

Svensk kärnkraft har stärkts med ännu ett säkerhets-system. Två nya tekniska lösningar för säkerhetsfilter har utvecklats, en för Barsebäck och en annan för de övriga verken. Upphovsmännen till den senare, Lennart Gustavsson och Leif Lindau vid Fläkt AB i Växjö (ABB-gruppen), har av Civilingenjörssförbundet tilldelats 1988 års Polhemspris, med bl a motiveringen att de har ökat den globala kärnkraftsäkerheten.

Säkerhetsfiltret

Ny teknik ökar svensk kärnkraftsäkerhet

År 1981 beslöt Sverige som första land att utrusta kärnkraftverken med ännu en *anordning* - tryckavlastning genom ett *säkerhetsfilter* - för att minska konsekvenserna i omgivningen om ett hårdhaveri trots allt skulle inträffa. En eventuell hårdsmälta skulle i fortsättningen inte kunna leda till sådan radioaktiv markbeläggning som kräver evakuering. Redan 1985 fanns det nya säkerhetsfiltret på plats i Barsebäck.

Året därpå formulerade regeringen kraven på motsvarande system för landets övriga 10 reaktorer. De är nu driftklara vid samtliga verk. Stråldosen från markbeläggning i reaktoremas omedelbara närhet skall nu inte kunna bli större än den blev i Gävle och Sundsvall efter Tjernobyl.

De svenska försäkringsbolagen bedömer att de nya systemen ökat säkerheten så mycket att premierna kan sänkas när det gäller ansvarsförsäkringarna.

Säkerhetsfiltret skall skydda mot följderna av en hårdsmälta. En sådan är mycket osannolik, eftersom alla kärnkraftverk redan har mångdubbla skyddsnet för att förhindra den.

Det svenska beslutet om säkerhetsfilter har fått internationell efterföljd, hittills i Frankrike och Västtyskland.

Skyddsnet gör risken för hårdsmälta liten...

Alla kärnkraftverk har ett mångdubbelt system av skyddsnet, baserat på principen om *djupförsvär* som förebygger hårdhaveri/hårdsmälta (se Bakgrund nr 6-88). Skyddsneten fångar upp både tekniska och mänskliga fel, och förhindrar att de utvecklas till haverier.

En viktig del av djupförsvaret, gemensam för alla kärnkraftverk i Väst, är att reaktorerna har en inneboende stabilitet: *kedjereaktionen kan inte "skena", såsom skedde i Tjernobyl*. I övrigt skiljer sig skyddsneten betydligt mellan olika anläggningar, både i fråga om antal och finmaskighet.

Sedan 1970-talet har en analysmetod utvecklats för att systematiskt utvärdera skyddsnetssystemet - den s k probabilistiska säkerhetsanalysen (PSA). Med dess hjälp kan man identifiera svaga maskor i nätet och förstärka dem. Detta har bidragit till att säkerheten undan för undan kunnat ökas.

För vart och ett av de svenska kärnkraftblocken har risken för hårdsmälta beräknats till mindre än en gång på 100 000 driftår. Det i internationell jämförelse låga värdet beror främst på goda tekniska lösningar, men också på att övertaligheten (*redundansen*) och mångfalden (*diversifieringen*) i säkerhetssystemen drivits längre än på många andra håll.

... men ändå skyddar man omgivningen

Skyddsnetstänkandet har emellertid inte begränsats till att förebygga ett hårdhaveri. I de västerländska kärnkraftverken finns konsekvenslindrande system, som skall förhindra att radioaktiva ämnen kommer ut i omgivningen om reaktorhärden trots allt skulle skadas.

Reaktorinneslutningen är den väsentligaste konsekvenslindrande faktorn. De svenska reaktorerna har ett metertjockt betonghölje, med ett ingjutet skal av 10 mm stål. Det tål ett inre övertryck på ca 6 atmosfärer och utgör samtidigt ett effektivt skydd mot yttre övertryck, exempelvis ett störtande flygplan.

Vissa typer av inneslutningsbrott har kunnat avfärdas

Inneslutningen förhindrar naturligtvis haveriutsläpp bara så länge den är intakt. Särskilt allvarligt vore det om inneslutningen brast i ett tidigt skede av ett hårdsmälteförlopp, när de frigiorda radioaktiva ämnena fortfarande är luftburna i form av svävande partiklar (rök). Efter något dygn har partiklarna till stor del avsatts på inneslutningens ytor.

