificerer, hvor stor en beskyttelse en bestemt sikkerhedsanordning skal kunne yde. Brandmure, sikkerhedsventiler og nedblæsningssystemer kan specificeres på denne måde.
Fejlsikkerhed	Kvalitative kriterier kan også have form af krav til fejlsikkerhed. Disse medfører, at systemet bringes i en sikker tilstand, hvis sikkerhedssystemet svigter. De forskellige former for kriterier beskriver enten, at alle fejl skal føre til en sikker tilstand, at enkelte fejl skal føre til en sikker tilstand, eller at langt de fleste fejl skal føre til en sikker tilstand.
Dækningsgrad	Krav til dækningsgrad angiver hvilke typer af forstyrrelser, der skal dækkes af sikkerhedssystemerne. Et typisk eksempel på et sådan kriterium gives i API Std. 521 om trykafledningssystemer.
Enkeltfejl kriterium	<p>Endelig kan et kvalitativt kriterium angive, hvor mange forskellige sikkerhedsforanstaltninger, der skal være for at forhindre de forskellige uheld, for eksempel et enkeltfejls kriterium. Eksempler her er IEEE Std. 279 om beskyttelse af nukleare anlæg, API Std. om offshore installationer og de danske naturgasregler.</p> <p>Princippet om at enkeltfejl ikke må kunne medføre større uheld blev udvidet for nukleare anlæg til et krav om flere sikkerhedssystemer for hver uheldstype, såkaldt "defence in depth" eller "dybdeforsvar".</p> <p>For at opnå tilstrækkelig sikkerhed på et anlæg med potentiale for større uheld er ingen af disse kriterier tilstrækkelige. Der er i dag ingen kvalitative kriterier, der dækker behovet på alle typer af anlæg med potentiale for større uheld.</p>
Nye kriterier	<p>I det følgende foreslås to nye sæt af kriterier for accept af risiko. Kriterierne er udformet for at kunne anvendes sammen med den form for kvalitativ sikkerhedsanalyse, som foretages mange steder i Danmark i dag. Kriterierne er en videreudbygning af dybdeforsvarsprincippet, der tager højde for fællesfejl ("common cause failure"). Det første af disse kriterier er baseret på en detaljeret vurdering af de tilstedeværende sikkerhedsforanstaltningers dækningsgrad og pålidelighed. Det andet stiller krav til, hvor mange "høj kvalitets" sikkerhedsforanstaltninger der skal findes mod alvorlige uheldsmuligheder.</p> <p>En sikkerheds- eller risikoanalyse skal først udføres og består af:</p> <ul style="list-style-type: none">- En identifikation af de forskellige fejl og forstyrrelser der kan forårsage større uheld.- En beskrivelse af de mulige resulterende uheldsforløb.- En beskrivelse af sikkerhedsforanstaltningerne, som kan forhindre uheldene i at ske eller begrænse konsekvenserne.

- En beskrivelse af de mulige konsekvenser, hvis sikkerhedsforanstaltningerne svigter.

Kriterier for accept af risiko er her opstillet med det formål at sikre, at de tilstedeværende sikkerhedsforanstaltninger står i et rimeligt forhold til de mulige uhelds størrelser og forventede hyppighed.

Sikkerhedsforanstaltningerne vurderes nøje med hensyn til funktion, dækningsgrad, pålidelighed og indbyrdes uafhængighed, før deres bidrag i forbindelse med opfyldelse af acceptkriterierne kan fastslås.

De nye metoder skal ses som en supplement til, og systematisering af tidligere kvalitative kriterier. Metoderne og fremgangsmåden er overvejende kvalitative, men de endelige kriterier er semi-kvantitative.

Beskrivelse af mulige farlige hændelsesforløb

HAZOP-studie

Resultater af en sikkerhedsanalyse på et stort kompliceret anlæg kan ofte bestå af flere hundrede papirark fra et HAZOP-studie. HAZOP, eller "hazard and operability analysis", er en grundig gennemgang af alle de mulige forstyrrelser i et anlæg og en udredning af årsager og konsekvenser af disse. Der bruges en systematisk metodik for at sikre en høj dækningsgrad i analysen. De mange arbejdsopgaver vil være ekstremt vanskelige at læse og at bruge i det efterfølgende sikkerhedsarbejde.

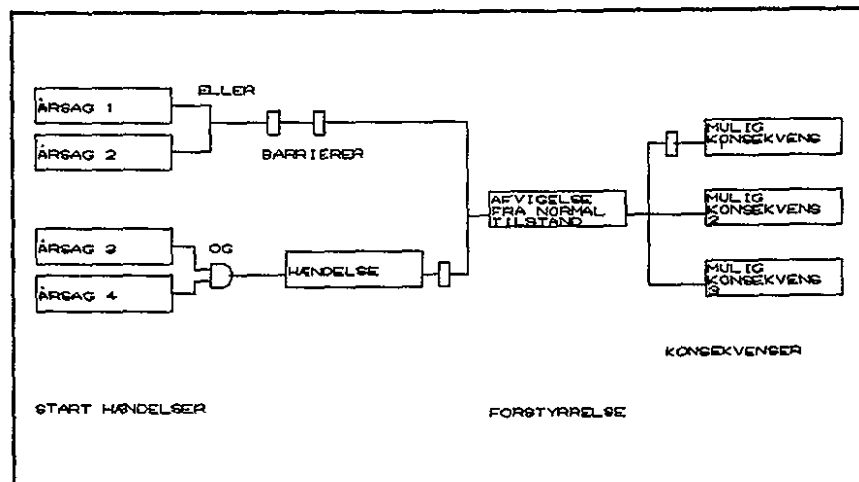


Fig 8.1 Barrierediagram (principtegning).

Overskuelig dokumentation

Ved anmeldelse af et eksisterende anlæg i henhold til Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 545 af 16. september 1988 er overskuelighed og forståelige resultater afgørende. Til dette brug må HAZOP-studiet derfor bearbejdes til en mere anvendelig form, idet de identificerede farlige hændelsesforløb beskrives. Som illustration heraf kan udarbejdes barriere-diagrammer, som har vist sig at opfylde kravet om overskuelighed. Et barrierediagram er en fremstilling af mulige uheldsforløb, hvori sammenhængen mellem årsag og konsekvenser anskueliggøres grafisk.

Figur 8.1 viser et eksempel på diagrammets grundlæggende struktur.

Den behandlede afvigelse fra normal driftstilstand vises i en kasse i midten af diagrammet.

Mulige alternative konsekvenser af afvigelsen vises i kasser til højre for midten, mens mulige årsager til afvigelsen vises i kasser til venstre for midten. Betinges årsagen af at to eller flere starthændelser skal indtræffe samtidigt, angives dette ved hjælp af et "OG" (AND gate) symbol. I tilfælde, hvor en eller flere hændelser uafhængigt kan igangsætte uheldets videre forløb (OR gate), anvendes der for nemheds skyld intet særligt symbol.

Barrierer

Ved en barriere forstås en sikkerhedsforanstaltning eller et andet forhold, som kan hæmme eller standse det givne uheldsforløb. Barrierer vises på diagrammet som sorte klodser (svære at passere). Barrierer skal opfylde visse krav til funktion, dækningsgrad, pålidelighed og indbyrdes uafhængighed, se særskilt afsnit herom. Visse foranstaltninger, som f.eks. en alarm, hæmmer ikke direkte uheldets videre forløb, uden at personalet reagerer ved at gribe ind. Derfor består barrieren somme tider af flere hændelser. Manuelt indgreb markeres med et "M".

Det er vigtigt at understrege, at kun ved svigt af samtlige barrierer giver uheldet mulighed for, at den alvorligste konsekvens forekommer, dvs. uheldet kan indtræffe, men det er ikke nødvendigvis altid tilfældet.

Fleksibilitet

I appendiks B og C er vist eksempler på barrierediagrammer. Det fremgår heraf, at diagrammet er fleksibelt, idet mange relevante, men vidt forskellige årsager er med. Det er stadig let forståeligt, selv om den centrale kasse ikke er en simpel procesforstyrrelse, men en sammensat kombination af hændelser.

Ved udarbejdelse af barrierediagrammer kan man vælge at prioritere en uheldskædes sammenhæng og betingelser højere end de formelle konstruktionsregler.

Vurdering af hyppighed

Når man har opstillet de mulige og farlige hændelsesforløb, må man vurdere, hvilken sikkerhed der er indbygget mod, at de forekommer.

Dette gøres logisk ved at:

- Vurdere de indgående sikkerhedsforanstaltninger, der stopper eller hæmmer forløbet.
- Vurdere hyppigheden af starthændelser, som kan igangsætte uheldsforløbet.

Man kan teoretisk set gennemføre dette rent kvantitativt ved at bryde ned til hændelser, man statistisk, erfaringsmæssigt eller skønsmæssigt kan ansætte fejlhyppigheden for.

Dette er ofte en dårlig ide, dels fordi nøjagtigheden (usikkerheden) på de forskellige data vil variere meget, dels fordi hyppigheden ofte er så lille, at tallet i sig selv er ligegyldigt. Størrelsesordenen er derimod væsentlig, idet acceptkrav til omfanget af sikkerhedsforanstaltninger vil afhænge af, hvor ofte de må forventes at komme i brug, og hvor store konsekvenser, der kan tænkes (og forventes) som følge af svigt.

Hyppighedsklasser

En klassificering af starthændelsernes hyppighed kan fås ved at anvende skalaen i tabel 8.1. Kun niveauerne, f.eks. H = 5, angives i barrieredia-

grammerne, og i den ledsagende tekst benyttes ordvalget, som angivet i tabellen, f.eks. "almindelig hændelse".

De angivne tidsmæssige hyppigheder skal kun tjene som vejledning for analytikeren ved klassificering og for fagfolk ved evaluering af analysen.

Ofte vil der findes barrierer, som nedsætter hyppigheden af den hændelse, der sætter det egentlige uheldsforløb i gang.

Klassificeringen skal naturligvis ske med fornøden omhu. Meget ofte må de generelle sikkerhedsforhold på virksomheden tages i betragtning (se kapitel 9), når man skal skønne hyppigheden af en fejl/hændelse.

Analytikeren må være rede til at gå ind i en diskussion herom både med virksomheden og med de myndigheder, der modtager analysen.

H = 6	Hyppig hændelse, to eller flere pr. uge (ca. 100 pr. år)
H = 5	Almindelig hændelse, en eller flere pr. år, men mindre end to pr. uge.
H = 4	Ualmindelig hændelse, under en gang pr. år, men oftere end en gang pr. 100 år
H = 3	Sjælden hændelse, under en gang pr. 100 år.
H = 2	Meget sjælden hændelse, under en gang hver 10.000 år.
H = 1/0	Yderst sjælden hændelse, under en gang hver million år.
H = X	Hændelse, hvis sandsynlighed ikke kan beregnes pga dens uforudseelige eller irrationelle karakter, f.eks. sabotage.

Tabel 8.1 Hyppighedsskala for starthændelser

Konsekvensvurdering

Teoretisk set kan man beregne konsekvenserne af et uheld, men den tekniske viden om f.eks. spredning af stoffer og toksisk virkning er af meget varierende nøjagtighed, så man er normalt henvist til at foretage en række simplificerende antagelser. Disse antagelser tilstræbes at være i så nøje overensstemmelse med virkeligheden som muligt, men i tvivlstilfælde gøres de konservative, dvs. den reelle konsekvens af et uheld kan være mindre end konsekvensberegninger viser.

Dette faktum kan få en overordentlig stor utilsigtet effekt, idet ikke-fagfolk vil være ude af stand til at forstå andet end resultatet af beregningen: Hvor langt væk hændelsen kan give konsekvenser.

Kan man senere skaffe mere nøjagtig viden, vil denne afstand kunne mindskes, men dette tolkes af de omkringboende lige omvendt: Når vi gør vrøvl, bliver anlægget vurderet til pludselig at være mindre farligt, hvilket ofte (normalt?) opfattes som mistænkeligt.

Konsekvensklasser

I lighed med hyppigheden af starthændelserne kan mulige konsekvenser af farlige hændelsesforløb med fordel klassificeres for at angive størrelsesordenen.

Klassificering kan ske ved at anvende skalaen i tabel 8.2.

Kun niveauerne, f.eks. $K = 5$ angives på barrierediagrammerne, og i den ledsagende tekst benyttes ordvalget i figuren, f.eks. stort uheld.

Klassificeringen baseres på konsekvensberegninger, erfaring og skøn, idet sammenligning med stedfundne uheld vil veje tungt. Beregninger udføres normalt kun for at opnå et kvalificeret skøn og vil på dette trin ofte være meget konservative. De bør kunne dokumenteres og diskuteres.

Sandsynligheden for skader på personer uden for virksomheden afhænger som regel af, hvor langt fra anden bebyggelse virksomheden er placeret. I appendiks A er beskrevet hvorledes sandsynligheden for at blive ramt af et givet uheld aftager med afstanden fra uheldsstedet.

"Worst case"

Det understreges, at et barrierediagram for den enkelte uheldskæde bør omhandle "worst case"- hændelser/konsekvenser. Selv om samtlige barrierer skulle svigte, vil starthændelsen ikke nødvendigvis udløse sluthændelsen. Ydre faktorer vil ofte spille ind, f.eks. vindretning og -styrke, vejrstabilitet og den relative placering af potentielle ofre i forhold til uheldsstedet herunder afstanden til anden bebyggelse. Ligeledes forekommer en del farlige situationer kun i en vis del af året, f.eks. kan indholdet af farlige stoffer variere med årstiden. Dette forhold kan angives som en barriere, der pointsættes ud fra en vurdering af sandsynligheden for, at den alvorlige konsekvens indtræffer fremfor en mindre alvorlig sluthændelse. I den ledsagende tekst argumenteres sandsynligheden, og der beskrives hvilke mindre alvorlige konsekvenser, der kan være tale om.

Der er tale om en relativ grov vurdering. Den bør tilstræbes at være realistisk, men bør i tvivlstilfælde give et pessimistisk fremfor et optimistisk billede af sikkerhedsforholdene.

K = 0 - Ingen konsekvenser

Hændelser, der er normale for anlæggets drift eller i udførelsen af opgaverne, og som ikke medfører forstyrrelser eller farer.

K = 1 - Ubetydelige konsekvenser.

Hændelser, der medfører mindre forstyrrelser men ikke farer og heller ikke påvirker produktionen eller opgavens udførelse i større omfang.

K = 2 - Mærkbare konsekvenser.

Produktionen eller udførelsen af opgaven påvirkes mærkbart. Der er dog ikke tale om skader på personer eller miljø og kun i mindre omfang på udstyr i nærheden af uheldsstedet.

K = 3 - Betydelige konsekvenser.

Der optræder mindre alvorlige personskader og/eller betydelig beskadigelse af miljø eller udstyr i nærheden af uheldsstedet.

K = 4 - Alvorlige konsekvenser på virksomheden

Hændelser af alvorlig karakter, der dog kun omfatter virksomheden selv - ikke dens omgivelser.

Der optræder ødelæggelse af anlægget og varige skader evt. dødsfald blandt medarbejderne.

K = 5 - Stort uheld omfattende såvel virksomheden som omgivelserne.

Der er internt på virksomheden tale om adskillige varigt skadede personer evt. dødsfald og/eller større ødelæggelser af anlægget samt påvirkning af virksomhedens omgivelser i form af varigt skadede personer, evt. dødsfald, miljøskader eller materielle ødelæggelser. Kan evt. opdeles i to niveauer:

- **K = 5.1:** Mulighed for op til 10 dødsfald uden for virksomheden og/eller miljøskader af begrænset omfang.
- **K = 5.2:** Mulighed for mere end 10 dødsfald uden for virksomheden og/eller omfattende miljøskader.

Tabel 8.2 Konsekvensskala for uheld

Risikobillede

Et barrierediagram med angivelse af niveau for hyppighed og konsekvens afspejler risiko på let forståelig måde. Konsekvenserne sættes i perspektiv og danner grundlag for en vurdering af sikkerhedsforanstaltningernes tilstrækkelighed.

Vurdering af barrierer

I beskrivelsen af farlige hændelsesforløb bør indgå kvalitative pålidelighedsvurderinger af de tilstedeværende barrierer. Vedligehold og afprøvning indgår her, men vil ofte være beskrevet under de generelle sikkerhedsforhold.

Det er vigtigt at understrege, at man ikke kan vurdere en barriere uden at tage hensyn til forholdene, hvorunder den skal fungere. Giver barrieren i nogle tilfælde anledning til en forværret situation? Kan den afhjælpe alle farlige situationer af den givne type, eller er virkeområdet begrænset?

Sikkerhedsbarrierer kan opdeles i tre hovedkategorier, passive, aktive og forebyggende.

Barrieretyper

Passive barrierer, som f.eks. afstand til bebyggelse, brandmure, opsamlingsgruber eller isolering på en beholder. Disse svigter sjældent, med mindre de tager skade af selve uheldet eller forfalder pga. manglende vedligehold. Tilstedeværelsen af en passiv barriere vil derfor have en afgørende betydning for sikkerheden.

Aktive barrierer som bliver aktiveret ved at en hændelse i uheldskæden indtræffer. Muligheden for svigt er normalt større end for de passive, men aktive barrierer af god kvalitet vil kunne reducere sandsynligheden for et uhelds videre forløb betydeligt. Aktive barrierer kan kombineres med manuelle indgreb.

Forebyggende barrierer omfatter både de foranstaltninger, som nedsætter hyppigheden af de hændelser, som sætter det egentlige uheldsforløb i gang, f.eks. ventilation, trafikrestriktioner, rutineinspektion og de foranstaltninger, der mindsker omfanget af et uhelds konsekvenser, f.eks. alarmer, brandbekæmpelse og beredskabsrutiner.

Krav til barrierer

Det skal vurderes i hvor høj grad følgende krav til kvalitet og funktion af den enkelte barriere, der medtages i en analyse, kan opfyldes:

- Sikkerhedsudstyr må ikke selv være årsag til uheldet. Viser barriere-diagrammet f.eks. svigt af trykreguleringsventil som hændelse, må trykregulering ikke indgå som barriere på diagrammet i samme hændelsesforløb.
- Sikkerhedsudstyret må ikke ved sin funktion forårsage andre uheld, med mindre der er tilsvarende sikkerhedsforanstaltninger til at imødegå disse.
- Et instrument, der fungerer som sikkerhedsbarriere, skal være installeret og placeret, således at det kan fungere efter hensigten.
- Barrieren skal være i stand til at afhjælpe alle farlige situationer af den i diagrammet angivne type.
- Udstyr, der fungerer som sikkerhedsbarrierer, skal afprøves jævnligt og vedligeholdes på forsvarlig måde. Kan vedligehold foretages medens anlægget er i drift, er sandsynligheden for at det bliver gjort til den rigtige tid stor. Ellers er det et krav, at der foretages regelmæssige nedlukninger for vedligehold.

- Passive barrierer skal inspiceres regelmæssigt.
- Aktivering af en barriere må ikke sætte andre barrierer ud af funktion.
- Barrierer i den samme uheldskæde må ikke kunne svigte af samme årsag (common cause) f.eks. på grund af svigt i forsyning af el eller instrumentluft eller under særlige vejrforhold.
- Barrierer skal være beskyttet mod ydre skadepåvirkninger herunder beskadigelse ved selve uheldet.
- Barriererne bør være jævnt fordelt i det mulige uheldsforløb.

Manuelle indgreb

Manuelle indgreb, der ofte er del af sikkerhedsbarrierer, skal foretages af rutinerede og trænedede folk i henhold til skriftlige instrukser. Det nødvendige materiel til manuelt indgreb skal være placeret hensigtsmæssigt, vedligeholdes og afprøves jævnligt.

I vurderingen af barrierer kan indgå:

- Konstruktionsnorm, evt. fabrikat
- Kvalitetskontrol ved fremstilling og installation
- Afprøvning af pålidelighed
- Vedligeholds- og afprøvningsprogram
- Inspektionsprogram (egne folk, AT, brandmyndigheder)
- Erfaring fra anvendelse (her og i lignende anlæg)
- Undersøgelser vedr. dækningsgrad
- Regler for drift eller nedlukning ved svigt eller fjernelse af sikkerhedsbarrierer (f.eks. ved vedligehold).

Anbefalinger

Hvis ikke alle de ovennævnte krav kan opfyldes, udfærdiges anbefalinger til ændringer, hvor det skønnes rimeligt.

Vejledende acceptkriterier for sikkerhedsniveau

Når en sikkerhedsanalyse er dokumenteret, som beskrevet ovenfor, og barriererne opfylder de opstillede krav, skal der foretages en vurdering af, om der er tilstrækkeligt mange sikkerhedsbarrierer, som vil forhindre eller hæmme udviklingen af et uheld til en ulykke med konsekvenser uden for virksomheden.

En vejledning i at foretage denne vurdering angives i det følgende. Der kan i en sådan vejledning ikke tages højde for alle eksisterende sikkerhedsforanstaltninger, ej heller de, der udtænkes i fremtiden, så det må understreges, at vejledningen mere er en metodebeskrivelse end en facitliste for vurdering af, om et anlæg har et acceptabelt sikkerhedsniveau.

Hyppighedsvurdering

Alle uheldskæder med mulighed for konsekvens $K = 5$ (stort uheld) gennemgås nøje. Er hyppigheden af den hændelse, der sætter det egentlige uheldsforløb i gang (f.eks. lækage fra rør) $H = 5$ (sker den oftere end én gang pr. år) for nogle af disse, er situationen som oftest uacceptabel. Det må anbefales at indføre sikkerhedsforanstaltninger, der nedsætter hyppigheden af den igangsættende hændelse til $H = 4$ eller derunder. Det kunne f.eks. være ved øget tilstandskontrol eller opførelse af autoværn. Det kan således være formålstjenligt at foretage hyppighedsvurderingen på en hændelse, der er et stykke inde i uheldskæden, hvis det er denne hændelse, der har størst interesse. I tilfælde hvor to hændelser, hver med hyppighed $H = 5$, skal ske, for at et uheld udvikler sig, behandles den samlede hyppighed som $H = 4$.

