FoU rapport

”Inherent Safety”

RÄDDNINGS VERKET

Denna rapport ingår i Räddningsverkets serie av forsknings- och utvecklingsrapporter. I serien ingår rapporter skrivna av såväl externa författare som av verkets anställda. Rapporterna kan vara kunskapssammanställningar, idéskrifter eller av karaktären tillämpad forskning. Rapporten redovisar inte alltid Räddningsverkets ståndpunkt i innehåll och förslag.

2001 Räddningsverket, Karlstad
Risk- och miljöavdelningen
ISBN 91-7253-126-6

Beställningsnummer P21-382/01
2001 års utgåva

”Inherent safety”

Anders Jacobsson
AJ Risk Engineering, Stenungsund

Räddningsverkets kontaktperson:
Jan Schyllander, Risk- och miljöavdelningen. Tel: 054 – 13 51 41

Bakgrund och uppdrag

Ett antal filosofier för systemkonstruktion används med olika fokus inom olika områden. En sådan filosofi betecknas "inherent safety" (inneboende eller genuin säkerhet) och används vid grundläggande utformning och konstruktion av system innehållande risker, främst inom kemisk processindustri. En viktig fråga är kopplingen mellan processen att utforma och konstruera systemet och den riskanalys, som ska användas för att granska systemet. Denna rapport ska ge en översikt av konceptet "inherent safety" i generella termer och med hjälp av exemplifieringar visa hur det används i praktiken. Rapporten försöker också belysa konceptets användbarhet inom andra områden än de traditionella applikationerna.

Innehåll

I denna rapport görs en systematisk beskrivning av begreppet "inherent safety" och dess tillämpning, i första hand med avseende på kemisk processindustri, åskådliggjort med tillämpningsexempel. Även näraliggande begrepp till "inherent safety" berörs. I andra hand görs också en utvidgning till annan kemikaliehanterande verksamhet.

Rapporten behandlar också kortfattat

- Kopplingen mellan design och riskanalys
- Beslut om hur användning av "inherent safety" –principer görs
- Kostnader för tillämpning av "inherent safety"
- Mätning av graden av "inherent safety"

Rapporten ger också uppfattningar om hur

- "inherent safety" tillämpas i praktiken,
- denna filosofi skulle kunna användas på hanteringen av vissa vanligt förekommande ämnen och i vissa industriella applikationer

Slutligen pekar rapporten på områden som med fördel skulle kunna behandlas enligt principen "inherent safety" och ger skisser till modeller för användning på olika riskhanteringsområden.

Innehållsförteckning

Bakgrund och uppdrag 3

Innehåll 5

Allmänt 7

Definition av begreppet ”inherent safety” 7
Andra närliggande begrepp 8
Allmänna principer för att uppnå ”Total safety” 9
Exempel på tillämpningar av ”inherent safety” 10
Grundläggande principer inom ”inherent safety” 13
Intensifiering (Eng Intensification)/Minimering av mängd 13
Substituering (Eng. Substitution) 15
Mildare betingelser (Eng. Attenuation) 16
Robust design i övrigt, exempel 17
Begränsning av effekter 18
Förenkling 18
Kopplingen design och riskanalys 20
Något om beslutsprocessen 21
Kostnader för ”inherent safety” 22
Kan ”inherent safety” mätas? 23
Konflikter mellan säkerhet och miljö vid tillämpning av ”inherent safety” 24

Tillämpning av ”inherent safety” idag 25
Möjliga framtida användingar av ”inherent safety” 27

”Inherently safer” -begreppet applicerat på några vanligt förekommande farliga ämnen 27
Allmänt 27
Gasol 27
Ammoniak 28
Klor 28
En modell för ”inherent safety” i industriell riskhantering 29
”Inherent safety” överfört från processindustrin till andra områden 30
En modell för ”inherent safety” i kommunal riskhantering 31
En modell för ”inherent safety” i transportsammanhang 31
En modell för organisatoriska/administrativa system enligt ”inherent safety”-modellen 33
Industriella applikationer inom kemisk processindustri med potential för förbättringar enligt ”inherent safety” 34
Tillverkningsprocesser 34
Övrig hantering, bl a lastning/lossning av klor, svaveldioxid, ammoniak och andra kondenserade giftiga gaser 35

Samhälleliga applikationer med potential för förbättringar enligt "inherent safety" 36
Fasta anläggningar 36
Ammoniak för kylanläggningar 36
Gasol, nära andra aktiviteter 36
Bensinstationer i tättbebyggda samhällen 36
Transporter 37
Transporter av farligt gods genom tättbebyggda samhällen genom tunnlar och över vatten 37
Förslag på lämpliga områden för fortsatt forskning och tillämpning 37

Inside-projektet 38

EPSC-statement of good practices 39

Referenslista 40

Bilagor 41

Allmänt

Definition av begreppet "inherent safety"

Begreppet "inherent safety" kan lämpligen översättas till svenska med "inneboende säkerhet" eller "genuin säkerhet" eller möjligen "inbyggd säkerhet". Något allmänt accepterat svensk begrepp lär inte finnas. För författaren betyder "inherent safety" i sin djupare mening sådant som är genuint säkert p g a att naturlagar, grundläggande kemiska och fysikaliska egenskaper et c, gör att, oavsett vilka tekniska fel eller mänskliga misstag och t o m medvetet felaktiga handlingar inkl t o m sabotage, så är processen, anläggningen eller verksamheten säker. Eftersom det i praktiken är oerhört svårt att nå ända fram till totalt säkra anläggningar och aktiviteter använder vi med fördel begreppet "inherently safer" som ett relativt snarare än som ett absolut begrepp, medgivande att den helt ofarliga processen, anläggningen eller aktiviteten knappast existerar.

Kärnan i "inherently safer"-konceptet vid utformningen av en anläggning är att undvika farorna (på engelska "hazards", d v s de inbyggda farliga egenskaperna), snarare än att kontrollera de risker de representerar genom att lägga till säkerhetsutrustning.
Det traditionella sättet att tillgodose en tillräcklig säkerhet i en process- eller lageranläggning är att installera mer och bättre säkerhetsutrustning som t ex larm och förreglingar, tryckavlastningssystem, gasdetektorer, skrubbers och fackelsystem, brandskydd och brandbekämpningsutrustning, explosionståliga byggnader etc Utrustningen eller åtgärderna som läggs till är oftast nödvändiga, men ökar också komplexiteten och kostnaderna.
Andra sätt att uppnå tillräcklig säkerhet är att skapa tillräckliga avstånd mellan riskkällan och omgivande eventuella skadeobjekt. Även detta kan vara ett kostsamt sätt att tillgodose en tillräcklig säkerhetsnivå.

Vad som ofta förbises är att det kan finnas en bättre och billigare lösning på problemet genom att tillämpa någon av principerna för "inherent safety" och angripa själva de grundläggande förutsättningarna för processen eller anläggningen.
En ofta citerad devis inom ämnet är från Henry Ford, som fritt översatt lär ha sagt att "Det som man inte sätter på (bilen), kostar ingenting och behöver inget underhåll". Och varför inte citera Salig Dumbom: "Ju enklare ju simplare."

Målet med att tillämpa ett "inherent safety"-koncept är att utforma processer och anläggningar på ett sådant sätt att de är tillräckligt säkra utan tillägg av en hel mängd underhållskrävande säkerhetsutrustning, genom att använda

- begränsade mängder av farliga kemikalier (så att det inte gör så mycket om de läcker ut t ex)

- ”harmlösa” kemikalier istället för farliga
- sådana betingelser att kemikalierna är ”ofarliga” (t ex lågt tryck och låg temperatur eller utspädda med ofarligt medium)

Det bör inledningsvis omnämnas att det finns en hel del litteratur inom området ”inherent safety”. Se litteraturförteckningen.
Den store föregångaren som länge drivit frågan om att tillämpa konceptet ”inherent safety” vid design av anläggningar bör också nämnas här – Professor Trevor Kletz, England, som bl a. sammanfattat sina tankar kring frågan i boken ”PLANT DESIGN FOR SAFETY – a user-friendly approach” (1). En hel del material till denna rapport har hämtats från Kletz bok.

Andra närliggande begrepp

Begreppet ”intrinsical safety” förekommer också och betyder i stort sett detsamma som ”inherent safety” (en tidigare benämning på ”inherent safety”).

Pilz (2) använder begreppet ”integrated safety”, som också ligger nära ”inherent safety”. Han utgår från de två klassiska komponenterna i risk, å ena sidan storleken på den potentiella faran, och å andra sidan sannolikheten att denna fara ska leda till en händelse som förorsakar skada. Anläggningar med ”integrated safety” är därför sådana i vilka för det första

- den potentiella faran har reducerats så långt som tekniskt möjligt och för det andra
- sannolikheten för okontrollerat utsläpp av material och energi har minimerats.

Begreppet ”integrated safety” når således inte helt fram till ”inherent safety”
– som ju innebär att själva faran har reducerats till en absolut säker nivå
– utan man måste ta i anspråk också sannolikheten och visa att denna är mycket låg.

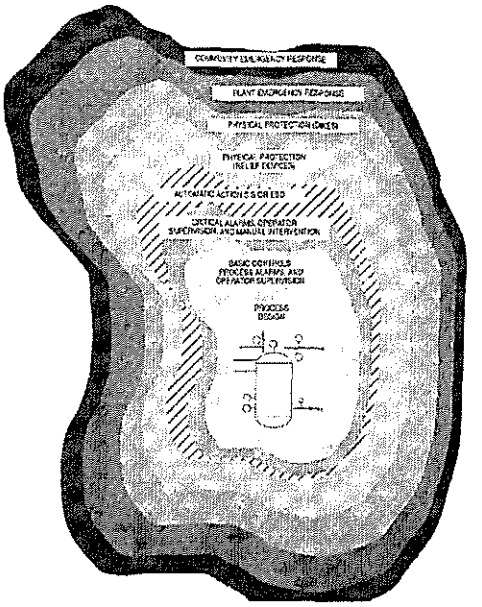
Pilz anger vidare fyra principer som ska användas vid design för att kunna uppnå ”integrated safety”, nämligen

- Håll mängden av det potentiellt farliga ämnet liten
- Innehåll farliga ämnen på ett läcksäkert sätt
- Utforma processen och anläggningen för att minimera sannolikheten för misstag
- Utforma processen och anläggningen för att vara feltolerant, dvs den ska kunna tolerera en del fel och misstag utan att försättas i en farlig situation.

Ibland används begreppet ”total safety”, som dock knappast har någon klar definition. Det kan väl närmast sägas vara ett uttryck för att uppnå en viss, i allmänhet hög nivå av säkerhet, där alla möjliga åtgärder kan användas. Om vi refererar till bilden med lager av barriärer (i det följande avsnittet om ALLMÄNNA PRINCIPER FÖR ATT UPPNÅ ”TOTAL SAFETY”), är det resultatet av de sammantagna åtgärderna i alla lager som leder fram till ”total safety”.

Allmänna principer för att uppnå "Total safety"

Säkerhet i processer baseras oftast på ett flertal lager av försvarsbarriärer. Dessa lager börjar med den grundläggande utformningen av processen (process design) och inkluderar också det normala kontroll-/styrsystemet med processlarm och med operatörsövervakning. Utanpå detta grundläggande lager följer oftast ett flertal lager av barriärer. En typisk uppbyggnad illustreras i figur 1. Nästa lager kan t ex utgöras av särskilda kritiska larm och operatörsåtgärder, lagret därefter av automatiska förreglingssystem som stoppar processen, därefter t ex tryckavlastningssystem, sedan utrustning för att på ett säkert sätt ta hand om ett utsläpp (som t ex en invallning), för att i slutändan följas av barriärer som innebär att nödlägesbekämpning (räddningstjänst) både i form av interna och sedan även samhälleliga resurser sätts in.



