

DEN HAVERERADE TMI-2-REAKTORN -VAD HÄNDE SEDAN?



**AV
EVELYN SOKOLOWSKI**

FÖREDRAG VID STATENS STRÅLSKYDDSSINSTITUTS SEMINARIUM
OM BEREDSKAPEN MOT KÄRNKRAFTOLYCKOR
28-29 MAJ 1984

INNEHÅLL

Olyckan	3
Läget efter olyckan.....	4
Åtgärder	5
Stråldoser till allmänheten	7
Stråldoser till uppröjningspersonalen	8
Hur ska man bedöma återställningsarbetet?	9
Källor	9

Anm. I texten används de äldre enheterna Ci (curie) och rem medan vi idag istället har SI-enheterna Bq (becquerel) och Sv (sievert).

1 Ci motsvarar 37 000 MBq ($3,7 \times 10^{10}$ Bq) och 1 rem motsvarar 10 mSv.

Olyckan

Den 28 mars 1979 inträffade den hittills allvarligaste olyckan i ett kärnkraftverk. Genom en serie olyckliga omständigheter - felställda och felfungerande ventiler, bristfällig instrumentering och feltolkningar från operatörernas sida - blev reaktorn utan tillräcklig kylning under så lång tid att bränslekapsling och styrtavar förstördes och en stor del av härden rasade samman. Härvid frigjordes stora mängder gasformiga och lättflyktiga klyvningsprodukter, främst ädelgaser, jod, cesium och strontium. Dessa spreds ut från reaktorkylkretsen genom den upphängda avblåsningssventilen till avblåsningstanken i botten på reaktorinneslutningen. När sprängblecket på avblåsningstanken rämnade, hamnade det högaktiva vattnet i inneslutningssumpen och de gasformiga ämnena i inneslutningsatmosfären. En del av sumpvattnet pumpades till en början över till uppsamlingstankar i hjälpsystembyggnaden.

Ännu en läckageväg från reaktorn uppstod när man öppnade avtappningsledningen för att avhjälpa den förmodade överfyllningen av reaktorkylsystemet. Avtappningsvattnet leds normalt till ett reningssystem i hjälpsystem varifrån det kan matas tillbaka till reaktorn genom högtrycksinsprutningssystemet. Reningssystemet är i sin tur anslutet till ett avgassystem, som komprimerar de från vattnet frigjorda gaserna och via fördröjningstankar på ett kontrollerat sätt släpper ut dem till anläggningens skorsten. Den stora gasmängd, som vid olyckan följde med reaktorvattnet, gjorde att avgassystemet överbelastades och luftades av genom säkerhetsventilen. Detta var det största aktivitetsutsläppet till omgivningen i samband med olyckan.

Vatten- och gastankarna i hjälpsystembyggnaden är inbyggda i betongceller, så att den allmänna strålningsnivån i byggnaden normalt är låg. De brister i underhållet som tycks ha utmärkt TMI-anläggningen vållade problem också här. Golvet i hjälpsystembyggnaden var från början översvämmat med (inaktivt) flodvatten från några läckande kylvattenpumpar. Också i avtappningsledningen från reaktorn fanns vid olyckstillfället fläns- och ventilläckor, som gjorde att starkt radioaktivt reaktorvatten nu rann ut och blandades med det redan befintliga, inaktiva vattnet på golvet och höjde den allmänna strålningsnivån i hjälpsystembyggnaden till cirka 100 rem/timme. (Detta skall jämföras med högsta tillåtna dos vid yrkesexponering på 5 rem/år!).

Läget efter olyckan

När väl reaktorhärddkylningen hade återupprättats och risken för omedelbara, större aktivitetsutsläpp hade avväjts, var situationen denna:

Reaktorhärden: Man visste att härden var svårt skadad men kände inte till dess tillstånd i detalj. Förmågan hos en anhopning kärnbränsle att upprätthålla kedjereaktionen ("kriticitet") är beroende av hur stor del av neutronerna som åstadkommer kärnklyvning i förhållande till den del som går förlorad genom absorption och utläckage. Utläckaget bestäms av härdens geometri, och absorptionen av mängden absorberande material, t ex styrestavar.