Barrierepoint

Hver enkelt barriere i uheldskæderne tildeles et antal point (mellem 1 og 12), som afhænger af dens pålidelighed og dens mulighed for at standse uheldsforløbet.

Hvis hvert point tilstræbes at bevirke en nedsættelse af uheldshyppigheden med en faktor kvadrat rod 10 ($10^{0.5}$), opnås en sammenhæng med de kvantitative kriterier for accept af individuel risiko i kapitel 7 således:

$$F(K) = H * P$$

hvor

$F(K)$ = Hyppighed for konsekvens K

H = Hyppigheden for starthændelsen

P = Sandsynligheden for at barrieren ikke virker

I pointsystemet defineres:

$$P = 10^{(0.5 * n)}$$

hvor

n = pointtal

Er $H = 4$, dvs. starthændelsen sker højst én gang pr. år, og findes der barrierer med en pointsum på 14, vil den alvorligste konsekvens højst kunne ske én gang pr. 10^7 eller ti millioner år. Er der op til 10 af sådanne hændelsesforløb, vil den individuelle risiko for den mest udsatte nabo til anlægget ikke overstige én gang pr. million år.

Etablering af denne relation tjener til at klargøre, hvilke antagelser, der ligger til grund for de foreslåede acceptkriterier for sikkerhedsniveauet på et anlæg med risikobetonede aktiviteter.

Det er således intentionen, at de to sæt af kriterier skal sikre den samme sikkerhedsstandard. Det er derimod ikke meningen, at man nøje skal bruge denne relation, men snarere anvende den som rettesnor.

Det er projektdeltagernes opfattelse, at der opnås den bedste udnyttelse af analyseressourcer ved at benytte metoden med vurdering af sikkerhedsniveau, idet man undgår den i reglen uvæsentlige analyse af hele

spektret af uheld og kvantificering af hyppigheder og konsekvenser, som er en del af den kvantitative risikovurdering.

Det vil således være meget betænkeligt om fokus sættes på studier af bl.a. barrierens "isolerede" pålidelighed i stedet for på det samlede sikkerhedskompleks, hvor ikke-kvantificerede samspil og grove fejl er dominerende.

Afhængig af hyppigheds- og konsekvensklassen foreslås, at uheldskæden mindst skal have det antal barrierepoint, som er angivet i tabel 8.3.

Hyppighed af starthændelse	Konsekvens kategorier		
	individuel risiko	samfundsrisiko K = 5.1 K = 5.2	
H = 0/1	2	0	4
H = 2	6	4	8
H = 3	10	8	12
H = 4	14	12	16
H = 5 (uacceptabel)	18	16	20
H = 6 (uacceptabel)	22	20	24

Tabel 8.3 Krav til antal barrierepoints

Retningslinier for tildeling af point er angivet i tabel 8.4, og i tabel 8.5, 8.6 og 8.7 er en række af de mest almindelige barrierer pointsat efter disse retningslinier.

Opfylder barriererne ikke alle de krav, der er angivet i listen i forrige afsnit, og er det ikke rimeligt at anbefale de hertil nødvendige ændringer, må man benytte en pointtildeling, der tager hensyn til de konstaterede mangler.

Afstand, vejr og beskyttelse som barrierer

Det vil ofte være umuligt at opfylde acceptkriterier for sikkerhedsniveauet, hvis sikkerheden hvilede på tekniske installationer alene. Afstand og vindretning kan yde betydelig beskyttelse, og ophold inden døre kan hjælpe yderligere. Hvor mange barrierer disse faktorer kan omregnes til, eller hvor mange point der skal tildeles, afhænger af varighed og størrelse af de eventuelle påvirkninger.

Afstand som barriere

Disse forhold er blevet undersøgt, og er dokumenteret i appendiks A. Det kan ses herfra, at der kan defineres en afstand z , som er det fjerneste punkt, hvor en kritisk koncentration forekommer, når vindhastigheden er 2 m/s og stabilitetsklassen er F. En afstand svarende til 20% (let gas) eller 30% (tung gas) afstand vil svare til 3 point i barrierevurderingen. En afstand svarende til 70% (let gas) eller 90%

(tung gas) af denne afstand vil svare til 6 point i barrierevurderingen. Disse værdier er beregnede på basis af typiske danske vindforhold, og vil ikke nødvendigvis kunne bruges andre steder. Værdierne som er angivet her gælder for individuel risiko, og for samfundsrisiko, såfremt beboelser o.s.v kun findes i en retning i forhold til anlægget. Samfundsrisikoen er højere, hvis anlægget er placeret i midten af et beboet område, således at der findes beboelser i flere retninger i forhold til anlægget. Den maksimum individuelle risiko påvirkes derimod ikke af befolkningens fordeling omkring anlægget, men kun af forholdet for den mest udsatte nabo.

Ophold indendørs vil kunne fungere som en sikkerhedsbarriere, hvis eventuelle udslip er kortvarige. Udslip skal være væsentlig kortere end det aktuelle luftskifte, for at indendørs ophold kan fungere som sikkerhedsbarriere.

Nedenstående maksimale antal point kan tildeles, såfremt barrieren, når den fungerer perfekt, er i stand til at standse uheldets videre forløb. En barriere, der ikke fuldt ud opfylder de krav, der er opstillet i forrige afsnit, skal tildeles et mindre antal point.

Passiv barriere

10 point

Barriere, som fungerer efter sin bestemmelse uden aktivering.

Aktiv barriere

3 eller 6 point

Barriere, som automatisk bliver aktiveret, når en bestemt forstyrrelse indtræder. Udstyr, som er designet med særligt henblik på sikkerhed, og som derfor har særlig høj pålidelighed, kan tildeles 6 point.

Alarm barriere

4 point

Barriere, som iht. procedure bliver manuelt aktiveret efter automatisk alarm. Alarmsystemer er designet med særligt henblik på sikkerhed, og har derfor særlig høj pålidelighed.

Manuel barriere

4 point

Barriere, som iht. procedure bliver manuelt aktiveret, efter at forstyrrelse er konstateret ved proceduremæssig inspektion.

Tabel 8.4 Pointsystem for sikkerhedsbarrierer (maksimum for meget høj kvalitets barrierer)

Nedenstående maksimale antal point kan tildeles, såfremt barrieren, når den fungerer perfekt, er i stand til at standse uheldets videre forløb. En barriere, der ikke fuldt ud opfylder de krav, der er opstillet i forrige afsnit, skal tildeles et mindre antal point.

Brandmur eller -væg 10 point

Skal kunne forhindre brandspredning i mindst 60 minutter.

Dobbeltvæg 6 point

Skal kunne bære den fulde belastning, der kan forekomme ved uheld, indtil afværgeforanstaltning kan påregnes.

Isolering 6 point

Dimensionen skal checkes for en forventelig uheldsstørrelse.

Grav/dige 8 point

Skal kunne rumme maksimalt indhold af uheldsramt beholder.

Vandfyldt bassin 6 point

Skal kunne køle maksimalt udslip til ufarlig tilstand.

Terrænhældning 8 point

Væk fra uheldsområde til ufarligt sted.

Tabel 8.5 Eksempler på maksimal pointtildeling for passive barrierer.

Nedenstående maksimale antal point kan tildeles, såfremt barrieren, når den fungerer perfekt, er i stand til at standse uheldets videre forløb. En barriere, der ikke fuldt ud opfylder de krav, der er opstillet i forrige afsnit, skal tildeles et mindre antal point.

Sprængplade,
eksplosionsklap

6 point

Skal være i stand til at aflaste på sikker vis, så den øvrige konstruktion ikke overbelastes.

ESD-ventil

4 point

Del af "fail-safe"-installation. Automatisk virkende kombineret med automatisk nedblåsning giver højt pointtal.

Sikkerhedsventil

6 point

Skal være i stand til at aflaste, så den øvrige konstruktion ikke overbelastes.

Kvælstofdække

4 point

Automatisk virkende.

Automatisk
brandbekæmpelse

4 point

Sprinklere, halon, deluge-systemer dimensioneret så brandspredning forhindres i mindst 30 minutter.

Automatisk nedlukning

6 point

Del af "fail-safe"-installation.

Alarm og manuel nedlukning

4 point

Redundans af alarmer, permanent, bemanded kontrolrum og fjernbetjent nedlukning herfor giver højt pointtal.

Kontraventil

2 point

Tabel 8.6 Eksempler på maksimal pointtildeling for aktive og alarm-barrierer

Nedenstående maksimale antal point kan tildeles, såfremt barrieren, når den fungerer perfekt, er i stand til at standse uheldets videre forløb. En barriere, der ikke fuldt ud opfylder de krav, der er opstillet i forrige afsnit, skal tildeles et mindre antal point.

Periodisk inspektion 4 point

Inspektion foretages af autoriseret instans efter myndighedsgodkendt procedure. Inspektionen er underlagt kvalitetskontrol på skarpet niveau. 100% inspektion giver højt pointtal.

Manuelt aktiveret nødstop 3 point

Den farlige situation kan ses eller høres. Anlægget er altid bemanded, når der er risiko for farlig hændelse.

Interlock-system 4 point

Reducerer menneskelige fejlmuligheder i simple situationer eller efter grundig design, baseret på menneskelig fejlanalyse.

Rutinemæssig aflæsning/
inspektion 3 point

Procedure for indgreb ved fejltilstand.

Tabel 8.7 Eksempler på maksimal pointtildeling for manuelle barrierer

Forenklede kriterier for accept af sikkerheden

I nogle tilfælde kan sikkerhedsforholdene på et anlæg være så indlysende gode eller dårlige for en erfaren risikoanalytiker, at en ganske enkel og grov metode til vurdering af anlæggets tekniske sikkerhed vil være at foretrække fremfor de mere nuancerede metoder, som er beskrevet tidligere.

Den her foreslåede metode er baseret på en analyse af samme detaljeringsgrad, som beskrevet i begyndelsen af dette kapitel, og barrierer er defineret som tidligere. Her tælles dog kun de barrierer med, som opfylder alle de krav, der er oplistet til gode barrierer, dvs. maksimum fra tabel 8.4 gælder da for de forskellige typer.

Tages aktive barrierer udformet med særligt henblik på sikkerhed som udgangspunkt fås altså, at én barriere giver 6 point.

Antal af barrierer

I tabel 8.8 er angivet antal af denne type barrierer, der er nødvendige for at sikre samme høje sikkerhedsniveau som før. Ved siden af er angivet, hvor mange alarm eller manuelle barrierer (à 4 point) der skal til.

Hyppighed af starthændelse	Konsekvens			
	K = 5.1		K = 5.2	
Barrierepoint	6	4	6	4
En pr. måned	3	4	3	5
En pr. år	3	4	3	4
En pr. ti år	2	3	3	4
En pr. hundrede år	2	3	2	3

Tabel 8.8 Krav til antal barrierer

Når man som her kun medtager meget høj kvalitets barrierer, kan man komme til at stille strengere krav til et anlæg end ved det tidligere omtalte system, hvor flere mindre gode barrierer kan svare til én perfekt.

Argumenter for og imod de foreslåede kriterier for risikoaccept

Det primære argument for de nævnte kriterier er, at de stemmer godt overens med de kvantitative risikoacceptkriterier, som er blevet opstillet. Desuden er erfaringen fra det praktiske sikkerhedsanalysearbejde, at kriterierne svarer til det, som normalt vil blive krævet af et anlæg med potentiale for store uheld. Det bør dog understreges, at erfaring med anvendelse af disse kriterier endnu er meget begrænset.

Det væsentligste argument, som findes imod de opstillede kriterier, er, at de er mere restriktive end de kvantitative kriterier for så vidt større uheld med op til 30 dødsfald angår, og at de ikke passer til situationer med potentiale for meget store ulykker, med mulighed for mange hundrede døde.

De kvalitative kriterier er mere restriktive end de kvantitative metoder, fordi man indpasser frekvenser, konsekvenser, og pålidelighedsværdier i klasser. Ved hver klassetildeling tilstræbes, at der foretages et realistisk skøn. Idet klasserne dækker to størrelsesordener, vil risikoen overvurderes med en faktor 10 i gennemsnit, og i værste fald med en faktor 100. Til disse faktorer skal lægges de forsigtige antagelser, som gøres ved beregning af konsekvenser. (se fig. 8.2)

Overvurderingsfaktorerne, som skyldes forsigtige antagelser i beregningen, er fælles for både kvalitative og kvantitative analyser, mens faktorerne, som skyldes klassificeringen, ikke findes ved kvantitative analyser, hvis datagrundlaget er tilstrækkeligt.

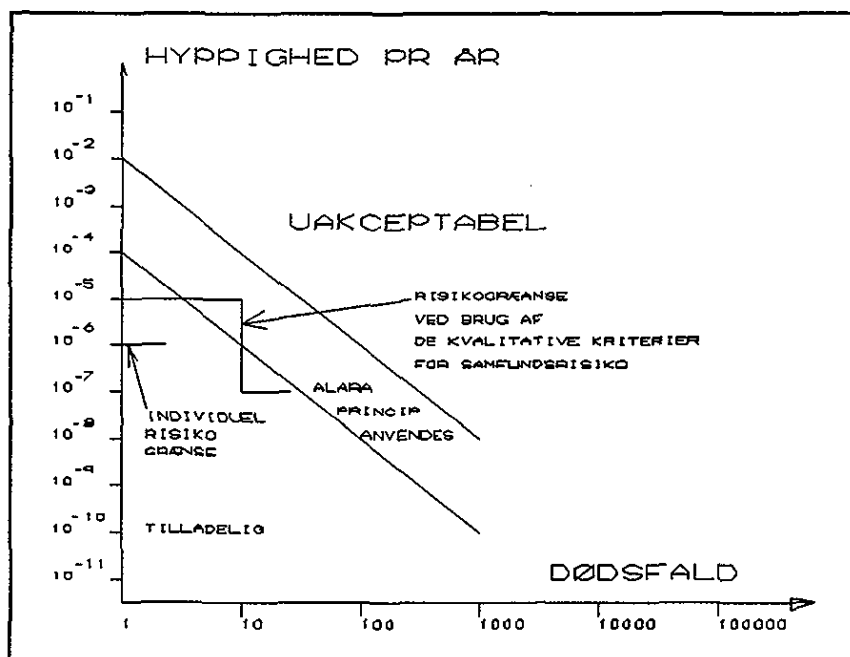


Fig 8.2 Sammenligning af kvalitative risikokriterier og maksimale risikoniveauer ved brug af kvalitative kriterier.

9. Forudsætninger for anvendelser af kriterierne

Selv om man har analyseret et anlæg og konstateret, at det ifølge beregningerne, opfylder kriterierne, er det ikke tilstrækkeligt til at konstatere at anlægget er sikkert nok. Grunden hertil er, at der er stor forskel på kvaliteten af analyserne, der udføres i dag, og især stor forskel i de antagelser, der ligger til grund for analyserne.

Det er umuligt at undgå antagelser i en risiko- eller sikkerhedsanalyse. Nogle af de væsentlige gælder den fremtidige driftsform. Hvis anlægget drives på anden vis i fremtiden, for eksempel med en anden bemanning, andre produkter, eller anden produktionstakt, giver dette naturligvis en ændret risiko. Analyser antager normalt enten uændret drift, eller tager kun højde for de umiddelbart planlagte ændringer.

Antagelser om driftsform, bemanning, kapacitet, lagring, konstruktion, omgivelser, tilstand o.s.v skal derfor dokumenteres, således at det klart kan ses, hvad analysen er baseret på, og dermed hvornår den skal opdateres.

Herudover er der usikkerheder, som skyldes, at modellerne, som bruges til beregninger, ofte er forenkledede, og de data som indgår er approximative. Antagelserne her ligger dog normalt på den forsigtige side. Kriterierne, som er foreslået, tager i høj grad hensyn til disse usikkerheder.

Forudsætninger ved kvantitative vurderinger

En af fordelene ved kvantitative vurderinger er, at de er meget fleksible, og kan bruges på alle typer og former for anlæg, selv anlæg af dårlig kvalitet. Forudsætningerne for at anvende resultaterne fra analysen er:

- At analysen er tilstrækkeligt dækkende.
- At uheldsbeskrivelserne og beregningerne er korrekt udført.
- At sandsynlighedstallene, som er brugt, svarer til den aktuelle anlægsstandard, tilstand og driftsform.
- At sikkerhedsstyringen passer til de værdier, som anvendes for sandsynligheden for menneskelige fejl.

Der er dog nogle praktiske forhold, som medfører behovet for kontrol af flere forudsætninger. Disse forhold stammer fra vanskeligheder i samling af tilstrækkelige fejlhyppighedsdata på det enkelte anlæg. Man bruger ofte derfor industrigennemsnitsdata, både for menneskelige fejl og for udstyrssvigt. Ved brug af sådanne data er det nødvendigt at kontrollere at:

- Driftsstandard, sikkerhedsstyring, motivering, og sikkerhedsprioritering passer til, eller er bedre end, gennemsnittet af de anlæg, som er blevet brugt i de anlæg statistikken stammer fra.

- Træning af personalet svarer mindst til gennemsnittet for de anlæg, som er blevet brugt ved dataindsamlingen.
- Konstruktionsstandarder og normer, som er benyttet ved anlæggets konstruktion, svarer til industrigennemsnittet, eller er bedre.
- At der ikke er specielle korrosions- eller belastningsforhold, som vil gøre forskel imellem industristandard data og anlæggets fejlfrekvens.

Forudsætninger for brug af kvalitative kriterier

De kriterier, som blev beskrevet i kapitel 8, kræver opfyldelse af de samme krav til analysen, som er beskrevet for kvantitative analyser:

- Identifikation af uheldsmuligheder er tilstrækkelig dækkende.
- Uheldene er beskrevet korrekt, med alle alternative uheldsforløb svarende til de forskellige mulige svigt af sikkerhedssystemerne og beredskab.
- At konsekvensvurderingerne er udført korrekt.
- At et dækkende spektrum af uheldsberegninger er blevet udført.

Kriterierne i kapitel 8 er derudover baseret på den antagelse, at de forskellige sikkerhedsbarrierer er af høj kvalitet. Dette begreb antager en speciel betydning i forhold til det simple kriterium om antallet af barrierer.

Forudsætningerne som knytter sig til barriererne er derved:

- Uafhængighedskriterierne (kvalitetskriterierne) som beskrevet i kapitel 8 skal være opfyldte
- Inspektions-, test-, og vedligeholdskriterierne skal være dokumenteret og opfyldt.
- Hyppigheden for driftforstyrrelser skal kendes fra erfaring.
- Sikkerhedsstyringen skal være af tilstrækkelig kvalitet for at sikre integriteten af de primære trykgrænser og pålideligheden af sikkerhedsbarriererne.
- Sikkerhedsstyringen skal være af tilstrækkelig høj kvalitet for at sikre, at beredskabet fungerer så pålideligt som muligt.

Krav til sikkerhedsstyring

Som nævnt i kapitel 5, er risiko niveauet meget afhængig af sikkerhedsstyringen. Uheldsfrekvensen kan typisk variere med en faktor 100, afhængig af den sikkerhedspraksis der føres (Joschek). Det er derfor nødvendigt at definere sikkerhedsstyringsformen, for at kunne tolke eller vurdere risikoen.

Dette drejer sig om:

- udformning af sikkerhedspolitik.
- kvalitetssikringsplan for sikkerhedsmæssige funktioner og sikkerhedskritisk udstyr.
- skriftlige procedurer for drifts- opstart-, nedlukning- og uheldssituationer.
- opdateret tegningsmateriale.
- erfaringsopsamling.
- arbejdstilladelsessystem.
- træning.
- ryddelighed ("housekeeping").
- nødplaner.
- sikkerhedsansvar.

- Bowen, J.H. Individual Risk and Public Risk Criteria
CEP, 1976
- HSE (2) Canvey - an investigation into the potential hazards
from operations in the Canvey Island, Thurrock area
HMSO 1978
Canvey - a second report
HMSO, 1981
- EØF EF direktiv af 24 Juni 1982 om risikoen for større
uheld i forbindelse med en række industrielle
aktiviteter.
- Taylor, J.R. Experience on cost, completeness, and benefits of
risk analysis. (På tysk) i Ermittlung und Bewertung
industrieller Risiken, ed. S.Lange, Springer Verlag
1984. På engelsk i Quality and Completeness of
Risk Analyses, Vol 1, ITSA 1987.
- Suokas, J. Evaluation of the Coverage and Validity of Hazard
and Operability Study
5th Int Symp. on Loss Prevention and Safety
Promotion in the Process Industries, Cannes, 1985
- Garcia Tavel, N., and Taylor, J.R. Major Hazards Assessment for Contingency
Planning, To be published, 6th Int. Symp. on Loss
Prevention and Safety Promotion in the Process
Industries, Oslo, June 1989
- Joschek, H J Welcome Address,
5th Int Symp. on Loss Prevention and Safety
Promotion in the Process Industries Cannes, 1985
- FAA 1985 Committee on FAA Airworthiness, 1980
Improving Aircraft Safety,
National Academy of Sciences, USA
- Mankamo, T., R. Lautaski Chlorine Transportation Risk Assessment
VTT, Finland, 1977
- H.Lans,E.Björdal Quantified risk analysis in the process industries.
EFCE working paper, ISGRA working group,
Presented at Int. Loss Prevention and Safety
Promotion Conf., Harrogate, 1983
- EPRI Review of Handbook of Human Reliability Analysis,
Swain and Gutmann, NUREG CR 1278, 1983

APPENDIX A

AFSTAND SOM BARRIERE

0. INDLEDNING

Dette appendix dokumenterer de beregninger, der ligger til grund for rapportens udsagn om, hvorledes sandsynligheden for at blive ramt af et givet uheld aftager med afstanden fra uheldsstedet. D.v.s. for hvordan den individuelle risiko aftager med afstanden.