Figur 1, ur ref (3)

Äkta "inherent safety" åstadkoms i den innersta kärnan i denna bild, i processutformningen som sådan. Det bästa första linjens försvar är att utforma en process i vilken allvarliga händelser inte kan inträffa eller har så små konsekvenser att de inte kan skada någon person, miljön eller egendom om de skulle inträffa. I detta fall kommer de lager som ligger utanför processdesignen i princip inte att behövas.

För att skapa hög tillförlitlighet i de skyddande lagren utanför själva kärnan använder man sig ofta av tekniker där begreppen

- passivt kontra aktivt skydd
- "fail-safe" utrustning eller tillstånd , samt
- redundans ingår.

Ett passivt skydd innebär att detta kan fullgöra sin funktion utan att någon mekanisk eller elektronisk funktion behöver fungera. En invallning som rymmer hela den mängd av en farlig kemikalie, som kan komma ut vid ett haveri, kan betecknas som ett passivt skydd. Ett passivt skydd är oftast att föredra före ett aktivt skydd, där det senare fordrar att någon mätning, någon ventilfunktion eller liknande behöver fungera.

Begreppet "fail-safe", som väl bäst korresponderar mot svenskans "egensäker", kan användas om flera saker, vanligast används det om komponenter i utrustningar. Man försöker i den mån det är möjligt att utforma funktionerna/

komponenterna i en process på ett sådant sätt att de - när de själva fallerar eller när drivkraften till dem fallerar - ska funktionen/komponenten gå till ett säkert läge för processen eller utrustningen. Vanligt i processystem är att ventiler drivna av pneumatik, hydraulik eller el går till ett förutbestämt läge vid bortfall av drivkraft – stänger eller öppnar helt, beroende på vad som är säkrast för processen. Oftast stängs energitillförsel och öppnas kylning.

Redundans innebär oftast att en funktion är hårdvarumässigt dubblerad, och om en komponent/system för fullgörande av funktionen fallerar går en likvärdig komponent/system in och tar över och upprätthåller på så sätt den vitala funktionen.

De fyra principerna som nämndes ovan under begreppet "integrated safety" kan tillämpas på

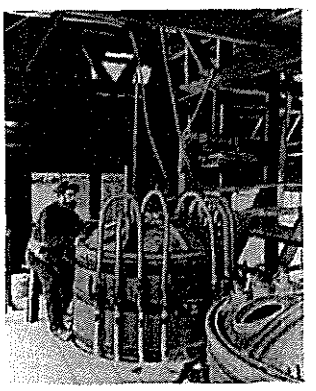
- processen
- komponenter i anläggningen
- anläggningen i sin helhet

I bilaga 1 finns exempel på hur de fyra principerna kan tillämpas på dessa tre områden.

Exempel på tilllämpningar av "inherent safety"

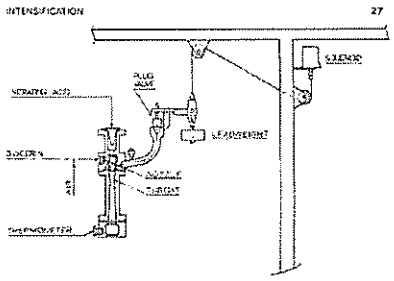
De tydligaste exemplen på "inherent safety"-design kan vi hämta från den kemiska processindustrin vid övergång från rent satsvisa (batch) förfaranden till delvis satsvisa (semi-batch) och till kontinuerliga förfaranden. I en äkta satsvis process satsas alla reaktanterna och ofta en katalysator i hela sina mängder från början. Därefter värms ofta blandningen till reaktionstemperaturen, och kontrolleras därefter genom kylning av det bildade reaktionsvärmet. Med ett sådant förfaringssätt har man laddat systemet med hela den möjliga energiutvecklingsmängden. En felsatsning eller ett bortfall av kylning kan bli ödesdigert, om hela den ackumulerade reaktionsenergin kommer lös på ett okontrollerat sätt.

Det mest klassiska exemplet på ett sådant satsvis förfarande med stor potential för okontrollerad energiutveckling är tillverkningen av nitroglycerin i satsvisa reaktorer. Dessa, numera helt övergivna, reaktorer var ofta stora.
Nitroglycerin tillverkas från glycerol som förestras med hjälp av en blandning av koncentrerad salpetersyra och koncentrerad svavelsyra (där den senare fungerar som vattenupptagare). Reaktionen är starkt exoterm (värmealstrande) och om värme inte avlägsnas genom effektiv kylning och



Figur 2, ur Ref (1)

omrörning startar en okontrollerad reaktion som följs av ett explosivt sönderfall av nitroglycerinet (autokatalys). Reaktionen genomfördes ursprungligen i stora omrörda kärl med ett innehåll av ca 1 ton (figur 2). Operatörerna måste följa temperaturen mycket noga, och för att inte kunna tappa kontrollen över kylningen satt de på en enbent pall som välte och väckte dem om de skulle råka somna. Denna process var i bruk in på 1950-talet.



Figur 3, ur Ref (1)

Om vi skulle få uppgiften att göra denna process säkrare, vad skulle de flesta av oss göra? Vi skulle antagligen lägga till en hel del instrument för att mäta temperatur, tryck, flöden temperaturstegringar och så vidare och sedan använda dessa mätningar till att manövrera ventiler som stoppar flöden, ökar kylningen et c. Förmodligen skulle reaktorn se ut som en julgran innan vi var färdiga.

Ingenjörerna som ombads att förbättra processen gick emellertid inte tillväga på detta sätt. De frågade sig varför reaktorn måste innehålla så mycket material. Det enkla svaret på detta var att på grund av att reaktionen är långsam. Det är emellertid inte den egentliga reaktionen som är hatighetsbestämmande utan transporten av molekylerna till varandra, d v s blandningsmekanismerna. Därför utformade de en liten reaktor med effektiv omrörning (Figur 3). Den hade bara c:a 1 kg material, men producerade lika mycket som den tidigare satsreaktorn. Den nya reaktorn liknar en vattensugpump, där flödet av nitrersyran suger in glycerin från en sidoanslutning. Mycket snabb blandning sker och när blandningen lämnar reaktorn är reaktionen helt färdig. Uppehållstiden i reaktorn är 2 minuter mot tidigare 120 minuter. Operatören behöver inte sitta bredvid reaktorn utan kan vara på betryggande avstånd och kan lätt skyddas från reaktorn med en skyddsvägg. Liknande förändringar gjordes i senare steg av processen där nitroglycerinet tvättas och separeras. Kontrollsystemet på reaktorn är också "inherently safer" än ett konventionellt kontrollsystem. Om flödet av syra minskar sjunker flödet av glycerin i relation till detta utan aktivt ingripande från någon flödeskontroll, som skulle kunna fallera. Figur 3 visar det enkla men säkra sätt på vilket reaktorn stoppas. Om ett fel upptäcks, deaktiveras solenoiden, blyvikten öppnar pluggventilen, luft kommer in i reaktorn och förstör vakuumet som åstadkommits av syraflödet, och flödet av glycerin upphör och därmed avstannar reaktionen. En annan fördel med den kontinuerliga reaktionen är att värmeutvecklingen är jämnare och därmed enklare att kontrollera. I den satsvisa processen förändras värmeutvecklingen under satsens gång och påverkas av omrörningen.

De förändringar som gjorts i nitroglycerintillverkning visar tydligt att kontinuerliga processer i allmänhet är säkrare än satsvisa. En satsvis reaktor innehåller inte bara mer material för en given produktion, utan dessutom ska ofta många fler processteg utföras, vilket leder till många fler möjligheter till fel.

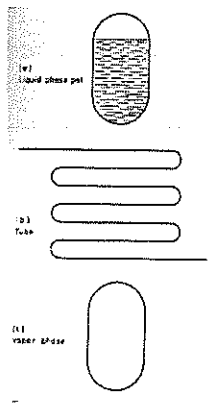
Grundläggande principer använda inom "inherent safety"

Intensifiering (Eng Intensification)/Minimering av mängd

Små volymer av farliga material ger säkrare anläggningar; mängden är så liten att det inte spelar så stor roll om allt läcker ut eller om en oönskad reaktion uppstår. "Det vi inte har, kan inte heller läcka ut."
Detta förefaller uppenbart, men innan explosionen i Flixborough i England 1974 ägnades mycket lite tankemöda åt att minska mängderna av farligt material i en anläggning. Anläggningar designades utan att ifrågasätta de fundamentala förutsättningarna, och de mängder som blev resultatet accepterades helt enkelt. Olyckan i Bhopal i Indien 1984 förorsakades av att en stor mängd av en mycket giftig mellanprodukt läckte ut från ett alldeles onödigt stort lager.
Mängderna som samtidigt föreligger i en process såväl som i lager kan nästan alltid minskas utan större olägenhet.

Många vätskefasreaktorer, t ex för oxidationsprocesser, innehåller stora mängder av brandfarliga ämnen, och läckor från dem har förorsakat många olyckor, exempelvis den i Flixborough. Reaktorer är som regel stora, inte för att den önskade produktionen är särskilt stor, utan mer för att reaktionen är långsam eller omsättningen av reaktanter är låg. När omsättningen är låg måste stora mängder recirkuleras, vilket ytterligare ökar inventariet av farliga ämnen.

Reaktioner kan vara genuint långsamma, men ofta är de långsamma på grund av dålig kontakt mellan reaktanterna beroende på dålig omrörning.
Om reaktionen är genuint långsam kan detta ofta avhjälpas genom att öka tryck och/eller temperatur eller genom att utveckla en bättre katalysator.

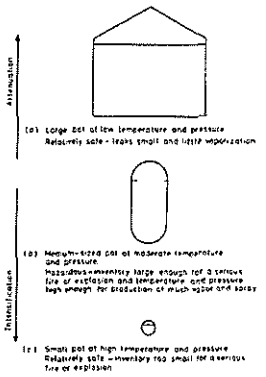


Figur 4, ur Ref (1)

Tubreaktorer är nästan alltid säkrare än tankreaktorer och bör alltså i första hand övervägas. (Figur 4) Det är lättare att begränsa eventuella utflöden från en tubreaktor.
Gasfasreaktioner är i allmänhet att föredra framför vätskefasreaktorer ur säkerhetssynpunkt, eftersom ett eventuellt läckage genom ett hål med given storlek är betydligt mindre än för vätskefas.

När vi försöker minska storleken på en tankreaktor med vätskefas bör vi vara medvetna om att kompromisser i fråga om mängd och driftbetingelser kan leda till sämre lösningar än någon av extremerna. En mycket liten reaktor som opererar vid högt tryck och temperatur kan vara "inherently

safe" på grund av att den innehåller så lite material att en allvarlig olycka är omöjlig även om allt skulle läcka ut. En stor reaktor som opererar vid eller nära atmosfärstryck och omgivningstemperatur kan också vara säker. På grund av lågt tryck blir läckorna bara små och infrekventa och på grund av låg temperatur blir förångningen av vätskan bara låg. Kombinationen av moderat volym, temperatur och tryck kan ofta visa sig vara den sämsta kombinationen. Figur 5 exemplifierar detta.



Figur 5, ur Ref (1)

Om en läcka uppstår kan trycket vara tillräckligt stort för att ge en stor utströmning, temperaturen tillräcklig för att ge en kraftig förångning och mängden tillräcklig för att ge en allvarlig brand, explosion eller utsläpp av skadliga ämnen.

Att minska inventarier av farliga ämnen är självklart ett mål i alla sammanhang, inte bara i samband med reaktioner.
I destillationer och andra vätska/gas-processer som absorption, såväl som i vätska/vätska-processer som t ex extraktion förekommer ofta mycket stora mängder vätska. Vid t ex en destillation finns stora mängder kokande vätska med potential för att ge stora gasutsläpp om läckage uppstår och speciellt om processen arbetar under tryck.