Risken för ett tidigt inneslutningsbrott förknippades främst med en s k ångexplosion. Man tänkte sig att om den smälta reaktorhärden plötsligt skulle rasa ned i en vattenpöl i botten

av reaktortanken, skulle värmeöverföringen från smältan till vattnet kunna bli så snabb att ångbildningen blev explosionsartad. Reaktortankens tunga lock skulle kunna slungas som en projektil mot inneslutningstaket och slå hål på det. Detta förlopp betraktades fram till början av 1980-talet som en reell möjlighet.

Emellertid byggde det på en del pessimistiska antaganden - bl a extrem finfördelning av smältan - som vid närmare granskning framstod som orealistiska. Redan 1979 fastslog en i Sverige särskilt tillsatt expertkommitté att en ångexplosion av den aktuella styrkan är utesluten.

En annan mekanism som tidigt skulle kunna förstöra inneslutningen är vätgasexplosion. Vid de höga temperaturer som råder vid ett haveri oxideras metalliska material i kontakt med vattenånga. Vattnets syre binds i oxiden, medan vätet bildar fri vätgas, som kan detonera om den blandas med luft.

I de svenska kokarreaktorerna har denna risk varit undanröjd från början genom att inneslutningen alltid är fylld med kvävgas under drift. (Detta har inte varit fallet i alla utländska kokare). I tryckvattenreaktorerna är risken för våldsamma vätgasexplosioner mycket låg p g a den stora inneslutningsvolymen.

Ny kunskap om härdsmältor

Situationen vid ett stort härdhaveri är ytterst svår att förutsäga teoretiskt eller att efterlikna i laboratoriet. Den kännetecknas av extrema temperaturer och komplicerad växelverkan mellan olika material. Även en havererad härd, där kedjereaktionen har avstannat, fortsätter att alstra värme, beroende på den radioaktiva strålningen och på vissa kemiska reaktioner.

Kunskapen om en havererad härds beteende i inneslutningen var mycket bristfällig fram till början av 1980-talet. Det gällde inte minst de många radioaktiva ämnena som frigörs från bränslet vid en härdsmälta. De tidiga riskanalyserna innehöll följaktligen grova förenklingar, där bristande detaljkunskaper kompenserades med överförsiktiga antaganden.

Genom olyckan i kärnkraftverket Three Mile Island (TMI) i Harrisburg, USA 1979, där en betydande del av reaktorhärden smälte ner, fick man för första gången ett härdsmälteförlopp demonstrerat i full skala. Inneslutningen fungerade som avsett, och stråldoserna i omgivningen blev helt betydelselösa från hälsosynpunkt. Inga utrymningar eller livsmedelsrestriktioner blev nödvändiga. Haveriet visade bl a följande:

- Ett långt gångt härdsmälteförlopp kan avbrytas och smältan kylas genom tillförsel av vatten (någon ångexplosion inträffade inte).
- Några av de radiologiskt mest besvärliga ämnena, jod och cesium, kan effektivt bindas i vattnet i inneslutningen. De förekom knappast i luftburen form och fanns därför inte tillgängliga för utsläpp.

TMI-olyckan gav anledning till ett stort internationellt forskningsprogram kring svåra haveriförlopp i lättvattenreaktorer. Bl a ville man utröna hur allmängiltiga TMI-resultaten var.

Forskningen har bekräftat att risken för stora ångexplosioner är betydligt mindre än man antog på 1970-talet. Den har också framhåvt vattnets betydelse för att stabilisera en härdsmälta och binda luftburna radioaktiva ämnen.

Den nya kunskapen har lett till effektiva säkerhetsfilter

Så länge möjligheten av stora ångexplosioner dominerade riskbilden skulle ytterligare förbättringar av inneslutningen ha varit ett slag i luften. I och med att denna risk visade sig vara försumbar kunde man inrikta sig på närmast lägre risknivå. Den utgörs av successiv, likformig tryckkuppbyggnad under haveriets gång till dess att inneslutningen brister. Orsaken kan vara otillräcklig kylning. Tryckkuppbyggnaden kan avbrytas genom kontrollerade utsläpp via en säkerhetsventil. Om denna ansluts till ett filter, kan utsläppet renas effektivt från de flesta radioaktiva ämnen.

1981 beslöt Sverige som första land att utrusta inneslutningarna med system för filtrerad tryckavlastning. Beslutet skulle först förverkligas i Barsebäck, vars läge nära Malmö och Köpenhamn vållat debatt. "Säkerhetsventilen" är ett sprängbleck som öppnar automatiskt innan inneslutningens brotttryck uppnås. Det är också möjligt för operatörerna att via en ventil reglera tryckavlastningen. Filtret i Barsebäck är en stenbädd på 10 000 m³. Konstruktionen bygger på beräkningar och omfattande praktiska prov.

