

DE KERNCENTRALE TSJERNOBYL VANAF HET ONGELUK IN 1986 TOT 1996

Opmerking vooraf.

Dit document is in 1996 gepubliceerd maar was tot nu toe niet online beschikbaar.

De tekst is grotendeels ongewijzigd, maar taalkundig gemoderniseerd. Daarnaast zijn voor beter begrip drie recente paragrafen toegevoegd.

Herman Damveld

1 mei 2020.

De kerncentrale Tsjernobyl vlak na de ramp van 26 april 1986

Bron: <https://www.rivm.nl/ongevallen-en-rampen/kernongevallen/30-jaar-tsjernobyl>

INHOUDSOPGAVE

HOOFDSTUK 1

OP WEG NAAR HET ONGELUK

Inleiding

1.1 Tsjernobyl was veilig...

1.2 ... of toch niet?

1.3 Beschrijving Tsjernobyl-kerncentrale

1.4 Zwakke plekken in kerncentrales

1.5 Tsjernobyl te snel in bedrijf

1.6 (On)betrouwbare informatie

HOOFDSTUK 2

VERLOOP VAN HET ONGEVAL EN EERSTE REACTIES

- 2.1 *De fatale gebeurtenis*
- 2.2 *Kort na de ramp: radioactieve branden*
- 2.3 *Wie was schuldig?*
- 2.4 *De lozing van radioactieve stoffen*

HOOFDSTUK 3 GEVOLGEN VOOR ECOLOGIE EN ECONOMIE

Inleiding

- 3.1 *Geheimhouding*
- 3.2 *De sarcofaag*
- 3.3 *Operatie “uitwissen radioactiviteit”*
- 3.4 *Massale schoonmaak*
- 3.5 *Schoonmaak mislukt*
- 3.6 *Besmetting grond- en oppervlaktewater*
- 3.7 *De besmette gebieden*
- 3.8 *Omvang besmette gebieden*
- 3.9 *Gevolgen voor landbouw, veeteelt en voedselvoorziening*
- 3.10 *De economische schade van de kernramp*
- 3.11 *Conclusies hoofdstuk 3*

HOOFDSTUK 4 GEVOLGEN VAN HET TSJERNOBYL-ONGELUK VOOR DE MENS

Inleiding

- 4.1 *Omvang evacuatie*
- 4.2 *Situatie geëvacueerden*
- 4.3 *Geen hoop op terugkeer*
- 4.4 *De toegestane dosis in niet-geëvacueerde gebieden*
- 4.5 *De gezondheid van liquidatoren*
- 4.6 *De gezondheid van bewoners van de besmette gebieden*
- 4.7 *Aantal doden onbekend*
- 4.8 *Conclusies hoofdstuk 4*

HOOFDSTUK 5 DE SARCOFAAG

Inleiding

- 5.1 *Waarom de sarcofaag gebouwd werd*
- 5.2 *Hoe de sarcofaag gebouwd werd*
- 5.3 *Instortingsgevaar dreigde*
- 5.4 *Mogelijke gevolgen van instorting sarcofaag*
- 5.5 *Van 1990 tot 2016: op naar een nieuwe, verbeterde sarcofaag*

HOOFDSTUK 1 OP WEG NAAR HET ONGELUK

Inleiding

In dit hoofdstuk behandelen we het ongeluk met de kerncentrale in Tsjernobyl. We beginnen met een korte beschouwing over de veiligheid van deze kerncentrale. Na 'Tsjernobyl' leek het immers of alle kerncentrales in de westerse wereld 'goed' en die in Midden- en Oost-Europa 'fout' waren.

Tussen 1986 en 1996 zijn verschillende boeken verschenen met zeer gedetailleerde beschrijvingen van het ongeval. Indien we alles zouden willen bespreken, komen we tot honderden pagina's. In dit hoofdstuk komen slechts enkele hoofdlijnen aan bod, want het verloop van het ongeval is niet ons hoofdthema.

1.1 Tsjernobyl was veilig...

Voor het ongeluk in Tsjernobyl was in de westerse wereld weinig bekend over dit type kerncentrales, de RBMK (Reactore Bolchoe Molchnastie Kipiachie, Hoogvermogen Kanaal Kokendwater Reactor). Een van de weinige publicaties uit de tijd voor het ongeluk was te vinden in het blad *Atomwirtschaft*, een uitgave van de Duitse kernindustrie. In december 1983 schreef ir. H. Born van de Duitse Verenigde Elektrizitätswerke (VEW) in Dortmund dat de betrouwbaarheid van het hele systeem zeer groot was. De kerncentrales waren met drie parallel- en daarom onafhankelijk van elkaar - werkende veiligheidssystemen uitgerust en bestand tegen orkanen, aardbevingen en neerstortende vliegtuigen. Born wees erop dat de veiligheid voor omwonenden nog vergroot werd door het feit dat in de Sovjet-Unie kerncentrales op grote afstand van bevolkingsconcentraties gebouwd werden.¹

B. Semenov, die in 1983 hoofd was van de Afdeling Kernenergie en Veiligheid van het Internationaal Atoom Energie Agentschap (IAEA), schreef in het IAEA-Bulletin van juni 1983 over het type-Tsjernobyl: "Een ernstig ongeluk waarbij koeling verloren gaat, is praktisch onmogelijk." Het verloren gaan van koeling is namelijk een groot gevaar bij kerncentrales. De warmte van de brandstofelementen kan dan niet meer afgevoerd worden, zodat de temperatuur stijgt en de brandstofelementen kunnen smelten. Tevens somde Semenov enkele van de vele maatregelen op, waarmee de veiligheid van de Russische kerncentrales verzekerd werd.²

1.2 ... of toch niet?