Det betragtede uheld er udslip af en toksisk gas.

Brand og eksplosion er ikke betragtet, da miljømyndighedernes opgaver ikke vedrører følger af brand eller eksplosion i stoffer, der er omfattet af brand eller sprængstoflovgivningen, jfr. § 9 i bekendtgørelse nr. 545 af 16. september 1988. Toksiske gasser dannet i en brand er i princippet dækket.

I afsnit 1 beskrives de generelle modeller for spredning, der er brugt, og i afsnit 2 beskrives, hvordan disse modeller er anvendt til at beregne, hvorledes sandsynligheden for at blive ramt af et uheld aftager med afstanden fra uheldsstedet.

1. KONSEKVENSMODELLER

1.1 Neutral Spredning af Gas

Til spredningsberegningerne for et udslip af let eller neutral gas er anvendt Pasquill-Gifford systemet /Lees/.

Dette er baseret på en gaussisk spredning med empirisk bestemte værdier af spredningsparametrene σ_y og σ_z for forskellige atmosfæriske stabilitetsklasser.

Der er i beregningerne ikke anvendt nogen begyndelsesimpuls af udslippet (d.v.s. ingen jet) ligesom initialspredningen er sat til nul (d.v.s. punktkilde). Alle beregningerne refererer til koncentration af gassen målt ved jordoverfladen.

Der er endvidere ikke taget hensyn til eventuelle øvre inversionslag i atmosfæren. Disse vil generelt øge den horizontale udstrækning af et udslip og dermed øge sandsynligheden for, at en given lokalitet (person) bliver ramt.

Det antages, at udslippet sker i jordhøjde, og at spredningen foregår uhindret (ingen bygninger) over en plan overflade med konstant ruhed $Z_0 = 0.1$ (m).

Det antages yderligere, at vindhastigheden er konstant under hele udslips- og spredningsforløbet. Det samme antages for den atmosfæriske stabilitet, der også antages ikke at variere i spredningsområdet.

Kontinuerligt udslip

For et kontinuerligt udslip findes koncentrationen i punktet (x, y) af formlen:

$$C_{x,y} = \frac{Q}{\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right) \quad (1.1)$$

Hvor:

- Koordinatssystemet starter i udslipspunktet, har x-akse i vindens retning og y-aksen er vandret vinkelret på x-aksen. Z-aksen er lodret.
- Q er udslipsflow (f.eks. kg/s).
- u er vindhastigheden.

- σ_y og σ_z er spredningsparametrene.

Spredningsparametrene er tilnærmet ved:

$$\begin{aligned}\sigma_y &= k_y \cdot x \\ \sigma_z &= k_z \cdot x\end{aligned}\quad (1.2)$$

hvor k_y og k_z er konstanter. Værdierne for k_y og k_z for Pasquill's stabilitetsklasser B-F findes i Tabel 1.1.

Tabel 1.1. - Spredningsparametre. Kontinuert udslip.

Stabilitetsklasse	k_y	k_z
B. Moderat ustabil	0.16	0.12
C. Lettere ustabil	0.11	0.08
D. Neutral	0.08	0.06
E. Lettere stabil	0.06	0.03
F. Moderat stabil	0.04	0.016

Værdierne er bestemt fra 10 min. midlinger med åbentland-betingelser ($Z_0 = 0.1$ (m)).

Udtrykkene for σ_y og σ_z samt værdierne for k_y og k_z er anbefalet af Briggs, se /Plate/, idet man for afstande op til 2-5 km kan se bort fra kvadratleddene.

Fordelen ved disse tilnærmelser er, at man kan udlede analytiske udtryk for sandsynligheden for at blive ramt af et givet udslip, se afsnit 2.

Momentant udslip

For at momentant udslip findes koncentrationen i et punkt (x, y) når centrum af skyen er i $(x, 0)$ at være:

$$C_{x,y} = \frac{2 M}{(2\pi)^{1.5} \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right) \quad (1.3)$$

hvor:

- Koordinatsystemet er som for kontinuert udslip.
- M er udslipsmassen (f.eks. kg).
- σ_x , σ_y og σ_z er spredningsparametrene.

For spredningsberegningsparametrene er anvendt følgende tilnærmede udtryk /Gule bog/:

$$\begin{aligned}\sigma_x (\text{puff}) &= 0,13 \cdot \sigma_x \\ \sigma_y (\text{puff}) &= 0,5 \cdot \sigma_y (\text{kontinuert}) \\ \sigma_z (\text{puff}) &= \sigma_z (\text{kontinuert})\end{aligned} \quad (1.4)$$

hvor σ (kontinuert) er de værdier for σ , der gælder for er kontinuert udslip.

For σ (kontinuert) er ikke anvendt de værdier, der er opgivet i /Gule bog/, men de værdier, der her er benyttet for kontinuert udslip.

Dette er gjort dels for at gøre det konsistent med modellen for kontinuert udslip, dels for at få et simple formeludtryk.

1.2 Spredning af Tung Gas

Spredning af tung gas er undersøgt ved hjælp af den tunggasspredningsmodel, der findes i programpakken /WHAZAN/.

WHAZAN bruger Cox og Carpenters model /Cox/. Denne model er en "top-hat" eller "boks" model. Et kontinuert udslip beskrives som en sky med rektangulært tværsnit, som føres frem med vinden samtidig med at gassen spredes på tværs p.g.a. tyngdekraften. Luft blandes ind i skyen langs skyens sider og langs dens øvre overflade. Luftindblandingen langs siderne skyldes forskellen i densitet, medens luftindblandingen langs skyens øvre overflade skyldes luftens turbulens.

Når luftindblandingen p.g.a. turbulens bliver større end luftindblandingen p.g.a. forskellen i densitet, skifter programmet til en model for neutral spredning af gas af samme type som beskrevet i afsnit 1.1.

Der henvises iøvrigt til den vedlagte kopi af det relevante afsnit i /WHAZAN/.

2. BEREGNING

2.1 Generelle Forudsætninger

Kritisk koncentration

Det antages, stærkt forenklet, at alle personer, der udsættes for en koncentration, der er større end eller lig med en given kritisk koncentration C, bliver ramt af uheldet, medens ingen personer, der bliver udsat for en koncentration, der er lavere end C, regnes at blive ramt af uheldet.

Som eksempel kan den kritiske koncentration være en dødelig koncentration, og "blive ramt" være lig med "dødsfald". Antagelsen svarer da til, at alle der udsættes for en koncentration over eller lig med C dør, medens ingen der udsættes for en mindre koncentration dør.

Dette er stærkt forenklet fordi:

- 1) Der er forskel på forskellige personers følsomhed.
- 2) Personer indendørs er langt mindre udsatte end personer udendørs.
- 3) Virkningen afhænger både af koncentrationen og varigheden af påvirkningen.

Betydningen af pkt. 1 er undersøgt ved foruden den stærkt forenklede forudsætning at undersøge endnu en forudsætning, hvor der regnes med en lille gruppe meget følsomme mennesker, se afsnit 2.5.

Generel model

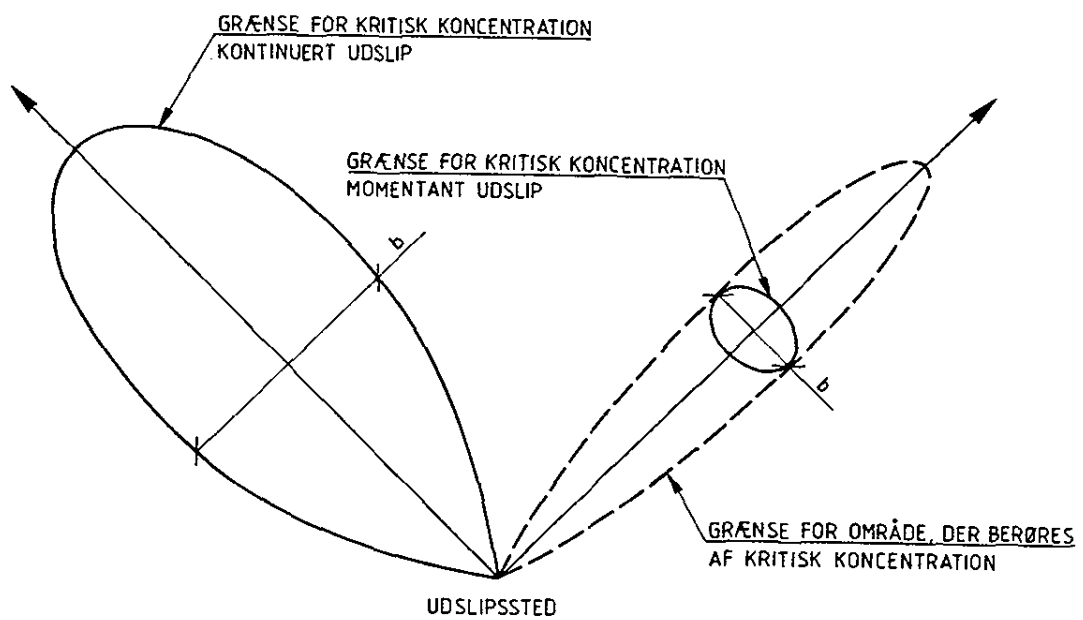
Den generelle model, der er anvendt, fremgår af figur 2.1.

På figuren ses områder, der i en given vejr-situation, stabilitetsklasse, vindhastighed, vindretning, vil blive ramt af et givet udslip.

Det ses, at sandsynligheden for, at en person i afstanden x fra uheldsstedet bliver ramt, er, idet alle vindretninger antages at have samme sandsynlighed:

$$\frac{b(x)}{2 \cdot \pi \cdot x} \quad (2.1)$$

hvor $b(x)$ beregnes ud fra de i afsnit 1 beskrevne modeller.



Figur 2.1 - Generel model for toksisk udslip.

Funktionen $b(x)$ afhænger af stabilitetsklasse og vindhastighed.

D.v.s. tages der hensyn til vejrliget, bliver sandsynligheden for, at en person i afstanden x fra uheldsstedet bliver ramt, givet et bestemt uheld sker:

$$P = \frac{\sum (b_v(x) \cdot p(V))}{2\pi \cdot x} \quad (2.2)$$

hvor der summeres over alle vejrlig V , og hvor

$b_v(x)$ er bredden ved vejrlig V

$p(V)$ er sandsynligheden for at vejrlig V forekommer.

Atmosfæriske forhold

I tabel 2.1 er vist hvilken hyppighed forskellige kombinationer af stabilitetsklasse og vindhastighed er antaget at forekomme med. Statistiske oplysninger af denne art er ret sparsomme. Tabel 2.1 bygger på målinger i Københavns lufthavn.

Som nævnt antages alle vindretninger at have samme sandsynlighed. Dette er ikke korrekt, men giver en gennemsnitsværdi for alle retninger. Der findes iøvrigt ikke statistiske oplysninger om hyppigheder af sammenhørende værdi af stabilitetsklasse, vindhastighed og vindretning.

Tabel 2.1 Hyppighed i % af kombinationer af stabilitetsklasse og vindhastighed.

Stabilitets klasse	Vindhastighed (m/s)						
	1	2	3	4	5	6	7
B	0.03	0.37	1.35	1.26	-	-	-
C	0.07	0.39	1.03	1.06	6.33	-	-
D	0.07	0.38	1.19	3.59	16.73	41.46	9.17
E	-	-	-	2.18	4.88	-	-
F	0.19	1.65	3.55	3.06	-	-	-

2.2 Neutral spredning, kontinuert udslip

Bredden, b , af den toksiske sky kan ud fra formlerne (1.1) og (1.2) beregnes af:

$$b = 2 \cdot y = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot k_y \cdot x \cdot \sqrt{\ln \left(\frac{Q}{C} \cdot \frac{1}{\pi \cdot k_y \cdot k_z \cdot x^2 \cdot u} \right)}$$

og afstanden x_{\max} til det fjerneste punkt, hvor koncentrationen er C , kan beregnes af:

$$x_{\max} = \sqrt{\frac{Q}{C} \cdot \frac{1}{\pi \cdot k_y \cdot k_z \cdot u}}$$

hvor C er den kritiske koncentration, og de øvrige parametre er som tidligere beskrevet.

Det ses, at for $0 < x < x_{\max}$ er

$$b = 4 \cdot k_y \cdot x \sqrt{\ln (x_{\max}/x)} \quad (2.3)$$

x_{\max} afhænger af vejrliget. Det "værste" vejrlig, der forekommer med hyppighed af betydning, er stabilitetsklasse F og $u = 2$ m/s, se tabel 2.1. x_{\max} for dette vejrlig (kaldet $x_{\max, F}$) er derfor et mål for, hvor langt udslippet kan række.

Indsættes i formel (2.2) fås at sandsynligheden for, at en person i afstanden x fra uheldsstedet bliver ramt, givet et bestemt uheld sker, er:

$$P = \Sigma \left(2 \frac{k_y}{\pi} \ln \left(\frac{1}{z} \cdot \frac{x_{\max}}{x_{\max, F}} \right) \cdot p(V) \right) \quad (2.4)$$

hvor:

- k_y og x_{\max} er værdier gældende for vejrlig V
- $z = x/x_{\max, F}$
- symbolerne i øvrigt er defineret i det foregående.
- $x_{\max}/x_{\max, F} = \sqrt{(k_{yF} \cdot k_{zF} \cdot 2m/s) / (k_y \cdot k_z \cdot u)}$

hvor k_{yF} , k_{zF} er værdier ved stabilitetsklasse F, og k_y , k_z og u er værdier ved vejrlig V.

Det ses, at når afstanden fra uheldsstedet normeres med $x_{\max, F}$, bliver sandsynligheden P uafhængig af den kritiske koncentration, C , og udslipsflowet Q .

D.v.s. sandsynlighedens aftagen med afstanden fra uheldsstedet kan beskrives med en kurve, der gælder for alle kontinuerte udslip.

Resultater

Ud fra formel (2.4) og værdier af $p(V)$ fra tabel 2.1 er værdien af P som funktion af z beregnet. Resultatet fremgår af tabel 2.2 i afsnit 2.5.

2.3 Neutral Spredning, Momentant udslip

Teori

Analogt med det kontinuerte udslip fås:

$$b = 2 \sqrt{6} \cdot k_y \cdot x \sqrt{\ln(x_{\max}/x)} \quad (2.5)$$

og

$$P = \sum \left(\frac{\sqrt{6}}{\pi} k_y \cdot \ln \left(\frac{1}{z} \cdot \frac{x_{\max}}{x_{\max, F}} \right) \cdot p(V) \right) \quad (2.6)$$

hvor

$$- \quad x_{\max}/x_{\max, F} = \sqrt[3]{(k_{zF} \cdot k_{yF} \cdot k_{zF}) / (k_x \cdot k_y \cdot k_z)}$$

- symbolerne er som defineret i afsnit 2.2.

Det ses, at når afstanden fra uheldsstedet normeres med $x_{\max, F}$, bliver sandsynligheden P uafhængig af den kritiske koncentration, C , og udslipsmængden, M .

Resultater

Ud fra formel (2.6) og værdierne af $p(V)$ fra tabel 2.1 er værdien af P som funktion af z beregnet. Resultatet fremgår af tabel 2.2 i afsnit 2.5.

2.4 Spredning af tung gas, kontinuert udslip

Teori

For spredning af tung gas er det ikke muligt at opstille et generelt udtryk for, hvorledes sandsynligheden for at blive samt af et udslip aftager med afstanden fra uheldsstedet.

I stedet er gennemregnet et eksempel.

Eksemplets parametre er:

Gassen: Molvægt 70.9 (chlor)

Temperatur 239 K

Kritisk koncentration: 139 ppm

Lufttemperatur: 288K
Luftfugtighed: 80%
Ingen initialopblanding

Der er foretaget beregninger ved hjælp af /WHAZAN/ for alle vejrlig anført i tabel 2.1. Hver beregning giver skybredden, $b_v(x)$, som funktion af afstanden x .

Sandsynligheden findes derefter ved hjælp af formel (2.2).

Resultater

Hvis vindhastigheden er 2 m/s og stabilitetsklassen er F falder koncentrationen i centerlinien (x =aksen) til $C=139$ ppm i afstanden $x_{max,C,F} = 1440$ m.

For at kunne sammenligne med resultaterne for neutral gasudslip er afstanden x blevet nomineret ved hjælp af denne værdi for $x_{max,C,F}$.

De resulterende sandsynligheder for at blive samt er vist i tabel 2.2 i afsnit 2.5.

2.5 Diskussion af resultater

Generelt resultat

Sandsynligheden for at blive ramt af et givet udslip af toksisk gas aftager med afstanden fra udslipsstedet som angivet i tabel 2.2 og vist på figur 2.2. D.v.s. den individuelle risiko kan antages at aftage på denne måde med afstanden.

Tabel 2.2 - Sandsynligheden for at blive ramt af et toksisk udslip.

Normeret afstand z	udslipstype		
	Neutral gas Kontinuert	Momentant	Tung gas Kontinuert
0.001	0.12	0.078	
0.01	0.09	0.062	0.11
0.1	0.045	0.040	0.052
0.2	0.015	0.030	0.042
0.3	0.0037	0.022	0.032
0.4	0.0020	0.015	0.022
0.5	0.0015	0.0054	0.012
0.6	0.0012	0.0016	0.008
0.7	0.0007	0.0010	0.007
0.8	0.00036	0.0006	0.005
0.9	0.00017	0.00043	0.0035
1.0	0.00003	0	0.0013
1.1	0.00002	0	0.0002
1.2	0.00002	0	0.0002
1.3	0.00001	0	0.0002
1.4	$5 \cdot 10^{-6}$	0	0.0002
1.5	0	0	0.0002
1.6	0	0	0

Det ses, at for et udslip af en gas, der har samme rumvægt som luften, vil sandsynlighedens aftage til 1/30 i afstanden $z = 0.15 - 0.20$ og til 1/1000 i afstanden $z = 0.6 - 0.7$, hvor $z = 1$ som tidligere nævnt svarer til det fjerneste punkt, hvori den kritiske koncentration forekommer, når stabilitetsklassen er F og vindhastigheden er 2 m/s.

For det beregnede udslip af tung gas aftager sandsynligheden væsentligt langsommere, til 1/30 for $z = 0.3$ og til 1/1000 for $z = 0.9$.

Grunden til, at sandsynligheden aftager langsommere for tung gas end for neutral gas, er, at spredningen af tung gas er mindre følsom for ændringer i stabilitetsklasse og vindhastighed. Det må forventes, at sandsynligheden vil aftage endnu langsommere for udslip, som er mindre toksiske eller er tungere, se diskussion nedenfor under "Tunggasspredning".

Forbehold

Resultaterne må naturligvis tages med et vist forbehold, dels på grund af usikkerheder på de generelle modeller, der er brugt, dels på grund af de forenklinger, der er gjort her. Endelig bygger tunggasresultaterne kun på et enkelt eksempel. Usikkerhederne er diskuteret nærmere nedenfor.