Även i värmeväxlare förekommer ofta stora mängder material. Det skulle föra för långt att här redovisa alla möjliga exempel på onödigt stora inventarier. Det räcker med att konstatera att det finns många möjligheter att minska inventariet i de flesta typer av utrustningar, förutsatt att man verkligen fokuserar på denna fråga för säkerhetens skull. Den kortare uppehållstiden som uppstår vid den lägre buffertvolymen kan med dagens moderna och mer sofistikerade reglersystem oftast kompenseras för mer än väl.

Det allra mest uppenbara stället att inrikta ansträngningar för att minska inventarier är i lagervolymer. Den största katastrofen i den kemiska industrins historia hände i Bhopal i Indien 1984 när ett läckage av metylisocyanat från en lagertank dödade minst 2000 människor och skadade åtskilligt många fler. Det finns många lärdomar att dra från Bhopal men den viktigaste (och av många kommentatorer förbisedda) är att kemikalien som läckte inte var en nödvändig råvara eller en färdig produkt utan en mellanprodukt, som det var bekvämt men inte absolut nödvändigt att lagra. Mellanprodukter är ju i sig ofta reaktiva kemikalier med ofta farliga egenskaper och bör alltså uppmärksammas särskilt. Som ett resultat av olyckan meddelade både Union Carbide som var det direkt inblandade företaget och andra företag att man slutar med mellanlagring av metylisocyanat.
Andra initiativ till att reducera lagring av stora mängder mellanprodukter har också tagits, t ex för fosgen, cyanvätesyra, etenoxid, propenoxid, sva-

veltrioxid och klor. Ett större "just-in-time"-tänkande inom den kemiska processindustrin skulle gagna säkerheten ur denna synpunkt.

Substituering (Eng. Substitution)

En annan viktig princip inom "inherent safety" är substituering av farliga kemikalier med ofarligare. Exempelvis kan det vara möjligt att använda icke-brännbara köldmedier eller värmeöverföringsmedier istället för brännbara sådana, ofarliga produkter istället för farligare, och processer med harmlösa råmaterial och mellanprodukter istället för processer som använder farliga sådana.

Inom användning av hjälpmedier kan nämnas de medier som behövs för att kyla eller värma en process. Här används ofta brännbara kolväten/oljor som värmeöverföringsmedium. Ibland värms mediet i en ugn eller en elektriskt uppvärmd apparat för att sedan användas t ex för att driva en destillation eller någon annan värmekrävande process. Ibland används oljan för att avlägsna alstrad värme i en process, t ex en reaktor, för att sedan kylas eller alstra ånga. Ofta är innehållet i ett sådant värmemediumsystem mycket stort, vanligen väsentligt mycket större än i själva processen. För sådana system bör man om möjligt helt undvika den brandfarliga oljan, eller åtminstone använda en olja med hög kokpunkt och flampunkt. Vatten/ångsystem är oftast att föredra även om detta innebär att dessa måste arbeta vid höga tryck.

Lösningsmedel används i mycket stor utsträckning i många processindustrier. Av slentrian används ofta stora mängder brandfarliga, ofta lågkokande organiska lösningsmedel. Dessa kan många gånger bytas ut mot mindre farliga, mindre brandfarliga, mindre toxiska ämnen.

De kanske mest uppenbara exemplen på substituering finns inom själva valet av reaktionssystem vid tillverkning av en produkt – vilka kemikalier som ska användas för att reagera fram den önskade molekylen.
Vi kan exemplifiera med fallet Bhopal. Produkten som tillverkades i Bhopal, insekticiden karbaryl, görs från -naftol, metylamin och fosgen. I Bhopal reagerades först de två sistnämnda för att ge metylisocyanat, MIC, den kemikalie som dödade mer än 2000 människor. MIC reagerades sedan med -naftol för att ge karbaryl. I en alternativ process används samma råmaterial, men de reageras i en annan ordning, först -naftol med fosgen och sedan den därvid bildade mellanprodukten med metylamin. Båda alternativen får anses innehålla stora risker, eftersom fosgen måste användas, vilket är mycket giftigt, men den senare processen undviker i varje fall produktion av MIC.

Vi kan också exemplifiera med tillverkningen som skedde i Flixborough. En blandning av cyklohexan och cyklohexanol (oftast känd som KA eller

keton/alkohol-blandning) tillverkades genom partiell oxidation av cyklohexan. När anläggningen återuppbyggdes efter läckan och explosionen, som dödade 28 personer, tillverkades KA genom en alternativ väg: Hydrering av fenol. Detta blev en mycket säkrare process – i Flixborough.

Det finns emellertid en hake i sammanhanget och det är att fenolen måste tillverkas någonstans. Fenol tillverkas normalt genom oxidation av kumen till motsvarande hydroperoxid och därpå följande spaltning till fenol och aceton. Denna process är minst lika farlig som oxidationen av cyklohexan, förmodligen farligare. Risken exporterades så att säga, när man byggde om i Flixborough.

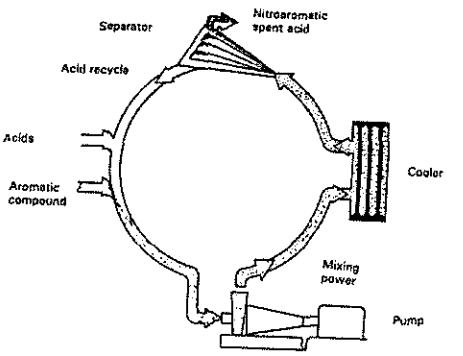
Slutsatsen av detta är bl a att man även i dessa sammanhang måste tänka i ett "livscykel"-perspektiv när man optimerar säkerheten.

Mildare betingelser (Eng. Attenuation)

Om intensifiering eller substituering inte är praktiskt genomförbara kan istället en tredje väg ibland vara framkomlig: Att utföra en farlig reaktion eller liknande vid mildare och mindre farliga förhållanden eller att lagra eller transportera ett farligt material vid mindre farlig form.

Nitrering av organiska föreningar har alltid ansetts vara den mest kraftfulla och destruktiva av kemiska enhetsprocesser. För det mesta utförs nitreringar av ekonomiska skäl i satsvisa reaktorer och nära den temperatur vid vilken en "run-away"-reaktion uppstår. Reaktionen kan genomföras på ett säkert sätt vid dessa temperaturer om reaktionslösningen är utspädd med ett "säkert" lösningsmedel och reaktorn är försedd med god omrörning. Figur 6 visar en kontinuerlig anläggning i vilken vi har både mildare betingelser och intensifiering. Det totala inventariet är mindre än i en satsreaktor och dessutom är det utspätt av ett överskott av svavelsyra.

Kraftig omrörning i cirkulationspumpen resulterar i reaktion inom loppet av några få sekunder, och uppehållstiden för syran och det organiska ämnet är mindre än en minut. Genom att ha ett stort överskott av svavelsyra kan allt värme som uppstår vid en eventuell "run-away"-reaktion tas upp av blandningen utan att resultera i farliga temperaturökningar. Även om stora mängder svavelsyra kan tyckas innebära risker, är detta betydligt bättre än risken av en "run-away"-reaktion och reaktorexplosion. Ny teknologi har inneburit att en hel del pro-



Figur 6, ur Ref (1)

cesser numera kan köras vid mildare betingelser än tidigare. Exempel på sådana processer, där nya katalysatorer har resulterat i betydligt mildare driftbetingelser, är metanolprocesser och s k oxo-processer för att tillverka aldehyder ur olefiner och syntesgas. Polyeten och polypropen tillverkas numera vid betydligt lägre tryck än tidigare. I exemplen ovan kan det röra sig om en faktor tio eller mer i reducerat tryck.

Ytterligare exempel på "attenuation" kan nämnas inom lagring, transport och liknande hantering. T ex har färgämnen i form av organiska pulver ibland hanterats i ofarlig pasta-form istället för som ett dammexplosivt pulver. Ädelmetallkatalysatorer, exempelvis palladium eller platina på kol är i torrt tillstånd självantändliga, varför dessa normalt hanteras fuktade med vatten. Acetylen har i många år lagrats och transporterats i aceton-lösning för att minska riskerna. Även vätgas kan lagras och transporteras i form av ammoniak, som kan krackas till vätgas vid behov. Organiska peroxider är ofta benägna för sönderfall och hanteras därför ofta som lösningar i vatten även om det innebär ökade kostnader och reducerad reaktivitet. Klor för desinfektion av bad och swimming-pools hanterades tidigare som elementärt klor i cylindrar, men detta har nu ersatts av hypokloritlösningar, som kan generera klor vid behov.

Stora mängder ammoniak och klor lagras numera oftast kylda och vid atmosfärstryck, istället för som tidigare vid omgivningstemperatur och högt tryck. Samma gäller ofta lagring av större mängder av kolväten, t ex gasol. Detta är betydligt säkrare än trycksatta lager.

Det är sällan så att man helt kan undvika risker genom att byta kemikalie eller använda en kemikalie under mildare betingelser eller i en annan form eller dylikt. Oftast handlar det om att göra en avvägning av olika risker vid olika hanteringsbetingelser och mängder m m.

Robust design i övrigt, exempel

Det finns ytterligare ett antal principer vid design av processer och anläggningar som ligger mycket nära principerna för "inherent safety".
Exempel på sådana är

- "Begränsning av effekter" i händelse av att utrustning, kontrollsystem eller människan fallerar genom väl genomförd design av utrustning eller reaktionsförhållanden
- "Förenkling" av processer och utrustning i enlighet med att det man inte installerar inte heller kan haverera eller fallera eller opereras på fel sätt.

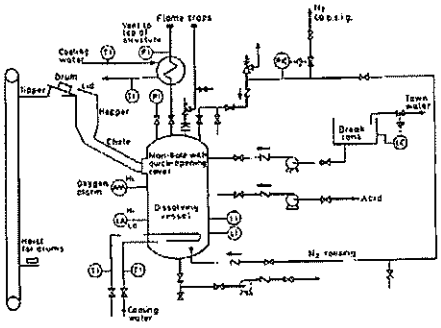
Begränsning av effekter

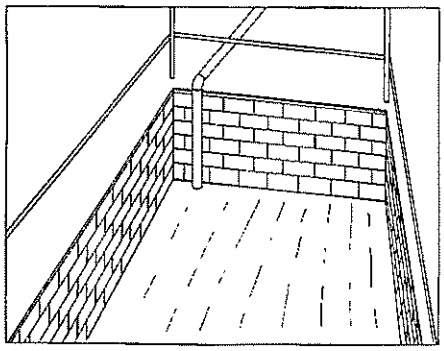
Det finns ett stort antal saker att tänka på vid design och konstruktion av utrustning, vilka kan begränsa effekten vid ett eventuellt fallerande av utrustning. Här nämns bara kortfattat ett antal exempel på sådana åtgärder

- Utrustningsdesign/konstruktion
  - Kärl tål högsta möjliga tryck, även vid en explosion
  - Dubbelväggigt kärl förhindrar utsläpp i omgivning
  - Rördimensioner inte större än nödvändigt, för att begränsa utsläpp
  - Svetsade konstruktioner istället för flänsade eller förskruvade minskar läckagerisk
  - Inga bottenstudsar på tankar för att undvika läckage av vätskefas
  - Roterande utrustning i form av "tätningslösa maskiner" plus haveri övervakning med mätning av vibrationer och temperaturer
  - Styrsystem med redundans
  - Avstängningsventiler för att kunna isolera större inventarier från varandra
  - Rörbrottsventiler för att förhindra vidare utsläpp
  - Packningstyp som minimerar utsläppt mängd
- Ändrade reaktionsbetingelser
  - Uppdelning av olika reaktionssteg i olika utrustning
  - Ändrad satsningsordning
  - Ändrade reaktionsparametrar
  - Begränsning av tillförd energinivå
- Begränsningar i sekundära effekter
  - Allt kan rinna ut och ändå omhändertas (invallning)
  - Begränsad förångningsyta (hög, smal invallning)
  - Invallning med lutning som dränerar bort brandfarligt material + brandvägg
  - Inbyggda hanteringar för giftiga gaser, som buffrar utsläpp effektivt

Förenkling

Det finns en stark tendens till att konstruera saker och ting så att de blir onödigt komplicerade. Modern teknik, i synnerhet elektroniska mät- och styrsystem, adderas inte så sällan för att kompensera för mindre bra grundlösningar.
Kletz (1) har följande slående exempel på "Warum soll man es einfach machen, wenn man es so schön komplizieren kann" (Figur 7 a och b).