För TMI-2 härden var geometrin nu ett frågetecken. Styrestavarna hade skjutits in i härden när reaktorn snabbstoppades i samband med olyckan, men då styrestavsmaterialet har relativt låg smältpunkt, måste man utgå ifrån att de inte längre fanns kvar. Efter ingående analyser kom man fram till att en viss tillsats av borsyra till reaktorvattnet borde förhindra ny kriticitet för alla tänkbara geometrier. Emellertid måste man noga gardera sig mot oavsiktlig utspädning av reaktorvattnet. En annan långsiktig risk var att det kunde uppstå nya okontrollerbara läckor i reaktorkretsen. Det stod därför klart från början att det primära målet för återställningsarbetet måste vara att så snart som möjligt avlägsna den skadade härden från anläggningen.

Reaktorinneslutningen: Högaktivt reaktorvatten (innehållande mer än 100 $\mu\text{Ci/ml}$ av cesium-137 och jod-131) och gasformig aktivitet i atmosfären hade gjort det omöjligt att beträda inneslutningen. Vattennivån fortsatte att stiga långsamt på grund av läckage från reaktorsystemet och nådde till slut 2,4 m. Detta motsvarade en vattenmängd av 2500 m^3 . Vid det laget hade vattnet dränkt ett antal pumpar, ventiler och manöverorgan i inneslutningen, andra var i fara. Detta kom att begränsa möjligheterna för fortsatta underhållsåtgärder. Man var också rädd för att vattnet i det långa loppet skulle skada bottenplattan i inneslutningen och åstadkomma nya läckagevägar till omgivningen.

Hjälpssystembyggnaden: I hjälpssystembyggnadens uppsamlingstankar fanns nu cirka 1500 m^3 medelaktivt (1-100 $\mu\text{Ci/ml}$) vatten. Den återstående lediga kapaciteten i tankarna var mycket begränsad - cirka 75 m^3 . Den allmänna strålningsnivån låg något över 1 rem/timme, dvs byggnaden kunde beträdas i mycket korta pass.

Byggnaden och inventarierna hade blivit svårt kontaminerade. Bl a hade aktivitet trängt in i de omålade betongväggarna. För att få ner strålningsnivån skulle det alltså inte räcka att avlägsna det aktiva vattnet.

Att återställa hjälpssystembyggnaden som arbetslokal var mycket angeläget, då kontrollen av avfallshanteringssystemet liksom bytet av ventilationsfilter m m sker från denna lokal. Den kom i fortsättningen att tjäna som bas för en stor del av återställningsarbetet.

Åtgärder

Bland de uppgifter som redan från början gavs högsta prioritet var sålunda att rena det medelaktiva vattnet i hjälpsystembyggnaden, att dekontaminera lokalen och att öka uppsamlingskapaciteten för både aktivt och renat vatten.

För att rena vattnet uppförde man i en intilliggande byggnad ett jonbytarsystem, EPICORE-II. När reningsarbetet var avslutat i oktober 1980 hade 2200 m³ vatten renats med gott resultat dekontamineringsfaktorn var för cesium 10 000 000 och för strontium 100 000.

Dekontamineringen av hjälpsystembyggnaden skedde genom att man rörde bort kontaminerade lösa föremål, och tvättade, skrubbade, dammsög, bröt upp och målade över ytor. 2 månader efter olyckan, i juni 1979, hade den allmänna strålningsnivån i byggnaden nedbringats till mellan 2 och 12 millirem/timme. Dekontamineringsarbetet har fortsatt under åren.

