

"Vad som inte kunde hända har ändå hänt"

Slog Harrisburg och Tjernobyl sönder vår säkerhetsbild?

Två svåra olyckor har inträffat vid kärnkraftverk. Den första hände vid Three Mile Island (TMI) i Harrisburg, USA, 1979. Den ledde till en långt framskriden hårdsmälta. Ingen människa skadades dock, och stråldoserna i den närmaste omgivningen var mycket små. Den andra olyckan skedde i Tjernobyl, Sovjet, 1986. Här exploderade reaktorn och 31 människor omkom. De radioaktiva utsläppen föranledde utrymning av en zon inom 30 km från reaktorn. Förhöjda stråldoser förekom i stora delar av Europa. Båda olyckorna har anförts som bevis på att riskerna har underskattats inom kärnkraftindustrin. Detta är fel.

Kärnkraftens inneboende risker

Att reaktorernas innehåll av radioaktiva ämnen utgör en potentiell risk är höjt över all diskussion. Hotbilden delar kärnkraften med andra industrier (jfr Seveso 1976, Bhopal 1984, Basel/Rhen 1987).

Den centrala frågan, både för kärnkraften och för den kemiska riskindustrin, är alltså om de farliga ämnena kan hållas inneslutna på ett säkert sätt. Svaret kan inte bli allmängiltigt, utan är beroende av den säkerhetsfilosofi man tillämpar i olika kulturer, länder och anläggningar. Vi skall i det följande huvudsakligen tala om lättvattenreaktorer, som svarar för 83 % av världens kärnkraft, och om den säkerhetsfilosofi som tillämpas i Väst.

Hur skyddar vi oss mot olyckor?

Den säkerhetsfilosofi som alltifrån början legat till grund för kärnkraften i Väst har fått benämningen **djupförsvaret**. Den innebär att man arbetar med många "skyddsnet"; om ett skulle brista finns nästa där för att stoppa olycksförloppet. Redan det faktum att man utvecklat skyddsnetstänkandet, visar att man varit medveten om riskerna.

Djupförsvaret har tre nivåer:

Den haveriförebyggande nivån

Den omfattar val av säker grundkonstruktion (t ex inneboende stabilitet och hög störningstolerans), stora säkerhetsmarginaler och hög kvalitet i vid bemärkelse. Viktiga komponenter konstrueras så att de intar säkert läge vid fel. Kvaliteten övervakas genom fastställda rutiner både under byggnads- och driftskedet. I rutinerna ingår regelbunden provning.

Den haverimotverkande nivån

Den omfattar säkerhetssystem som förhindrar att störningar och fel - människo- eller teknikförvällade - utvecklas till haverier. Säkerhetssystemen träder i funktion automatiskt om olika processstorheter, såsom tryck, temperatur eller cefektutveckling, avviker från fastställda värden.

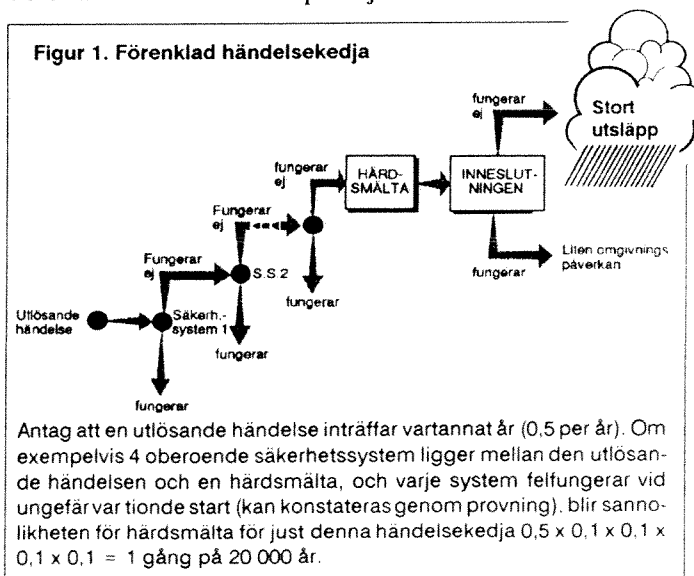
Säkerhetssystemen är utformade efter två viktiga principer: **Redundans** (övertalighet) som innebär att många oberoende system klarar samma funktion **Diversifiering** (mångfald) som betyder att systemen för en och samma funktion bygger på olika fysikaliska principer. Därigenom undviks systematiska fel (exempel i faktarutan, sidan 4).