Figur 7 a, ur Ref (1) Figur 7 b, ur Ref (1)

Anordningen är till för att lösa upp en fast substans i syra, varvid det bildas små mängder vätgas.

Det slutna systemet, i figur 7 a, som de flesta ingenjörer antagligen skulle välja, är konstruerat efter alla konstens regler med mätningar, förreglingar, inertering, avlastningar m m.

I själva verket utförs operationen i en öppen bassäng enligt figur 7 b på ett säkert sätt. Utvecklingen av vätgas är så pass liten och vätgasen försvinner så pass snabbt från bassängens yta, att explosiva blandningar i luft aldrig kan bildas. Färre saker kan gå fel och kostnaden är betydligt lägre för bassängalternativet.

Det ligger nära till hands att också slå ett slag för att processanläggningar med hantering av brandfarliga gaser och vätskor ur säkerhetssynpunkt bör placeras i det fria. Eventuella läckage späds ofta ut mycket effektivt i det fria, medan det inomhus trots effektiv ventilation lätt uppstår explosiva blandningar vid läckage. Dessutom räcker det med några kilo förångad substans för att helt ödelägga en byggnad vid en explosion inomhus, medan det utomhus kan behövas ton av samma ämne för att åstadkomma stor förödelse.

Det är mycket vanligt att man konstruerar utrustningar i material och med dimensionering, som gör att man måste komplettera systemet med en eller flera av de barriärer vi behandlade tidigare – ofta ett lager med förreglingar och ett med tryckavlastningar. I många fall kan man slippa dessa om man istället kostar på sig ett något bättre och/eller kraftigare material, som tål de lägsta respektive högsta temperaturer och tryck som kan uppstå i systemet.

Kopplingen design och riskanalys

"Inherent safety" är något som normalt hör hemma i design och konstruktions- (engineering-) arbetet. Därför är det viktigt att de personer som arbetar med dessa frågor, är de som i första hand har kunskap om "inherent safety" och hur det ska tillämpas.

Erfarenheten visar däremot att frågeställningar kring "inherent safety" inte är något som normalt och automatiskt kommer ut ur en riskanalys på de flesta verksamheter. Det är naturligtvis viktigt att även de personer som utför riskanalys har kunskap om "inherent safety" för att sådana frågor också ska kunna ställas vid riskanalysen. Kunskapen på detta område bör alltså förbättras genom utbildning.

I litteraturen finns det gott om beskrivningar om modeller för att göra riskanalyser vid olika tidpunkter och med olika metoder i ett projekt. Något motsvarande finns enligt författarens uppfattning inte alls i samma utsträckning för "inherent safety".

I de flesta verksamheter där "inherent safety" borde vara aktuellt är det ett arbete som är föga formaliserat. Man skulle kunna tänka sig att ha särskilda "inherent safety"-genomgångar. Ur effektivitetssynpunkt är det emellertid naturligt att "inherent-safety"-frågorna kopplas till riskanalyserna, och att riskanalyser leder till "inherent safety"-åtgärder.

Om de frågor som "inherent safety" representerar ska kunna tillvaratas som resultat av en riskanalys är det nödvändigt att riskanalyser med "inherent safety"-inslag görs tillräckligt tidigt i projekt, annars blir det för kostsamt att göra de eventuella omprövningar och omdesign som kan bli resultatet.
I det här fallet måste "inherent safety"-inslagen göras i riskanalyser i ett projekts koncept-stadium eller allra senast i samband med grunddesign (basdesign/processdesign).

Lämpliga riskanalysmetoder för att kunna ta med "inherent safety" är

- Grovanalys (Preliminary Hazard Analysis)
- Indexmetoder (Dow Fire&Explosion Index, Dow Chemical Exposure Index och ICI Mond index)
- Checklistor (med speciella "inherent safety"-frågor)

En traditionell Hazop är oftast inte optimal, dels för att det begränsade underlaget i det nödvändiga tidiga skedet av projektet inte lämpar sig för Hazop och dels för att Hazop tenderar till att inte upptäcka mer konceptuella frågor.

För att få med "inherent safety"-frågor är det viktigare än någonsin att deltagarna i riskanalysen har bred erfarenhet och är kunniga i just "inherent safety"-tänkande.
Kletz (1) har föreslagit att "inherent safety"-frågor tas upp vid tre olika tillfällen

1. Konceptuell design
2. Utveckling av grundläggande flödesschemor (motsvarar processdesign-stadiet)
3. Detaljkonstruktions-stadiet (huvudsakligen som en kontroll)

I bilaga 2 finns de av Kletz föreslagna checklistorna för de olika tillfällena.

Som exempel på frågor som skulle kunna vara relevanta på en checklista ges nedan ett antal sådana för den typ av kemiindustri som nästan dagligdags utformar nya reaktionsprocesser med potential för kraftiga exoterma förlopp och andra risker.

- Finns relevanta fakta om de kemiska system och ämnen som ska hanteras?
- Har syntesen (i satsreaktor) utformats som ett semibatch-förfarande?
- Har syntesen utformats som ett tempererat system? (systemet kan ta upp den bildade värmemängden utan att överskrida kritiska temperaturer)
- Har möjligheten att späda ut energitätheten beaktats?
- Hanteras lösningsmedel under sin flampunkt?
- Försiggår all hantering av lösningsmedel under inerta förhållanden?
- Har det vid pulversatsning beaktats att helst satsa pulver före lösnings-medel eller att satsa pulver i pastaform?
- Har möjligheten till energiackumulering beaktats, och undanröjts?

Något om belutsprocessen

Besluten kring utformningen av en process eller anläggning handlar oftast om att i beslutsunderlaget väga in en risk som består av en låg sannolikhet och en stor konsekvens. Detta är alltid svårt.
I sådana fall tenderar företagsledningar och styrelser att undertrycka risken med hänvisning till den låga sannolikheten.

Undertecknad vill hävda, något provokativt, att den enda drivkraften för dessa beslutsorgan är ekonomin (bortsett från lagstiftning). Detta har blivit ännu mer accentuerat under senare år med tendenserna att tänka mera kortsiktigt.

Myndigheterna och lagstiftarna känner oftast inte till alternativen, och har därför svårt att trycka på. Annorlunda är det på miljösidan, där kunskapen hos myndigheterna är betydligt större än på säkerhetssidan.

Det finns knappast någon formulering i den svenska säkerhetslagstiftningen som ställer krav på att man försökt tillämpa "inherent safety"-konceptet vid utformningen av en process eller anläggning. Ett sådant krav finns emellertid inskrivet i den brittiska versionen av SevesoII-direktivet.

Om en anläggning baserad på "inherent safety" är billigare att bygga än en mera traditionell design med tillägg av säkerhetsutrustning och i övrigt är likvärdig, är det sannolikt möjligt att få ett beslut på att bygga "inherent safe"-anläggningen om den inte innebär för många nya osäkra saker. Om "inherent safe"-anläggningen däremot är dyrare i investering, eller tar betydligt längre tid att bygga, blir det sannolikt svårt att övertyga företagsledningar och styrelser om att få välja en sådan. Naturligtvis kan inte en "inherent safety"-anläggning få kosta alltför mycket mer än en väldesignad traditionell anläggning med säkerheten garderad genom speciella säkerhetssystem, men det är viktigt att en jämförelse görs mellan de båda alternativen, och att den görs med alla relevanta faktorer med i beslutet. Framför allt ska jämförelsen vara baserad på livstidskostnader, inte bara på investeringskostnader.

Kostnader för "inherent safety"

Några generella uttalanden om kostnaderna för att bygga en anläggning baserad på "inherent safety" jämfört med en "konventionell" teknologi (om vi för enkelhetens skull kallar den så) går knappast att göra. Vad som dock låter sig sägas är att en anläggning med en hög grad av "inherent safety" borde vara billigare i investering än en som inte har detta.
Med tanke på principerna som tillämpas

- enkelhet
- ett minimum av tilläggsutrustning
- liten, snarare än stor, utrustning för att minimera inventariet bör slutresutatet vad beträffar investeringskostnaden bli billigare.

Ett par exempel:
Ett kylt ammoniaklager har lägre investeringskostnad och total kostnad än ett trycksatt lager vid stora volymer.
En nitroglycerinfabrik av idag är mycket billigare än tidigare design.

Avgörande för om en "inherent safety"-teknologi kan bli konkurrenskraftig gentemot en konventionell teknologi är naturligtvis också driftskostnaderna. Dessa är ännu svårare att ha någon generell uppfattning om.

Vad som sannolikt är dyrare för en "inherent safety"-process än för en "konventionell" process är utvecklingskostnaderna. Det kan säkert behövas mångdubbelt i utvecklingskostnader för en ny "inherent safety"-process jämfört med att ta en befintlig process och bara anpassa den något eventuellt.

I det stora hela betyder dock troligen utvecklingskostnaderna relativt lite. Vad som däremot sannolikt spelar en avgörande roll är tidsaspekten. Häri ligger ofta en stor kostnad, om detta innebär förlorad försäljning på marknaden. När företaget väl bestämt sig för att satsa på en produktion av en vara, finns det ingen tid att lägga på utveckling av en ny process. Om inte den egna F&U-avdelningen eller en eventuell licensgivare utvecklat något nytt och helst kommersiellt utprovat, väljer man oftast beprövade processer, och man fastnar därmed i äldre konservativa teknologier.

Sammanfattningsvis, om inte en inherently safer-process samtidigt är billigare i investeringskostnad och/eller i driftskostnader kan vi inte vänta oss att något företag väljer "inherently safer"-teknnologin.

Kan "inherent safety" mätas?

Det är fullt möjligt att mäta graden av "inherent safety" för en anläggning eller en process, om än inte i absoluta tal så åtminstone i relativa tal.

De riskanalytiska metoder som i första hand lämpar sig för detta är de s k indexmetoderna, varav Dow´s Fire&Explosion Index och ICI´s Mond Index är de mest använda. Även inom försäkringsbranschen tillämpas snarlika metoder.

Ett sådant index beräknas för en anläggning, eller oftast för en sektion av en anläggning, baserat huvudsakligen på de hanterade kemikaliernas egenskaper, deras mängd, hanteringsförhållanden – d v s just de inneboende egenskaperna som är relevanta för graden av "inherent safety" – plus en del information om utformningen av själva anläggningen. Det framräknade indexet kan sedan jämföras med metodens skala för risknivå, vilken är baserad på erfarenheter av många olika typer av anläggningar. Det kanske största värdet med metoderna är att man kan enkelt göra jämförelser mellan olika alternativ för design av en anläggning eller process.