Des te verwonderlijker was het daarom dat meteen na het ongeluk in Tsjernobyl de westerse voorstanders van kernenergie zeiden dat het ontwerp niet deugde.

Twee voorbeelden: in Nederland stelden D. van Bekkum c.s. van het Radiobiologisch Instituut TNO te Rijswijk dat het hart van Tsjernobyl "vrij eenvoudig was uitgevoerd".³ Op 29 april 1986, nauwelijks een dag nadat het ongeluk bekend werd, stelde de Duitse minister van Binnenlandse Zaken op het tv-journaal: "Een dergelijke kerncentrale als in de Sovjet-Unie in bedrijf is en waar het ongeluk is gebeurd, zou bij ons in West-Duitsland geen vergunning krijgen. Wij hebben een viervoudige veiligheid. Daarom zijn de Duitse kerncentrales de duurste, maar ook de beste ter wereld."⁴ Toch heeft sinds 1986 geen enkele westerse regering geëist dat alle kerncentrales van het type Tsjernobyl stilgelegd moesten worden.

Opvallend is dat pas in september 1995 het British Nuclear Industrial Forum expliciet naar voren bracht dat het reactor-concept dat ten grondslag ligt aan de RBMK, in 1947 door de Britse regering verworpen werd op veiligheidsgronden. De RBMK zelf werd in 1958 door Duitsland beschouwd als “inherent gevaarlijk” en in 1976 verworpen door de Britse regering.⁵

De Russische overheid presenteerde na het ongeluk een uitgebreid rapport op een internationaal congres dat van 24 tot 29 augustus 1986 in Wenen werd gehouden⁶. In 1987 vond een tweede internationale conferentie over Tsjernobyl plaats in Wenen⁷. Op basis van gegevens van deze conferenties werd internationaal een aantal studies uitgebracht.^{8 9 10 11 12 13 14 15} De gegevens uit al deze studies zijn, aangevuld met andere informatie, verwerkt in een groot aantal boeken, waarvan zeven een uitzonderlijke kwaliteit hadden. Het ging hier om boeken van Z. Medvedev, Marples, Mould, Chernousenko, G. Medvedev, Read en Stscherbak.^{16 17 18 19 20 21 22} In dit hoofdstuk gebruiken we met name deze literatuur om de hoofdlijnen van het ongeluk in Tsjernobyl te reconstrueren.

1.3 Beschrijving Tsjernobyl-kerncentrale

Kerncentrales dienen voor de opwekking van elektriciteit. De brandstof is uranium, dat wordt gespleten door neutronen. Bij deze kernsplijting komt warmte vrij en die wordt omgezet in stoom. De stoom wordt door een turbine geblazen en de turbine drijft een dynamo aan. Zo wordt elektriciteit opgewekt. Als uranium splijt, vormen zich nieuwe radioactieve stoffen zoals jodium, cesium, strontium en plutonium.

De Tsjernobyl-centrale was een drukbuisreactor. Dit betekent dat stoom wordt opgewekt in een groot aantal (1661) buizen waarin zich de brandstofelementen bevinden. Door deze buizen wordt water gepompt, dat door de hitte van de brandstofelementen overgaat in een mengsel van water en stoom. Dit mengsel stroomt naar vier grote stoomafscidders. De stoom wordt naar de turbines geleid voor de opwekking van elektriciteit en het water gaat terug naar de 22 meter lange drukbuizen. Deze drukbuizen bevinden zich in uitgespaarde kanalen in een groot blok grafiet van 2500 ton. Het grafiet remt de vaart van de neutronen, die anders een te hoge snelheid zouden hebben om het uranium te kunnen splijten. Grafiet is brandbaar en dit is een nadeel. Bij een kernsmelting kan de temperatuur zo hoog oplopen dat grafiet gaat branden. Daarbij komt warmte vrij die de temperatuur nog verder opjaagt en de kernsmelting bevordert. Grafiet verergert een ramp. In veel westerse centrales wordt water gebruikt als remstof, hoewel grafiet ook voorkomt.