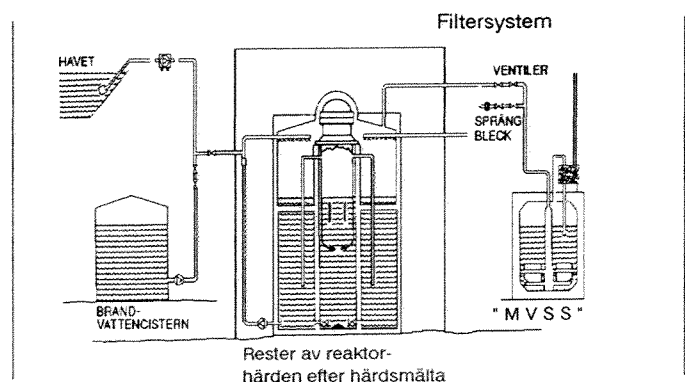
Banbrytande svenska lösningar

Barsebäcks säkerhetsfilter blev driftklart 1985. I januari 1986 formulerade regeringen kraven på utsläppsbegränsande åtgärder för de övriga 10 kärnkraftaggregaten. Utgångspunkten var att en härdsmälta inte skall leda till omfattande radioaktiv markbeläggning som kräver evakuering. Inte heller skall den kunna vålla direkta dödsfall i omgivningen på grund av strålning.

Dessa krav tillgodoses av de specifikationer som gällt för Barsebäck: Utsläppen skall begränsas till högst 0.1 % av härdens innehåll av samtliga radioaktiva ämnen, med undantag av de sk ädelgaserna. Som jämförelse kan nämnas att man uppskattar utsläppen av jod och cesium vid tjernobyolyckan till 20 resp 15 % av härdinnehållet.

Ädelgaserna deltar inte i kemiska reaktioner, och fastnar därför heller inte i filter. Av samma orsak fastnar de inte heller på marken eller tas upp av levande organismer. Filtren fördröjer emellertid ädelgaserna så att deras radioaktivitet hinner avta före utsläppet. Ädelgaserna ger inga stora stråldoser till allmänheten. De späds snabbt ut i lufthavet, där de på kort tid förlorar sin radioaktivitet.

Enligt regeringsdirektivet skulle de utsläppsbegränsande åtgärderna vara genomförda till 1989. Den extra tid som stått till förfogande har gjort det möjligt att finna nya lösningar för Ringhals, Forsmark och Oskarshamn. Även här är filtrerad tryckavlastning en viktig del av systemet men den har kombinerats med bättre tillförsel av vatten.



Filtret består av en stor vattencistern, i vilken utsläppsgaserna finfördelas med hjälp av speciella munstycken (venturirör). De radioaktiva ämnena tvättas då ut och stannar i vattnet. Liksom Barsebäcksfiltret är detta filter helt passivt. Det har fått beteckningen MVSS (*Multi Venturi Scrubber System*).

Den eleganta tekniska lösning som MVSS innebär kan förmodas bredda det utländska intresset. Systemets upphovsmän, Lennart Gustavsson och Leif Lindau, har av Civilingenjörsförbundet tilldelats 1988 års Polhemspris med bl a motiveringen att de har ökat den globala reaktorsäkerheten.

Det svenska beslutet att införa filtrerad tryckavlastning har redan fått internationell efterföljd, hittills i Frankrike och Västtyskland.

Försäkringspremier sänks

Svenska Atomförsäkringspoolen har bedömt att detta nya filter ytterligare ökar kärnkraftsäkerheten. Som en konsekvens därav sänks premierna när det gäller ansvarsförsäkringarna. Bedömningen delas av den internationella försäkringsbranschen som deltar i de svenska ansvarsförsäkringarna.