Det stod klart att också reaktorinneslutningen måste saneras, eftersom det högaktiva vattnet utgjorde en potentiell omgivningsrisk, och saneringen var en förutsättning för avlägsnandet av härden. För att kunna beträda inneslutningen, måste man minska luftaktiviteten, och begärde därför i november 1979 tillstånd av NRC att få göra kontrollerade gasutsläpp. De aktivitetsformer, som från början dominerat, hade nu klingat av, och aktiviteten härrörde i huvudsak från 44 000 Ci krypton-85 (halveringstid 9 år). Trots de mycket små doser till allmänheten som det planerade utsläppet förutsågs leda till, blev omgivningens reaktion häftig: tillstånd beviljades inte förrän sommaren 1980.

Alltsedan sommaren 1979 arbetade man på att utveckla ett system för att rena det högaktiva inneslutningsvattnet. Systemet utgörs av en flerstegskombination av mekaniska filter och oorganiska jonbytare, som tål mycket höga aktivitetskoncentrationer. Det arbetar under vattnet i en av bränslebassängerna och är därigenom väl avskärmat. Det betecknas som Submerged Demineralizer System (SDS). Reningen av inneslutningsvattnet började i september 1981 och var slutförd i maj 1982. 2500 m³ vatten hade då behandlats, med dekontamineringsfaktorn 10 000 för cesium och 200 för strontium. En efterbehandling av vattnet görs med EPICORE-II.

Efter det att inneslutningsluften renats från krypton-85, blev det möjligt att beträda inneslutningen. Det omedelbara syftet var att skaffa sig en uppfattning om skadorna och att kartlägga radioaktiviteten. Gasmask och dubbla lager skyddskläder erfordrades på grund av radioaktivt damm, vilket avsevärt försvårade arbetet.

På senhösten 1980 började man experimentera i liten skala med olika dekontamineringsmetoder för inneslutningen. Arbetet bedrevs inte särskilt intensivt, och inga stora framsteg gjordes. Först i mars 1982, efter cirka 15 månader, genomfördes ett storskaligt dekontamineringsförsök, som sträckte sig över tre veckor. Under denna tid beträddes inneslutningen 37 gånger. Man koncentrerade sig på de två övre planen i reaktorbyggnaden, och då främst golvytorna och viss utrustning, bl a den stora travers som skall användas vid locklyftet. Flera olika metoder prövades, såsom högtryckstvätt med inalles 45 m³ vatten, och målning med avdragbar färg. Tvättvattnet var borerat för att man skulle vara garaderad mot kriticitet i eventuella bränsleansamlingar. Resultatet av dekontamineringsförsöken blev en besvikelse. Det visade sig att den största strålkällan utgjordes av luftburet stoft som virvlade runt eller lade sig som damm på ytorna.

Dekontamineringen fortsatte från sensommaren 1982, bl a med att man spolade takytorna och letade efter källorna till den luftburna aktiviteten. Svårigheterna visade sig till en del bero på det borerade tvättvattnet; borkristaller med adsorberad radioaktivitet hade bildat luftburna aerosoler. En annan källa till luftburen aktivitet visade sig vara kylarna för inneslutningsluften, som nu isolerades och skärmades.

Man skärmade också av förbindelserna med inneslutningens bottenplan, där aktivitetsnivån fortfarande var mycket hög. Nu började man få märkbara resultat. Dosraten på traversen minskade från 120 till 80 millirem/timme. Allmännivån på de båda övre planen gick ner från 350 till 140 respektive 150 till 100 millirem/timme.

Bottenplanet i inneslutningen är fortfarande omöjligt att beträda på grund av den höga strålningsnivån, trots att man gjort vissa försök med fjärrstyrd dekontaminering. Särskilt "badkarsranden" efter reaktorvattnet är mycket radioaktiv. Lokala strålningsfält på 1000 rem/timme har registrerats.

Den milstolpe i återställningsarbetet, som man nu började inrikta sig på, var bortflyttningen av reaktorhärden. För att kunna förbereda detta moment måste man skaffa sig kännedom om härdens tillstånd - vilka komponenter och konstruktionsdetaljer som är intakta, och hur spillrorna kan hanteras. Också strålningsnivån kring härden måste bedömas.