Een tweede verschil met de westerse centrales was het ontbreken van een reactorvat. In westerse centrales zitten de brandstofelementen dicht bij elkaar in het hart van de kerncentrale en daaromheen is een stalen vat. Bij Tsjernobyl werd voor een andere veiligheidsfilosofie gekozen. Juist omdat de brandstofelementen niet dicht op elkaar gestapeld waren, zou een groot ongeluk niet kunnen voorkomen. Hooguit zou een drukbuis beschadigd kunnen worden.²³ Z. Medvedev tekende hierbij aan dat de Russische industrie in de jaren zestig, toen de bouw van de drukbuiscentrales op gang begon te komen, niet in staat was om een groot stalen vat te maken. De deskundigen hadden daarom geen andere keus dan voor te wenden dat ze een eenvoudiger oplossing bedacht hadden.²⁴ Het grote aantal drukbuizen maakte de centrale moeilijk te beheersen. Dit was door de Russische overheid erkend. Immers, de twee drukbuisreactoren bij

Beloyarsk, de eerste reactoren van dit type, werden in 1989 om veiligheidsredenen stopgezet.²⁵

1.4 Zwakke plekken in kerncentrales

Alle typen kerncentrales hadden zwakke plekken, zo volgde uit een studie die in opdracht van Greenpeace door de Duitse Gruppe Ökologie werd verricht.²⁶ Voor de bepaling van de veiligheid van een kerncentrale gaat het echter niet zozeer om een of twee kenmerken maar om het hele ontwerp van de centrale.

Na het ongeluk werden door de Westerse kernindustrie drie kwesties naar voren gehaald, die zouden moeten aantonen dat Tsjernobyl slecht en westerse kernenergie goed was: het ontbreken van een omhulling, de ‘positieve dampbelcoëfficiënt’ en de te trage regelsystemen. Het ging hier echter om een te eenzijdige voorstelling van zaken.

Zo wekte bijvoorbeeld de exploitant van de kerncentrale Dodewaard, de GKN, in een brief aan Provinciale Staten van Gelderland de indruk dat in de Tsjernobyl-centrale geen enkele veiligheidsomhulling aanwezig zou zijn, terwijl de veiligheid van de Dodewaard-centrale erg gunstig werd voorgesteld.²⁷ Vooral het ontbreken van een omhulling van staal en beton werd afgeschilderd als een ernstig gebrek. Maar al snel bleek dat ook in West-Europa bij meer dan 30 kerncentrales een dergelijke omhulling ontbrak, onder andere ook bij de kerncentrale in Dodewaard. Dit vergoelijkte het Radiobiologisch Instituut TNO met de stellingname dat “Dodewaard een kleintje is onder de centrales.”²⁸

Eind 1986 werd duidelijk dat de discussie over het ontbreken van de omhulling eigenlijk nergens over ging. De kracht van de explosie bij het ongeluk was zo sterk dat de omhulling van westerse kerncentrales het zou hebben begeven.²⁹

Toen in de eerste maanden na het ongeluk meer informatie beschikbaar kwam, bleek dat de kerncentrale in Tsjernobyl beschikte over de volgende veiligheidssystemen:

- a. Als een van de drukpijpen bezweek, werd de stoom en de eventueel gevormde waterstof opgevangen in een stalen insluitsysteem dat bestand was tegen overdruk: via twee pijpen kon de overdruk worden afgevoerd naar een condensatiekelder die gevuld was met water;
- b. De ruimte waarin de koelwaterpompen en noodkoelsystemen stonden, was bestand tegen een aanzienlijke overdruk (van 4,5 bar);
- c. De stoomafscheiders stonden opgesteld in een betonnen ruimte die tegen overdruk bestand was;
- d. Het regel- en beheerssysteem was meervoudig uitgevoerd en grotendeels geautomatiseerd.³⁰

De conclusie hieruit is dat Tsjernobyl aanzienlijk moderner was dan aanvankelijk werd gedacht. Er waren meer veiligheidsvoorzieningen dan blijktbaar in de Westerse wereld bekend was. Op grond van deze onvolledige informatie werden harde oordelen gevormd over Tsjernobyl.

Een tweede centraal punt van kritiek op het ontwerp van Tsjernobyl betrof de manier waarop de centrale zich gedroeg bij gering vermogen, dus wanneer slechts een klein deel van de stroom werd geleverd die maximaal geproduceerd kon worden. Indien het vermogen vervolgens iets toenam, had de centrale de neiging om door te schieten naar nog hogere vermogens. Dit heet in vaktermen de “positieve dampbelcoëfficiënt.”

De kans op een moeilijk te beheersen toename van het vermogen was bij bijvoorbeeld de Nederlandse kerncentrales geringer maar niet uit te sluiten, zoals in 1990 bleek. Op grond hiervan vroeg de Bezinningsgroep Energiebeleid aan de Tweede Kamer om de kerncentrales

Dodewaard en Borssele te sluiten. Dit leidde in de Tweede Kamer tot Kamervragen, een mondeling overleg op 29 januari 1991 en een plenair debat op 6 februari 1991, waar PvdA, D66 en GroenLinks een motie indienden voor sluiting van de kerncentrales. Die motie werd echter verworpen, omdat de meerderheid van de Kamer met de regering van mening was dat er voldoende waarborg tegen dergelijke reactiviteitsongevallen bestond.³¹

Er waren bovendien westerse kerncentrales die eveneens een positieve dampbelcoëfficiënt hadden, namelijk de Canadese kerncentrales en kweekreactoren zoals destijds gepland bij het Duitse Kalkar. Hoewel niet gepleit werd voor sluiting van de Canadese kerncentrales, was deze positieve coëfficiënt voor de Nederlandse regering in 1990 een argument om bij de plannen voor nieuwe kerncentrales niet voor het Canadese ontwerp te kiezen.³² Ook speelde deze coëfficiënt een belangrijke rol bij de besluitvorming in Duitsland om de kweekreactor Kalkar niet in bedrijf te nemen.³³

