

Säkerhetsvakter vid kraftverksgrinden under olyckan. De stora kyltornen som utifrån dominerar anläggningen har till uppgift att kondensera ångan från turbinerna och ingår inte i själva reaktorkretsen.

Tio år efter Harrisburg

Den 28 mars 1989 har det gått tio år sedan en allvarlig olycka inträffade i det amerikanska kärnkraftverket Three Mile Island (TMI) i Harrisburg. Händelsen innebar en brytpunkt i kärnkraftens historia. Det finns idag anledning att sammanfatta vad som hände, vad som inte hände, och vilka följderna blev.

Olyckan föranledde utredningar och omprövningar av säkerheten, inte bara i USA utan i alla västliga kärnkraftländer. Särskilda regeringskommissioner bildades. I Sverige tillsattes Reaktorsäkerhetsutredningen.

De stora frågorna var:

- Hur hade olyckan gått till?
- Vad betydde den för anläggningen och omgivningen?

- Hade riskerna underskattats?
- Hur kan svåra olyckor förhindras?
- Vad kunde man lära om svåra olycksförlopp?

Olyckan kom att inverka starkt på den allmänna opinionen och präglade många länders energipolitik. I Sverige blev händelsen den direkta anledningen till folkomröstningen 1980 och till riksdagsbeslutet om kärnkraftavveckling.

TMI-olyckan har i debatten ofta framställts som en katastrof jämförbar med Tjernobyl.

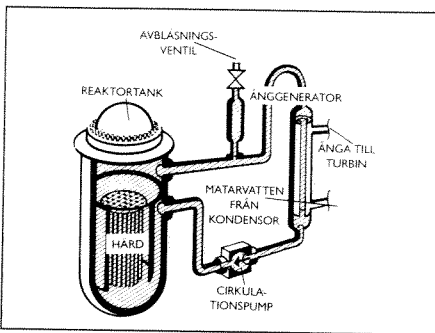
Många torde än idag inte ha klart för sig att ingen människa skadades vid olyckan och att stråldoserna utanför kraftverket blev mycket små.

Inte heller är det allmänt känt att olyckan ledde till en världsomfattande översyn och förbättring av säkerheten.

Olycksförloppet

TMI-2 var en tryckvattenreaktor på 880 MWe, av samma allmänna typ som Ringhals 2-4 men av annat fabrikat. I tryckvattenreaktorer avger reaktorns kylvatten sitt värme i ånggeneratorerna. Dessa kyls med matarvatten från turbin-kondensorn.

Den händelse som utlöste haveriet var att matarvattenpumpen till en av ånggeneratorerna slog ifrån på grund av ett trivialt fel i en reningskrets. Matarvattenbortfall utlöser automatiskt "snabbstopp", dvs kedjereaktionen i reaktorn avbryts.



Eftersom strålningen i bränslet fortsätter att alstra värme också efter snabbstopp, kvarstår dock behovet att kyla reaktorn. När det normala matarvattenflödet avbrutits skulle två hjälpmatarvattensystem automatiskt ha kopplats in. Detta skedde inte.

Många succesiva fel

Anledningen visade sig vara två ventiler som förblivit stängda efter underhållsarbete (*mänskligt felhandlande*). Följden blev att den ena ånggeneratorn torrlades i brist på matarvatten. Reaktorn fick otillräcklig kylning.

Reaktortrycket började nu stiga. En tryckavlastningsventil öppnade automatiskt i reaktorkylkretsen och blåste av ånga. När trycket återgått till normalt värde, fick ventilen signal att åter stänga, men den fastnade i öppet läge (*komponentfel*), och utgjorde nu en läcka genom vilken reaktorns kylvatten hela tiden gick förlorat.

Operatörerna upptäckte inte läckan. Detta berodde dels på *bristfällig instrumentering*, men också på dåligt underhåll: den aktuella ventilen hade en längre tid småläckt, så att operatörerna nu inte reagerade på den höga temperaturen nedströms ventilen (*mänskligt felhandlande*).