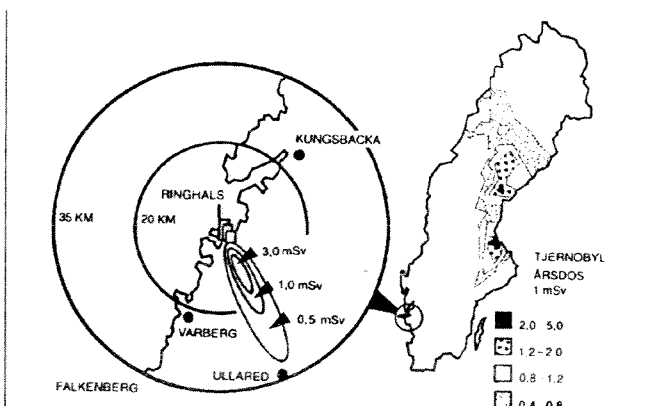
Inneslutningen flödas med vatten

Olyckan vid TMI hade demonstrerat att stora vattennängder kan begränsa ett haveri, dels genom att kyla bränslet och få smältan att stelna, dels genom att binda de radioaktiva ämnena och på så sätt hålla dem kvar i inneslutningen. Vattnets "tvätteffekt", som ju också utnyttjas i MVSS, visade sig fö när de radioaktiva molnen från Tjernobyl drog in över Sverige. I de delar av landet, där det råkade regna, tvättades de radioaktiva ämnena ut ur luften och gav en markbeläggning.

Man har i Oskarshamn, Ringhals och Forsmark tagit fasta på detta och kombinerat filtersystemet med ett förstärkt system för vattentillförsel. Det ingår numera i planeringen för ett svårt härdhaveri att kunna flöda en stor del av inneslutningsvolymen, så att reaktorhärden kommer att stå under vatten, oberoende av om reaktorkylkretsen är intakt.

Denna radikala lösning förutsätter (för kokarna) ett tryckavlastningssystem, eftersom gasvolymen i inneslutningen pressas ihop av vattnet och ökar trycket. De stora vattennängder som behövs för flödnings tillförsel via inneslutningsstrilar från externa brandvattencisterner eller från havet. Tillförseln sker med ett av två skilda dieseldrivna pumpsystem, som är oberoende av elnätet. I värsta fall kan vanliga motorsprutor anslutas.

Vad kan då konsekvenserna bli av en fullständig härdsmälta i ett svenskt kärnkraftverk?



Figuren visar det första årets stråldoser på grund av radioaktivt nedfall på olika avstånd från verket - i detta fall Ringhals - beräknade utifrån konstruktionsvillkoren för säkerhetsfiltren. Beräkningarna har gjorts för ett "normalt" väderläge, dvs måttlig vind och ingen nederbörd. Olika vädervarianter kan ge högre doser över mindre områden, eller vice versa. Det har förutsatts att människorna uppmanats stanna inomhus i samband med tryckavlastningen, men någon evakuering antas inte ha ägt rum. Människorna förutsatts ha levt ett helt normalt liv under året.

Utöver de doser från markbeläggningen som bilden visar, får människorna ett dosbidrag när det radioaktiva molnet passerar. Detta bidrag som främst härrör från inandning av luftburen jod, har beräknats bli totalt högst 10 millisievert.

Den högsta förstaårsdosen från markbeläggning, ca 3 millisievert, är ungefär densamma som i de mest belagda områdena i Sverige efter Tjernobyl, dvs trakterna kring Sundsvall och Gävle. I det hypotetiska ringhalsfallet är emellertid det mest utsatta området bara några kvadratkilometer.

Det måste än en gång påpekas att en härdsmälta - i och för sig en synnerligen osannolik händelse - troligtvis skulle ge mycket mindre utsläpp än de 0.1 % av härdinnehållet som antagits ovan. Vid Harrisburg-olyckan, som var en långt gången härdsmälta, kom bara två tiomiljondelar (0.00002 %) av joden ut i omgivningen.

Återstår några risker?

Ibland ställs frågan om man kan "garantera" att inga stora okontrollerade utsläpp kan ske från svenska kärnkraftverk. Problemet är att ordet "garantera" inte finns i den vetenskapliga vokabulären. Vetenskapligt kan man bara utställa garantier mot fenomen som strider mot naturlagarna. Om så inte är fallet talar man istället om låga sannolikheter.

Överallt i samhället finns "restrisker", dvs risker för olyckor som visserligen är fysikaliskt möjliga, men som bedöms som så osannolika att motåtgärder inte behöver vidtas eller planeras. Det var med tanke på sådana restrisker som regeringen angav i direktiven för konsekvenslindrande åtgärder att förlopp med "extremt låg sannolikhet" inte behövde beaktas.

Ett exempel på restrisker i vårt samhälle är svåra jordbävningar som kan ödelägga storstäder eller radera de stora vattenkraftdammarna. Någon sådan jordbävning har aldrig registrerats i Sverige, och vi planerar inte för den. Icke desto mindre är den inte fysikaliskt omöjlig, och skulle, om den inträffade, också kunna ge stora utsläpp från ett kärnkraftverk. (Det kan här påpekas att kärnkraftverken, till skillnad mot annan bebyggelse, i viktiga delar är säkrade mot stora jordbävningar. Utredningar pågår för att ännu bättre kartlägga denna risk.)