Den konsekvenslindrande nivån

Om ett haveri trots allt skulle inträffa, förhindras spridning av radioaktiva ämnen till omgivningen av reaktorinneslutningen, ett trycktätt "skal" av armerad betong och stål. I inneslutningen finns stora mängder vatten, som kyler och binder radioaktiva ämnen.

Hur uppskattar man risken?

Djupförsvaret innebär att ett stort antal fel måste inträffa för att en utlösande händelse skall urarta till ett haveri, och för att haveriet sedan skall ge konsekvenser i omgivningen. Schematiskt kan detta framställas på följande sätt:



Ett utlösande fel (t ex brott på en kylvattenledning eller bortfall av elnätet) sätter igång säkerhetssystemen. Fungerar system 1, uppnår anläggningen ett säkert tillstånd, och händelsekedjan är därmed bruten. Om system 1 inte skulle fungera, tar system 2 vid, osv.

Först om det utlösande felet följs även rad andra felfunktioner, kan reaktorn komma i det läget att härden smälter, och stora mängder radioaktiva ämnen frigörs ("Härdsmläteolycka"). Dessa ämnen fångas upp i inneslutningen. Också den måste felfungera för att en omgivningsolycka skall inträffa.

Varken det utlösande felet eller varje enskilt systemfel behöver vara särskilt osannolikt. Säkerheten ligger i att risken för många samtidiga fel är liten.

PSA - säkerhetsanalys

På erfarenhetsmässiga grunder kan man sätta siffror på sannolikheten för varje enskild felfunktion. Man kan då räkna ut sannolikheten för händelsekedjan. Detta görs i Probabilistisk (= sannolikhetsbaserad) SäkerhetsAnalys, PSA, en metod som har sitt ursprung i flyg- och rymdtekniken. Huvudmomentet i en PSA är att systematiskt kartlägga tänkbara utlösande fel och händelsekedjor, som ytterst kan leda till härdsmläta.

Det värdefullaste med PSA-metoden är att den är ett effektivt hjälpmedel för att identifiera och undanröja de svagheter i en anläggning som slår igenom mest på säkerheten. Dessutom får man en kvantitativ uppfattning om den totala risken.

Vad visste vi före TMI?

Den första kvalificerade PSA-studien av kärnkraftverk framlades i USA 1974 vid Massachusetts tekniska högskola av professor Norman Rasmussen. Studien, som hade gjorts på uppdrag av den federala säkerhetsmyndigheten, gällde två specifika lättvattenreaktorer, en av tryckvatten- och en av kokartyp. Trots osäkerheter och kunskapsluckor gav Rasmussenstudien ytterst värdefulla resultat och kom att bli grundläggande för det fortsatta säkerhetsarbetet.

Bl a visade studien att riskbilden inte, som man dittills antagit, dominerades av brott i de stora kylvatten- och ångledningarna som utlösande händelse. Sådana dramatiska fel är sällsynta och skulle dessutom ge entydiga signaler till säkerhetsautomatiken. I stället visade sig t ex svårdiagnostiserade mindre läckage i kylsystemet bidra mera till den sammanlagda risken. (Det var just ett sådant som inledde TMI-haveriet fem år senare).

Den totala sannolikheten för härdsmläta beräknades av Rasmussen till omkring en gång på 20 000 driftår. Man var medveten om att beräkningen var behäftad med stor osäkerhet. Den övre gränsen uppskattades till en gång på 3 000 driftår.

Rasmussenstudien och dess efterföljare i andra länder, som gav liknande resultat, utgjorde före TMI-olyckan en viktig grund för säkerhetsbedömningen hos såväl kraftindustrin som de statliga kontrollorganen.

Under förutsättning att Rasmussens risksiffror var representativa för världens dåvarande och framtida lättvattenreaktorer (vilket inte var givet), och utifrån prognosen att tusentals reaktorer skulle vara i drift kring sekelskiftet, kunde man alltså vänta sig några svåra härdsmlätaolyckor.

Att man accepterade denna risk berodde på två omständigheter, för det första att en härdsmläta inte är detsamma som en omgivningsolycka - inneslutningarna hade kommit till just för att uppnå detta.

För det andra kunde man pga den snabba tekniska utvecklingen och växande erfarenheten räkna med att fortsatt kärnkraftutbyggnad skulle gå hand i hand med fortsatt förbättrad säkerhet.

Läget efter TMI

Olyckan vid Three Mile Island 1979 följde en händelsekedja som i sina grova drag fanns beskriven i Rasmussenstudien. Olyckan utvecklades så långt att en stor del av härden smälte. Praktiskt taget all frigjord radioaktivitet blev kvar i inneslutningen. Ingen människa skadades. Stråldoserna utanför anläggningen motsvarade som mest knappt ett års naturlig bakgrundsstrålning.