Na het kernongeval werd naar voren gebracht dat de ramp voorkomen had kunnen worden als de regelstaven sneller tussen de brandstofelementen waren gebracht. Door vertegenwoordigers van de Westerse kernenergiewereld werd het ontbreken van een snelafschakelsysteem een belangrijke fout genoemd. Immers, in het Tsjernobyl-type doen de regelstaven er 20 seconden over om in de uiterste positie te komen, terwijl dit bij Westerse centrales slechts een seconde is.³⁴ Bij een snelafschakelsysteem verandert de temperatuur in de centrale snel. Eind 1989 bleek dat de drukbuizen van Tsjernobyl niet tegen een dergelijke snelle temperatuurverandering konden en dat daarom bewust voor een langzaam afschakelsysteem was gekozen.³⁵ In een studie in opdracht van het Amerikaanse ministerie van Energie kwam het Amerikaanse onderzoeksbureau EG & G zelfs tot de conclusie dat het ongeluk voorkomen had kunnen worden als de operators niet hadden geprobeerd de regelstaven in te brengen.³⁶

1.5 Tsjernobyl te snel in bedrijf

Ten tijde van het ongeluk waren in Tsjernobyl vier RBMK-kerncentrales van elk 1000 Megawatt in bedrijf en twee in aanbouw.

In 1972 was in Kiev een discussie over de vraag welk type kerncentrale gebouwd zou worden in Tsjernobyl. Bryukhanov, de directeur van Tsjernobyl, was voor een drukwater-reactor. Hij deelde de minister van Energie van Oekraïne, Aleksej Makukhin, mee dat een drukbuisreactor bij normaal bedrijf veertig keer zoveel radioactiviteit loosde als een drukwater-reactor. De wetenschapper Aleksandrov stelde daartegenover dat de RBMK-1000 de veiligste centrale was, die bovendien de goedkoopste stroom zou leveren. Daarom werd besloten RBMK-centrales te bouwen.³⁷ De bouw van Tsjernobyl-4 was in december 1983 gereed. Op 21 december 1983 werd een persbericht uitgebracht met de melding dat de kerncentrale de dag daarvoor in bedrijf was gekomen. Dit nieuws werd door de media verspreid op 22 december, de feestdag voor werkers in de energie-industrie. In de Sovjet-Unie hadden alle beroepsgroepen een dergelijke feestdag; ze kregen dan extra publiciteit en er werden extra bonussen uitgekeerd.

Het starten van de stroomlevering vanaf 20 december is opmerkelijk, omdat er meestal een maand of zes verloopt tussen het moment dat de centrale gereed is en het moment dat hij in bedrijf komt. De componenten moeten namelijk eerst getest worden voordat tot stroomproductie overgegaan kan worden. Maar bij Tsjernobyl-4 werd in maart 1984 al gevierd dat een miljoen kilowattuur was geleverd, terwijl op dat moment niet alles goed getest was.

Een van de testen die onvolledig was uitgevoerd, betrof de werking van de turbine bij een storing. De turbine gaat dan langzamer draaien, maar kan toch nog zorgen voor elektriciteit. Deze elektriciteit is nodig voor het aandrijven van koelpompen en regelstaven, en voor de verlichting van de regelkamer en het regelpaneel. Deze stroomtoevoer is essentieel voor de veiligheid van de centrale en mag niet onderbroken worden. Omdat het bij een storing 20 seconden duurt voor de regelstaven hun uiterste stand hebben bereikt, is het van belang te weten of de turbine minstens 20 seconden lang kan zorgen voor de benodigde stroom. Zo'n test werd uitgevoerd in de nacht van 25 op 26 april 1986 en was de oorzaak van de ramp.

Eigenlijk had deze test gedaan moeten worden voordat de kerncentrale in bedrijf kon komen. De betreffende test was voorgesteld aan andere operators van RBMK-centrales, maar deze weigerden allemaal vanwege de risico's.³⁸ Bij Tsjernobyl stemde men echter in, deed de test een paar keer, maar dit mislukte zonder dat er een ongeluk ontstond. Dat is gebleken in juli en augustus 1987 tijdens het proces tegen zes mensen die verantwoordelijk waren voor Tsjernobyl. In de uitspraak van de rechter stond dat directeur Bryukhanov op 31 december 1983 een document had ondertekend, waarin hij verklaarde dat alle testen succesvol verlopen waren.³⁹ Medvedev merkte hierover op dat het in het Sovjetsysteem vaak voorkwam dat men een industrieel project gereed verklaarde onder de voorwaarde dat problemen zo spoedig mogelijk opgelost zouden worden. Op die manier kon men namelijk voldoen aan het tevoren opgestelde productieplan. Bovendien zou het niet ondertekenen op 31 december 1983 hebben betekend dat duizenden werknemers bonussen en andere extra's waren misgelopen. Het ging hier om een bedrag van twee tot drie maandsalarissen.⁴⁰

Tijdens genoemd proces kwam naar voren dat de turbine in de periode tot 1985 een paar keer getest was maar zonder resultaat. Het blijft de vraag waarom zo'n test niet direct herhaald kon worden en pas in april 1986 weer gedaan werd, terwijl de centrale kort daarop stilgelegd zou worden voor onderhoud. Op grond van de beschikbare informatie concludeerde Z. Medvedev dat men een veiligheidsprobleem had ontdekt dat het noodzakelijk maakte van de eerste de beste testgelegenheid gebruik te maken.⁴¹ Bovendien was een team deskundigen uit Moskou naar Tsjernobyl gestuurd.