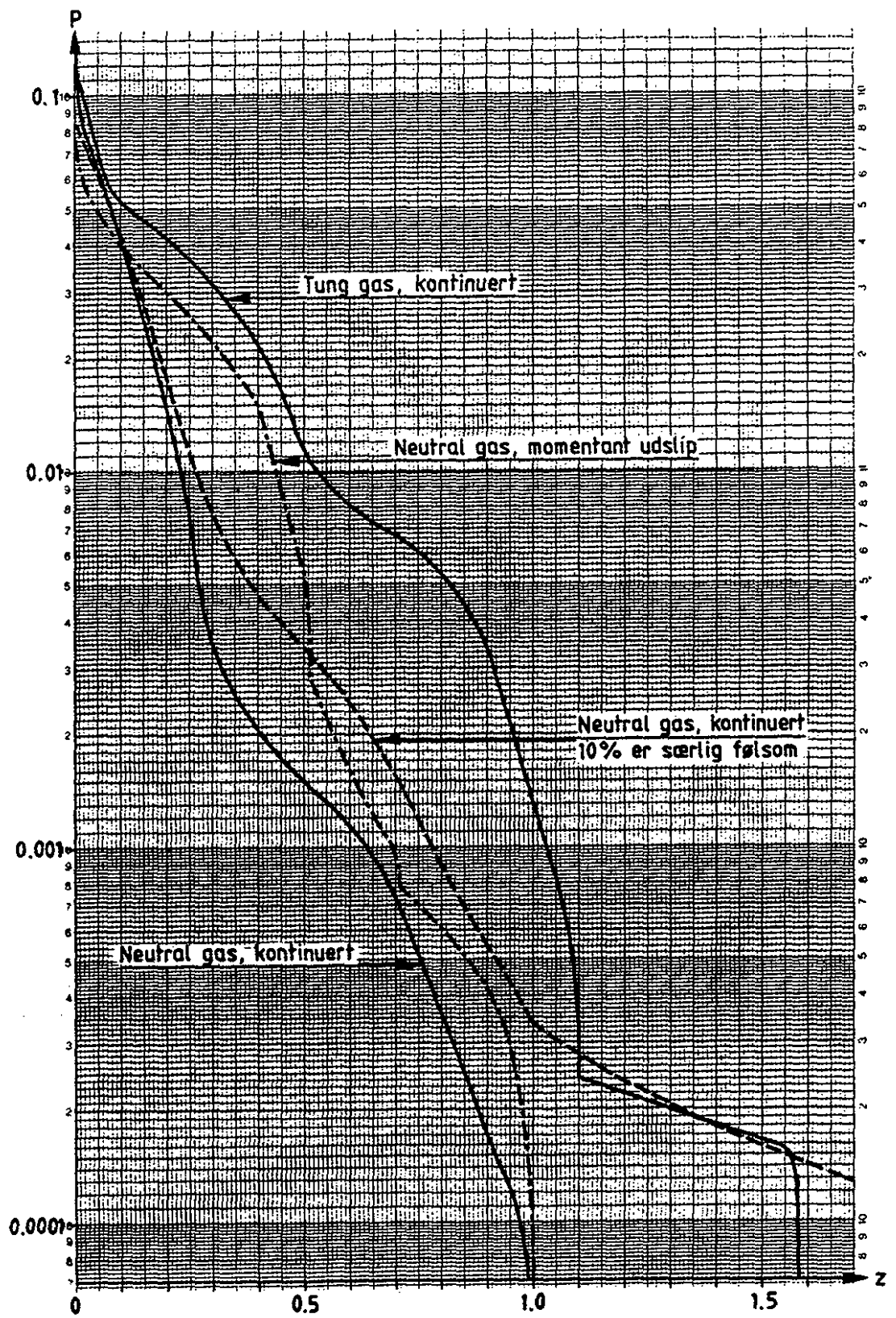
Individuel følsomhed

Betydningen af individuel følsomhed er undersøgt ved at antage følgende konsekvenser af gaskoncentrationen, K. (Antagelse 2) se figur 2.3:

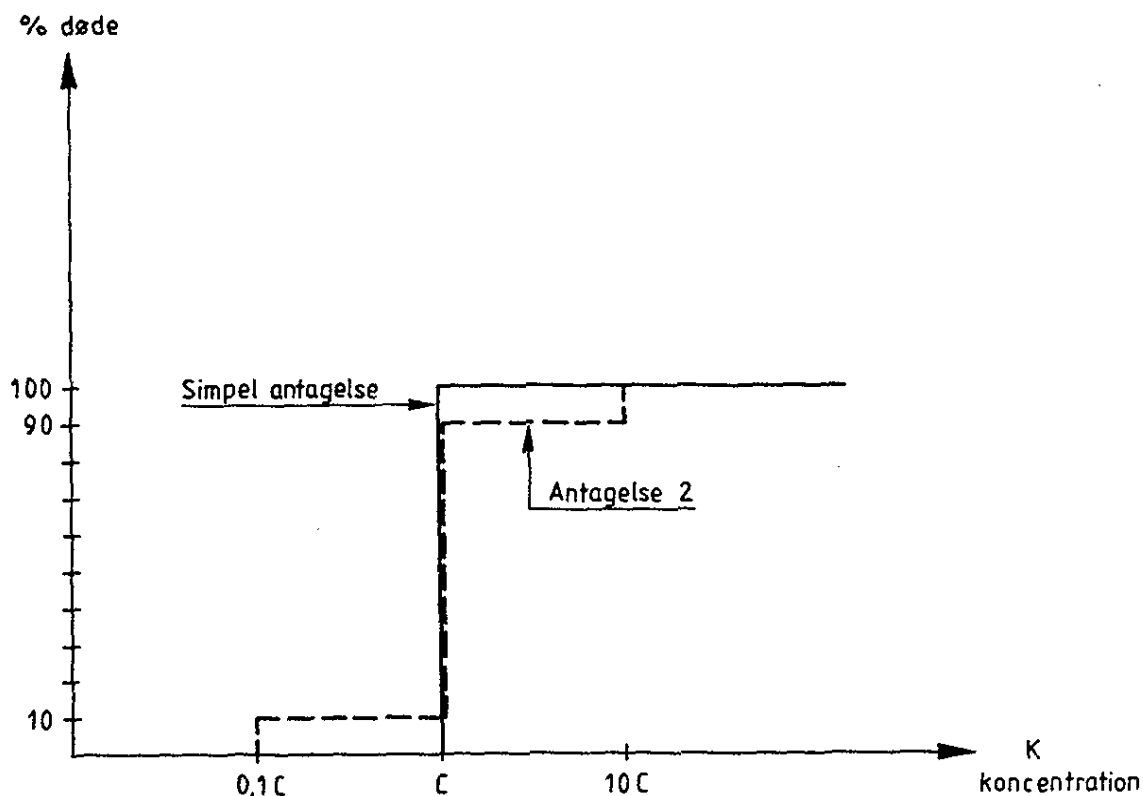
$K > 10 \cdot C$	100% dør
$C < K < 10 \cdot C$	90% dør
$0.1 < K < C$	10% dør
$K < 0.1 C$	0% dør

For et kontinuert udslip af neutral gas fremgår resultatet af figur 2.2. Det ses, at sandsynligheden for dødsfald aftager væsentligt langsommere ved denne antagelse end ved den simple antagelse, især for store værdier af z .

Det skal bemærkes, at $z = 1$ er den afstand, hvor koncentrationen netop er C ved stabilitetsklasse F og vindhastighed 2 m/s, medens dødsfald i denne vejr-situation kan forekomme ud til afstanden $10 \cdot z$. Havde man i stedet valgt $z = 1$ som den afstand, hvor koncentrationen er 0.1 C ved samme vejrforhold, ville kurven være blevet forskubbet kraftigt mod venstre på figur 2.2.



Figur 2.2 - Sandsynligheden for at blive ramt af et toksisk udslip som funktion af normeret afstand fra udslipsstedet.



Figur 2.3 - Antagelser om virkning af toksisk gas.

Indendørs/udendørs

Personer indendørs vil først blive ramt ved en koncentration, der er væsentligt højere end den koncentration, C , der gælder for personer, der er udendørs. D.v.s. sandsynligheden for at blive ramt vil aftage hurtigere end vist på figur 2.2, hvis personer med sandsynligheden P_a er udendørs, og med sandsynligheden $1-P_a$ er indendørs (forudsat at C og z er defineret for personer udendørs). Dette gælder især for momentant udslip. Det gælder ikke for meget langvarige udslip.

Figur 2.2 - gælder som nævnt for personer udendørs. D.v.s. beregning af barriere-point ved hjælp af figur 2.2 medtager ikke en eventuel lavere risiko for personer indendørs.

Dosis

Der er som nævnt ikke taget hensyn til, at virkningen af den toksiske gas både afhænger af koncentration og varighed af påvirkningen. Dette har især stor betydning for momentant udslip.

Neutral spredning

Der er gjort en række simplificerende antagelser for at kunne beskrive alle tilfælde af neutral spredning med én kurve.

Der er således set bort fra initialspreddingen. Initialspreddingen medfører en bredere sky ved udslipsstedet og reduktion af koncentrationerne. Initialspreddingen har især betydning ved udslip med lille toksicitet (C stor).

Endvidere er der gjort nogle simplificerende antagelser om spredningsparametrenes afhængighed af afstanden fra uheldsstedet. Resultaterne er derfor usikre for afstande mellem 0 og 100 m (her er alle spredningsmodeller usikre) og for afstande over 2-5 km. Generelt betyder simplificeringerne, at koncentrationerne bliver undervurderet ved store afstande.

Tunggasspredning

Der er kun beregnet et enkelt eksempel. I dette eksempel er den kritiske koncentration, C , så lav, at spredningen i mange tilfælde går fra tunggasspredning til neutral spredning. D.v.s., at i det undersøgte eksempel påvirkes kurven i figur 2.2 både af tunggasspredningens egenskaber og af egenskaberne ved neutral spredning.

Tunggasspredningen er mindre følsom over for vejrliget end den neutrale spredning. Det må derfor forventes, at et toksisk udslip, der spredes som tunggas hele vejen ud til den kritiske koncentration, C , vil medføre en langsommere aftagen med afstanden af sandsynligheden for at blive ramt end den på figur 2.2 viste kurve for tunggas.

Eksempler på sådanne udslip er udslip med ringe toksicitet (høj C) og meget tunge udslip.

Brand

Toksisk udslip fra en brand er dækket af beregningerne for neutral spredning, hvis de toksiske gasser fra branden er neutrale.

I de fleste tilfælde vil gasserne fra branden være lettere end luften. Koncentrationerne ved jordoverfladen vil derfor være mindre end ved neutral spredning. Det betyder, at sandsynligheden for at blive ramt bliver mindre, og at afstanden $x_{max, F}$ bliver mindre. Den samlede virkning på kurven i figur 2.2 er ikke beregnet.

Terrænforhold

Modellerne for tunggasspredning og neutral spredning forudsætter, at terrænet er helt flat uden forhindringer for spredningen.

Der vil ofte være bygninger, der påvirker spredningsforløbet. Virkningen vil formentlig oftest være en større fortynding nær udslipsstedet. Betydningen er større ved små udslip end ved store.

Terrænhældning har betydning for spredning af tunggas, idet gassen i nogen grad vil følge terrænet.

Vindretning

Nogle vindretninger er mere sandsynlige end andre. I åbent land vil forskellen mellem sandsynligheden for en given vindretning ved en given vindhastighed sjældent være mere end en faktor 2 forskellig fra den gennemsnitlige sandsynlighed for alle vindretninger ved den pågældende vindhastighed. Eneste undtagelse kan være høje vindhastigheder, der dog ikke spiller nogen rolle for risikoen for at blive ramt af et toksisk udslip.

Det konkluderes, at i åbent land er effekten af forskellige i sandsynligheder for forskellige vindretninger som regel mindre end en faktor 2.

Ved udslip i områder med høj bebyggelse, der tvinger vinden ind i bestemte retninger, kan forholdene være anderledes, jævnfør betragtningerne ovenfor om terrænforhold.

3. REFERENCER

- Cox : R.A. Cox and R.J. Carpenter,
Further Development of a Dense
Cloud Dispersion Model for
Hazard Analysis, in F. Hartwig
(ed.), Heavy Gas and Risk
Assessment, D. Reidel, Dordrecht
FRG, 1980.
- Gule bog : Methods for calculation of the
physical effects of the escape
of dangerous materials.

Directorate General of Labour,
Ministry of Social Affairs, Hol-
land, 1979.
- Lees : Frank P. Lees.
Loss Prevention in the Process
Industries.
Butterworths, 1980.
- Plate : E. Plate (editor).
Engineering Meteorology.
- WHAZAN : Technica International Ltd:
WHAZAN User Guide, March 1988.
and
WHAZAN Theory Manual, March
1988.

(Uddrag)

4.9 Dense Cloud Dispersion

WHAZAN uses the Cox and Carpenter model of dense cloud dispersion (Ref. 12) which is one of several "top-hat" or "box" models in existence. An instantaneous release is represented as a cylindrical cloud, or "top-hat" which is assumed to adopt a "pancake" shape and spread radially relative to its centre while advecting with the wind. A continuous release is represented by a plume of rectangular cross-section, which in the presence of wind is relatively narrow and spreads laterally down-wind because of gravity. In both types of release, air is entrained through exposed surfaces.

The cloud is taken to be a cylinder of uniform density. The user chooses the initial height to radius ratio, which is often taken to be unity. Lateral spreading may be expressed by:

$$dr/dt = [khg (D_{CA} - 1)]^{1/2}$$

where D_{CA} is the cloud density relative to air and the constant k is obtained by comparison with experimental data.

For both continuous and instantaneous releases, there are two sources of mixing as the cloud spreads. These are mixing in the edge vortex and mixing through the top surface, determined respectively by atmospheric turbulence and by the density difference between the cloud and air. For edge mixing we have

$$Q_e = \pi J 2rH dr/dt$$

Atmospheric turbulence gives entrainment through the top of the cloud, with the entrainment velocity given by:

$$U_e = \alpha U / R_i$$

The Richardson number, R_i , is given by

$$R_i = gL (D_{CA} - 1) / U^2$$

The values of U and L depend on surface roughness, weather conditions and cloud height. The specification of the atmospheric stability and surface roughness measures required as input data to WHAZAN is given in Appendix B.

The rate of air entrainment is found by multiplying by the area of the top surface of the cloud. Combining the two expressions gives the overall dilution of the cloud, the temperature of which is correspondingly altered. This model uses the heat flow equations for forced or natural convection, whichever gives the greater value.

Once the spreading rate due to turbulence starts to exceed that due to gravitational spreading, modelling must switch to that of neutral dispersion. Sometimes, this occurs almost immediately after release, which implies that the cloud was of neutral density or only very slightly denser than air. The WHAZAN dense cloud model will still work well in this case. It will, however, not run if the release has a density less than air at the specified start conditions.

(Uddrag)

A Gaussian concentration is matched to the uniform cross-sectional concentration of the dense phase model as follows. The cross-wind width at the match point is equal to the cross-wind width at the virtual source of the Gaussian plume plus $2\sigma_y$ where σ_y is the standard deviation measured at the match point. The Gaussian puff or plume centreline concentration is set equal to that of the cylindrical dense cloud or rectangular dense plume.

The ground level concentration at the cloud centreline is then modelled as

$$C = 2m / (2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z$$

for the instantaneous release case and as

$$C = W / \pi U \sigma_y \sigma_z$$

for the continuous release case.

The following section, on dispersion of buoyant plumes, details how the standard deviations relate to downwind distance and to atmospheric turbulence.

The principal assumptions in this model are that the ground surface is level and that any ground roughness is uniform, i.e. that there are no significant obstructions. It is also assumed that the weather is constant for at least the time taken for the cloud or plume to develop to the lowest concentration of interest.

APPENDIX B

EKSEMPEL 1 - LPG ANLÆG

EKSEMPEL 1

Indledning

Formål og metode

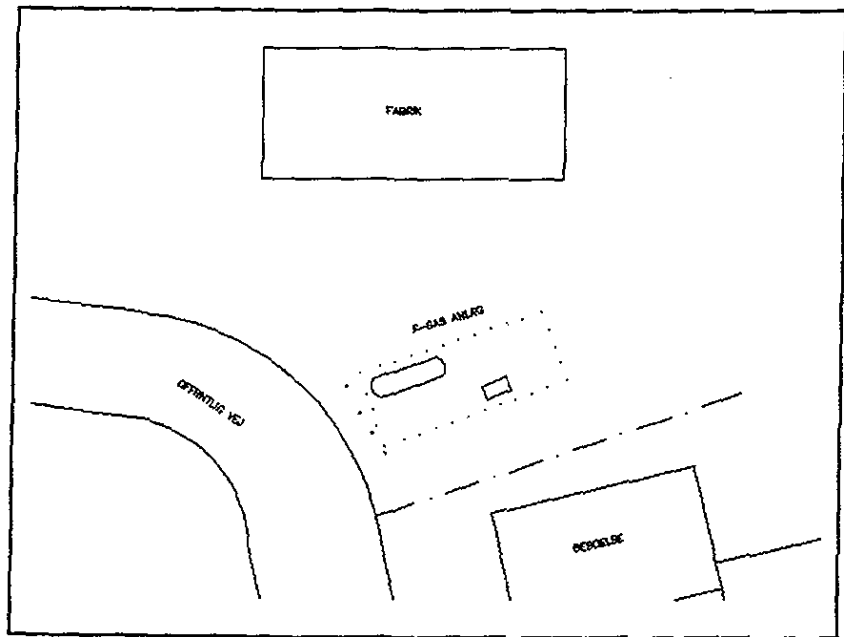
Dette eksempel har som formål at vise, hvordan de tre diskuterede kriterier for godkendelse, opfyldelse af norm, kvalitativt kriterium og kvantitativt kriterium, virker i relation til en anlægstype, som hyppigt forekommer og hvis sikkerhedsniveautilsyneladende er acceptabelt.

Som eksempel er valgt et F-gas forsyningsanlæg, som der alene i Danmark findes i hundredevis af. I relation til risikodirektivet kan det indvendes, at et anlæg af den valgte størrelse ikke er omfattet af anmeldelsespligten. Det er imidlertid uden betydning for det principielle. Det skal bemærkes, at gasinstallationen i bygningen ikke er omfattet af eksemplet.

Anlægget

Beskrivelse af anlægget.

Anlægget antages placeret på en mindre virksomhed, som benytter gassen til tørringsformål. Det er placeret i bymæssig bebyggelse i afstande til naboer og offentlig vej, som svarer til de minimale tilladelige afstande. Tanklæggene er indhegnet og beskyttet mod påkørsel ved påkørselsstolper mod vej, som er en befærdet vej med tung trafik.



Situationsplan

Det tekniske anlæg

Anlægget består af:

- F-gas tank, volumen 2,4 m³.
- Fordamper, elektrisk.
- Trykreguleringsenhed.
- Rørforbindelser.

PI-diagram fremgår af fig. 1 side 4.

Regelsæt

Regelsæt.

Et anlæg af denne type reguleres af:

- Brandloven, lovbekendtgørelsenr. 365 af 28. juli 1983.
- Justitsministerietsbekendtgørelsenr. 160 af 26. april 1985.
- Tekniske forskrifter for F-Gas, Statens Brandinspektion, 15. juni 1985.
- Arbejdstilsynet bekendtgørelsenr. 746 af 26. november 1987, bekendtgørelse om trykbeholdere og rørsystemer under tryk.
- DS 320, Trykbærende anlæg eller tilsvarende anerkendt udenlandsk standard. Samt normer og standarder, som refereres i DS 320 eller i den benyttede standard.
- Samt relevante love, bestemmelser, bygningsreglementet, afløbsnormer m.v.

Oplaget

Oplaget.

Tankanlægget antages at være beregnet til forsyning med F-gas af typen kommerciel propan med følgende egenskaber:

Densitet	væske	530 kg/m ³	20 °C
		500 kg/m ³	0 °C
	gas	1.9 kg/m ³	20 °C
		2.0 kg/m ³	0 °C
Damptryk	2.9	bar	-20 °C
	5.6	bar	0 °C
	9.8	bar	20 °C
	16.3	bar	40 °C
Viskositet kinematisk	væske	0.24 cSt	0°C
		0.21 cSt	20°C
	gas	3.90 cSt	0°C
		4.40 cSt	20°C
Fordampningsvarme	377 kJ/kg	0°C	
	352 kJ/kg	20°C	
Brændværdi nedre	46,000 kJ/kg		
Tændgrænser, konc. i luft	2,2-10 Vol%		
Luftbehov ved forbr.	15.6 kg/kg		
Røggas	15.0 kg/kg		

Anlægsdesign

Anlægget antages at være dimensioneret nøje svarende til de nævnte normer og forskrifter, og det antages, at vedligeholdelsen af anlægget svarer nøje til det krævede.

Naboforhold

Anlægget er placeret således, at der er 12.5 m fra tanken til nærmeste nabobebyggelse, fordampere er placeret 5 m herfra. I skel er placeret en hæk.

Naboejendommener beboelse i to etager med kælder. Tankanlægget er placeret 2.5 m fra offentlig vej, der er forskriftsmæssigt opstillet påkørselsstolper, og anlægget er indhegnet.

Identifikation af risici.

De farer, som er knyttet til F-gas, er primært forbundet med den i gassen bundne energi, frigjort ved brand eller eksplosion. Udslip af gas eller røggasser fra brand kan medføre forgiftning eller kvælning, men disse risici er begrænsede og medtages ikke her.

Fejlmuligheder

Identifikationen af fejlmuligheder er foretaget ved brug af HAZOP-tekniken, og ved brug af de standard checklister, der normalt bruges ved tekniske anlæg, som består af beholder- og rørsystemer. HAZOP'en er udført ved brug af computerprogram, og de tilhørende skemaer gives ikke her. Resultatet udtrykkes i forenklet form ved barrierediagrammerne fig. 2 til 4.