När kylvattenvolymen och trycket minskade i reaktorn, kopplades nödkylningen automatiskt in. Vid det laget hade reaktorvattnet börjat koka, vilket påverkade vattennivåerna i olika delar av systemet.

Operatörerna misstolkade nivåvärdena och trodde att systemet höll på att överfyllas (*brister i utbildning och instrumentering*). Man stängde därför av nödkylningen, i strid med gällande instruktioner (*mänskligt felhandlande*). Reaktorrhärden började torrläggas och överhettas.

Inte förrän drygt 2 timmar efter snabbstoppet upptäckte man den fastnade ventilen och stoppade läckaget genom att stänga en blockeringsventil. Det uppstod dock stora svårigheter med att återställa kylningen.

Reaktorrhärden var svårt skadad och kylkanalerna raserade. Kemiska reaktioner mellan vattenånga och det överhettade bränslet hade bildat vätgas, som blockerade kylvattencirkulationen.

50-procentig härdsma

Först efter ca 16 timmar var reaktorn säkert under kontroll. Man visste nu att härden blivit starkt överhettad och svårt skadad, men inte om det gått så långt som till härdsma.

Inte förrän i slutet av 1988, när det mesta av bränslet röjts undan, hade man facit i handen: drygt 50 procent av härden hade smält.

Genom att kylvattenläckan upptäcktes så sent, hann stora mängder radioaktivt förorenat vatten och gas komma ut i reaktorinneslutningen. Uppsamlings-tanken överfylldes, och en del av vattnet hann pumpas ut i en hjälpsystembyggnad innan inneslutningen stängdes (*bristfällig logik i automatiken för inneslutningens stängning*).

Stora gasmängder som följde med vattnet överbelastade ventilationsfiltren i hjälpsystembyggnaden. Detta gav det största radioaktiva utsläppet i samband med olyckan.

Personaldoser

Stråldosen till personalen hölls i stort sett inom föreskrivna gränser. För radiologiskt yrkesverksamma i USA gäller gränsvärdet 30 mSv/kvartal och 50 mSv/år. Kvartalsgränsen överskreds av tre personer (39, 41 resp 42 mSv.)

Omgivningen

Redan vid olyckan konstaterades en motsägelse mellan den stora mängden frigjord radioaktivitet inne i anläggningen och de mycket små mängder som följde med gasutsläppen ut i omgivningen. Anläggningen och dess vattenvolym hade i själva verket fungerat som ett effektivt filter.

Det radioaktiva utsläppet dominerades helt av ädelgaser. Dessa ger ingen markbeläggning och tas inte upp i levande organismer, utan späds ut i luften, där de dessutom relativt snabbt förlorar sin radioaktivitet.

Den högsta stråldos, som någon person hade kunnat erhålla vid ständig utomhusvistelse i kraftverkets omedelbara närhet, var mindre än 1 millisievert.

Detta är ungefär fem gånger mindre än vad de mest utsatta människorna i Sverige fick efter Tjernobyl. Det motsvarar ett års naturlig stråldos eller en enklare röntgenundersökning.

De ämnen som kan väntas ge markbeläggning, främst jod och cesium, släpptes ut i ytterst små mängder. Jod-utsläppet var t ex ca en miljondel av det som släpptes ut i Tjernobyl.

Den sammanlagda stråldosen till de ca 2 miljoner människor, som bodde inom 80 km (50 miles) från kraftverket, har beräknats till 33 man-sievert. Med den vedertagna riskfaktorn skulle denna "kollektivdos" ge mindre än ett extra cancerdödsfall under de närmaste 70 åren.

Med tanke på att bortåt 400 000 av de berörda människorna "normalt" väntas dö i cancer kommer några skadeverkningar från olyckan aldrig att kunna påvisas.

Ingen ökad cancerfrekvens

Inte desto mindre bedriver delstaten Pennsylvanias hälsovårdsmyndighet en medicinsk uppföljning av befolkningen.

Ett skäl är att det efter olyckan spreds uppgifter om ökad cancerfrekvens och spädbarnsdödlighet. Myndigheterna har kunnat vederlägga dessa rykten och i vissa fall påvisa att upphovsmännen avsiktligt manipulerat det statistiska materialet.