Några restriktioner för livsmedel eller boende behövde aldrig införas. Reaktorn och inneslutningen har nu renats från det mesta av sin radioaktivitet till en kostnad av ungefär 1 miljard dollar. Den slutliga rivningen kommer att ske först när det i drift varande systeraggregatet en gång läggs ner.

TMI-olyckan är hittills den enda härdsmläteolyckan i en lättvattenreaktor. Den sammanlagda drifterfarenheten för denna reaktortyp är nu ungefär 4 000 driftår. Den erfarenhetsmässiga risken strider alltså inte mot förutsägelseerna från tiden före olyckan.

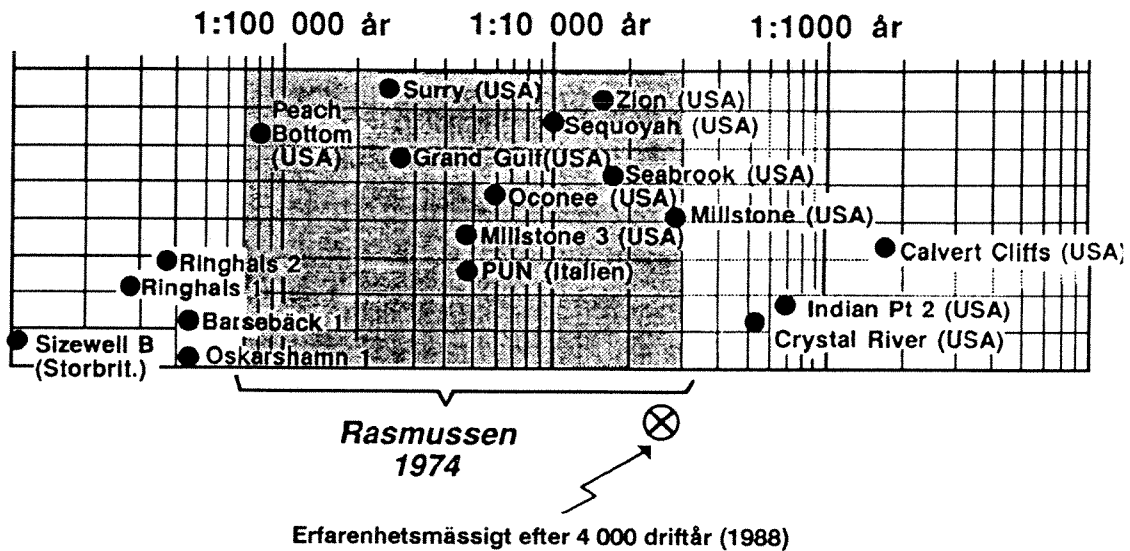
Vad har hänt med säkerheten?

TMI-olyckan har påskyndat säkerhetsutvecklingen i västvärlden. Man kan särskilt peka på tre områden:

- **Förbättringar av befintliga konstruktioner och driftsätt i ljuset av vunnna erfarenheter.** Utbytet av erfarenheter mellan världens kärnkraftverk har också ökat och systematiserats.

- **Förbättring av PSA-metodiken.** PSA-metodiken har utvecklats betydligt, och har nu tillämpats på ett stort antal lättvattenreaktorer i Väst. Man har därvid funnit att riskbilden är mycket olika för olika anläggningar. Sannolikheten för härdsmläta råkar i medeltal ligga nära Rasmussens värde, men olika kärnkraftblock kan skilja sig med en faktor tusen. Se figur 2 på nästa sida.

Figur 2. Sannolikhet för härdsmlta i olika lättvattenreaktorer



Punkterna är resultat av PSA-analyser som gjorts på 1980-talet. Det skuggade området är Rasmussenstudiens resultat 1974. Krysset visar erfarenheten till dags dato.

(Punkterna är inte helt jämförbara, då analyserna gjorts vid olika tidpunkter på olika stadier av säkerhetsutvecklingen. Dessutom innefattar vissa analyser risken för "yttre händelser", såsom jordbävning, medan andra inte gör det. Dessa skillnader ändrar dock inte helhetsbilden. För de svenska kärnkraftverken är analyserna framför allt en verifiering av att risken ligger under en viss nivå. Några absolutvärden under denna nivå har inte eftersträfvats. Värdena är därför konservativa och ger ingen rangordning mellan kraftverken.)

De svenska kärnkraftverken har genomgående låga riskvärden. På grund av det höga medelvärdet måste vi fortfarande räkna med härdsmlteolyckor någonstans i världen. Den internationella säkerheten gagnas betydligt mera av säkerhetshöjande insatser vid anläggningar i den övre änden av riskskalan än av nya generella säkerhetskrav.