Kvantitativ riskanalys är naturligtvis också användbar för att uppskatta graden av säkerhet i en anläggning. Genom att i vanlig ordning räkna ut sannolikheter för dödsfall eller skador i omgivningen (vanligen som riskkonturer och FN-kurvor) baserat på olika möjliga haveriscenarier och deras sannolikheter får man ju ett mått på risken eller om man så vill på säkerheten. Genom att utföra detta för alternativa utformningar kan man få ett relativt mått på den inbyggda säkerheten. Denna metod praktiseras dock i praktiken mera sällan, eftersom beräkningarna ofta är omfattande och kräver mycket och ibland svårtillgängliga indata.

Metodiken borde dock praktiseras i större utsträckning just för att göra jämförelser mellan olika alternativa utformningar och/eller förläggningar av anläggningar.

Hendershot (4) påpekar vikten av att olika riskanalytiska metoder används i arbetet med att utvärdera säkerheten i en anläggning, varvid klassiska metoder som What-if, Hazop, checklistor m m kommer till användning för att i första hand identifiera olika risker. Först när "alla" risker är kända kan relevanta jämförelser mellan olika alternativ göras och utsagor om den inbyggda säkerheten göras.
Hendershot anvisar även andra metoder i sammanhanget.

Konflikter mellan säkerhet och miljö vid tillämpning av "inherent safety"

Att det ibland finns en inbyggd konflikt mellan å ena sida hög säkerhet för människan inklusive god arbetsmiljö och å andra sidan god yttre miljö är väl känt. I sådana situationer är det rimligt att låta människan gå före miljön. Ett klassiskt exempel är användningen av kylmedium i kylprocesser. I strävandena att avlägsna de miljöförstörande freonerna (CFC´s) har man istället gått över till den i hög grad farliga, giftiga kemikalien ammoniak eller ibland någon brand- och explosionsfarlig gas (t ex Gasol). Användning av ammoniak som köldmedium är ur säkerhetssynpunkt extra olyckligt i tättbebyggda områden. I Sverige finns ett stort antal installationer med ammoniak inne i samhällen.

Ett annat exempel på att ett miljöpåverkande, men säkerhetsmässigt bra ämne bytts ut mot ur säkerhetssynpunkt sämre alternativ är halon för brandsläckning, t ex i elektrisk utrustning och mindre slutna utrymmen.

Att identifiera inherently safer-alternativ är ett mångfacetterad problem. Nästan alla kemikalier har under sin totala livscykel faror i samband med tillverkning, användning, återvinning och/eller kvittblivning, som är av mycket olika slag: Höga tryck eller temperaturer, toxicitet för människa eller miljö antingen akut och/eller kroniskt, brand- eller explosionsrisk. En process eller applikation som är säkrare i ett avseende kan ofta vara farligare i ett annat avseende. Tar man dessutom in det i ett livscykelperspektiv blir det hela än svårare.

Försök har gjorts att beräkna effekterna av de olika alternativa ämnena i sådana applikationer, men det visar sig att det är svårt att hitta parametrar för rättvisande jämförelser.

Slutsatsen är att man trots svårigheterna bör försöka att med sunt förnuft tillämpa "inherent safety"-tänkandet på varje process eller annan applikation och även väga in det aktuella problemet i ett förenklat livscykelperspektiv.

Tillämpning av ”inherent safety” idag

Någon alltigenom systematisk tillämpning av konceptet ”inherent safety” i något företag/koncern i designen av processer eller utrustningar torde inte förekomma enligt vad som är känt för författaren, varken i Sverige eller i något annat land.

Med undertecknads kunskaper om svensk kemisk industri vågar jag med viss reservation, påstå att ”inherent safety” knappast tillämpas i någon egentlig utsträckning. Därmed inte sagt att flertalet svenska kemiska anläggningar behöver vara osäkra.

Det finns vissa strömningar i några större europeiska (framför allt tyska och schweiziska) kemiföretag där ”inherent safety” tillämpas lite mer systematiskt.

Att en systematisk användning inte är mera utbredd har ett antal förklaringar, allt från ren okunskap till rent motstånd mot förändringar.

Bristen på tid i projekt av olika slag torde vara en avgörande anledning. Man tar beprövade tekniker för att framställa en produkt, för man har bråttom att komma ut på marknaden med produkten.
För att kunna ta hänsyn till egentliga ”inherent safety”-frågor måste dessa tas upp mycket tidigt i ett projekt. De flesta organisationer har helt enkelt inte traditionen att göra säkerhetsgenomgångar förrän ett mera detaljerat projekteringsunderlag föreligger.

En för vissa branscher, framför allt läkemedelsbranschen, försvårande faktor är att krav på dokumentation (enligt GMP, Good Manufacturing Practice) låser förutsättningarna mycket tidig i utvecklingen av en tillverkningsmetod, och en säkerhetsmässig anpassning av metoden i ett senare skede försvåras avsevärt.

Ett annat viktigt skäl till att ”inherent safety” inte tillämpas är också att tekniska organisationer oftast är motståndare till alltför stora förändringar. Man är helt enkelt konservativ och vill helst ha beprövad teknik. Detta har naturligtvis en hel del för sig och är i vissa avseenden också en säkerhetsbevarande faktor.

Inom ”finkemikalie”-industrin pågår ständigt projekt där ”inherent safety”-tänkande borde tillämpas, då processer för tillverkning av en viss kemikalie tas fram. Det är inte ett för djärvt påstående att kontakten mellan forskare/kemister som utformar själva basen för produktionsmetoden och ingenjörer

som utformar och konstruerar den kommersiella anläggningen oftast är bristfällig.

När forskarna lämnar över sin metod till tillverkning har sällan någon egentlig analys av risker i stor skala behandlats systematiskt, och vid det laget är det allra mesta redan låst – ingående reaktanter, mellanprodukter, processbetingelser et c.

Dessutom är det så att forskaren ofta har en utbildning (post-gradual), som är inriktad på att finna nya lösningar, medan ingenjören oftast har en annan typ av utbildning, mera inriktad på att genomföra en förelagd uppgift enligt normala regler och inte pröva så mycket nya lösningar. Därför konserveras ofta befintliga teknologier och lösningar.

Den stora utmaningen är att få forskaren att förstå och väga in aspekter, särskilt av säkerhetskaraktär, angående den fullskaliga produktionen redan i sitt tidiga arbete. Det måste alltså ordnas en regelrätt riskanalys på ett mycket tidigt stadium.

Att bygga om redan befintliga processer/anläggningar till ett mera "inherent safety"-koncept torde sällan kunna motiveras, om det inte samtidigt ger avsevärda ekonomiska fördelar, oftast i form av kapacitets- och/eller utbytesförbättringar. Undantag kan vara att det genom en olycka visat sig att något måste göras (som Bhopal och Flixborough är exempel på).

Beträffande lagring av råvaror, mellanprodukter och färdigprodukter finns det vissa tecken till att man har minskat de lagrade volymerna. Under senare år har det också skett en viss övergång från lagring vid högt tryck till kylda lager för t ex ammoniak. Detta är dessutom ekonomiskt fördelaktigare, och det har antagligen varit den egentliga drivkraften till förändringen.

Off-shore-industrin har oftast inga egentliga val i de fundamentala frågorna – råvaror och processbetingelser är oftast mer eller mindre givna. I övrigt är just off-shore-industrin i stor utsträckning ledande inom säkerhetsfrågor genom tillämpning av ett mycket systematiskt sätt att bygga upp och beräkna säkerheten baserat på lager av barriärer mm.

Hos de stora anläggningsbyggarna (contractors) eller licensgivarna förekommer inte heller någon egentlig drivkraft för att göra förbättringar mot "inherent safety". Dessa företag är i första hand intresserade av att tillhandahålla lösningar som är beprövade och som man vågar lämna garantier för.

För närvarande är företagsklimatet antagligen sådant att det finns mycket lite naturlig drivkraft för "inherent safety". De flesta företag är idag organiserade så att verksamheten drivs i affärsenheter med stark produkt- och marknadsorientering. Teknikutveckling har sannolikt en ganska underordnad

Möjliga framtida användningar av ”inherent safety”

”Inherently safer” -begreppet applicerat på några vanligt förekommande farliga ämnen

Allmänt

Den första frågan man ställer sig när man vill tillämpa ”inherent safety”-principer är naturligtvis om man verkligen behöver använda den farliga kemikalien eller om den kan ersättas med en ofarlig (are).
Den andra tanken bör ofta vara att försöka begränsa mängden så mycket, att effekterna av ett haveri inte kan bli stora. Om man kommer fram till att den farliga kemikalien ändå måste hanteras i avsevärd mängd, finns det ytterligare en hel del att göra för att minska risken.
Giftiga, kondenserade gaser ska helst lagras kylda och vid atmosfärstryck. Om det kylda lagret dessutom ges någon form av invallning (hög och smal för att ge liten avdunstningsyta) så blir detta ett mycket säkert lager.
Lagervolymer bör anpassas till transportvolymer, för att minska antalet lastnings/lossningsoperationer och därmed minska sannolikheten för överfyllningar, slang- eller kopplingshaverier och liknande.
Vid lastning och lossning av giftiga (ej brandfarliga) kondenserade gaser kan man överväga att göra detta i inbyggda utrymmen. Detta minskar risken väsentligt för omgivningen. En inbyggnad fungerar som en buffert i händelse av ett utsläpp och minskar koncentrationer i gasmoln utanför inbyggnaden högst avsevärt. Dels har vi en fördröjnings- och utjämningseffekt, ofta har vi en betydligt lägre förångningshastighet och ofta finns det möjligheter att leda bort en gas på ett mer kontrollerat sätt.
De gaser som är mest aktuella i sammanhanget är ammoniak, klor, svaveldioxid och oleum (svavelsyra med svaveltrioxid).

En inbyggd hantering skulle kunna öka risken för de som lastar/lossar, men detta kan kompenseras med regler för användning av personlig skyddsutrustning.

Gasol

En gasolinstallation är i sig naturligtvis omöjlig att få ”inherent safe” med tanke på gasolens inneboende egenskaper. Några saker man kan göra för att ändå tillämpa ett ”inherent safety”-tänkande är att begränsa dimensioner på ledningar, anslutningar etc, för att på så sätt begränsa storleken på ett utsläpp och ett gasmoln. En annan åtgärd kan vara att eliminera pumpar, som ju är relativt sett känsliga komponenter. Vissa delar av året är omgivningstemperaturen tillräcklig för att ge flöde till förbrukaren; andra tider kan man

genom att förånga en mindre mängd gasol och återföra till tanken, driva flödet till förbrukaren. Tätningslösa pumpar är också ett alternativ. Numera föreskrivs att gasolinstallationer ska vara i stål som tål de låga temperaturer som erhålls vid utströmning och förångning av gasol exempelvis vid en flänsläcka, vilken annars skulle kunna leda till ett sprödbrott och ett stort haveri.

Det förekommer att gasoltankar förläggs under mark; detta för att starkt begränsa uppkomsten av ett gasmoln från själva tanken och eliminera värmepåverkan på tanken som kan leda till en BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion).

I övrigt ska iakttas ett antal saker för att få en gasolinstallation så säker som möjligt, de flesta som dock hör hemma i de övriga lagren av barriärer (rörbrottsventiler, överfyllnadsskydd, kylningsmöjligheter m m).

Ammoniak

I många fall kan kondenserad, vattenfri ammoniakgas ersättas med mindre farliga medier.
För användning i kylmaskinerier bör övervägas om inte miljövänliga freoner är ett alternativ, särskilt vid installationer i tättbebyggda samhällen.

Vattenfri ammoniak är i en del applikationer inte alls nödvändig, utan den mycket ofarligare vattenlösningen av ammoniak (exempelvis 25 %-ig lösning) kan mycket väl användas. Faran för omgivningen från en vattenlösning kan i allmänhet försummas i jämförelse med hantering i form av kondenserad gas.