Härden har successivt kartlagts på fyra sätt - genom mekanisk avkänning, genom visuell inspektion med TV-kameror, med ultraljud, och slutligen genom direkt provtagning. De mekaniska sonderingarna gjordes först med åtta perifert placerade styrstavar. Dessa, som normalt har till uppgift att forma den axiella effektfördelningen, ingår inte i snabbstoppsystemet, och var partiellt utdragna vid olyckan. Försök att nu från kontrollrummet köra in dem i härden gav skiftande resultat. Tre satt helt fast, medan de fem övriga gick att skjuta in helt eller delvis.

På sensommaren 1982 lyckades man göra visuella undersökningar genom att föra ner en TV-kamera genom olika styrstavsledrör. Bilderna fick stor uppmärksamhet i massmedia, men bekräftade i stort sett vad man förutsagt: det övre härdgallret är intakt. Den centrala delen av härden har sjunkit ihop till en "grushög", så att en fem fot djup grop bildats under gallret. Fortsatta undersökningar har visat att håligheten sträcker sig nästan ut till härdens periferi och motsvarar 26 % av härdvolymen. En 12 mm tjock stång fördes ner i mitten av grushögen för att pröva dess konsistens. Gruset gav efter för stången, som trängde in till ett djup av 35 cm och skulle ha kunnat föras ner ännu längre. Detta visade att gruset inte består av en sammansmält massa.

I september 1983 gjordes ultraljudundersökningar, som visade att bara enstaka perifera bränslepatroner är intakta. Hela 135 av de inalles 177 patronerna är tvärs av, medan resterande har kvar en större eller mindre del av sitt ursprungliga tvärsnitt.

På hösten 1983 togs också ut sex prover från olika djup och radiella lägen i grushögen. Detaljanalysen pågår, men man har redan konstaterat att beståndsdelarna varierar i storlek från några tiondels millimeter till centimeterstora bitar. Vissa konstruktionsdetaljer har smält, men det finns inga spår av smält urandioxid. Man anser sig ha fått bekräftelse på att bränslet rasade samman när de överhettade patronerna utsattes för en temperaturchock vid plötslig tillförsel av kylvatten.

De uppmätta stråldoserna ovanför härden blev högre än väntat, bl a på grund av stark cesiumkontaminering av de övre interna delarna. Man befارade ett tag att man skulle behöva flöda hela reaktorbasängen för att kunna lyfta tanklocket, vilket skulle ha komplicerat proceduren och gett upphov till ännu mera förorenat vatten. För när räknar man emellertid åter med "torrt lyft", som skall ske i augusti i år. En omständighet som fördröjt locklyftet är att den stora inneslutningstraversen blev illa åtgången vid olyckan, främst av våtgasbranden, som förstörde elektriska komponenter. Efter restaurering och provning har traversen nu godkänts för tunga lyft.

När locket tagits bort, kommer en 1,8 m hög stålcyllinder att anslutas till tanken och fyllas med vatten, som fungerar som strålskärm vid förberedelserna att lyfta ut de övre interna delarna. Om inga oförutsedda svårigheter uppstår, bör bränslebortförseln kunna börja 1985. Olika förfaringsätt måste utvecklas för att ta hand om de materialformer som finns i härden; löst grus kommer troligen att sugas upp och filtreras under vatten. Större, sammanhängande komponenter måste skäras sönder för att sedan överföras till kapslar av en bränslepatrons format. Också intakta och segmenterade bränslepatroner kommer att kapslas in. Kapslarna kommer sedan att avlägsnas som vid normalt bränslebyte.

När härden är avlägsnad och reaktorkretsen dekontaminerad, återstår upprensningen av inneslutningens nedre del. Det finns inget formellt beslut att aldrig på nytt ta TMI-2 i drift, och återställningsplanen har alltså som utgångspunkt fortsatt användning av stationen. Med denna förutsättning väntas röjningsarbetet vara avslutat 1989, till en total kostnad av 1 miljard dollar.