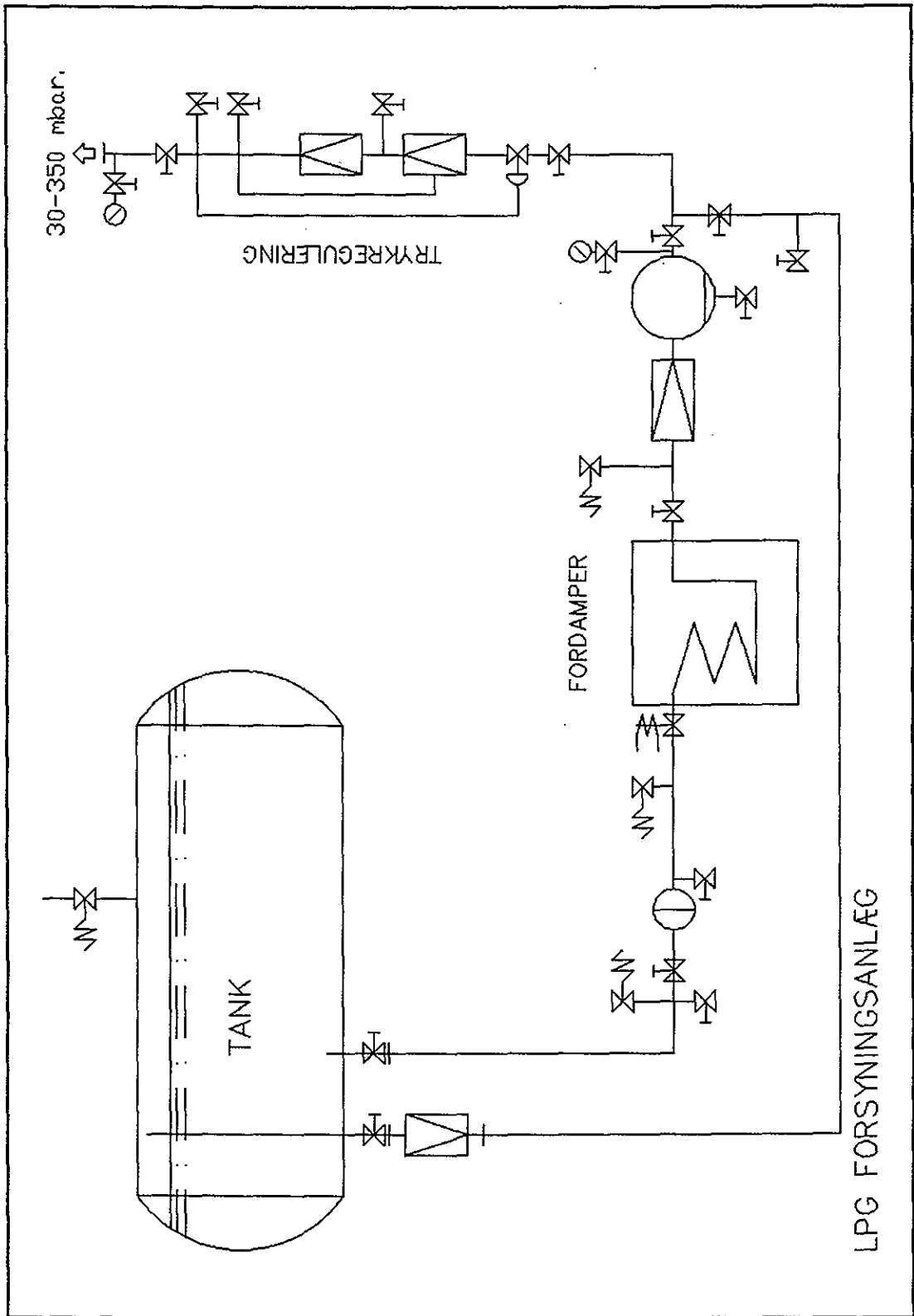


Fig. 1 P & I diagram

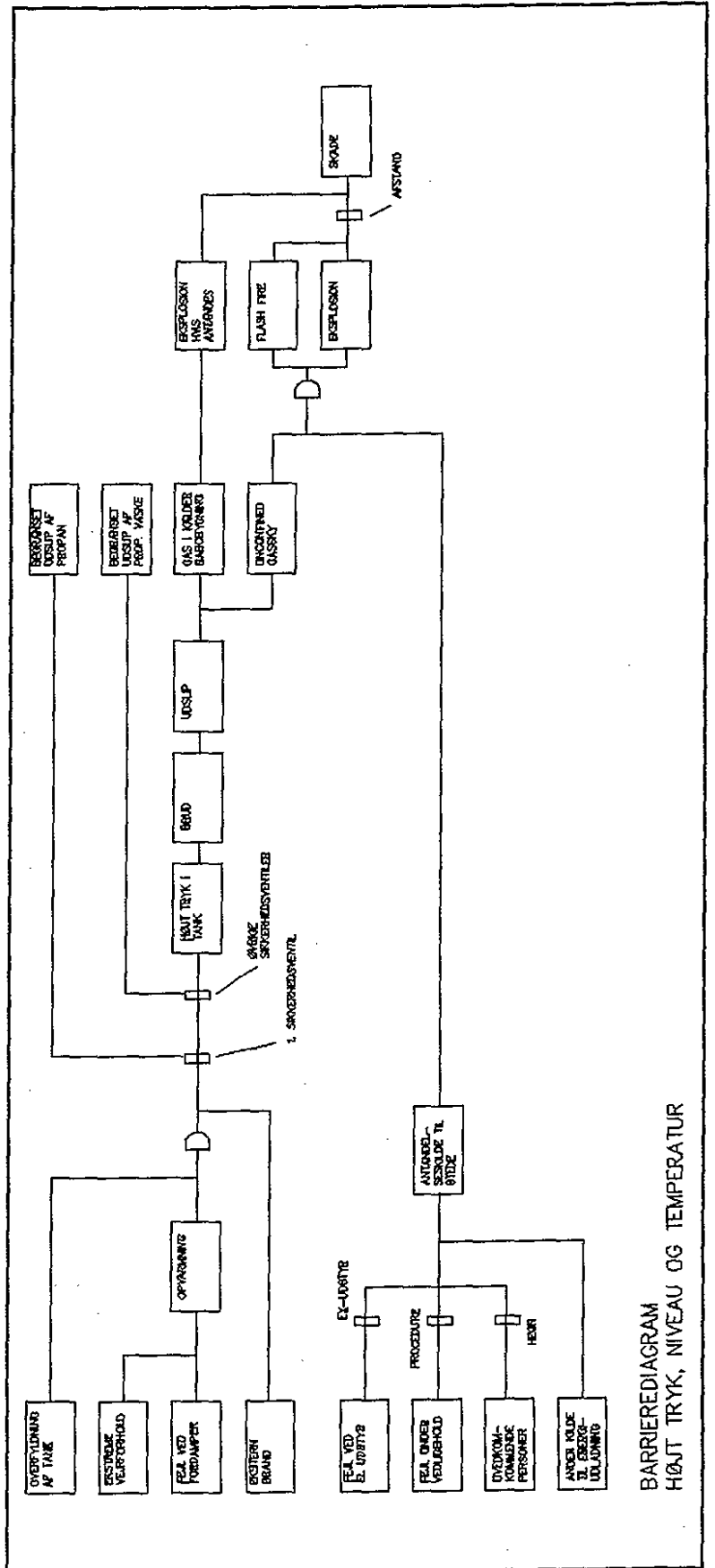
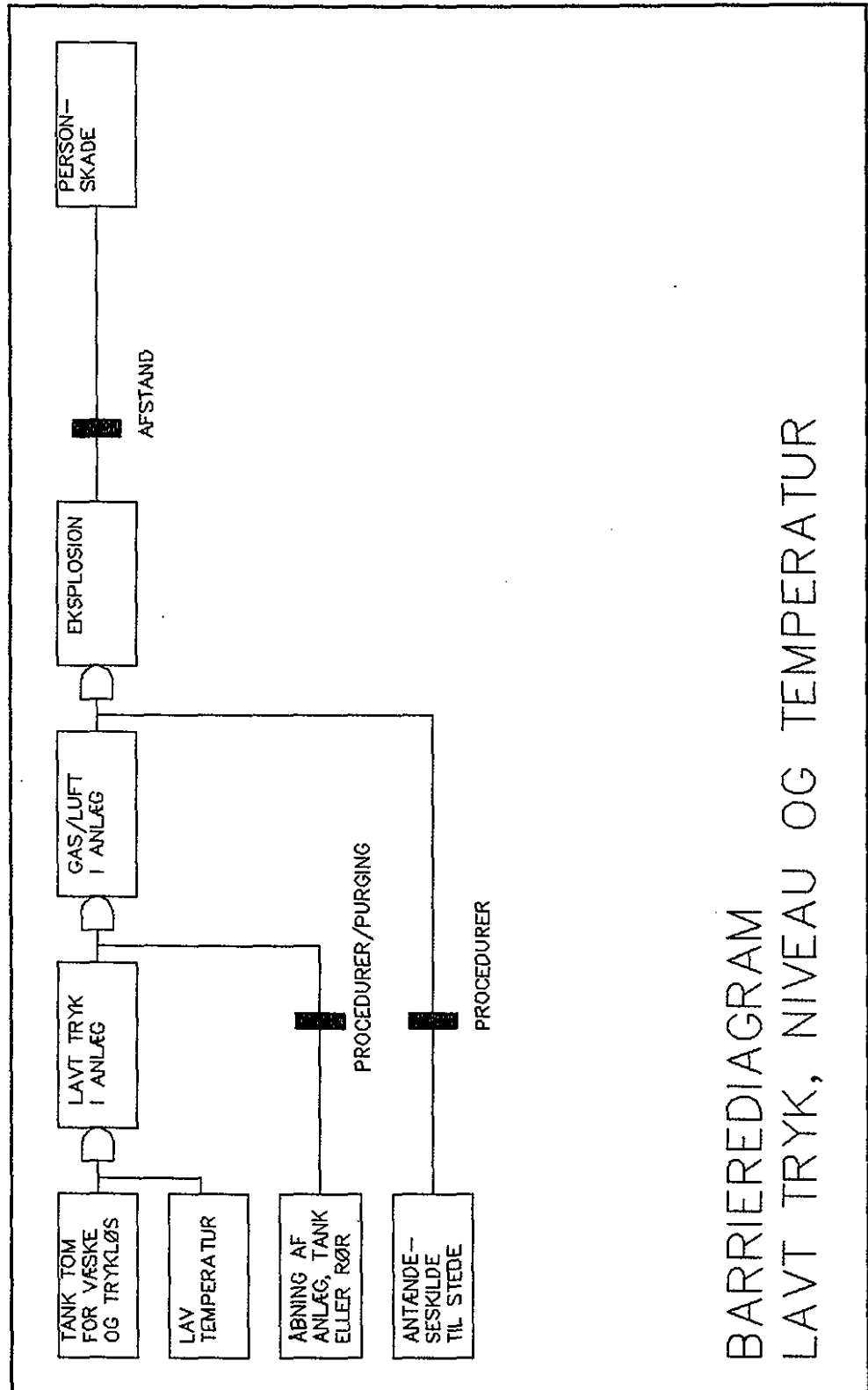


Fig. 2 Barrierediagram - Højt tryk, niveau og temperatur

BARRIEREDIAGRAM
HØJT TRYK, NIVEAU OG TEMPERATUR



BARRIEREDIAGRAM
LAVT TRYK, NIVEAU OG TEMPERATUR

Fig. 3 Barrierediagram- Lavt tryk, niveau og temperatur

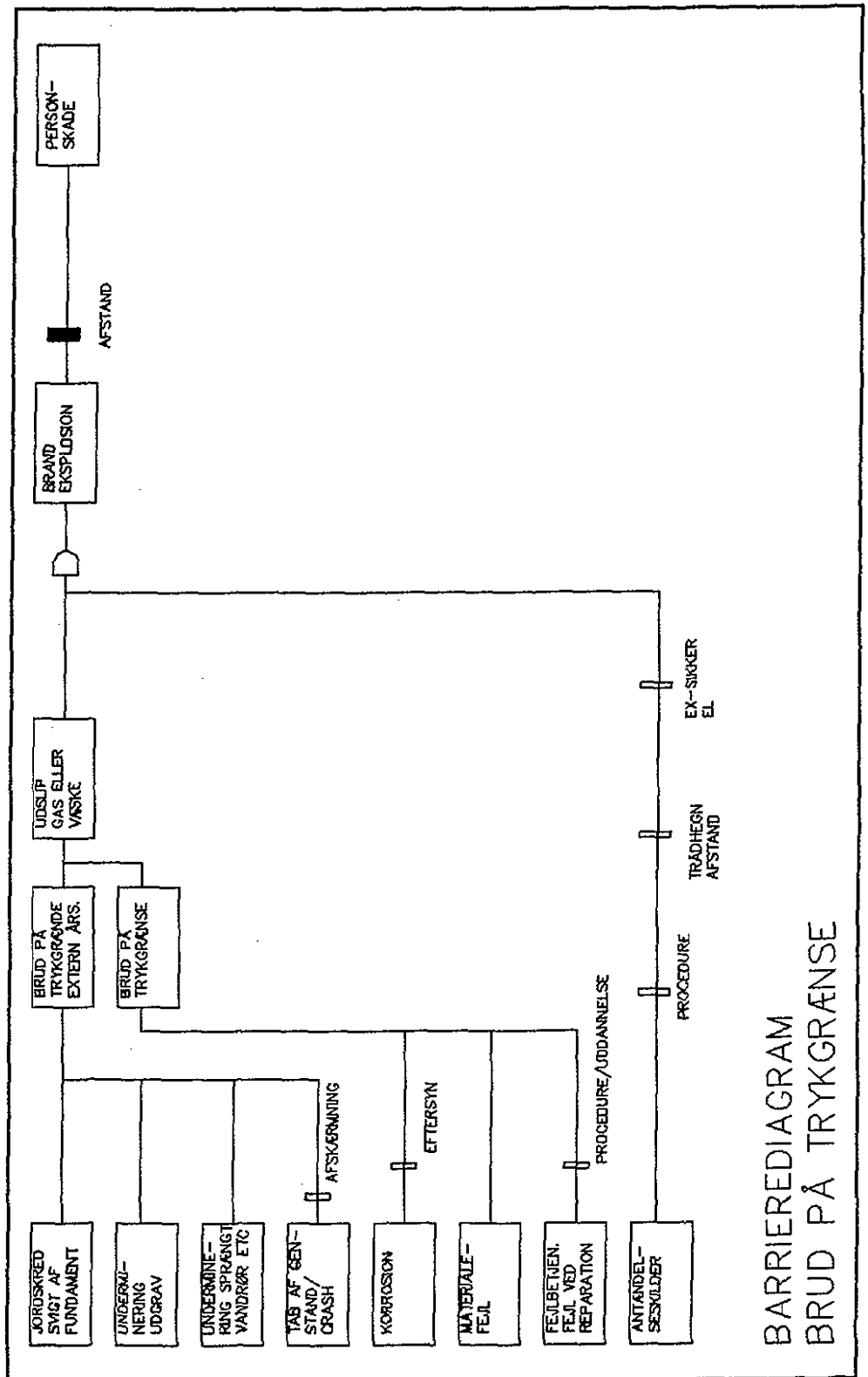


Fig. 4 Barrierediagram- Brud på trykgrænse

Konsekvenserne af uheld.

Omfanget af de skader der kan opstå, som følge af udslip af propan fra tankanlægget eller ved eksplosion i selve anlægget vil afhænge af en række forhold, og variere fra materielle skader på anlægget selv til skader på naboejendom og i værste fald skader på personer ansat på virksomheden eller personer på nabogrund eller offentlig vej.

Acceptkriterierne for risiko skal dække såvel ansatte på virksomhederne og personer uden tilknytning til produktionen, f.eks. naboer og forbipasserende. For at begrænse omfanget af eksemplet behandles imidlertid kun de hændelser, som kan påvirke 3. part. Konsekvensvurderingerne er derfor udført for at fastslå hvilke uheld, der kan have virkning uden for den grund, hvorpå anlægget er placeret.

De scenarier, som skønnes at være dækkende er:

- Totalt svigt af tank i forbindelse med trafikuheld eller tab af objekt på tank, efterfulgt af udslip af maksimal gasmængde og "flashfire" eller "unconfined explosion".
- Totalt svigt af tank på grund af ekstern brand omkring tank, f.eks. på grund af trafikuheld, efterfulgt af "BLEVE".
- Udslip på grund af rørbrud antændt straks eller, hvis der er mulighed herfor, fyldning af nabobygning med eksplosionsfarlig gas/luftblanding efterfulgt af eksplosion.
- Virkningen af eksplosion i tank i forbindelse med reparation.

Flashfire og fri eksplosion.

Hvis der opstår totalt svigt af tank, vil indholdet af flydende gas strømme ud og fordampe. Da propans kogepunkt er så lavt som $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ vil jorden, hvorpå væsken strømmer, have tilstrækkelig varmekapacitet til at fordampe det samlede tankindhold på ca. 1000 kg i løbet af få minutter. Dette svarer til 500 m^3 gas, som fortyndet til en koncentration omkring tændgrænserne, vil svare til en brændbar sky med et volumen på 5000 til 10000 m^3 .

Udslippet vil, da gassen er tungere end den omgivende luft, spredes langs jorden som en flad sky. Skyens form bestemmes af vindforholdene m.v., men højden af skyen vil næppe overstige et gennemsnit på 2 m. Den kan således dække et område af størrelsesordenen 2500 m^2 , i hvilket koncentrationen kan være større end den nedre eksplosionsgrænse.

Hvis skyen antændes kan der opstå en eksplosion, eller hvis området er relativt frit, en meget hurtig forbrænding uden nævneværdig trykudvikling, en "flashfire".

Eksplosion af frie gasskyer forekommer ikke ofte når gasmængden er begrænset, som i dette tilfælde, men det kan ikke udelukkes, at flammehastigheden kan blive høj nok til, at forbrændingen får karakter af eksplosion. En overslagsmæssig beregning baseret på teori publiceret af Houweling viser at følgende overtryk kan forventes:

Afstand fra skycentrum m	Tryk Bar
50	1.1
100	1.06
200	1.03
300	1.024
400	1.019
500	1.015

Disse trykpåvirkninger kan forårsage bygningskader i den umiddelbare nærhed, og knusning af ruder må forventes i en afstand op til nogle hundrede meter. Trykvirkningen ved gasekspllosioner kan være relativt alvorlig på grund af en relativt lang positiv trykfase, som resulterer i stor impuls.

Er konsekvensen en hurtig forbrænding vil det område, som skyen dækker, udsættes for en voldsom varmpåvirkning, som vil medføre svære forbrændinger på personer, der opholder sig i området. Brændbart materiale og bygninger kan antændes.

Uanset om der er tale om eksplosion eller "flashfire" må der forventes alvorlige personskader, i forbindelse med totalt svigt af gastanken.

"BLEVE"

En brand under eller nær gastanken kan medføre en opvarmning af tankindholdet og en deraf følgende trykstigning. Overstiger varmpåvirkningen det niveau, som svarer til sikkerhedsventilernes kapacitet, eller svigter ventilerne, kan en sprængning af tanken indtræffe. Tankindholdet vil frigives momentant og en "Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion", forkortet "BLEVE" (en ildkugle) vil være resultatet. Varmepåvirkningen fra den brændende gas kan vurderes ved at benytte overslagsmæssige formler fra /LEE/. Ildkuglens diameter er for det samlede tankindhold beregnet til ca. 70 m og varigheden af branden til ca. 5 sek.

Da denne hændelse vil indtræffe med nogen forsinkelse efter den initierende brand, må det forventes, at området er evakueret og at nysgerrige holdes borte, og sandsynligheden for skade på helt udenforstående dermed reduceret. Brandmandskaber imidlertid meget udsat for fare i disse situationer, og alvorlige personskader kan ikke udelukkes.

Eksplosion og brand ved rørbrud etc.

Forskellige hændelsesforløb kan føre til brud på rørforbindelser eller til andre utætheder, som vil give udslip af flydende eller fordampet gas af en størrelsesvarende til rørbrud.

Ved lækager eller brud vil udslip fra en anlægsdel, som indeholder væske, medføre størst udsliprate. Størrelsesordenen er derfor vurderet. Udslippet antages at svare til brud på 1" rør. Ved en temperatur på 20 °C vil trykket i tanken være ca. 9.8 bar. Udslipraten vil afhænge af afstanden imellem brud og tank. Følgende udsliprater er beregnet:

Afstand m	Rate kg/sek.
1	18
5	9
10	6

Et udslip kan spredes som en "jet", en stråle af gas, på grund af den høje udslipshastighed, eller hvis udslippet rammer en fast genstand og derved mister sin bevægelsesmængde, spredning på grund af vind og gravitation.

Uanset på hvilken måde spredningen foregår, kan en gassky med koncentrationer højere end nedre eksplosionsgrænsen nå nabobebyggelsen ved de anførte udslipssrater. Længden af en turbulent "jet" er beregnet til ca. 17 m ved en vindhastighed på 5 m/s. Ved lavere vindhastigheder og ved spredning på grund af vind er rækkevidden af gasskyen større, og der eksisterer derfor en mulighed for indtrængning af gas i nabobygningen, og derved opstår fare for eksplosion.

Hvis et mindre udslip antændes umiddelbart kan den udviklede varme anrette skade eller føre til svigt af andre anlægsdele, hvorved uheldet forværres.

Beregnete flammelængder svarende til de anførte udslipssrater varierer imellem ca. 15 m og 40 m og varmestrålingen fra en flamme vil kunne påvirke et større område.

Antages den ved stråling afgivne energi (ca. 20 - 25 %), at udstråles fra et punkt i flammens tyngdepunkt, kan sammenhørende værdier for afstand og strålingsniveau beregnes:

Udslipssrate kg/s	Flammelængde m	Afstand i m til	
		6 kW/m ²	35 kW/m ²
6	11	27	10
9	25	32	13
18	39	42	15

Som det fremgår kan flammen fra et antændt mindre udslip fra rørinstallationen nå tanken. Strålingsniveauet kan i et område, som også dækker nabobebyggelsen, være tilstrækkeligt til at forårsage antændelse af brændbart- eller betydelig opvarmning af emner af ubrændbart materiale. Tanken vil modtage en betydelig stråling, hvorved tryk og temperatur stiger, og der er fare for, at den mindre brand udvikler sig, hvis der ikke relativt hurtigt tilvejebringes mulighed for afkøling af tanken eller afbrydelse af udslip.

Virkingen af strålingsniveauerne kan vurderes i forhold til:

6 kW/m ²	Smerte efter 8 sek. Blister efter 20 sek.
35 kW/m ²	Antændelse af cellulose efter 20 sek. 50 % dødelig dosis - 20 sek.

Vurdering af acceptabilitet

I det foregående er omfanget af eventuelle skader behandlet, det vil sige konsekvensen af de identificerede uheldstyper. For at vurdere om disse konsekvenser er acceptable må det tillige, direkte eller indirekte, undersøges hvor hyppigt skaderne kan forventes. Dette kan foretages ved:

- at sammenligne med kendte anlæg (normer og standarder)
- at optælle barrierer eller barriere point
- at kvantificere (eventuelt overslagsmæssigt)

Vurdering ved sammenligning med normkrav.

Anlægget svarer helt til de krav, som stilles i normer, standarder og særlige bestemmelser, og det aktuelle risikoniveau må ved denne vurderingsmetode siges at svare til et acceptabelt niveau, hvorfor anlægget kan godkendes.

Vurdering ved optælling af barrierepoint.

Efter udførelsen af HAZOP - analyse for tankanlægget kunne det afgøres, at det især er tre typer af forstyrrelser, eller initierende hændelser, som kan starte et uheldsforløb, nemlig hændelser som:

- fører til høje værdier for tryk eller niveau.
- fører til lave værdier for tryk eller niveau.
- medfører brud på trykgrænse (beholder, rør eller armatur)

Diagrammerne fig. 2 til 4 illustrerer disse hændelsesforløb, og ved brug af metoden, som er beskrevet i afsnit 8, er pointtal for hvert af diagrammerne talt op.