Om kondenserad ammoniak måste användas och lagras bör man överväga att lagra den i form av kylt lager, vilket dessutom blir mer ekonomiskt vid mycket stora lager.

Påfyllning av system med kondenserad ammoniak (t ex kylsystem) bör ske med mindre transportemballage, inte med stora tankbilar eller järnvägsvagnar, detta för att begränsa den möjliga utsläppta mängden.

Klor

I vissa fall finns det alternativ till att använda klor i kondenserad form.
Ett typexempel är att man för behandling och desinficering av vatten i badanläggningar och reningsverk numera använder natriumhypoklorit som råvara, ur vilken klor kan framställas direkt i önskad mängd. På så sätt slipper man hanteringen av kondenserad gas.

Vid framställning av järnklorid (som används som en vanlig fällningskemikalie i reningsverk) ur magnetit eller järnsulfat används klor både som klorkälla och som oxidationsmedel. Här finns möjlighet att i stället använda betydligt ofarligare (om än inte helt harmlös) syrgas som oxidationsmedel. En svensk tillverkare använder klorprocessen.

Klorlager bör förläggas inomhus eller i marken. Detta gör att ett utsläpp av klor vid ett eventuellt haveri endast långsamt förångas och tränger ut i det fria med avsevärd fördröjning och med lägre koncentrationer än vid ett direktutsläpp utomhus på marken.

Kring klor finns en hel del regler om utformning av utrustning och val av material för att säkerställa hög säkerhet (internationella regler samt specifika svenska finns).

En modell för "inherent safety" i industriell riskhantering

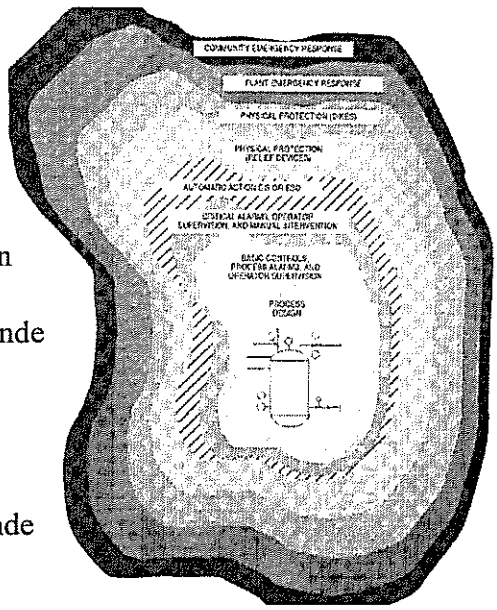
Ett sätt att åskådliggöra betydelsen av "inherent safety" inom en industriell verksamhet är genom följande bild – en upprepning av figur 1 – uppbyggd av ett antal lager för att skapa en säker verksamhet. Man kan också uppfatta lagren som barriärer, som ska förhindra att en störning utvecklas till en allvarlig incident eller till slut till en större olycka. Hur många lager som behövs är i grunden en fråga om hur väl den innersta kärnan utformats. Är den "inherent safe" behövs egentligen bara ett normalt styrsystem och normal operatörsövervakning och inga fler lager med förreglingssytem et c är nödvändiga.

Bilden är relativt självförklarande; några kommentarer:

0. Säkerheten grundläggs i kärnan i bilden genom en sund och om möjligt "inherent safe" process design eller grundutformning av processen.

1. Första lagret utanför grunddesignen utgörs av ett normalt styrsystem med vissa processlarm och tillhörande operatörsövervakning.

2. Det andra lagret utgörs av särskilt dedicerade kritiska larm, speciell operatörsövervakning och ingripande enligt särskilda rutiner.



Figur 8, ur Ref (3)

3. Det tredje lagret består av ett särskilt säkerhetssystem, typiskt är ett elektroniskt förreglingssystem, som är oberoende av styrsystemet.

4. Det fjärde lagret kan bestå av fysiskt skydd i form av tryckavlastningsanordningar.

5. Det femte lagret kan utgöras av fysiska skydd som t ex en andra "inneslutning", t ex en invallning.

6. Om inte föregående lager är tillräckliga träder ett sjätte lager i form av verksamhetens egen nödlägesberedskap i kraft.

7. Slutligen kan samhällets nödlägesberedskap behövas.

"Inherent safety" överfört från processindustrin till andra områden

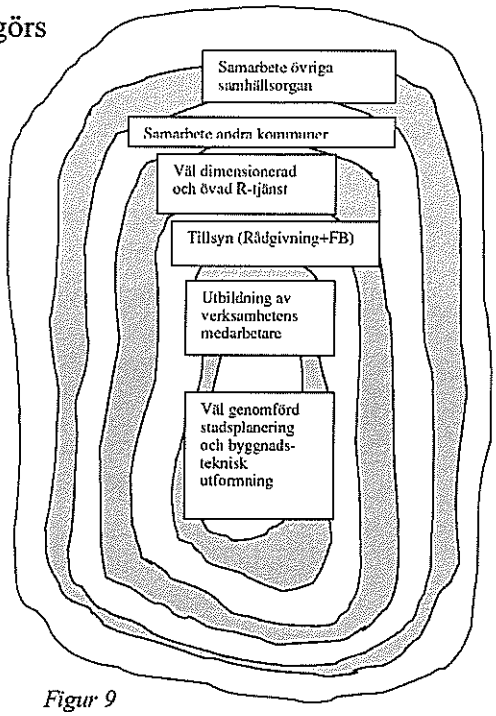
Själva principen att göra någonting genuint säkert kan överföras från processindustritillämpningar till många andra områden. Det kan röra sig om kommunala verksamheter, transporter m m.
Precis som vi idag i processindustrin ofta kommer in för sent i ett projekt för att kunna påverka de avgörande säkerhetsfrågorna har vi samma situation i många samhällsplaneringsfrågor.

Här nedan följer ett par försök till att överföra "inherent safety"-modellen på
- kommunal riskhantering
- transportverksamhet

En modell för "inherent safety" i kommunal riskhantering

Även på kommunal riskhantering kan skalmodellen appliceras. Som tidigare representerar den innersta kärnan någon form av "inherent safety"-tillstånd.

0. Man kan tänka sig att kärnan här utgörs av en alltigenom sund kommunal planering angående stadsplanering ("land use planning") och byggnadsteknisk utformning. Tanken är att det härigenom aldrig ska kunna inträffa olyckor, som påverkar omgivande verksamheter eller miljö.



Figur 9

1. Upplysnings- och utbildningsinsatser genom kommunens försorg av medarbetarna i alla verksamheter för att minska sannolikheten för att en olycka ska initieras

2. Tillsyn med rådgivande och förebyggande verksamhet.

3. Tillräckligt dimensionerad och övad Räddningstjänst med adekvat teknisk utrustning såväl som kompetens.

4. Förstärkningar/samarbete med andra kommuner vid räddningstjänst av större omfattning.

5. Samarbete med andra samhälleliga organ vid mycket stora olyckor.

En modell för "inherent safety" i transportsammanhang

Inom transportsidan handlar säkerhetsfrågorna oftast och främst om på vilket sätt en vara ska transporteras, t ex

- på järnväg, väg eller till sjöss (eller möjligen med flyg)
- vilken transportväg som ska tas (vägval), vilken hastighet som ska tillåtas mm medan man oftast ägnar mindre intresse åt frågor såsom genuint säkra emballage och säkra fordon, och praktiskt taget inget intresse alls åt att försöka eliminera själva behovet av att transportera den farliga varan över huvud taget. De senare antas för givna.

Man kan skissa på en tankemodell enligt följande:

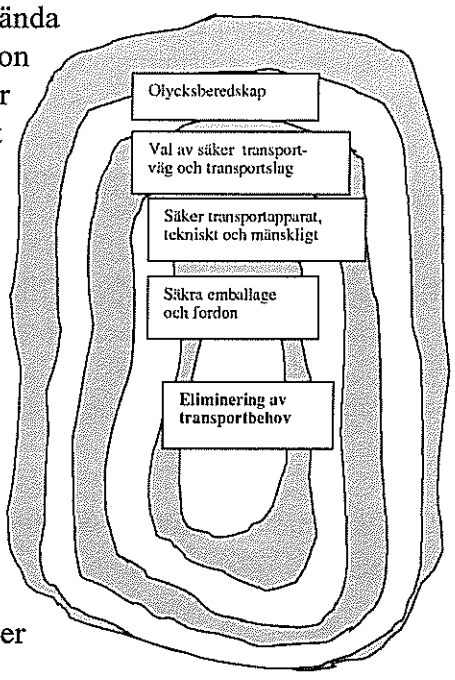
0. "Inherent safety" i transportsammanhang är ingen transport alls. Man bör alltså ställa sig frågan om transporten är nödvändig över huvud taget. Kan man tillverka råvaran/produkten på plats där den ska användas istället? Eller kan den farliga kemikalien eller annan vara bytas ut mot ofarliga sådana?

1. Nästa lager skulle kunna vara att använda så säkra transportemballage och fordon att även vid de allvarligaste kollisioner och haverier ingen egentlig risk för att kemikalien kan komma ut föreligger.

2. Följande lager skulle kunna vara en transportapparat som i sig är mycket säker, både tekniskt och med avseende på mänsklig aktivitet.

3. Därpå följande lager skulle kunna vara val av ett säkert alternativ med avseende på transportslag och vägval.

4. Utanför dessa tre lager för att förhindra en olycka med utsläpp finns därefter samhällets beredskap för olyckor.



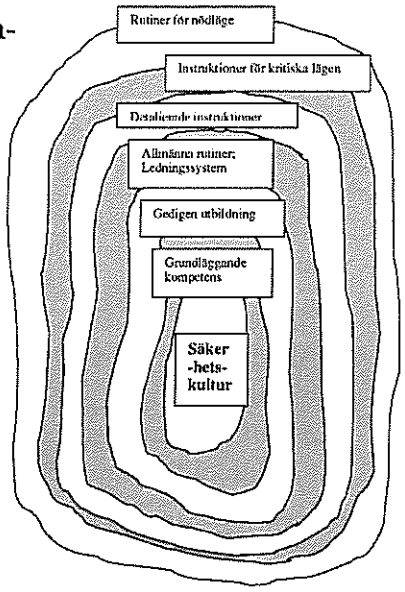
En modell för organisatoriska/administrativa system enligt "inherent safety" -modellen

Hur skulle en modell enligt "inherent safety"-konceptet te sig på det "mjuka" området inom en verksamhets styrning, på de organisatoriska och administrativa systemen?
Man skulle kunna tänka sig att det i den innersta kärnan i en skalmodell liknande den som tidigare använts, i detta fall finns en mycket väl etablerad kultur inom Säkerhet, (Hälsa och Miljö). Om denna kultur genomsyrar organisationen på ett sådant sätt att varje medarbetare vet exakt vad som upprätthållande av säkerheten påbjuder i alla situationer och dessutom handlar därefter, behövs egentligen inte några fler lager i modellen och inget ledningssystem. Få organisationer har insett betydelsen av detta. Man tror sig kunna uppnå hög eller åtminstone tillräcklig säkerhet genom att applicera enbart de utanpåliggande lagren.

0. En väl etablerad säkerhetskultur är nödvändig för att uppnå verklig, genuin säkerhet i en verksamhet.

1. I nästa lager för att upprätthålla en hög säkerhet kan man tänka sig en god grundläggande kompetens i allmänhet och i SHM-frågor i synnerhet bland medarbetarna i organisationen. Denna grundläggs vid rekrytering av anställda till organisationen.

2. Nästa lager består av gedigen utbildning inom organisationen för allmän kunskap, som leder till att alla medarbetare förstår i grunden hur arbetet ska utföras på ett säkert sätt.