Kort na het ongeluk werden de operators verantwoordelijk gesteld voor het laten doorgaan van de test. De autoriteiten wilden hun handen ervan aftrekken. Het was echter duidelijk dat deze ervan op de hoogte moesten zijn geweest. Kernenergie stond in de Sovjet-Unie immers onder beheer van het ministerie van Energie en Elektriciteit. Tsjernobyl werd beheerd door de Oekraïense tak van dat ministerie. Daarom is het niet aannemelijk dat de verantwoordelijke autoriteiten niets afwisten van het geplande experiment.

1.6 (On)betrouwbare informatie

In april 1985 had de Sovjetminister van Energie, Anatoly Mayorets, een decreet uitgevaardigd waarin stond dat informatie over ongunstige gevolgen van het functioneren van energiebedrijven op werknemers, bevolking en milieu, niet geschikt was voor publicatie via radio, televisie en kranten. Op 18 juli 1986, dus kort na het Tsjernobyl-ongeluk, verbood deze minister zijn ambtenaren om aan de media de waarheid over Tsjernobyl te vertellen.⁴²

Van 26 april tot 6 mei 1986 waren journalisten niet welkom in Tsjernobyl. Na 6 mei mochten Russische journalisten wel verhalen maken over de "heroïsche gevechten tegen de straling" maar

dan zonder technische details.⁴³ De rechtszaak in 1987 tegen de mensen die verantwoordelijk waren voor het ongeluk was niet openbaar; er werd slechts een samenvatting van de rechtszitting gepubliceerd.⁴⁴ In dit licht gezien was het verwonderlijk dat de Sovjet-Unie op het internationale congres in Wenen in augustus 1986 wel informatie over het ongeluk verstrekke. Dit duidde op een strijd binnen de machtssystemen.

Uit nadere analyse bleek echter dat veel gegevens die nodig waren om de Sovjet-berekeningen te toetsen op betrouwbaarheid, ontbraken.⁴⁵ Z. Medvedev noemde de informatie zelfs misleidend.

⁴⁶ Ook waren niet alle Russen gelukkig met de gang van zaken.

Valery Legasov was het hoofd van de Russische delegatie die het onderzoeksrapport presenteerde op het congres in Wenen. Legasov was directeur van het Kurchatov Instituut voor Kernenergie, waar de RBMK-kerncentrales waren uitgevonden en ontworpen. Hij was voorzitter van het wetenschappelijke team dat onmiddellijk na het ongeluk op 26 april 1986 naar Tsjernobyl gestuurd werd. Op 27 april 1988 pleegde Legasov zelfmoord. Hij liet memoires achter, waarin hij uiting gaf aan zijn woede en wanhoop wat betreft de veiligheid van kernenergie in de Sovjet-Unie. Hij schreef dat hij de veiligheidsproblemen rond de RBMK-reactor had willen bestuderen en daarin werd tegengewerkt door mensen die vonden dat er geen problemen waren. Legasov schreef dat de kernindustrie met een zekere mate van onvermijdelijkheid naar het ongeluk in Tsjernobyl had toegewerkt.⁴⁷ Deze visie stond overigens in schril contrast met zijn uitspraken in november 1985 in het blad *Priroda*, waarin Legasov zijn lezers verzekerde dat RBMK-centrales veilig waren.⁴⁸ Blijkbaar moest Legasov tegen beter weten in positieve uitspraken doen over de veiligheid van Tsjernobyl-centrales, of hij was pas na het ongeluk gaan nadenken.

Het blijft onzeker of de informatie over het verloop van het ongeluk volledig betrouwbaar is. In 1986 werden er dertien “waarheidsgetrouwe” mogelijkheden beschreven hoe het verloop van het ongeval was geweest. In 1987 was dit aantal gedaald tot vijf en in 1991 tot drie.⁴⁹ Het hieronder beschreven verloop is gebaseerd op een groot aantal studies en geeft, om met het Londense Uranium Institute te spreken, een “waarschijnlijke, maar niet zekere samenvatting van de gebeurtenissen.”⁵⁰

HOOFDSTUK 2 VERLOOP VAN HET ONGEVAL EN EERSTE REACTIES

2.1 De fatale gebeurtenis

Vrijdag 25 april 1986

13.05 uur

De voorbereiding voor de turbinetest begon op 25 april 1986 om 13.05 uur. Voor deze test moest het vermogen van de reactor teruggebracht worden en daarom werd een turbine uitgezet.⁵¹

14.00 uur

De beheerder van het elektriciteitsnet van Oekraïne vroeg om uitstel van de test. Alle stroom van Tsjernobyl-4 was nodig. Het is niet duidelijk waarom niet van tevoren was voorzien dat men op vrijdagmiddag zou doorwerken om de productieplanning van april te halen.