Diagramet fig. 2

De initierende hændelser, som udløser udslip må alle placeres i hyppighedsklasse $H=4$, da de må forventes at indtræffe med en frekvens imellem en gang pr. år og en gang pr 100 år.

To hændelsesforløb kan føre til udslip, men kun hvis alle sikkerhedsventiler svigter (eller redundans afskæres ved lukning af linieventiler) er hændelsen alvorlig. Der indregnes derfor 2 sikkerhedsventiler, som ifølge tabellen i afsnit 8 hver sættes til 6 point, ialt 12 point.

Kun hvis udslippet antændes er situationen alvorlig, men de barrierer, som nedbringer sandsynligheden for antændelse, er afhængige af typen af initierende hændelse, hvorfor barriererne ikke kan tildeles point på normal vis. Der er tale om sandsynlighed og ikke frekvens. Sandsynligheden for antændelse må derfor omregnes til point.

Tilstedeværelsen af kilde til antændelse skønnes at forekomme i 10% af de tilfælde, hvor udslip finder sted, og dette tal oversættes på basis af de definitioner, som ligger til grund for pointsystemet:

$$F(K) = H * P$$

hvor

F(K) = Hyppigheden for konsekvensen K
H = Basishyppigheden
P = Sandsynligheden for at barrieren ikke virker

I pointsystemet defineres:

$$P = 10^{-(0.5 * n)}$$

hvor

n = Pointantal

Ved omskrivning haves:

$$\log(F(K)) = \log(H) - 0.5 * n$$

og for H=1

$$\log(P) = -0.5 * n$$

$$n = -2 * \log(P)$$

Det aktuelle pointtal for den beskyttelse, som eksplosionssikring, afspærring etc. giver er herefter:

$$n = -2 * \log(0.1) = 2 \text{ point}$$

For den aktuelle hændelse vil afstanden til nabo ikke være tilstrækkelig til i alle tilfælde at forhindre effekt af uheld på nabogrunden eller på offentlig vej. Konservativt antages halvdelen af hændelserne at være tilstrækkelig store, og "afstand" tildes
 $n = -2 \log(0.5) = 1 \text{ point.}$

Det samlede pointantal er herefter $2*6 + 2 + 1 = 15$. Ifølge tabellen i afsnit 8, kræves for H=4 kun 14 point, og det må derfor sluttes, at sikkerheden i forbindelse med højt tryk og niveau er tilstrækkelig.

Diagrammet fig. 3

Muligheden for gasluftblanding i tanken eksisterer kun når denne er trykløs, og i praksis kun i forbindelse med reparation. Herefter ansættes basishyppigheden til H=4.

Værdien af proceduremæssige foranstaltninger ansættes svarende til sandsynligheden for, at operatøren fraviger proceduren eller på anden måde

tilsidesætter sikkerhedsbestemmelserne Denne sandsynlighed angives af Swain og Guttman til $P=0.03$, når opgaven ikke er specificeret.

Omregnet til point svarer dette til $n=-2 * \log(0.03) = 3$

På tilsvarende måde gives point for sikkerhedsregler, som eliminerer antændelseskilder (rygeforbud, gnistfrit værktøj etc.), 3 point.

I dette tilfælde har barrieren "afstand" også nogen værdi, fordi eventuelle sprængstykker ikke nødvendigvis udkastes i retning mod nabogrund eller offentlig vej. Afstand er en passiv barriere, som maksimalt kan tildeles 10 point, i dette tilfælde skønnes 6 point (svarende til en sandsynlighed for at ramme et givet punkt på: $P=10^{-(0.5 * 6)} = 1 * 10^{-3}$).

Ialt for hændelsen haves:

procedure 1	3
procedure 2	3
afstand	6

ialt	12 point

Da basissandsynlighedener $H=4$ kræves 14 point, hvorfor sikkerheden for dette diagram ikke er tilstrækkelig.

Diagramet fig. 4

Basishyppighedernei dette diagram kan ikke alle placeres i samme hyppighedsklasse. Svigt af fundament, "svigt af jordbund" ved gravearbejde og lignende samt tilfældige materialefejl kan kun forventes meget sjældent, $H=3$. For disse hændelser findes ingen barrierer bortset fra afstand og begrænset sandsynlighed for antændelse.

For hændelserne fejl ved reparation, korrosion og for tab af genstand/påkørsel findes barrierer, men basishyppigheder tilsvarende højere, $H=4$.

Hændelser i klasse $H=3$

Sandsynligheden for antændelse behandles svarende til det forrige og tildeles 2 point.

Afstandens værdi ansættes svarende til, at kun 10% af de mulige uheld er tilstrækkelige til at påvirke nabogrund eller offentlig vej. Denne barriere vil da svare til 2 point.

Ialt haves 4 point mod de krævede 10, sikkerheden er ikke tilstrækkelig.

Hændelser i klasse $H=4$

Beskyttelse mod påkørsel er passive barrierer, og højeste pointtal skulle være 10. Stolperne er imidlertid kun dimensioneret til at modstå påvirkning fra mindre køretøjer eller større køretøjer ved lav hastighed (intern trafik). Ved den aktuelle placering af tankanlægget, nær offentlig vej, kan barrieren ikke antages at være effektiv i alle uheldssituationer. Barrieren kan derfor

kun tildeles færre point, 4 point skønnes rimeligt svarende til at 1 ud af hundrede påkørsler resulterer i svigt af stolperne.

I forbindelse med korrosion vurderes den periodiske inspektion at svare til forudsætningerne for tabellen i afsnit 8 og barrieren tildeles 3 point.

Værdien af sikkerhedsmæssige procedurer og krav om autorisation ansættes som tidligere til 3 point.

For hændelser med basishyppighed $H=4$ er laveste pointantal:

afstand	2
antændelse	2
procedure/inspektion	3

Ialt	7

Da der kræves 14 point ved $H=4$ er sikkerheden ikke tilfredsstillende.

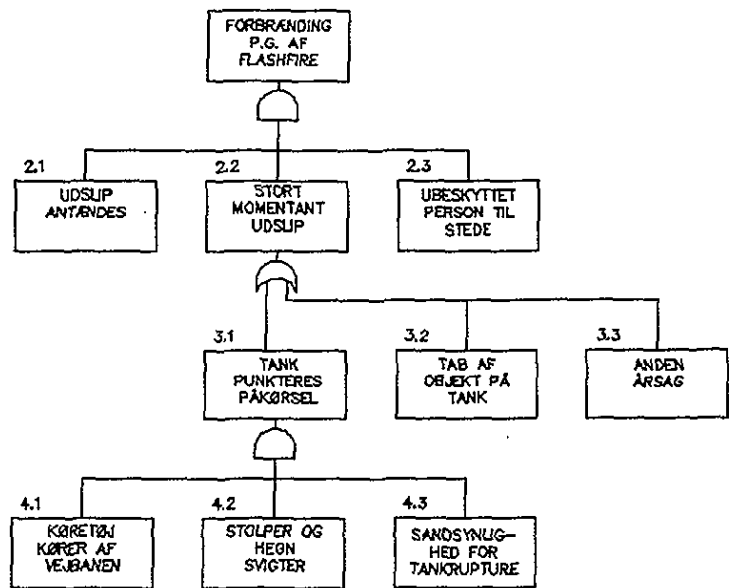
På basis af den kvalitative metode må man konkludere, at anlægget ikke kan godkendes med mindre flere sikkerhedsbarrierer tilføjes. Specielt er placeringen uheldig og faren for påkørsel bør nedbringes. Mere generelt kunne nedgravning eller overdækning af tanken med jord reducere muligheden for overlast af mekanisk og termisk karakter.

Kvantificering

Bestemmelse af risiko på basis af definitionen, konsekvens multipliceret med sandsynlighed, vil kræve en meget grundig kortlægning af de mulige uheldsforløb, f. eks. ved konstruktion af fejltræer, hændelsestræer etc. Selv for et lille teknisk anlæg som F-gas anlægget vil det kræve en betydelig indsats at foretage en fuldt kvantificeret analyse.

For at dokumentere at det samlede risikoniveau ikke overskrider en givet værdi må alle bidrag beregnes. Modsat har man dokumenteret overskridelse så snart summen af risici overstiger acceptgrænsen. Af indlysende grunde vælges her den sidstnævnte fremgangsmåde, og der begyndes med den hændelse, som skønnes at give det største bidrag. Dette antages her at være brud på tank i forbindelse med mekanisk overlast.

Brud på tanken kan føre til flashfire/eksplosion og den mulige skaderadius berører både offentlig vej og nabogrund. Hændelsen kan forenklet skitseres ved nedenstående træstruktur:



Herefter vurderes sandsynlighederne for basishændelser.

Hændelse 4.1 Køretøj kører af vejen med retning mod tank.

Ca. 7% af de alvorligere trafikulykker i Danmark sker (Danmarks Statistik) ved, at et køretøj i en kurve fortsætter ad en tangent til kurven. Det er imidlertid bestemt af lokale forhold, hvor hyppigt dette sker i en specifik kurve. I visse vejsving sker denne type uheld med få års mellemrum, i andre er ulykker ikke registreret. På en relativt befærdet vej, hvor hastigheden er relativt høj, må det forventes, at der hvert 25. til 50. år vil ske et uheld af denne art. Det er næppe særligt konservativt at antage en frekvens svarende til 0.04 uheld pr. år. Det vil dog kun være trafik fra den ene retning, som umiddelbart kan ramme tanken, hvorfor frekvensen for hændelsen ansættes til 0.02 pr. år.

Hændelse 4.2 Stolper og hegn stopper ikke køretøjet.

Påkørselsstandere og trådhegn kan nedbremse mindre køretøjer ved ringe hastighed, men kan næppe standse personbiler ved hastigheder over 50 km/t og slet ikke tungere vogne. 30 % af køretøjerne antages at have større bevægelsesenergi end stolper og hegn kan optage. Sandsynlighed $P = 0.3$.

Hændelse 4.3 Sandsynlighed for at ramme tanken og forårsage en større lækage.

Et køretøj som rammer tanken kan "glide af" uden at slå hul eller skaden kan begrænse sig til deformation af tankvæg. Tanken kan være næsten tom og konsekvensen derfor begrænset. Sandsynligheden ved denne hændelse ansættes derfor til $P = 0.3$.

Hændelse 3.2 og 3.3

Sandsynligheden for disse hændelser er små i forhold til P for 3.1 og medregnes ikke i første gennemregning.

Hændelse 2.1 Udslip antændes

I forbindelse med motorkøretøjeksisterer en række muligheder for antændelse, varme flader, elektriske gnister, og ved påkørsel mekaniske gnister. Sandsynligheden for antændelse er relativt høj og ansættes til $P=0.6$.

Hændelse 2.3 Ubeskyttet person til stede.

Hvor mange personer der færdes i området afhænger naturligvis af lokalitetens karakter, i et bymæssigt område er sandsynligheden stor. Sandsynligheden for at et større antal personer skades er dog nok ikke tilstrækkelig til at dominere den individuelle risiko for nabo. Sandsynligheden for at en bestemt person er uden for bygningen er beskeden, en værdi svarende til 1 time om dagen antages som et gennemsnit for året. Hvis det antages, at der i ejendommen bor 3 personer, kan tallet for hændelsen ansættes til $3 * 1/24 = 0.125$. Sandsynligheden for død ansættes konservativt til 0.5 og den samlede sandsynlighed for hændelsen bliver da $P=0.063$.

Gennemregnes træet findes en samlet forventet frekvens svarende til ca. $7 * 10^{-5}$. Da dette tal er større end acceptkriteriet på $1 * 10^{-6}$ er kvantificering af yderligere hændelser ikke nødvendig, for at afgøre at anlægget ikke kan godkendes.

Konklusion

Anlægget er vurderet ved brug af de tre metoder. Den kvantitative del er dog overslagsmæssig og ikke detaljeret i den grad man må forvente ved en analyse i praksis. Eksemplet viser alligevel rimelig overensstemmelse ved brug af henholdsvis de kvantitative og de kvalitative kriterier.

Det er dog nødvendigt at tage et vist forbehold netop fordi kvantificeringen ikke er detaljeret. Den kvalitative metode er enklere end en fuldt kvantificeret analyse og derfor mindre nøjagtig. Der er kompenseret for denne unøjagtighed ved at gøre kravene til barriereantal relativt konservative, det er, sammen med den ekstremt uheldige placering af anlægget, årsagerne til, at der i eksemplet viser sig et "underskud" på op til 7 barrierepoint, hvilket svarer til en faktor 3000. Selvom tendensen er rigtig, svarer dette tal til en overvurdering af risikoniveauet. Det vil derfor givet kunne betale sig at gøre visse dele af en kvalitativ analyse mere detaljeret, hvis et resultat er tæt på acceptgrænsen. Ved anlæg med potentiale for et meget stort antal dødsfald bør den kvalitative metode under alle omstændigheder følges op kvantitativt, hvis resultatet ikke viser en rimelig stor sikkerhedsmargin.

Eksemplet viser, at de foreslåede acceptkriterier er strengere end de regler, der i dag gælder for denne anlægstype. Specielt kravene til beskyttelsen af tanken mod overlast (påkørsel, tab af genstand, ekstern brand m. v.) er utilstrækkelig, når den vurderes i forhold til kriterierne. Dette svarer imidlertid til netop de områder, hvor man i udlandet er ved at ændre

praksis og nu i større omfang nedgraver eller tildækker LPG - tanke. Den særdeles dårlige placering af anlægget gør eksemplet atypisk, men ikke urealistisk, da der faktisk findes tanke med en lignende placering.

Referencer

/LEE/ F. P. Lees, Loss Prevention in the Process Industries.
Butterworths, 1982.

APPENDIX C

EKSEMPEL 2 - KEMISK ANLÆG

EKSEMPEL 2

Indledning

Formål og metode

Dette eksempel har som formål at vise, hvilke styrker og svagheder, der er ved risikoanalyser udført med sigte på de tre typer risikoacceptkriterier, dvs.:

- 1) opfyldelse af normer og lovkrav
- 2) talmæssigt kriterium
- 3) antal og kvalitet af barrierer relativt til fejlhyppighed.

Der tages udgangspunkt i et stedfundet uheld. Ville uheldsmuligheden være identificeret? Ville anlægget være fundet acceptabelt ud fra en teknisk risikovurdering?

I eksemplet anvendes et udslip af oleum. Uheldet omtales bla. i:

H.J. Styhr Petersen. Dansk Kemi 86 11 p. 336
Loss Prevention Bulletin. 074 p.1.

Eksemplet behandler den del af uheldsforløbet, som ville være blevet behandlet ved en risikoanalyse/teknisk vurdering udført af anlæggets bestyrere/konsulenter. Dvs. eksemplet omfatter hændelser på anlægget i tidsrummet indtil indsatsledelsen overdrages til den kommunale brandchef. Evt. medtages indgreb foranlediget af råd fra anlæggets medarbejdere. Eksemplet uddyber ikke uheldsbegrænsende foranstaltninger truffet af brandvæsen, politi, presse eller hospitalsvæsen.

Beskrivelse af uheld

Uheldet

I Januar 1985 opstod der en lækage i en lagertank med oleum hos Nobel Kemi i Karlskoga, Sverige. Oleum er 'overkoncentreret' svovlsyre. Ca. 30t oleum løb ud i løbet af omkring 9 timer. Der dannede sig en tung sky - en svovlsyreaerosol - som kom til at dække en stor del af det indre Karlskoga. I det område, hvor skyen var tættest (sigt under 5m), bor der ca. 2500 mennesker. I alt kom 46 mennesker på skadestuen; men ingen af dem havde lidt alvorlig skade. Der skete ingen skade på miljøet. Figur C.2.1. viser et kort over uheldsområdet.

Oleums egenskaber

Oleum er svovlsyre, hvori der er absorberet SO_3 . Oleum er en tungtflydende olieagtig væske, med en massefylde på ca. 2. Åbnes en beholder med oleum afgasses SO_3 . Denne SO_3 vil reagere med luftens fugtighed og danne svovlsyre. Der opstår en tåge, som består af meget små svovlsyre dråber. Tågen er meget tæt. I umiddelbar nærhed af et større udslip, kan den være farlig for mennesker. På længere afstand svider tågen i øjne og luftveje. Den danske grænseværdi for svovlsyre er 1 mg/m^3 .

Oleums smeltepunktsdiagram er væsentligt for uheldets forløb. Diagrammet er gengivet på figur C.2.2. I Karlskoga anvendes 65% oleum, dvs. 65% SO_3 og 35% H_2SO_4 . Af figuren ses, at oleum her har et lavt smeltepunkt, ca. -3°C . Fortyndes med vand falder % fri SO_3 , og smeltepunktet stiger mod maksimum, 35°C .

Koncentreret svovlsyre og oleum virker ikke korroderende på stål ved stuetemperatur. Fortyndet svovlsyre er derimod meget korrosiv.

Anlægget

Anlægget ligger ca. 2 km fra Karlskogas centrum i en dal langs Timselven. De nærmeste boliger ligger ca. 500 m fra den bygning, hvorfra udslippet fandt sted.

Figur C.2.3. viser den bygning, hvori oleumtanken er anbragt. I bygningens nordende findes 4 tanke af forskellig størrelse. På uheldstidspunktet var 2 af disse tanke tomme. Der var ca. 15m^3 i den tank, hvorfra udstrømningen fandt sted.

I bygningens sydende findes et instrumentrum, hvor niveauet i tankene kan aflæses. Dette rum var bemanded, da uheldet indtraf.

Gulvet i tankrummet er forsænket, og danner et bassin, eller en sump, hvori større oleumspild kan opfanges og dermed begrænses til bygningen. I sumpens dybdepunkt findes et afløb, som via et neutralisationsbassin leder et evt. spild til anlæggets rensningsanlæg.

Uheldsforløbet

Kl. 18.40 hører en operatør i instrumentrummet en hvæsende lyd fra tankrummet. Han kigger derind og konstaterer, at der er en oleumlæk, og at rummet er fyldt med tåge. Medarbejderen starter rummets ventilations-system. Arbejdsformanden tilkaldes. Formanden alarmerer anlæggets brandvæsen kl. 19.05.

To mand iført beskyttelsesdragter går ind i tankrummet for at lokalisere lækagen. De konstaterer, at oleum strømmer ud gennem et afgangsrør fra tank 2. De forsøger at lukke en ventil mellem lækagen og tanken; men udstrømningen fortsætter, skønt ventilhåndtaget drejes til lukket position.

Oleum løber ned i sumpen og ud gennem afløbet. Som beskrevet under oleums egenskaber, afgasses SO_3 når væsken lukkes ud af beholderen. På denne måde ændres $\text{SO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ -forholdet, og oleums smeltepunkt hæves. Det betyder, at oleumen efterhånden størkner og blokerer afløbet. Oleumen kan ikke længere ledes til neutralisationsbassinet. På dette tidspunkt er 3.5 m^3 oleum løbet gennem afløbet.

For at begrænse afgasningen søger man at dække oleumen i sumpen under tankene med vermiculit. Sumpen er ikke stor nok til at opsamle hele oleummængden, og oleum begynder at løbe ud af bygningen. Et forsøg på at overføre oleum til en af de tomme tanke mislykkes. Kl. 03.20 er tank 2 tom; men udviklingen at svovlsyretåge standser først nogle timer senere.

Tidsmæssigt forløb

18.40 Læk i oleumtank opdages
19.05 Anlæggets brandværn tilkaldes
19.29 Det kommunale brændvæsen underrettes
19.33 Det kommunale brændvæsen tilkaldes.
Evakuering af nærmeste boliger
19.53 Politiet informerer befolkningen over lokalradioen
20.00 Brandchef tilkaldes
20.20 Brandchef ankommer til uheldsstedet og overtager indsatsledelsen
20.30 Første tilskadekomne ankommer til skadestuen
20.35 Brandchef ankommer til uheldsstedet
03.20 Oleumtanken er tom
08.00 Indsatsen afsluttes

Analyse af uheldet

De fejl og mangler, der ledte til at uheldet fik det faktiske forløb, er søgt identificeret. Figur C.2.4. viser en skitse af de beholdere, rør, ventiler, bassiner etc., som har betydning for uheldets forløb.

Fejl der udløser uheldet

Der er slagter i svejsesømmen mellem et rør fra oleum tanken og en flange. Oleum trænger ud og reagerer med fugtighed i rørets mineraluldsisolering. $SO_3\%$ 'en i oleumen går ned, og syren bliver mere korrosiv. Syren angriber det damprør, der holder syrerøret varmt. Damp- røret korroderer igennem, og der bliver vand til rådighed for dannelse af endnu mere korroderende syre.

Det ender med, at der pludselig opstår en stor læk.

Fejl forud for uheldet

Afspærringsventilen nærmest tank 2, figur C.2.4, på røret mellem tank 1 og tank 2 er ikke lukket. Ventilen er 30% åben, selvom ventilhåndtaget markerer 'lukket'. Ventilspindelen er vredet. Ventilen er anbragt ubekvem og betjenes ved slag på håndtaget.

Designfejl

Når oleum spildes afgasses SO_3 . Herved stiger oleums smeltepunkt fra $-3^\circ C$ mod $35^\circ C$. Dvs. ved et større spild er der mulighed for, at noget af den sejtflydende oleum størkner og blokerer afløbet til neutralisationsbassinet. Neutralisationsbassinet kan ikke anvendes, og oleum forbliver i sumpen under tankene.

Sumpen under tankene kan ikke indeholde en mængde svarende til udslippet fra en enkelt tank.

Dårlig
kvalitetskontrol.