Figur 11

3. Nästa lager utgörs av allmänna rutiner för hur vissa typer av arbete ska utföras. Utbildning i dessa rutiner ingår.

4. Lagret därutanför består av detaljerade instruktioner om hur specifik utrustning ska handhas för att det ska ske på ett säkert sätt. Som ovan ingår utbildning i detta.

5. Därefter finns ett lager med specifika instruktioner om hur man ska förfara i vissa kritiska situationer, för att dessa inte ska utvecklas till egentliga nödlägen. Även här ingår utbildning och övning.

6. Slutligen finns ett lager med övergripande rutiner för hur ett nödläge ska hanteras både internt och externt, inklusive övningar.

Industriella applikationer inom kemisk processindustri med potential för förbättringar enligt "inherent safety"

Tillverkningsprocesser

Här följer ett axplock av kemiska processer, vilka förekommer i Sverige, och där "inherent safety"-tänkande kan vara särskilt aktuellt. Listan upptar ett antal kända processer som har potential för allvarliga skadehändelser, p g a framför allt sina stora inneboende energimängder. De företag som driver dessa processer har utformat dem med ett flertal skyddsbarriärer, för att nedbringa sannolikheten för den allvarliga skadehändelsen, vilket får antas ha lett till att alla förekommande processer och anläggningar har den tillräckliga säkerhet som är rimlig att begära.
Här görs inga ställningstaganden om vilka processer som praktiskt skulle kunna omformas till mera "inherent safety"-utformning, eller vilka processer som skulle behöva det.

- Fenolhartser baserade på fenol och formalin med en alkalisk eller sur katalysator.
  - Vissa av dessa hartser görs med äkta satsvis förfarande med hela ener gimängderna tillgängliga på en gång. Risk finns alltså för "run-away"-reaktion.

  Svenska tillverkare är Casco Products AB och Perstorp AB.
- Oxo-kemikalier tillverkas i stora reaktorer med vätskefas (tiotals ton) under relativt högt tryck (upp mot 20 bar) och hög temperatur (100 °C).
  - Vätskan består till stor del av komponenter som kommer att förångas vid ett eventuellt utsläpp. Risk finns alltså för gasmolnsexplosion vid läckage.

  Svensk tillverkare är Neste Oxo AB.
- Peroxidtillverkning
  - Risk för sönderfall finns alltid med peroxider.
    Svensk tillverkare är Norac Andos AB.
- Polyeten- (polypropen) tillverkning i vätskefas
  - Stora mängder eten i vätskefas under högt tryck. Risk för gasmolns-explosioner vid utsläpp.

  Svensk tillverkare är Borealis AB
- Finkemikalie- och läkemedelssubstanstillverkning
  - Flerstegssynteser
  - Satsvisa nitreringar
  - Oxidation med salpetersyra
  - Andra energimässigt eller ur toxisk synpunkt potenta processer.

  Svenska tillverkare är bl a Nordic Synthesis AB och AstraZeneca AB

- Eten- (m m) tillverkning i en krackeranläggning
  - Stora mängder kolväten under höga tryck och temperaturer. Risk för gasmolnsexplosioner och stora bränder vid utsläpp.
  Svensk tillverkare är Borealis AB
- PVC tillverkning
  - Reaktivitetsrisker finns; stora mängder i satsvis förfarande.
  Svensk tillverkare är Hydro Polymers AB
- Vinylhartstillverkning
  - Reaktivitetsrisker finns; stora mängder i satsvis förfarande.
  Svensk tillverkare är Perstorp-Clariant AB

Övrig hantering, bl a lastning/lossning av klor, svaveloxid, ammonika och andra kondenserade giftiga gaser

Användningen av kondenserade giftiga gaser i Sverige är tillräckligt omfattande för att anses utgöra en viss risk. Tillverkningen eller importen av dessa gaser sker på något fåtal ställen, varifrån de distribueras ut till återigen relativt få avnämare. Betraktad som risk (kombinationen av sannolikhet och konsekvens) är denna sannolikt störst i samband med lossning och lastning. Även transporten utgör givetvis en risk, men sannolikheten för ett haveri med utsläpp är låg, även om konsekvenserna kan bli mycket stora på vissa ställen.

Den första frågan i "inherent safety"-anda är naturligtvis om det är möjligt att byta ut den giftiga kondenserade gasen mot något annat i processen hos användaren. Detta torde i något fall antagligen vara möjligt. Därnäst torde åtgärder för att minska riskerna just vid lastning och lossning vara mest angelägna, även om de inte är äkta tillämpningar av "inherent safety".
På några få ställen har man eller överväger man att innesluta lastningen eller lossningen i ett slutet utrymme. En sådan åtgärd minskar risken avsevärt genom att koncentrationerna av giftig gas i omgivningen vid ett eventuellt utsläpp nedbringas väsentligt. Detta förefaller vara den åtgärd som man i första hand skulle överväga på sådana ställen där ett haveri skulle kunna påverka många människor i omgivningen.

Samhälleliga applikationer med potential för förbättringar enligt "inherent safety"

Fasta anläggningar

Ammoniak för kylanläggningar

Större kylanläggningar med ammoniak i tättbefolkade områden anser undertecknad vara direkt olämpliga ur säkerhetssynpunkt. Det kan knappast vara rimligt att utsätta människor i omgivningen av en kylanläggning för möjliga dödsfall vid ett haveri.
Kyltekniken har gått framåt betydligt och numera kan man designa system för en given effekt med väsentligt mindre mängd ammoniak än tidigare. Miljövänligare, och ur risksynpunkt helt ofarliga, freoner finns nu också. Avvägandena mellan eventuella långsiktiga miljöeffekter från CFC och eventuella akuta hälsoeffekter av ammoniak är svåra att göra. Är ammoniakmängderna så stora att följderna av ett större haveri kan bli dödsfall i omgivningen bör istället miljövänligare varianter av CFC övervägas (om inte omkonstruktion till användning av väsentligt mindre ammoniakmängd eller flyttning av anläggningen kan ske).
Ett exempel där man visat vad som går att göra är Skärhamns Frys AB i Skärhamn på Tjörn. Man har nu samma effekt med 85 kg ammoniak och 120 kg "miljövänliga" freoner mot tidigare 2 500 kg ammoniak.

Gasol, nära andra aktiviteter

När det gäller användning av gasol är den inte formellt reglerad vad gäller storleken på lagertankar i t ex tättbebyggda samhällen.
Tankinstallationen och dess storlek är sannolikt av mindre betydelse för risken. Det största faromomentet är påfyllningsmomentet. Då finns alltid möjlighet till haveri med stora källstyrkor och i värsta fall utströmning av hela innehållet i en tankbil eller järnvägsvagn. Avgörande för risken är därför snarare hur påfyllning av tanken sker, med vilka transportfordon samt deras storlek.

Bensinstationer i tättbebyggda samhällen

Längre tillbaka i tiden fanns det ganska många bensinstationer mitt inne i samhällenas bostadsområden. Dessa har försvunnit mer och mer av både miljö-, hälso- och säkerhetsskäl. Man bör fortsatt verka för att eliminera sådana som ligger mitt inne i tättbebyggda samhällen.

Transporter

Transport av farligt gods genom tättbebyggda samhällen och genom tunnlar och över vatten

Det finns åtskilliga exempel på ur risksynpunkt olämpliga transportvägar, där stora mängder farligt gods går genom tättbebyggda samhällen, genom tunnlar och över vatten. Mycket stora konsekvenser kan bli följden av haverier på sådana ställen.

Svårigheten här är ofta det komplexa i beslutssituationen, där vi har så många aktörer som påverkar risken: Leverantörer, transportörer, användare och samhälleliga instanser. Det är svårt att få den slutgiltiga användaren av det farliga godset, som ju är den som radikalast kan påverka situationen, att ta med riskerna för samhället vid transporter i sitt beslut om användning eller ej av aktuell kemikalie.
Därför slutar det oftast med att det är de samhälleliga organen som får ta ansvar för att säkerställa en rimlig risknivå på de transportvägar som finns. Vid nyprojekteringar av transportvägar ingår riskhänsyn numera som en naturlig del, och omfattande riskanalyser görs.
Den grundläggande frågan – den om vissa av dessa transporter helt skulle kunna undvikas – debatteras dock ganska sällan. Man bör om möjligt försöka finna sätt att ta med även detta – ett "inherent safety"-tänkande i beslutsanalysen.

Förslag på lämpliga områden för fortsatt forskning och tillämpning

Det har inte varit möjligt inom ramen för denna översiktliga och inledande rapport att lämna förslag med prioriterade områden, inom vilka forskning och tillämpning av principerna kring "inherent safety" bör bedrivas.

Det mest angelägna torde vara att få ut kunskapen om "Inherent safety" bland de personer i industriföretag och offentliga förvaltningar, vilka kan påverka beslutsprocesserna framför allt vid nyprojekteringar och förändringar. Ett utbildningsprogram för detta förefaller därför vara den mest angelägna uppgiften.

Ett antal industriella processer som skulle kunna vara aktuella som tillämpningar har redan nämnts under kapitlet "INDUSTRIELLA APPLIKATIONER INOM KEMISK PROCESSINDUSTRI MED POTENTIAL FÖR FÖRBÄTTRINGAR ENLIGT "INHERENT SAFETY". Dessa kan delas in i två kategorier, processer med risker för:

1. Okontrollerade reaktionsförlopp med haveri av utrustning som följd
2. Utsläpp av stora mängder brandfarlig eller giftig gas

Sedan en tid pågår ett forskningsprogram på KTH med namnet "Selektiv framställning av finkemikalier och läkemedel", SELCHEM, finansierat av Stiftelsen för Strategisk Utveckling, vilket har anknytning till dessa frågor.

Av övriga industriella tillämpningar bör betonas

- Lastning/lossning av giftiga kondenserade gaser i närheten av tättbebyggda samhällen (kan alternativ till den giftiga gasen tänkas, kan installationen göras säkrare, kan inneslutningar övervägas?)

På samma sätt har ett flertal exempel nämnts under kapitlet "SAMHÄLLELIGA APPLIKATIONER MED POTENTIAL FÖR FÖRBÄTTRINGAR ENLIGT "INHERENT SAFETY", vilka också skulle kunna vara aktuella som forskning och tillämpning.

Bland dessa skulle undertecknad vilja framhäva som angelägna områden

- Ammoniak för kylanläggningar i tättbebyggda samhällen (eventuell konvertering till miljövänliga freoner)
- Transport av farligt gods genom tättbebyggda samhällen, tunnlar och över broar. Förutom riskanalyser av faktiska förhållanden och strävandena att minska riskerna genom lämplig utformning av transportvägen, bör frågan också inriktas på den grundläggande frågeställningen om transporten av kemikalien i sig kan undvikas eller begränsas.

Inside-projektet

EU har haft ett projekt angående "Inherent safety" som kallats INSIDE (INherent Safety In DEsign. Det involverade ett antal europeiska företag inom säkerhetsbranschen (AEA Technology (UK), TNO (NL), VTT (FN), Inburex (D), Eutech (UK), med stöd från EU och Health and Safety Executive (UK). Projektet startade 1994 och skulle ha varit klart 1997. Resultatet, en pärm kallad INSET toolkit (5), har ännu inte publicerats offentligt, men detta beräknas ske snart. Detta bör så snart som möjligt tas in i debatten om tillämpningen av "inherent safety" i Sverige.

EPSC - Statement of good practice

European Process Safety Centre (EPSC) har publicerat en skrift om Inherent Safety, som utöver de traditionella frågorna trycker på följande frågor för att nå framgång

- Stöd av en champion (eldsjäl)
- Lämplig utbildning
- Tillämpning från projektets allra tidigaste steg
- Regelbundna granskningar under projektets gång
- Uppskattning och belöning

Även detta material bör göras tillgängligt för svenska företag och andra intressenter som kan finna tillämpningar inom "inherent safety"-området (6).