16.00 uur

De dagploeg ging weg. Deze ploeg had in de voorafgaande dagen uitleg over de test gekregen en was op de hoogte van de procedures. Een speciaal team van elektrotechnische ingenieurs was aanwezig.

23.10 uur

De voorbereiding op de test begon opnieuw. Deze vertraging met tien uur had grote gevolgen. Ten eerste was het team van ingenieurs vermoeid. Ten tweede werd tijdens de test de avondploeg vervangen door de nachtploeg. Deze had minder operators met ervaring en was bovendien niet voorbereid op de test. Igor Kazachkov, Yuri Tregub en A. Uskov waren de operators die eerder op de dag verantwoordelijk waren voor het uitvoeren van de test. Zij verklaarden later in interviews dat de testprocedures alleen waren uitgelegd aan de dag- en de avondploeg. Yuri Tregub besloot te blijven om de nachtploeg te helpen.

Zaterdag 26 april 1986

00.00 uur

Wisseling van de ploeg.

De operators hadden tijdens de voorbereidingen op de test moeite om het vermogen van de kerncentrale stabiel te houden. Daarbij voerden ze zes belangrijke handelingen uit, die door de autoriteiten van de Sovjet-Unie als fouten werden beschouwd.

1. De regelstaven waarmee de reactor kon worden stilgelegd, werden ver naar boven gehaald, verder dan volgens de autoriteiten toegestaan was. Operator Uskov van de dagploeg zei later dat hij hetzelfde gedaan zou hebben. Hij zei: “We zien vaak niet de noodzaak om de letter van de wet te volgen, omdat deze voorschriften overal om ons heen en vaak worden overtreden.”

Bovendien wees hij op het feit dat er tijdens de opleiding steeds op werd gehamerd dat “een kerncentrale niet kan exploderen.” Operator Kazachkov zei: “We hebben vaak minder dan de

vereiste regelstaven gehad en er is nooit iets gebeurd. Geen explosie, alles ging normaal.”

2. Het reactorvermogen daalde tot onder het veilige niveau. De kern werd hierdoor instabiel. De voorbereidingen op de test hadden nu eigenlijk moeten eindigen. Het zou voor de hand hebben gelegen om alle aandacht te richten op maatregelen om de centrale weer stabiel te krijgen.

3. Om het vermogen op te voeren zette men een extra koelwaterpomp aan. Door de te sterke afkoeling daalde de druk, waardoor het vermogen van de kerncentrale afnam in plaats van toenam. Normaal kwam dan een afschakelsysteem in werking, maar om de test toch te kunnen uitvoeren zette men dit uit.

4. Het automatische noodstopsysteem werd uitgeschakeld om te voorkomen dat de reactor zichzelf zou stilleggen.

5. De systemen die moesten voorkomen dat het waterniveau te veel daalde en de temperatuur van de brandstofelementen te hoog opliep, werden eveneens uitgezet.

6. Tenslotte zette men het noodkoelsysteem uit om te voorkomen dat het tijdens de test in werking kwam.

Meer in detail gebeurde het volgende.

00.05 uur

Het vermogen van de centrale was gedaald tot 700 Megawatt (t, thermisch). Dat was het minimum-vermogen om de centrale veilig te kunnen bedienen. Naar alle waarschijnlijkheid hadden de ontwerpers van de centrale dit niet doorverteld aan de operators.

00.28 uur

Het vermogen bedroeg nu 500 MW(t). Hetzij vergaten de operators het signaal 'houd vermogen op vereist niveau' te geven, of het systeem reageerde niet op dit signaal. Dit leidde tot een snelle daling van het vermogen tot 30 MW(t).

00.32 uur

In reactie hierop haalden de operators een aantal regelstaven naar boven om het vermogen te vergroten.

01.00 uur

Het vermogen was gestegen naar 200 MW(t).

01.03 uur

Een extra pomp werd aangezet om de waterstroming in de kern te laten stijgen (deel van de testprocedure).

01.07 uur

Er kwam nog een pomp in bedrijf. Door de twee extra pompen koelde de reactor te snel af. Er werd minder stoom geproduceerd.

01.15 uur

De reactor zou nu automatisch kunnen afslaan. Om dit te verhinderen werd het betreffende afschakelsysteem uitgezet.

01.19 uur

De operators haalden nog een paar regelstaven naar boven om het vermogen en de temperatuur van Tsjernobyl-4 te laten stijgen.

01.21.40 uur

De operators verminderden de snelheid waarmee het water door de kern stroomde, omdat ze dachten dat dit wel kon.

01.22.10 uur

De stoomvorming in de kern kwam weer op gang.

01.22.45 uur

De operators stelden vast dat de centrale, hoewel niet helemaal volgens de voorschriften, toch stabiel was. Na uren hard werken om de reactor stabiel te krijgen, vonden de operators dat ze tot de test konden overgaan.

1.23.04 uur

De eigenlijke test begon. Het vermogen van de reactor steeg onverwacht.