Även om inga direkta fysiska skador på befolkningen förekommit, har man

konstaterat utbredda psykiska besvär, som också tagit sig fysiska uttryck, t ex överkonsumtion av lugnande medel.

Kraftföretaget träffade en frivillig överenskommelse om skadestånd med ca 300 närboende personer. De största beloppen, på vardera ca 1 miljon dollar, beviljades två barn med medfödda skador (Downs syndrom och cerebral pares).

Det betonades emellertid i uppgörelsen att något samband mellan olyckan och skadan inte var fastställt.

Anläggningen

De radioaktiva ämnen som frigjorts från bränslet fanns efter olyckan huvudsakligen i de stora vattenmassorna i reaktorrinneslutningen och hjälpsystembyggnaden.

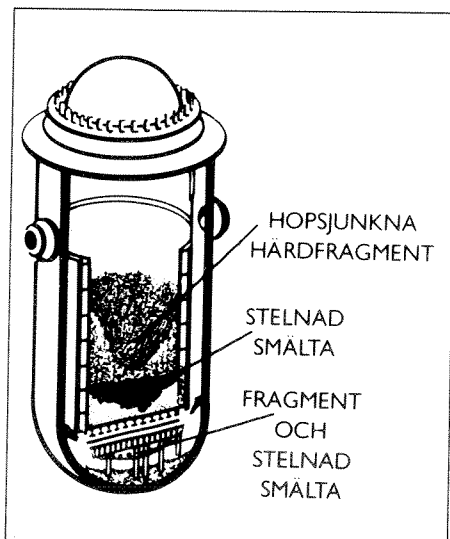
Det radioaktiva vattnet utgjorde en potentiell omgivningsrisk och hindrade också röjningsarbetet. Den första uppgiften blev därför att rena inalles ca 5 000 m³ vatten. Någon färdig teknik fanns inte för detta.

Ett omfattande utvecklingsarbete tog vid och blev mycket framgångsrikt. Det reade vattnet klarade gränsvärdena för tillåtna utsläpp, men har lagrats av opinionsmässiga skäl. Vattenreningen var avslutad i maj 1982.

De radioaktiva ämnena fanns då koncentrerade i reningssystemens filtermassor, som kapslades in och skickades till federala avfallsförvar.

Saneringen avslutas 1989

Inneslutningen kunde åter beträdas hösten 1980, då arbetet med att rengöra de fasta installationerna inleddes.



Samtidigt började man med hjälp av olika sonder skaffa sig en uppfattning om reaktorhårdens tillstånd.

Slutsteget i återställningsarbetet är att tömma reaktorn på allt bränsle. Detta har varit tekniskt besvärligt, då det smälta bränslet bildat en hård krusa, och fragment lagt sig på svåråtkomliga ställen.

Arbetet väntas vara slutfört våren 1989. Bränslefragmenten kapslas in och hanteras som högaktivt avfall.

Efter det att bränslet forslats bort, kommer det havererade kärnkraftverket TMI-2 att "läggas i malpåse" med löpande övervakning (Post-Defuelling Monitored Storage). Den slutliga rivningen planeras ske när systeraggregatet TMI-1 tjänat ut kring år 2015.

Kostnaden för uppröjningsarbetet har i stort sett hållit sig inom den fastställda ramen på 1 miljard dollar. Arbetet har skett med stor öppenhet och med internationellt deltagande. *Antydningar i massmedia nyligen om försök att hemlighålla olyckans omfattning saknar grund.*

Hade riskerna underskattats?

Den bästa kvantitativa riskanalys som gjorts före TMI-olyckan var den s k *Rasmussenstudien* 1974. Den gällde två specifika amerikanska lättvattenreaktorer (som båda på väsentliga punkter skilde sig från TMI-reaktorn).

Enligt Rasmussen dominerades risken för härdsmälta av föga dramatiska utlösande händelser, följda av ett stort antal olika fel. TMI-olyckan blev en bekräftelse på detta - i själva verket hade TMI-förloppet i sina huvuddrag beskrivits av Rasmussen som en möjlighet.