Da anlægget blev bygget burde svejsningerne have været kontrolleret bedre.

Ingen
vedligeholdspolitik

Der burde have været bedre kontrol med mindre lækager, også steder, der ikke kan ses umiddelbart pga. isolationsmateriale.

Afspærringsventilen skulle have været kontrolleret, især når den måde den betjenes på er så voldsom - hvad den iøvrigt ikke burde være.

Anlæggets generelle princip var at reparere når noget fejlede. Man undersøgte ikke beholdere, rør og fittings for korrosionsangreb.

Tankene var bygget før 1966. Sverige indførte standarder for inspektion af tanke i 1966. Tanke bygget før dette år er ikke omfattet af bestemmelserne. Der var således intet krav om regelmæssig inspektion.

Risikoanalyser til de tre vurderingsprincipper

I de følgende afsnit gennemgås, hvorledes risikoanalyser kunne være udført med henblik på de tre typer acceptkriterier nævnt i indledningen.

Viden om fejl-
muligheder og
konsekvens

Grundlæggende er, at risikoanalytikerens må skaffe sig en passende grad af kendskab til det anlæg, der analyseres og de skader anlægget har potentiale for at forvolde.

Opfyldelse af normer og lovkrav er en 'overfladisk' analyseform. Der kræves intet detaljeret kendskab til anlægsdetaljer og mulige konsekvenser af uheld.

For analyser udført til tal/tælle baserede acceptkriterier, skal der erhverves et nøje kendskab til anlægget.

Et sådant kendskab kan f.eks. erhverves gennem en hazoanalyse.

Det skal undersøges, hvilke konsekvenser et uheld kan få. Har man valgt et talmæssigt acceptkriterium kan det være nødvendigt, at undersøge med hvilken sandsynlighed vejr- og vindforhold er således, at anlæggets naboer vil være udsat.

For dette eksempel er det fundet, at udviklingen af store mængder svovlsyre, er en uønsket hændelse.

Uheldets reelle konsekvens var 46 lettere tilskadekomne. For eksemplet antages (dette er ikke eftervist ved beregning), at uheldet vil kunne medføre varig alvorlig skade for personer uden for virksomheden uanset vindretningen (de faktiske vejrforhold er ikke med sikkerhed de mest ugunstige).

Generelle krav

Der stilles nogle basale krav til anlæg med potentiale for uheld med uønskede konsekvenser. Kravene sigter til anlæggets design og til den måde, hvorpå anlægget drives. Der gælder følgende:

Anlægget skal være designet efter gældende normer (god praksis)

Anlæggets vedligeholdsstandard skal være god evt. udføres vedligehold efter gældende normer.

De medarbejdere, der betjener anlægget, skal have den fornødne uddannelse, evt. have fulgt lovbestemte kurser.

Virksomheden skal have en beredskabsplan, evt. et internt 'brandvæsen'.

Herudover stilles nogle krav til god driftspraksis:

Anlægget skal drives inden for det område (kapacitet, temperatur, flow, tryk osv.), hvortil det er konstrueret.

Fejltilstande må ikke opstå som en del af normal drift.

De basale krav synes at være opfyldt - omend virksomheden nok burde have skævet til de regler, myndighederne fandt det påkrævet at indføre for konstruktion og drift af tanke i 1966.

Mere dybgående spørgsmål vedrørende vedligeholdsrutiner vil afsløre, at vedligeholdsstandarderne ikke er god.

Identifikation af fejlmuligheder: Hazoanalyse

Den centrale del af hazoanalysen er udfærdigelsen af hazopskemaerne. Anlægget gennemgås rumfang for rumfang, og afvigelser som høj temperatur, lavt tryk, baglæns flow etc. analyseres for årsag og virkning.

Ved hazoanalysen udvælges rumfanget 'rørforbindelse mellem tank 1 og tank 2'. Under stilstand i tankene skal de to afspærringsventiler være lukket, og der skal intet flow være gennem røret.

Afvigelse

Afgivelsen 'flow' betragtes. Et udfyldt hazop-skema for denne situation findes som figur C.2.5.

Årsag

'Flow' kan opstå på flere måder:

Begge ventiler kan være åbne. Denne hændelse har kun betydning for det tilfælde, at en af tankene har mulighed for at blive overfyldt pga. hævertvirkning.

Læk/brud på røret kan ske mellem en fyldt tank og den nærmeste afspærringsventil.

Ventilen nærmest en fyldt tank kan være åben, og der opstår læk/brud mellem ventilerne.

Den sidste mulighed var aktuel ved oleumudslippet. Men i modsætning til de to førstnævnte fejlårsager, er den aktuelle fejlårsag sammensat af to tilnærmelsesvis uafhængige fejl 'ødelagt ventil' og 'dårlig svejsning', suppleret med mangelfuldt vedligehold. Almindeligvis går en hazopanalyse ikke så dybt, at dobbeltfejl identificeres specifikt. Men man ville have betragtet hændelsen 'læk/brud mellem fyldt tank og afspærringsventil' - der jo har samme konsekvens.

Konsekvens for systemet

En typisk beskrivelse af konsekvensen af udslippet vil være:

Er der ikke mulighed for at overføre tankes indhold til en anden tank, vil den fejlede tank tømmes ned i sumpen. Hastigheden er afhængig af lækagens størrelse. Fra sumpen vil oleumen løbe til neutralisationsbassinet og uskadelliggøres. Væsken ledes videre til anlæggets rensningsanlæg. En evt. 'mindre' af-dampning af SO_2 kan fjernes af rummets ventilations-system.

Aktion

Hazopanalytikeren må stille nogle spørgsmål til denne forklaring. Svarene er opdigtede til formål for dette eksempel.

Kan sumpen rumme indholdet af den største tank?
Sumpens rumfang er ca. $8m^3$, dvs. nej.

Er sumpen således placeret og indrettet, at man kan være sikker på, at al oleum vil opsamles der?
Ja, såfremt der ikke sker overløb.

Hvad er maksimal udstrømningshastighed, svarende til et brud på røret?

Dette kræver en beregning (som viser at tanken kan tømmes på ca. 30. min.).

Med hvilket udstyr vil man tømme den lækende tank?
Hvor er udstyret placeret? Hvad er proceduren?
Besvarelse gives (som viser at dette ikke vil kunne lade sig gøre for alle typer udslip).

Findes personlige værnemidler, der gør det muligt at trænge ind i tankrummet?
Ja.

Hvor meget SO₂ kan forventes at dampe af?
Dette kræver en nærmere beregning (som forhåbentlig viser, at der damper mere af end umiddelbart antaget).

Kan oleumens smeltepunkt ved afgangningen tænkes at blive så højt, at oleumen størkner?
Dette kræver en nærmere beregning (som vil vise, at oleum i visse tilfælde vil størkne og blokere afløbet)

Hvor koldt kan der blive i afløbsrøret?
Temperaturer under 0°C er mulige.

Kan der stå vand i afløbsrøret?
Nej, fald mod neutralisationsbassin.

Er der andre muligheder for afspærring af afløbsrøret? Ventiler, snavs?
Der findes en ventil uden for bygningen.

Hvordan holdes sumpen og afløbet fri for andet materiale?
Almindelig rengøring.

Hvad er neutralisationsbassinets kapacitet?
N m³/h, dvs. tilstrækkelig.

Hvad sker, hvis ikke-neutraliseret oleum løber videre til rensningsanlægget?
Kræver en nærmere undersøgelse (ingen oplysninger om anlæggets art).

Der er ingen alarmer eller detektorer for oleumudslip. Hvor lang tid kan der maksimalt gå, før et oleumudslip opdages? Nat - ingen i instrumentrummet?
Der rundes i anlægget hver halve time.

Har man tidligere haft uheld med udslip af oleum?
Ja. Der har i tidens løb været en række smålækker. Anlæggets medarbejdere evt. suppleret med virksomhedens brandværn har altid selv kunnet klare opgaven. Der har ikke været udviklet svovlsyretråger af betydning.

Har der været korrosionsproblemer?
Ikke af betydning.

Hvor ofte efterses tankene, bla. med henblik på korrosionslækager?

Tankene er fra før 1966 og derfor ikke omfattet af krav til regelmæssig inspektion.

Identificerede fejl

Følgende fejl og mangler er identificeret:

Sumpen er for lille.

Man kan ikke regne med, at oleum vil blive ledt til neutralisationsbassinet, da oleumen højst sandsynligt vil størkne i afløbsrøret.

Utilsigtet afspærring af afløbsrør til neutralisationsbassin er mulig.

Kontrol, spec. mht. korrosion foretages ikke.

Ikke identificerede fejl

Følgende fejl blev ikke fundet, og vil vanskeligt blive det:

Uhensigtsmæssig placering af afspærringsventil, og heraf følgende uhensigtsmæssig betjening.

Den tekniske risikovurdering:

Sammenligning med normer og lovkrav

Konklusion

Anlægget findes acceptabelt.

Begrundelse

De ændringer, der er foretaget i tankanlægget efter 1966, er af mindre omfang. Derfor er anlægget ikke omfattet af påbudene vedr. inspektion og vedligehold fra 1966.

Analytikeren vil imidlertid nok bemærke, at det ikke kan være 'god praksis' at negligere påbudene fra 1966.

Den tekniske risikovurdering:

Sammenligning med talkriterier

Konklusion

Anlægget findes ikke acceptabelt.

Metode

Overfor de svar, der blev givet i hazoanalysen, vil risikoanalytikeren nok umiddelbart konkludere, at anlægget ud fra en teknisk vurdering ikke er acceptabelt.

En kvantificering af hyppigheden for den uønskede hændelse 'udslip af oleum og dannelse af store mængder svovlsyreåge som spredes til omgivelserne' kan foretages således:

Uheldsforløbet brydes ned i delhændelser, hvis omfang og hyppighed eller sandsynlighed kendes eller kan anslås med rimelig nøjagtighed. Er delhændelserne alle uafhængige af hinanden kan hyppigheden for hændelsen udregnes ved at gange sandsynligheder og hyppigheder sammen.

Delhændelser og tilhørende hyppighed eller sandsynlighed kan være som anført i tabellen nedenfor.

Delhændelse	Hyppighed	Sandsynlighed
Brud på rør med muligt korroderende medium, ingen korrosionskontrol	10^{-2} pr. år	
Svigt af overpumpning til anden tank, afspærringsventil kan ikke anvendes		1
Svigt af overløb til neutralisationsgrube		1
Specifik tank indeholder stor mængde syre	Halvdel af al tid	

Hyppigheden af den uønskede hændelse bliver da $5 \cdot 10^{-3}$ pr. år.

I kapitel 7 angives kvantitative acceptkriterier. Der er to typer, der begge skal være opfyldt:

Et individuelt kriterium, der kræver at den hyppighed, hvormed en udvalgt person uden for virksomheden pådrager sig varig skade pga. aktiviteten ikke må overstige 10^{-6} p.a.

Et samfundskriterium, der kræver at den hyppighed, hvormed en tilfældig person uden for virksomheden pådrager sig varig skade p.g.a. aktiviteten ikke må overstige 10^{-4} p.a. Er der mulighed for 10 skadede må hyppigheden ikke overstige 10^{-6} p.a., 100 skadede betyder en største hyppighed på 10^{-8} p.a.

Kapitel 7 angiver en generel reduktionsfaktor på 10^{-2} for at en udvalgt person er placeret således, at et givet uheld rammer vedkommende. Faktoren dækker over vindretning og vejrforhold, om vedkommende er hjemme, udendørs osv.

Dvs. det tal, der skal sammenlignes med det individuelle kriterium, bliver $5 \cdot 10^{-5}$ p.a. Denne hyppighed er større end 10^{-6} p.a., dvs. anlægget opfylder ikke det første acceptkriterium og er ikke acceptabelt.

Den tekniske risikovurdering:

Antal barrierer

Konklusion

Anlægget findes ikke acceptabelt.

Metode

Barriereanalysen tager udgangspunkt i et barrierediagram. Diagrammet konstrueres ud fra det kendskab til anlægget, der er erhvervet gennem hazoanalysen. Den centrale hændelse vil i dette tilfælde være 'udslip af stor mængde oleum'.

Barrierediagrammet kan se ud som vist på figur C.2.6, idet det eftervises, at hver enkelt barriere opfylder kvalitetskravene til en barriere. Dvs. bl.a.

Barrieren skal være i stand til at fungere overfor alle de uheld, som den er designet til at kunne klare.

Hvis barrieren aktiveres, må den ikke kunne forårsage andre uheld.

Barrieren må ikke kunne ødelægges af det, den skal beskytte imod.

Aktive barrierer skal testes regelmæssigt.

Om barriererne kan konkluderes

Afspærringsventilen

Afspærringsventilen kan lukkes, hvis det er muligt at komme til den. Da mandskabet først skal iklædes sikkerhedsdragter etc. kan man ikke regne med, at dette sker før en betydelig mængde oleum, evt. hele tankens indhold, er strømmet ud.

Ventilen er en barriere, der opfylder kvalitetskravene (man finder ikke at ventilen er defekt). Ventilen er ikke designet som en barriere, men er en del af det nødvendige reguleringssystem. Barrieren virker kun suppleret med manuelt indgreb - nogen identificerer brudstedet og lukker ventilen. Sandsynligheden for at

	barrieren virker, er lav, idet tanken meget vel kan være tom inden ventilen lukkes. Bruddet kan også ske på den anden side af ventilen - og så har den ingen barrierevirkning.
Overførsel til anden tank	På samme måde som afspærringsventilen er 'overførsel af tankens indhold til en anden tank' kun en delvis barriere med lav funktionssandsynlighed.
Afstand og vejr	Her henvises til appendix A: 'Afstand og vejr som barrierer'.
Beredskab	Der findes beredskabsplaner for uheld af denne type. Beredskab omfatter evakuering og hospitalsbehandling.
	<u>Om andre foranstaltninger kan konkluderes:</u>
Neutralisation	Da beregninger har vist, at oleum vil afgasse betydelige mængder SO_2 ved frigivelse til omgivelserne, og at oleum's smeltepunkt herved vil stige til temperaturer over omgivelsernes, må man konkludere, at afløbet til neutralisationsbassinet med stor sandsynlighed vil blokere i forbindelse med et større oleumudslip.
	Der er også fundet andre årsager til blokering af afløbet.
	Ydermere er sumpen under tankene ikke stor nok til at rumme indholdet af en fyldt tank.
	Det må konkluderes, at sump og afløb til neutralisationsbassin ikke er en barriere, der opfylder kvalitetskravene.
Point for barrierer	Nedenfor anvendes point- og klassifikationssystemet beskrevet i kapitel 8.
K=5	Uheldet skønnes at tilhøre konsekvensklasse 5 dvs., 'Mange personer indenfor eller udenfor virksomheden (kan) skades. Mulighed for varige skader eller dødsfald'.
H=4	Basishændelsens hyppighed, dvs., hvor tit der vil opstå en stor læk på en oleumfyldt ledning, skønnes at ligge inden for niveau 4 dvs. 'Ualmindelig hændelse, sjældnere end en gang pr. år, men mere end én gang pr. 100 år.
	Kapitel 8 anfører hvor mange point, der kan tildeles barrierer.

Afspærringsventil Afspærringsventilen vil kun være anvendelig ved rørbrud placeret nedenstrøms. Det er en manuel barriere som kan aktivieres når forstyrelsen er konstateret ved inspektion.

1 point

Ompumpning Ompumpning af den lækende tanks indhold til en anden tank kan kun ske såfremt en sådan tank er tilgængelig. Ompumpningen vil som afspærringsventilen først blive aktiveret ved erkendelsen af uheldet.

1 point

Afstand og vejr For at beregne hvor mange barrierepoint, der kan opnås som funktion af afstand og placering i forhold til uheldsstedet, kræves 2 sæt oplysninger:

- 1) Oplysninger om vejrforholdene. Normalt vil man have en 'vindrose' dvs. en angivelse af, hvor ofte det blæser fra en bestemt retning. Disse oplysninger kan suppleres med oplysninger om hyppighed af vindhastigheder og stabilitetsklasser.
- 2) Oplysninger om de uønskede skadevirkningers udbredelse som funktion af vejrforholdene. Det beregnes hvor stort et område, der rammes af uheldet. Dette gøres for hvert af de under 1) specificerede vejrforhold.

De 2 sæt oplysninger kombineres, og man når frem til et kort som det, der er vist på figur C.2.7. Kortet viser den betingede sandsynlighed for at blive ramt af et givet uheld. På kortet er indtegnet niveaukurver, der repræsenterer en risikoreduktion på $\sqrt{10}$ eller 1 barrierepoint. På kortet er indtegnet virksomhedens område. Figurens centrum er uheldsstedet. Det ses, at der i alle retninger findes områder udenfor virksomheden, som ikke kan tildeles ét barrierepoint. Figur C.2.7 er konstrueret til eksemplet og ikke baseret på faktiske beregninger.

Da uheldet under alle vejrforhold rækker uden for virksomhedens område tildeles

0 point

Beredskab Kapitel 8 giver ingen retningslinier for, hvor mange point et velfungerende virksomhedsberedskab kan tildeles. Ligeledes gives ingen retningslinier for pointgivning for brandvæsenets indsatsplaner, politiets advarsel af befolkningen, hospitalsbehandling etc.

Det uheld, der behandles i eksemplet, har ikke øjeblikkelige alvorlige konsekvenser for naboer til virksomheden. Derfor er beredskabsmæssige foranstaltninger af stor betydning for begrænsning af uheldets konsekvenser.

En 'manuel barriere' tildeles 3 point. For eksemplet vælges dette antal. En reel pointgivning må baseres på en nøje gennemgang af planer, bemanning, træning etc.
3 point

Bibetingelse

Der skal være syre i lagertanken for at et uheld kan indtræffe. Det er skønnet at dette vil være tilfældet 'halvdelen af al tid'. Denne information skal omsættes til barrierepoint. Hertil anvendes udtrykket:

$B = 2 \log(P)$, hvor
B er antal barrierepoint
P er sandsynligheden.

For $P = 0.5$ bliver $B = 0.6$, hvilket er mindre end 1. Konservativt ses bort fra bibetingelsen ved beregning af det totale antal barrierer for uheldskæden. (Havde B været 1 skulle der lægges 1 til antallet af barrierer).

Total

Uheldskæden med færrest barrierer udvælges jfr. figur C.2.6. Summationen giver $1 + 0 + 3 = 4$ point.

Krav

Kapitel 8 angiver et krav til antallet af barrierepoint for $K=5$ og $H=4$ til 14.

Vurdering

Anlægget kan ikke godkendes da $4 < 14$.

Hvis sumpen og neutralisationsgruben havde været designet rigtigt, ville dette arrangement være blevet tildelt 8 point. Det betyder, at anlægget i alt ville have fået 12 point, dvs. endnu en barriere må overvejes.

Antal barrierer

I kapitel 8 nævnes også en mulighed for at tælle antallet af barrierer. Er uheldshyppigheden dvs. hyppigheden af rørbrud, 1 hvert 100 år og $K=5$, skal der være 2-3 barrierer mod uheldet. Disse barrierer skal være af god kvalitet og omfatter ikke beredskab. Reelt er der i dette eksempel ingen barrierer, da hverken afspæringsventil eller ompumpning kan påregnes at fungere. Naboerne bor inden for uheldets område for alle vejrforhold.

Eksemplets konklusion

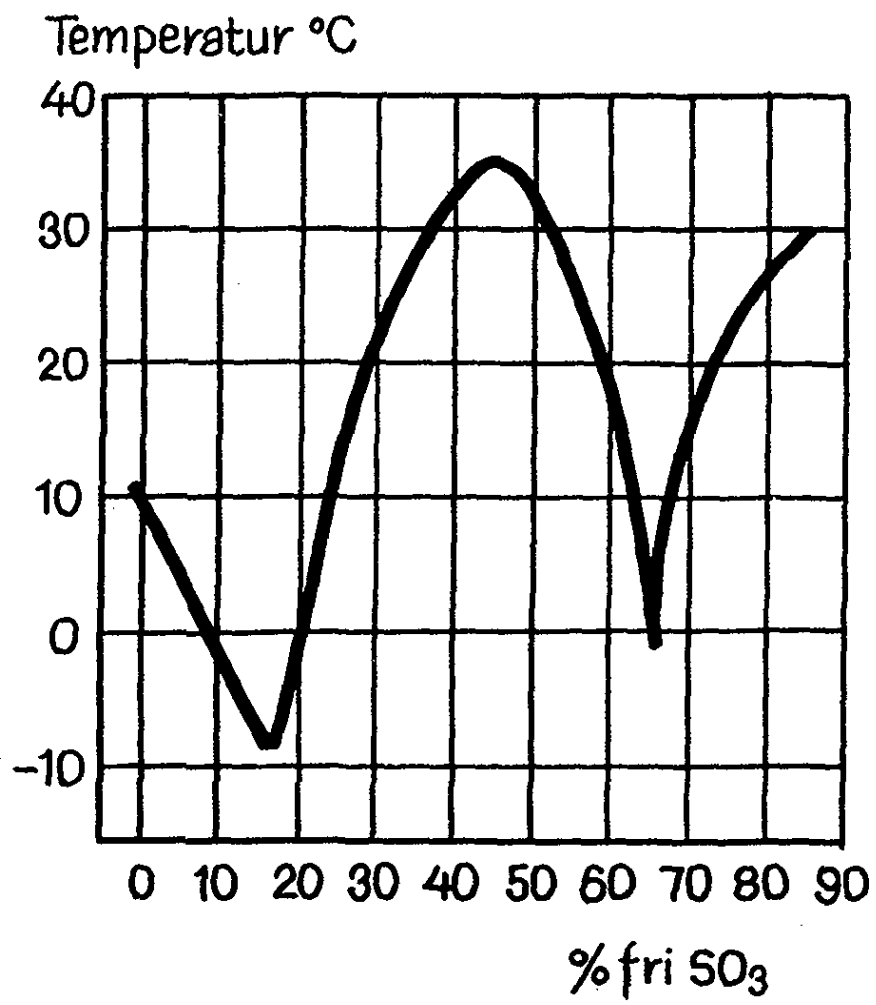
I dette tilfælde vil en risikovurdering alene baseret på, hvorvidt anlægget opfylder normer og lovkrav ikke være tilstrækkelig. Anlægget vil blive accepteret trods væsentlige fejl.