1.23.40 uur

Leonid Toptunov, verantwoordelijk voor de regelstaven, drukte op een speciale knop voor een noodstop. De test was toen 36 seconden bezig.

1.23.44 uur

De regelstaven gingen naar beneden, maar men voelde schokken. De operators zagen dat de regelstaven bleven steken: ze vielen twee in plaats van zeven meter. De brandstofkanalen waren door de sterke toename van de stoomdruk vervormd.

1.24.00 uur

De test duurde nu 56 seconden. De druk in de reactor liep zo sterk op dat de brandstofelementen barstten en in kleine deeltjes in het koelwater terecht kwamen. Dit koelwater werd stoom en de druk in de buizen nam toe: ze braken.

Het deksel boven de brandstofelementen, dat 1000 ton woog, werd opgetild: de eerste knal. De lozing van radioactieve stoffen begon. Er kwam lucht in de reactor. Er was voldoende zuurstof om een grafietbrand te laten ontstaan. Het metaal van de brandstofbuizen reageerde met water. Dit is een chemische reactie waarbij waterstof wordt gevormd en deze waterstof explodeerde: de tweede knal. Brandende brokstukken vlogen de lucht in en kwamen ook op het dak van Tsjernobyl-3 terecht.

Aan deze waterstofexplosie werd in het Sovjet-rapport over het ongeval nauwelijks aandacht besteed. In 1989 werd in studies in opdracht van de Amerikaanse overheid echter geconcludeerd

dat deze tweede explosie juist erg belangrijk was geweest, en dat de oorspronkelijke verklaring van het verloop van het ongeluk niet juist was.⁵² Volgens Richard Wilson van de Harvard Universiteit in de Verenigde Staten was deze tweede knal een kleine kernexplosie.⁵³

Nachtploegleider Aleksandr Akimov en de ingenieur die verantwoordelijk was voor de bedrijfsvoering, Anatoly Diatlov, geloofden niet dat er een ongeluk was gebeurd. Toen iemand vertelde dat de kern geëxplodeerd was, zonden ze operators eropuit om de kern te inspecteren. Deze mensen vonden de dood door straling.

Bij het bericht dat de centrale vernietigd was, riep Akimov uit: “De reactor is in orde. We hebben geen enkel probleem.” Akimov en Diatlov, geassisteerd door manager Bryukhanov en ingenieur N. Fomin, bleven de operators opdragen koelwater toe te voegen. Ze hielden vast aan het idee dat er niets aan de hand was.⁵⁴

Akimov en Toptunov, die verantwoordelijk waren voor de bediening van de regelstaven, overleden aan stralingsziekte. Diatlov en Fomin werden in 1988 tot tien jaar gevangenis veroordeeld wegens overtreding van de veiligheidsregels. Eind 1990 werden ze echter weer in vrijheid gesteld.⁵⁵

2.2 Kort na de ramp: radioactieve branden

26 april 1986.

Kerncentrale Tsjernobyl-4 was ontploft. Brokstukken vlogen in het rond en kwamen op het dak van Tsjernobyl-3 neer, die pal naast de verongelukte centrale stond. Er was zelfs een gemeenschappelijke machine-turbinehal met een dak van bitumen, een brandbaar materiaal. Er ontstonden dertig branden.⁵⁶ Het feit dat het ongeluk ‘s nachts gebeurde, had een groot voordeel: overdag werkten namelijk 2000 mensen aan de bouw van Tsjernobyl-5 en -6. Deze mensen waren thuis en werden niet getroffen door brand en straling.

1.25 uur

Bij de plaatselijke brandweer ging het brandalarm af. Intussen vielen er weer doden: Valerii Khodomchuk, die in de reactorhal werkte en meegesleurd werd door de ontploffing, en Vladimir Shashenka, die dicht in de buurt van de reactorhal was. De brandweer van de kerncentrale kwam met drie wagens aan. De leider, luitenant Pravik, had in de gaten dat zijn ploeg veel te klein was en vroeg de brandweer van Pripjat, de stad Tsjernobyl en de hele regio Kiev om hulp.

Pravik klom met zijn team op het dak van de machinehal en begon met blussen. De brandweer van Pripjat kwam enkele minuten later en bestreed de branden in het reactorgebouw. Pravik en verscheidene brandweerlieden uit Pripjat stierven later aan stralingsziekte.

1.45 uur

Nieuwe brandweerploegen uit de omgeving kwamen aan. Ze wisten niets van stralingsgevaar, hadden geen beschermende kleding of stralingsmeters. Grigorii Khmel, de chauffeur van een brandweerwagen, vertelde later: “We kwamen om tien voor twee in de ochtend aan. We zagen overal grafiet liggen. Ik gaf er een trap tegen. Een andere brandweerman pakte het vast en zei ‘heet’. We hadden geen idee van straling. Mijn collega's Kolya, Pravik en anderen zijn de ladder opgegaan naar het dak van de centrale. Ik heb ze nooit teruggezien.”