Sannolikheten för härdsmälta hade av Rasmussen angivits till omkring en gång på 20 000 driftår. Beräkningarna var behäftade med stor osäkerhet: den övre gränsen uppskattades till en gång på 3 000 driftår. Rasmussenstudien var väl känd och ingick t ex i beslutsunderlaget för den statliga svenska Energikommissionen av år 1976.

TMI-olyckan, som hittills, med en samlad erfarenhet av mer än 4 000 driftår, är den enda härdsmälteolyckan i en lättvattenreaktor, motsäger inte de tidiga riskbedömningarna.

Samtidigt blev det, för att citera den svenska Reaktorsäkerhetsutredningen,

"uppenbart att man såväl hos kraftföretag och reaktortillverkare som hos tillsynsmyndigheterna levte med uppfattningen att säkerhetsarbetet bedrivits mer tillfredsställande än vad haveriet vid TMI-2 uppenbarade".

Ambitionen i de flesta länder är numera att risken för härdsmälta skall vara så låg som en gång på 100 000 driftår. Vid många kärnkraftverk, däribland de svenska, är detta redan förverkligat. Dessutom har de västliga kärnkraftverkens inneslutningar kommit till för att en eventuell härdsmälta inte skall bli en omgivningskatastrof. (Se även KSU-Bakgrund nr 6, 1988.)

Hur kunde säkerheten förbättras?

Utöver de lärdomar om en mängd tekniska detaljer som TMI-olyckan gav, och som var mer eller mindre anläggningsspecifika, växte några generella insikter fram. En av de viktigaste var att den samlade internationella erfarenheten måste tillvaratas.

Erfarenhetsåterföring

Eftersom ett haveri är en flerstegsprocess, kommer de inledande stegen, dvs "tillbudet", att inträffa betydligt oftare än ett fullbordat haveri. Genom att lära av tillbudet och vidta åtgärder för att förhindra dem kan man minska haveririsken. Men också tillbudet är ovanliga, varför den samlade internationella erfarenheten måste utnyttjas.

Utredningarna efter TMI-olyckan visade i själva verket att det inledande händelseförloppet inträffat tidigare vid två andra kärnkraftverk, men då fångats upp av säkerhetssystemen och operatörerna. Om dessa händelser, och analysen av dem, hade noterats inom TMI's driftledning, hade olyckan förhindrats.

Den amerikanska kraftindustrin tog redan 1980 initiativ till ett internationellt system för erfarenhetsutbyte. Information om inträffade tillbud läggs i en datorbank, som via satellit är tillgänglig för de anslutna kraftföretagen.

För närvarande deltar 13 länder i detta utbyte. I Sverige bildade kärn-

kraftföretagen 1980 Rådet för Kärnkraftsäkerhet (RKS) vars huvuduppgift var att delta i det internationella erfarenhetsutbytet och förmedla informationen till de svenska kraftverken. (RKS har numera gått upp i KSU.)

WANO

Efter Tjernobyl har också de länder som tidigare stått utanför samarbetet kunnat förmås att ansluta sig till ett internationellt system för erfarenhetsåterföring, WANO (World Association of Nuclear Operators). En kommande "Bakgrund" skall ägnas åt detta.

Också FNs internationella atomeNERGIorgan IAEA sammanställer information om inträffade tillbud, som görs tillgänglig för medlemsländernas myndigheter.

Samverkan människa-maskin

Mänskligt felhandlande spelade en central roll i förloppet av TMI-olyckan. Detta problem kan angripas på två sätt: människorna kan göras bättre rustade för sitt arbete, och de tekniska systemen kan göras mera "förlåtande".

Förbättring av utbildningen har varit en allmän åtgärd efter TMI-olyckan. Mycket utvecklingsarbete har också lagts ned på att underlätta diagnostiken av fel.

I TMI blev t ex de många larmsignalerna till kontrollrummet helt oöverskådliga. Anläggningarnas tillstånd presenteras nu på ett klarare sätt i de flesta kontrollrum.