En annan restrisk för kärnkraftverken är ett spontant och katastrofalt brott på reaktortanken - utan förvarning och vid hög temperatur. (Vid hög temperatur är tankmaterialet segt och därför inte brottbenäget. Vid låg temperatur skulle ett tankbrott inte på samma sätt hota inneslutningen.)

Med de krav på material och kemisk miljö som reaktortryckkärnen uppfyller, och med den regelbundna framförhållande provning de utsätts för, kan man utifrån den betydande

tryckkärlserfarenhet som finns, och på teoretiska grunder utesluta ett sådant förlopp från realistiska olycksscenarier.

En tredje kategori av restrisker omfattar stora yttre påfrestningar, t ex påflygning av ett stort trafikflygplan eller ett militärt plan med vapenlast. Inga flygleder tillåts över kärnkraftverken. Inneslutningarna klarar störtning av mindre plan, liksom även de sabotagescenarier (t ex beskjutning från privata båtar) som förekommit i kärnkraftdebatten.

Säkerhetsfiltret är anpassat till varje kärnkraftverk

Särskilt informationsmaterial om hur säkerhetsfiltret har utformats för de olika anläggningarna är tillgängligt vid besöksavdelningarna vid kärnkraftverken i Barsebäck, Forsmark, Oskarshamn och Ringhals.

Evelyn Sokolowski svarar för denna sammanställning, telefon 0155 607 00.

Analysgruppen

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

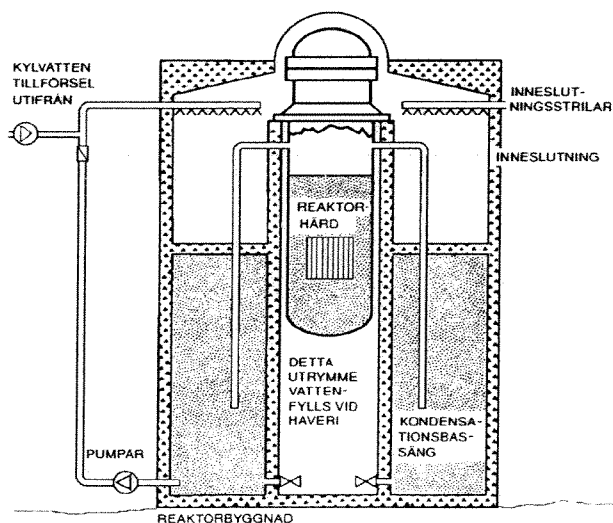
K S U FAKTA

Kokarreaktorer

Sverige har två typer av kärnkraftreaktorer, kokar- och tryckvattenreaktorer. Kokaranläggningarna har bara en enda stor komponent som behöver rymmas i inneslutningen, nämligen reaktortanken. Inneslutningen kan därför göras relativt liten. Vid ett eventuellt brott på reaktorkylkretsen förångas det utrusande högtrycksvattnet. Ångan skulle ge ett högre tryck i inneslutningen än den är konstruerad för. Den är därför utrustad med ett tryckdämpningssystem. Detta består av en stor vattenbassäng i inneslutningens botten (kondensationsbassängen).

Den eventuellt frigjorda ångan pressas genom ett antal rör ner i vattnet, där den kondenserar. Den stora vattenvolymen utgör en effektiv värmesänka, som bidrar till kylningen vid ett hårdhaveri. Upp till i inneslutningen finns ett antal strilar, som tar vatten från kondensationsbassängen eller från utanföriggande reservoarer och som även bidrar till att kondensera ångan.

Inneslutning för kokvattenreaktorer



Tryckvattenreaktorer

Här rymmer inneslutningen, förutom reaktortanken, också de stora ånggeneratorerna och andra skrymmande komponenter. Den är därför betydligt större än i kokaranläggningarna, och den eventuellt frigjorda ångan förmår inte höja trycket över konstruktionsvärdet för inneslutningen. Något tryckdämpningssystem behövs alltså inte. Däremot är också tryckvatteninneslutningarna utrustade med kylvattenstrilar. Under reaktorn finns en grop som samlar upp vattnet. Vid en eventuell genomsmältning av reaktortanken kommer också i detta fall smältan att hamna i vatten.