Den kvantitative og den kvalitative analyses resultater er enslydende: Anlægget kan ikke accepteres. En nøje gennemgang af anlægget identificerede væsentlige fejl og mangler. Der var ingen tvivl ved sammenligningen med de fastsatte acceptkriterier. Analysernes tal/antal var tydeligt uacceptable.

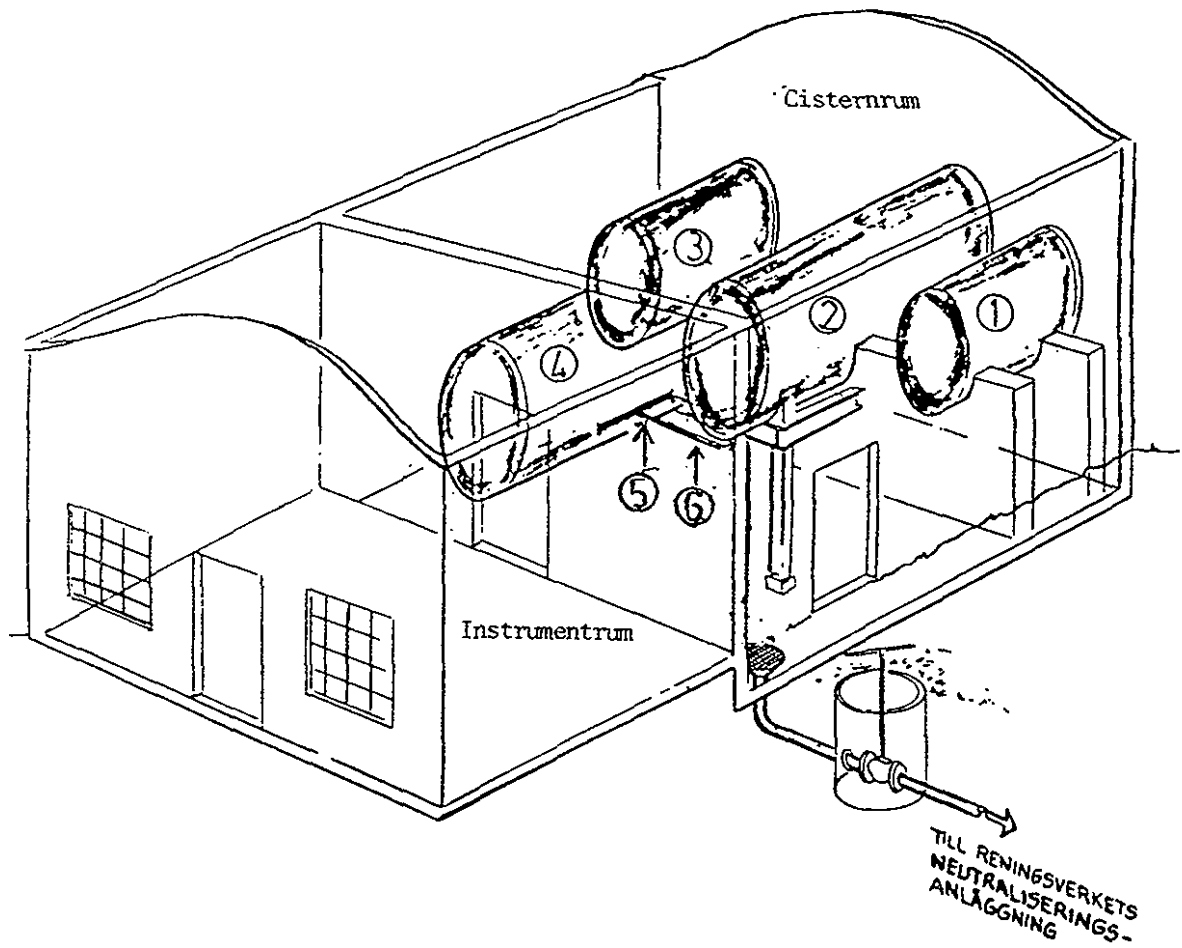
Man må notere sig, at de to metoder har noget forskellige vurderingssprincipper. Ved den kvantitative vurdering fokuseres på hyppigheden af svigt af komponenter og handlinger evt. suppleret med hyppigheden af omstændigheder, der forværrer konsekvenserne. Ved den kvalitative analyse fokuseres på sikkerhedsforanstaltningerne og deres pålidelighed. Dette kan alt i alt føre til nogen forskel i bedømmelsen. I eksemplet er sandsynligheder og point tildelt uden dybtgående overvejelser med det formål at afsløre disse forskelligheder. Følgende er bemærket.

- Vanskelighed med vurdering af beredskabet. Beredskabets 'svigtsandsynlighed' indgår ikke i den kvantitative analyse. Beredskabet medtages naturligt som en barriere i den kvalitative analyse, omend der er vanskeligheder ved pointansættelsen.
- Det er 'nemt' at give et enkelt barrierepoint til en sikkerhedsforanstaltning, der egentlig ikke er særligt pålidelig, når man skæver til det maksimalt opnåelige pointantal. Man skal imidlertid erindre, at 1 barrierepoint svarer til en hyppighedsreduktion på $\sqrt{10}$, eller 3.2. Det er det samme som at sandsynligheden for at barrieren svigter er 0.32. I den kvantitative analyse 'troede' man ikke på foranstaltningen og satte svigtsandsynligheden til 1.
- Barrieremetoden er 'grovere' end en kvantitativ beregning. Konservativt må bibetingelser med sandsynlighed større end 0.32 udelades ved optællingen af barrierepoint.

I den kvalitative analyse anvendes 2 typer acceptkriterier, et pointsystem og et tællesystem. Pointsystemet vurderer godheden af de forskellige uheldsbegrænsende foranstaltninger i større detalje end tællesystemet, hvor godheden blot er ja/nej. Derfor vil man, hvis man baserer sig på tællesystemet, kunne komme til at stille meget strenge krav til et anlægs sikkerhedsforanstaltninger. Man baserer alene sin vurdering på optælling af 'perfekte' barrierer. Anvendes pointsystemet kan flere mindre gode barrierer muligvis gøre det ud for én god.

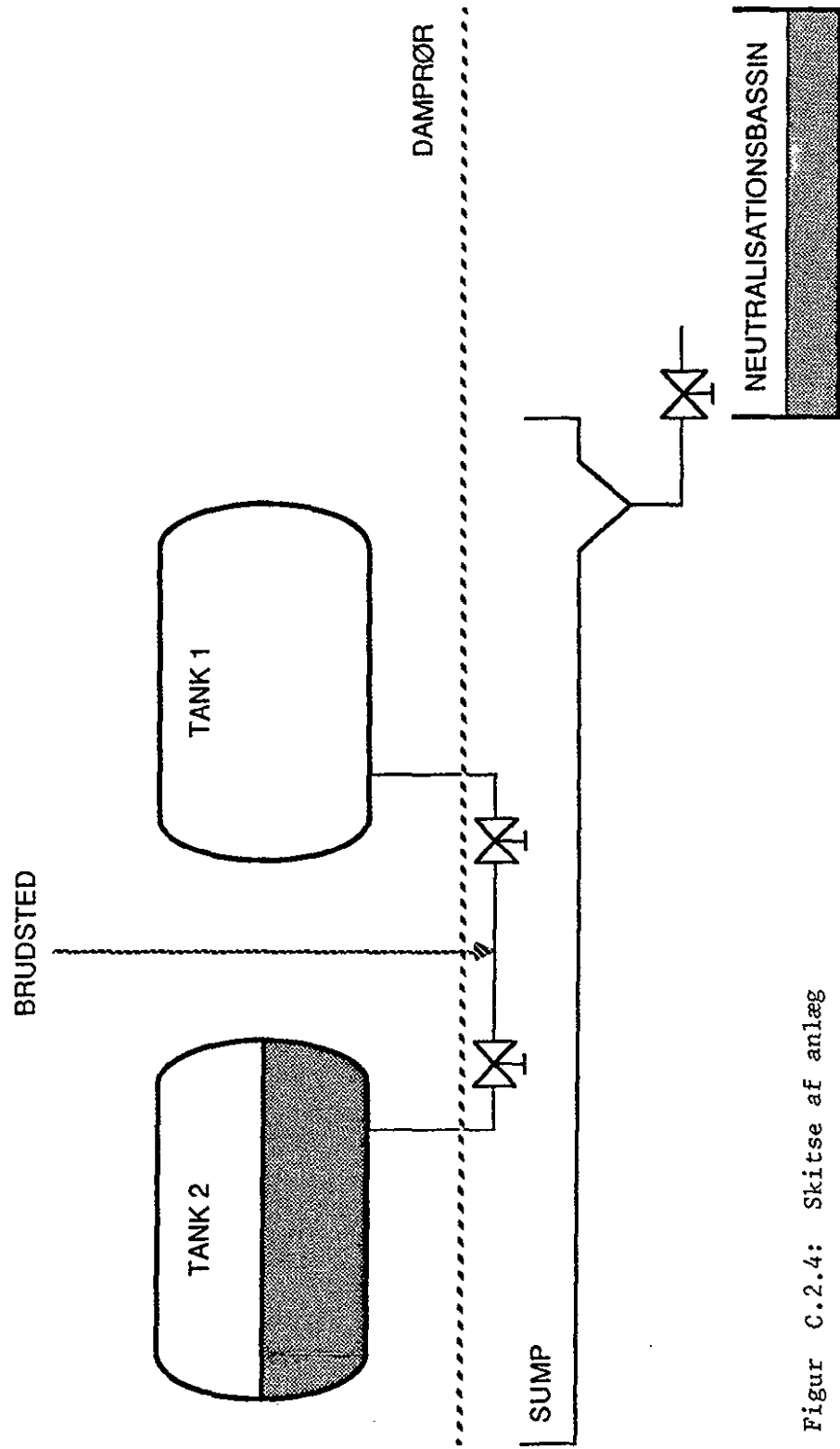


Figur C.2.2 - Smeltepunktsdiagram for oleum



1. Tom tank
2. Tank med ca. 15 m³ oleum, som läckede ud
3. Tom tank
4. Lækagen
5. Afspærringsventilen

Figur C.2.3 - Tankbygningen



Figur C.2.4: Skitse af anlæg

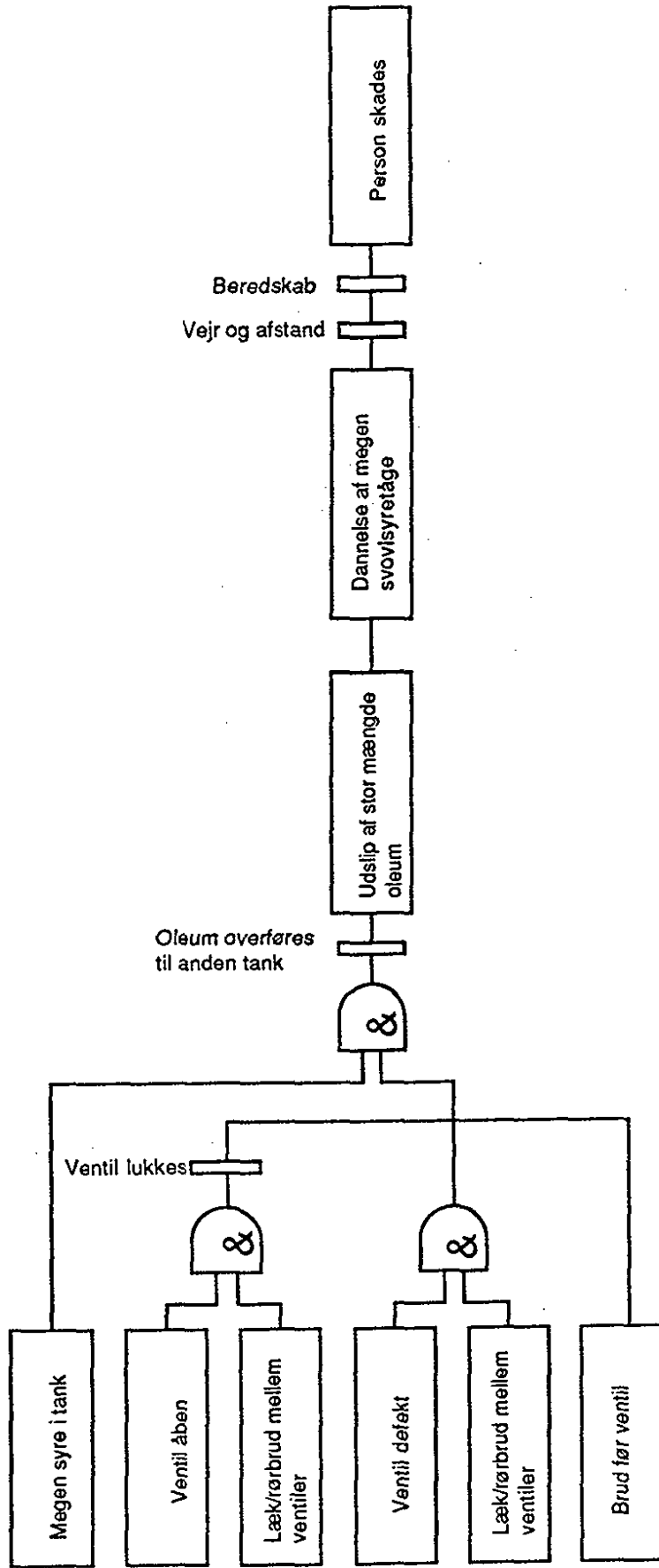
NAVN: Nobel Kemi	DRIFTSFASE: Stilstand	DATE: 881123
SAG NR.: 18143	VOLUMEN: Rørforbindelse mellem tank 1 og tank 2	UDFØRT AF: LSC
ANLÆG: Lager for oleum	SKEMA NR.: 1 AF: 1	Figur C.2.5

ARVIGELSE	ARSAG	KONSEKVENNS FOR SYSTEM	KONSEKVENNS UDENFOR SYSTEM	SIKKERHEDSFUNKTION I SYSTEM FØR ARVIGELSE	SIKKERHEDSFUNKTION I SYSTEM EFTER ARVIGELSE	SIKKERHEDSFUNKTION UDENFOR SYSTEM	AKTION	AF	OK
Højt flow	Læk/brud inden afspærringsventil - korrosion - slag	Oleum strømmer ud til sump og løber videre til neutralisationsgrube. SO ₃ afgasses	Svovlsyreåge i evt. udenfor bygning	Mindre læk opdages ved inspektion	Sump med afløb til neutralisationsgrube.	Medarbejder opdager udslip og iværksætter beredskabsplan. Oleum kan overføres til anden tank	Se rapport	-	-

ANLÆG, DRIFTSSITUATION:
UHELD:
OMFANG OG VARIGHED:
KONSEKVENSKLASSE:

Tanklager for oleum
Udslip
Stor mængde, lang tid
4

Figur C.2.6



SIGNATURER

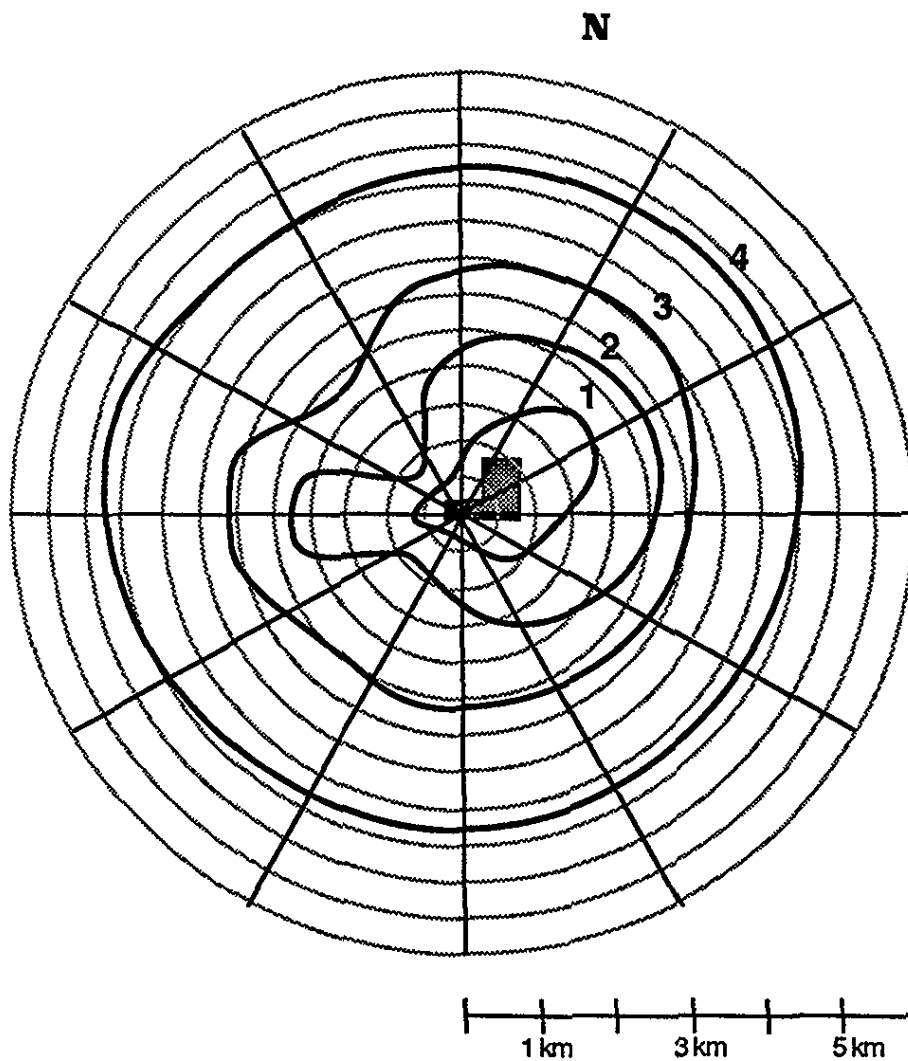
BEGGE HÆNDELSE
SKAL INDTRÆFFE



EEN HÆNDELSE
SKAL INDTRÆFFE



BARRIERE



Figur C.2.7: Afstand og placering som barriere. Kortets centrum er uheldsstedet. Det skraverede område er virksomhedens. Niveaukurverne repræsenterer områder udenfor hvilket det nævnte antal barrierepoint opnås.

Registreringsblad

Udgiver: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K.

Serietitel, nr.: Miljøprojekt, nr. 112

Udgivelsesår: 1989

Titel: Kvantitative og kvalitative kriterier for risikoaccept

Undertitel:

Engelsk titel:

Probability and Qualitative Criteria for Risk Acceptance

Forfatter(e) og/eller udførende institution(er):

ITSA (Institute for Technical Systems Analysis); COWIconsult;
Forskningscenter RISØ; OC Rådgivende Ingeniører

Resumé:

Risikovurdering og risikoaccept er meget komplekse emner, som omfatter mere end kun tekniske aspekter.

I Danmark bruges i dag tre fremgangsmåder ved risiko- eller sikkerhedsanalyse:

- kvalitative analyser, hvor uheldsmuligheder og de tilsvarende sikkerhedsforanstaltninger identificeres og beskrives, og hvor konsekvenserne beregnes eller vurderes
- kvantitative analyser, hvor uheldsmuligheder og sikkerhedsforanstaltning identificeres og beskrives, og hvor uheldskonsekvenser og forventede hyppigheder beregnes
- sammenligning med normkrav

Den kvalitative fremgangsmåde ved sikkerhedsanalyser er i nogen grad et dansk fænomen og en ret ny fremgangsmåde. En vurdering skal baseres på en kombination af metoder. Ingen analyse er af værdi, med mindre den svarer i det mindste tilnærmelsesvis til virkeligheden. Der kan opstå stor forskel mellem beregnet og reel risiko, hvis driftsformen eller driftsstandard ændres. En vurdering af den generelle sikkerhedspraksis, sikkerhedsstyring og kvalitetssikring på anlægget er en nødvendig del af analysen.

Standardiserede emneord (efter MDS-liste):

Frie emneord:

risikoanalyser; standarder; transport; kemisk industri; energi; forsyning; kapitel 5 godkendelser

ISBN: 87-503-7938-0

ISSN: 0105-3094

Pris (inkl. moms): kr. 85,-

Format: A4

Sideantal: 148

Md./år for redaktionens afslutning: februar 1989

Oplag: 1.600

Andre oplysninger:

Tryk: Notex-Grafisk Service Center a.s., Søborg



Trykt på miljøpapir

Kvantitative og kvalitative kriterier for risikoaccept

I Danmark bruges i dag tre fremgangsmåder ved risiko- eller sikkerhedsanalyse: kvalitative og kvantitative analyser og sammenligning med normkrav. Den kvalitative fremgangsmåde er ret ny. En vurdering bør baseres på en kombination af metoder. Analysen skal så vidt muligt svare til virkeligheden. Der kan opstå stor forskel mellem beregnet og reel risiko, hvis driftsform eller -standard ændres. Vurdering af generel sikkerhedspraksis, -styring og kvalitetssikring på anlægget er nødvendig.

Miljøstyrelsen

Strandgade 29, 1401 København K, tlf. 31 57 83 10

Pris kr. 85,- inkl. 22% moms

ISSN nr. 0105-3094
ISBN nr. 87-503-7938-0