Stråldoser till allmänheten

De stråldoser som erhållits av människor utanför anläggningen i samband med olyckan och under uppröjningsarbetet har varit obetydliga. Detta var den kanske mest sensationella omständigheten vid haveriet, då de faktiska utsläppen av radiojod blev 100 000 gånger lägre än man antagit för ett haveri av denna omfattning. Ett stort forskningsprogram pågår världen över för att utröna i vad mån detta gynnsamma resultat kan generaliseras.

Den största omgivningsdosen vid TMI erhöles på grund av gasutsläppen under själva olyckan. Kollektivdosen till befolkningen inom 80,5 km (50 miles) från verket har uppskattats till 3300 manrem, vilket enligt det vedertagna, linjära dos-effekt-sambandet skulle kunna ge mindre än ett extra cancerfall. Med tanke på att befolkningen inom sagda avstånd är omkring två miljoner, av vilka uppemot 400 000 "normalt" kommer att dö i cancer, måste olyckans fysiska hälsoeffekter betecknas som obetydliga. Den högsta individdos, som någon hypotetisk person skulle kunnat erhålla vid ständig utomhusvistelse i verkets omedelbara närhet, är mindre än 100 millirem, dvs ungefär den stråldos som man i genomsnitt årligen får i medicinska sammanhang.

De påståenden som gjordes om ökad spädbarnsdödlighet mm till följd av olyckan bottnade i manipulerande av statistiskt material. Tyvärr har - som vanligt - dementierna från de ansvariga myndigheterna inte fått samma genomslag i massmedia som de ominösa påståendena.

Det kontrollerade ädelgasutsläpp som gjordes sommaren 1980 gav en helt försumbar kollektivdos till allmänheten, uppskattad till mindre än 1 manrem. Högsta tänkbara individdos vid detta tillfälle var 0,2 millirem.

Även om de direkta fysiska skadorna på befolkningen till följd av olyckan var försumbara, har man registrerat omfattande och ihållande psykiska besvär. Under själva olyckan förekom en del panikreaktioner. Nyligen gjorda beteendevetenskapliga undersökningar bekräftar att man vid en kärnkraftolycka måste räkna med större ohörsamhet mot officiella instruktioner och mindre mottaglighet för saklig information än i andra sammanhang. En viktig men försummad beredskapsåtgärd förefaller därför vara att bygga upp en psykologisk motståndskraft. En förutsättning är att man, innan en olycka händer, lyckas avliva myterna kring radioaktiv strålning och avdramatisera riskerna. Tyvärr kan man inte bortse ifrån att vissa av de konventionella beredskapsåtgärderna kan ha motsatt verkan.

Stråldoser till uppröjningspersonalen

Med hänsyn till den intensiva strålningen i såväl inneslutningen som hjälpsystembyggnaden omedelbart efter olyckan fanns anledning att befara höga personaldoser. Hittills har dessa farhågor inte besannats. Under de fyra år, som i mars 1983 hade gått sedan olyckan, blev den totala kollektivdosen 1500 manrem, dvs i medeltal mindre än 400 manrem/år. Det högsta värdet uppnåddes det första året med 488 manrem. Dessa siffror är lägre än för en genomsnittlig amerikansk tryckvattenreaktor i normal drift, för vilken den årliga kollektivdosen är 500-600 manrem.

Inte heller individdoserna har varit besvärande höga. För personal i radiologiskt arbete i USA gäller att helkroppsdosen inte får bli större än 3 rem/kvartal eller 5 rem/år. Kvartalsgränsen har överskridits av tre personer (3,9, 4,1 och 4,2 rem). Detta skedde under själva haveriet. Årsgränsen har aldrig överskridits.