Referenslista

(1) Kletz, Trevor A. 1991. Plant Design for Safety – a user-friendly approach. Taylor and Francis.

(2) Pilz, Volker 1995. Integrated Safety in Process Plants. Institution of Chemical Engineers training package on Inherently Safer Process Design.

(3) Centre for Chemical Process Safety. 1993. Guidelines for Engineering Design for Process Safety.

(4) Hendershot, Dennis, C. 1995. Conflicts and decisions in the search for inherently safer process options. Institution of Chemical Engineers training package on Inherently Safer Process Design.

(5) EU et al (to be published). INSET toolkit.

(6) Turney, Robin D. (to be published). Inherent Safety; What can be done to increase the use of the concept? EFCE symposium on Loss Preven tion and Safety Promotion in the Process Industries, Stockholm 2001.

Bilagor

Bilaga 1

(Nedanstående material är hämtat ur Kletz, Trevor A. 1991. Plant Design for Safety – a user-friendly approach. Taylor and Francis.)

Measures for integrated safety: specification of the process (scope: as applied to the process)

Reduction of the amount of dangerous substances
- substitution by safe substances
- distribution to parallel or isolatable sub-units
- set points outside the trip range for undesired side or secondary reactions
- limitation of concentration

Leak-tight containment of dangerous substances
- limitation of vapour pressure

Avoidance of opportunities for error
- ensure compatibility of feedstocks
- automatic limitation of temperature, pressure, concentration, heat production

Error-tolerant design
- destruction of excess substances and energy
- wide working range of process parameters (operation well away from critical quantities)

Measures for integrated safety: technical design of the process (scope: as applied to equipment and spatial arrangement of plant)

Reduction of the amount of dangerous substances
- avoidance of large buffer volumes - reduction of quantities stored
- optimization of transports within works

Leak-tight containment of dangerous substances
- welding of pipework
- provision of blow-down devices

Avoidance of opportunities for error
- exclusion of external natural and civilization hazards by suitable choice of site
- design of buildings to give protection against hazards
- clearly arranged plant structure
- appropriate design of control rooms

Error-tolerant design
- redundant and diverse design of operational and safety units

Measures for integrated safety: design of the apparatus (scope: as applied to the apparatus and plant components)

Reduction of the amount of dangerous substances
- intensification of feedstock and heat exchange
- reduction of vessel inventories (for example continuous instead of batch)

Leak-tight containment of dangerous substances
- choice of materials and manufacture compatible with the feedstocks and process
- minimization of throughputs and connections
- avoidance of seals on moving parts by means of special design and construction
- automatic isolation valves

Avoidance of opportunities for error
- inspection, maintenance, and identification for specific feedstock and process use
- measures to eliminate confusion during installation and connection
- avoidance of dead volumes

Error-tolerant design
- tough, corrosion-resistant materials
- safety margins
- fail-safe design
- graduated safety system
- multiple barriers

Bilaga 2

(Nedanstående material är hämtat ur Kletz, Trevor A. 1991. Plant Design for Safety – a user-friendly approach. Taylor and Francis.)

Questions To Answer at the Conceptual Stage of Design

The conceptual stage is the stage at which we decide which product to make by what route and where the plant will be located. Some companies call it the business analysis or capital analysis stage and may use the term conceptual stage to describe what I have called the flowsheet stage.
The questions that follow may help design teams think of various ways of increasing the inherent safety of the design. The questions can be used by individuals as an aide memoire, but more will come out of them if they are considered by the design team at a hazop-style meeting with an independent chairperson who will not take no or none for an answer. If a question is "Can we. . . ?" and someone says "No," the chairperson should ask "If you had to, how would you?" Questions should be answered in a brainstorming atmosphere. People should be encouraged to make crazy and impracticable suggestions, if they come to mind, because they may stimulate other people to think of more practicable ones. Let your mind go free.
Remember that if it costs $1 to fix a problem at the conceptual stage it will cost:

$10 at the flowsheet stage

$100 at the line diagram stage

$1 ,000 after the plant is built and more than

$10,000 to clean up the mess after an accident.

1 What is present? List the inventory of each material in each section of the plant and in storage.

List separately:

- flashing flammable liquids (that is, flammable liquids under pressure above their atmospheric pressure boiling points}
- flashing toxic liquids
- refrigerated flammable liquids
- refrigerated toxic liquids
- unstable materials
- flammable gases

- toxic gases
- flammable liquids below their boiling points
- toxic liquids below their boiling points
- explosive dusts
- corrosive liquids

To help us decide which inventories are so large that we should try to remove or reduce them, it may be useful to remember that:

- an explosion in the open air (an unconfined vapor cloud explosion) is unlikely if less then 5 tons of vapor is present
- although the vapor produced by a leak of a flashing liquid can be calculated by heat balance, much of the liquid remaining forms a mist or spray that is just as flammable as the vapor and just as toxic; a common rule of thumb is to double the theoretical amount of vapor to allow for this mist and spray
- leaks of corrosive liquids are hazardous only to people who are nearby, whereas leaks of toxic gases and fires and explosions can affect people some distance away

2 Is the product hazardous? If so, what alternative products have been evaluated (cost, convenience, effectiveness)?

3 Are the raw materials, intermediates, solvents, catalysts, and so forth hazardous? If so, what alternatives are available? Have they been evaluated?

4 What side reactions are liable to occur, with what results? Will the products be hazardous? Will the raw materials, products, or intermediates react with the air or decompose or polymerize spontaneously?

5 Can poor mixing or distribution cause undesired reactions or local overheating or underheating, and with what results?

6 Will the impurities liable to be present in the raw materials have any undesired effects on the reaction, products, or materials of construction? In all these cases what alternatives are available, and have they been evaluated?

7 Is the location chosen near concentrations of people or other plants? If so, what will be the effects on them? What other locations have been considered? Have they been evaluated? Is there room for fire breaks between the sections of the plant or between units?

The questions listed in the next section should also be asked at the conceptual stage, although a final decision need not be made until later.

Questions To Ask at the Flowsheet Stage

1 Reaction

- If the inventory in the reactor and associated equipment (heaters, coolers, recycle streams, and so forth) is large and hazardous, can we change the type of reactor from a pot to a tube, from liquid phase to vapor phase, from externally cooled to internally cooled, or from batch to continuous?
- Can we reduce the inventory by increasing temperature or pressure, by changing the catalyst or catalyst concentration, by better mixing, or by increasing conversion so that there is less recycle? What are the constraints that prevent such action?
- Alternatively, can we make the inventory less hazardous by lowering the temperature below the boiling point or by dilution with a solvent?
- If the reaction is liable to run away, can we reduce the chance of a runaway by using different vessels for different stages, by changing the order of operations, by changing the temperature or concentration, or by limiting the level of the energy available?
- If a hazardous solvent is used, can we use a different solvent instead, or no solvent?
- Can changes in the reaction section simplify separation or reduce the inventory in the separation section?

2 Separation

- In the distillation section, can we use Higee instead of conventional distillation?
- If not, can we reduce the inventory by using an internal dephlegmator instead of an external condenser, by using an internal calandria instead of an external reboiler, by using low inventory plates or packing, by fitting a narrow base, by using a condenser with a boot instead of a reflux drum, or by combining two columns into one?
- Can we reduce the inventory of hazardous materials by using a low inventory distillation method or another method of separation instead of distillation?

3 Heat transfer

- Can a low inventory heat exchanger be used?
- If a shell-and-tube exchanger is used, is the more hazardous fluid in the tubes?

- Can the inventory be reduced by higher flow rates, extended surfaces, or larger temperature differences?
- If a heat transfer medium is used, can we
  - use water or other nonflammable medium, a vapor-phase me-dium, or a medium below its boiling point?
  - reduce the inventory by minimizing buffer stock or the inventory in heat exchangers?
  - keep the buffer stock cold?
- If a refrigerant is used, can we use a nonflammable one or minimize the inventory as above?

4 Storage: raw material, intermediates, products and auxiliary materials such as solvents should be considered in turn.

- What determines the amount of storage required (shutdowns both planned and unplanned, fluctuations in supply or demand, or transport problems)? How else can we overcome these problems?
- The following should be considered:
  - increasing plant capacity
  - increasing plant availability
  - manufacturing the raw material or using the product on site
  - combining reaction steps
  - storing at a lower temperature or in a different physical or chemical form

5 Other questions

- Can pumps be replaced by gravity flow (to reduce pressure and opportunties for leaks)?
- Can flow ratio be controlled by an injector?
- Can antagonistic materials be segregated?
- Are any of the materials discharged into vent or drain lines liable to react there?
- Are any of the liquids discharged into vent or drain lines liable to freeze or polymerize?
- Can water collect in pockets where it can be heated above its boil-ing point (or can oil collect in a plant containing an aqueous phase)?

- How susceptible is the process to human error? Can we reduce the susceptibility by design changes rather than by adding on protective equipment?

These questions should be asked during the development of the flowsheet and should be asked again, in addition to the usual hazop questions, during the hazop of the flowsheet.. Asking these questions at an early stage may save time and expense at the flowsheet stage.
The following are a few of the 66 changes or queries that were made during the hazop of a simple flowsheet. The plant consisted of a batch reactor that was followed by a stripping unit in which an excess of one reactant was removed under vacuum. The study took 9 h spread over three meetings. Many of the points would have been thought of without a hazop, but many would have been missed or not thought of until it was too late to make changes.

- If the reactor is overfilled, it overflows into a catchpot that is fitted with a high-level alarm. Why not fit the alarm on the reactor and dispense with the catchpot?
- What would it cost to design the reactor to withstand the vacuum produced in the stripper, thus avoiding the need for a vacuum relief valve, which would allow air to be sucked into the reactor with the formation of a flammable mixture?
- Why do we need two filters? Will a change in type allow us to manage with one?
- Can we choose a type of bottoms pump for the stripper that will allow us to lower the stripper and reduce the cost of the structure?
- Can heat exchangers be designed to withstand the maximum pressure possible under all conditions except fire, so that only small fire relief valves are needed?
- The material proposed for removing color may be toxic. What other materials are available?

Some Questions That Should Be Asked During Detailed Design

These questions should be asked during the hazop of the line diagrams. A negative answer to any question should be justified

- Will spiral-wound gaskets be used?
- Will rising spindle valves be used?
- If ball valves or cocks are used, can the handles be removed and re-placed wrong?
- Will figure-S plates be fitted at joints that have to be blinded regularly for

maintenance or to prevent contamination?

- Will expansion loops be used instead of bellows?
- If flexible connections are necessary (for example, for filling or emptying tank trucks or cars), will articulated arms be used instead of hoses?
- If hoses (or articulated arms) are used, is there a means of venting them before they are disconnected?
- Will sample points be designed so that samples of hazardous chemicals can be taken without risk of injury to the sampler? Is each sample point essential?
- If quick-release couplings are fitted to pressure vessels, will they be of a type that gives the operator a second chance if pressure is present?
- Have the number of different sorts of gasket, nuts and bolts, and the like to be stocked been reduced to the minimum, even though more expensive items than necessary are used in some locations?
- Can any equipment (in the line being hazoped) be interchanged, installed the wrong way round, or incorrectly installed in any other way?
- Will any glass or plastic be used as materials of construction? How can they be avoided?
- Are pipe sizes restricted?
- Control; see special check-list.

Räddningsverket, 651 80 Karlstad
Telefon 054-13 50 00, telefax 054-13 56 00
Beställningsnummer P21-382/01. Telefax 054-13 56 05, telefon 054-13 57 10
ISBN 91-7253-126-6