- Forskning kring svåra haverier. Vid tiden för Rasmussenstudien fanns stora kunskapsluckor i fråga om härdsmltorts beteende och haveriers inverkan på inneslutningen. Dessa luckor har nu till stor del fyllts. Genom internationell forskning (och analys av TMI-olyckan) har man t ex funnit att vattnet i inneslutningen effektivt binder radiologiskt viktiga ämnen som jod och cesium. Vidare har man kunnat avskrivna vissa förlopp ("ångexplosioner") som man trodde kunde slå sönder inneslutningen.

Det hot mot inneslutningen som utgörs av långsam tryckuppgyggnad efter ett haveri kan man undanröja genom **filtrerad tryckavlastning** (som Sverige varit först med att införa). Risken för att en inträffad härdsmlta skall ge stora omgivningsskador har därmed kunnat ytterligare väsentligt minskas. (Det bör dock påpekas att inte heller lättvattenreaktorernas inneslutningar internationellt håller jämn kvalitet).

Var Tjernoby en bakläxa?

Den ångkylda, grafitmodererade Tjernobyreaktorn skilde sig i sin grundkonstruktion från våra lättvattenreaktorer. De tre nivåerna i djupförsvaret var svaga eller obefintliga:

- Reaktorn hade en inneboende instabilitet som gjorde att den kunde "skena" (explodera). Materialsammansättningen ökade explosionsrisken.
- Säkerhetssystemen var delvis bortkopplade.
- Inneslutning saknades.

I Väst hade man varken haft anledning eller förutsättning att före olyckan närmare granska säkerheten - informationen från Sovjet var mycket knapphändig.

Några utfästelser om dessa reaktors säkerhet har således aldrig gjorts i Väst. Tvärtom har vissa av deras egenskaper - främst instabiliteten - länge bedömts som principiellt oacceptabla. Denna inställning finns för Sveriges del dokumenterad sedan nedläggningen av Marvikenprojektet i slutet av 1960-talet.

Efter olyckan har ryssarna gjort en grov PSA-studie av Tjernobyreaktorn. Sannolikheten för ett härdförstörande haveri uppges ha varit uppemot en gång på hundra driftår. Eftersom inneslutning saknades, var detta lika med sannolikheten för stora utsläpp. Jämfört med västerländska reaktorer av hög säkerhetsstandard var alltså risken för en stor omgivningsolycka minst 100 000 gånger större.

Tjernoby har inte givit oss anledning att ompröva den svenska kärnkraftsäkerheten.

Rapporten är framtagen av analysgruppen vid KSU, i samarbete med experter inom den svenska kraftindustrin och internationella organisationer.

Evelyn Sokolowski står gärna till förfogande för ytterligare information, telefon 0155 607 00.

Analysgruppen

Göran Apelqvist, Vattenfall
Ingemar Lindholm, Sv Kärnbränslehantering AB
Agneta Rising, Vattenfall
Evelyn Sokolowski, Kärnkraftsäkerhet & Utbildning KSU
Lars Thuring, Sydkraft
Gunnar Walinder, Patologi & riskforskning SLU
Carl-Erik Wikdahl, Energiforum AB
Anders Pechan, red sekr

KSU - FAKTA

Redundans och diversifiering

Ett viktigt säkerhetssystem är det som ställer av reaktorn. Avställningssystemet i våra kokarreaktorer illustrerar redundans- och diversifieringsprincipen.

Avställningen sker normalt medelst styrtavar. Dessa innehåller grundämnet bor, som fångar in neutroner och hindrar dem från att hålla igång kedjereaktionen. När reaktorn behöver stoppas, skjuts styrtavarna underifrån in i reaktorhärden. Det finns betydligt fler styrtavar än som behövs. Styrtavarna manövreras i 18 av varandra oberoende grupper. Vid drifttemperatur räcker det om hälften av styrtavarna går in.

Den normala inskjutningsmekanismen är hydraulisk. Den är uppbackad med ett långsammare, motor-drivet skruvsystem, som utlöses tillsammans med hydraulsystemet.

Samtidigt minskas automatiskt varvtalet i kylvattenpumparna. Detta leder till att kokningen kring bränslet ökar. På grund av reaktorns inneboende stabilitet verkar den ökande ångmängden dämpande på kedjereaktionen och tillhandahåller en extra avställningsmekanism.

Utöver styrtavarna finns en tank med borhaltigt vatten. Om styrtavarna, trots redundansen och diversifieringen, skulle strejka, kan operatörerna manuellt spruta in borlösning i reaktorn via två oberoende kretsar.