Man har emellertid klart för sig att de mest dosintensiva arbetsmomenten återstår. Följande uppskattning har gjorts av de doser som kommer att erhållas i olika arbetsmoment:

Arbetsmoment	Manrem
Dekontaminering av inneslutningen	8 000
Annat	1 700
Demontage av bränslet	4 200
Avfallshantering	1 200
Åtgärder för anläggningens stabilitet och säkerhet	1 200
Radiologisk kontroll	4 800
Övriga stödåtgärder	100
Summa	21 200

Enligt denna dosbudget, som är behäftad med stor osäkerhet, skulle den årliga kollektivdosen under de cirka 5 år som återstår enligt uppröjningsplanen plötsligt öka till 4000 manrem/år. Man har börjat diskutera alternativa planer för att minska kollektivdosen. Ett alternativ innebär att man efter borttagningen av bränslet avbryter arbetet till dess att tillfredsställande robotteknik utvecklats. En uppenbar svårighet är att säkerställa finansieringen av arbeten som ligger 10-20 år framåt i tiden.

Hur ska man bedöma återställningsarbetet?

Till att börja med måste man konstatera att saneringsarbetet ännu fem år efter olyckan inte kommit in i sitt huvudskede. Denna omständighet framhölls nyligen av chefen för amerikanska tillsynsmyndigheten NRC, Nunzio Palladino, som ett viktigt hinder för att återskapa förtroendet hos allmänheten för kärnkrafttekniken.

I förhållande till den tidplan som upprättades 1981 är arbetet för närvarande två år försenat. Däremot har man hittills inte funnit anledning att frångå den tidiga kostnadsuppskattningen på cirka 1 miljard dollar. Uppenbarligen är kapital- och produktionsförlusterna de största posterna i den enorma ekonomiska börda som drabbat kraftföretaget. Icke desto mindre har finansieringssvårigheterna varit en hämsko i återställningsarbetet. Olika försök har gjorts att skapa en säkrare ekonomisk grund för projektet. Ett upprop har gått ut till den övriga amerikanska kraftindustrin att teckna sig för bidrag. Gensvaret har hittills varit svagt men kan möjligen öka efter det att skattemyndigheterna nu förklarar att bidragen är avdragsgilla. Man har också försökt internationalisera återställningsarbetet (och dess finansiering). Senast har Japan gått in som deltagare mot en avgift på 18 miljoner dollar.

Det är svårt att bilda sig en uppfattning om i vilken utsträckning de ekonomiska problemen bidragit till fördröjningen. Troligen hade saneringen av inneslutningen kunnat bedrivas mera intensivt. Regulatoriska och administrativa hinder, som delvis förefaller skäligen onödiga, tycks emellertid ha betytt mera. Sålunda fördröjdes beträdandet av inneslutningen genom omfattande krav på utredningar före det kontrollerade utsläppet av ädelgaser, som gav helt försumbara omgivningsdoser. Locklyftet har försenats genom anklagelser mot företaget att säkerhetsföreskrifter åsidosatts vid reparationen av den stora inneslutningstraversen. Anklagelserna har visat sig grundlösa.

Det dominerande intrycket är att man under de gångna åren upprepade gånger ställts inför formidabla tekniska problem, som måste lösas i en viss ordningsföljd och som tagit sin tid, men att resultatet i många avseenden, tekniskt och dosmässigt, är imponerande.

Källor

- 1 "Progress in the Recovery Operations at Threc Mile Island Unit 2" av G Kalman och R Weller. Nuclear Safety, jan-febr 1984.
- 2 Artikelserie "TMI-Plus Flve". Nuclear News, april 1984.
- 3 "TMI - en lägesrapport". OKG-meddelande av Per H Grahn 5 1984-03-29.
- 4 Pressmeddelanden från GPU Nuclear, Public Information Services, nov 1983 - mars 1984.
- 5 "TMI Unit 2, Technical Information & Examination Program Update", vol 4, nr 1, dec 1983 (Publicerat för Department of Energy av EG&G Idaho).