Bättre skyddsnät

Känsligheten för mänskliga fel kan minskas genom att "skyddsnäten" i form av reservsystem och automatik byggs ut. Sverige låg redan före TMI långt framme i detta avseende, t ex genom fyrdubbling av säkerhetssystemen. För framtida kärnkraftverk håller de flesta reaktorleverantörer på att ta fram konstruktioner, där säkerheten grundas på helt passiva system.

Vad har man lärt om svåra haverier?

Utifrån det faktum att en härdsmlta faktiskt hade inträffat, var det mest anmärkningsvärda med TMI-olyckan att följderna blev så begränsade. Reaktortankens botten höll stånd mot smäl-

tan, som man så småningom lyckades kyla ner. Inga ångexplosioner inträffade, som kunde ha skadat reaktortanken. Inneslutningen stod emot haveriets påfrestningar.

Och, framför allt, anläggningen med sina stora vattenmassor utgjorde ett effektivt filter mot radioaktiva utsläpp.

Var detta lyckliga tillfälligheter, eller hade följderna av en svår olycka i en lättvattenreaktor varit överdrivna? För att belysa detta påbörjades 1981 ett av de största internationellt samordnade forskningsprogrammen i teknikens historia.

Man studerade experimentellt och teoretiskt hur bränslet svarar på överhettning, hur en smälta växelverkar med de material den kommer i kontakt med, hur de frigjorda radioaktiva ämnena beter sig, och hur inneslutningen klarar överbelastningar.

Resultaten har i de flesta avseenden varit uppmuntrande.

Nya skyddsåtgärder

Den nya kunskapen har gjort det möjligt att utesluta vissa teoretiska olycksförlopp och att vidta effektiva åtgärder mot andra.

Man kan nu utgå ifrån att ett haveri i en lättvattenreaktor är en relativt långsam process, som ger en väl förberedd personal tid och möjligheter att ingripa.

Även om härden trots allt skulle smälta kan den med säkerhet fångas upp i lämpligt utformade vattenreservoarer.

Säkerhetsfilter

I Sverige har man garderat sig mot brott på inneslutningarna genom att förse dem med säkerhetsventiler, anslutna till filter.

Konstruktionsförutsättningen är att inte ens ett stort haveri skall kunna ge utsläpp som nödvändiggör utrymning av befolkningen kring kraftverket.

Flera länder, däribland Finland, Västtyskland, Frankrike och Sovjet, håller på att införa liknande system. (Se KSU-Bakgrund nr 9, 1988.)

Nya kärnkraftbeställningar i världen sedan Harrisburg

Under de tio åren efter TMI-olyckan har 132 nya kärnkraftblock beställts i världen. (Några få av dessa har sedan avbeställts.)

USA utgör ett undantag i att inga beställningar gjorts där sedan TMI. En orsak är att de amerikanska myndigheterna succesivt infört nya krav och förordningar efter olyckan, som gjort att kraftföretagen betraktar kärnkraftens ekonomi som svåröversäglig. De befintliga verken har tvingats till modifieringar till en kostnad av i genomsnitt 200 miljoner dollar.

Amerikanska reaktorleverantörer, kraftföretag och myndigheter samarbetar nu kring en ny generation av kärnkraftverk, med högt ställda säkerhetskrav förverkligade på ett enklare sätt, och med långtgående standardisering.

Tio år har gått sedan olyckan i TMI. Lärdomarna var många, och de har lett till stora förändringar inom kärnkrafttekniken. TMI-olyckan bör därför kunna förpassas till historien.

Kärnkraften i världen har byggts ut under dessa tio år, och en ny generation människor är på väg in i tekniken.

Det är viktigt att inte låsa sig vid historien, men lika viktigt att hålla den levande. □

Evelyn Sokolowski

Analysgruppen

Göran Apelqvist

Vattenfall

Ingemar Lindholm

Svensk Kärnbränslehantering AB

Agneta Rising

Vattenfall

Evelyn Sokolowski

KärnkraftSäkerhet & Utbildning AB

Lars Thuring

Sydskraft

Gunnar Walinder

Patologi/riskforskning Sv Lantbruksuniversitet

Carl-Erik Wikdahl

Energiforum AB

Anders Pechan

red sekreterare