Kermis Pripyat met reuzenrad dat er in 2020 ook nog staat

2.15 uur

De afdeling Pripyat van het ministerie van Binnenlandse Zaken belegde een crisisbijeenkomst. Besloten werd wegversperringen op te richten om te voorkomen dat auto's de stad konden binnenkomen of verlaten. Er werd politieassistentie gevraagd. Duizend agenten kwamen. Net als de brandweerlieden hadden zij geen kennis van straling, geen stralingsmeters of beschermende kleding.

Later, in 1988, werd bekend dat in totaal 16.500 politieagenten waren ingezet. Van hen hadden 57 mensen acute stralingsziekte opgelopen, 1500 van hen hadden last van chronische ademhalingsproblemen en 4000 vertoonden andere symptomen.

3.12 uur

Bij de militairen in het centrale deel van de Sovjet-Unie ging om 3.12 uur een alarmsignaal af. Generaal Pikalov besloot hulptroepen te zenden, die om 14.00 uur in Kiev landden. Dit waren de eerste mensen die wel goed uitgerust waren voor hun taak. Rond dezelfde tijd kregen de verantwoordelijke autoriteiten, zoals de minister van Energie, A. Majorets, te horen dat er een ongeluk was gebeurd, maar dat het om een kleine storing ging.

4.30 uur

Nachtploegleider Akimov rapporteerde: "de reactor is intact." Net als hij geloofden Diatlov en Bryukhanov nog steeds niet dat zich een ramp aan het voltrekken was.

5.00 uur

Ondanks de brand op het dak werd Tsjernobyl-3 pas om vijf uur stopgezet.

6.35 uur

Maar liefst 37 brandweerkorpsen met in totaal 186 brandweerlieden moesten eraan te pas komen om alle branden te blussen; de brand in de reactor zelf kon niet geblust worden.

Het belang van de inzet van deze brandweerlieden kan niet genoeg benadrukt worden. Immers, het dak van Tsjernobyl-3 stond al direct in brand, waardoor ook deze kerncentrale ernstig beschadigd had kunnen worden. De machinehal van de kerncentrales stond tevens in verbinding met Tsjernobyl-1 en -2. Een explosie in de machinehal had kunnen leiden tot de vernietiging van alle vier de Tsjernobyl-centrales. Zo'n explosie kon net op tijd voorkomen worden door stikstof te spuiten. Van de acht mensen die dit deden, zijn er korte tijd later vier gestorven.

20.00 uur

Er was een regeringscommissie ingesteld onder leiding van Valerii Legasov; om acht uur in de avond kwam die in de omgeving aan. Men was verbaasd over de brokstukken grafiet die overal lagen. Niemand dacht aan een grafietbrand.

Zaterdag 27 april.

Generaal Pikalov ging om zeven uur op pad in een wagen met stralingsapparatuur. Hij ramde door de gesloten hekken en stopte bij de kerncentrale om metingen te doen. Hij stelde vast dat het grafiet in de kerncentrale brandde en dat er enorme hoeveelheden radioactiviteit en warmte vrijkwamen. Kort daarop werd de regering in Moskou gewaarschuwd. De regeringscommissie overlegde over de noodzaak van evacuatie van de nabijgelegen stad Pripjat. Iedereen was voor, behalve professor A.L. Ilyin, de voorzitter van de Sovjet-Raad voor Stralingsbescherming. Hij dacht dat de stralingssituatie zou kunnen verbeteren.

De stroomproductie van Tsjernobyl-1 en -2 werd beëindigd om 1.13 en 2.13 uur, dus 24 uur na het begin van het ongeluk.

Toen bekend was dat het grafiet brandde en er radioactiviteit geloosd werd, nam men maatregelen. Eerst voerde men bluswater toe. Dat was een gevaarlijke vergissing. Door de hoge temperatuur ontleedt water in waterstof en zuurstof, en dit gasmengsel kan ontploffen: bij zo'n ontploffing komt warmte vrij. Zodoende wordt de brand niet geblust, maar juist aangewakkerd door het water.

Na drie vergeefse bluspogingen besloten de autoriteiten om vanuit helikopters zand, lood en boroncarbide op de brandende centrale te gooien. Boroncarbide kan neutronen opnemen en zo de splijting van uranium tegengaan. Lood neemt warmte op, zodat de temperatuur daalt. Zand moet de brand doven. Tussen 27 april en 1 mei werd 5000 ton materiaal op de vuurhaard gegooid.

Zondag 28 april.

Met een kort bericht, even na 20.00 uur Nederlandse tijd, van persbureau Tass dat er een ongeluk gebeurd was, werd de ramp wereldkundig gemaakt.

Woensdag 1 mei.

In Gomel, Kiev en andere plaatsen rond Tsjernobyl werd de dag van de arbeid gevierd. De overheid beweerde dat de situatie stabiel was. Later werd duidelijk dat hiermee bedoeld werd dat

de lozingen vanaf 26 april geleidelijk waren verminderd. Maar het ging nog steeds om gigantische hoeveelheden radioactiviteit en bovendien was de wind gedraaid richting Kiev. Het gedumpte materiaal op de reactor sloot de vuurhaard niet volledig af en zorgde juist voor een temperatuurstijging. De wetenschappers en ingenieurs kregen in de gaten dat een nieuw gevaar dreigde. De hete reactorkern kon door de betonnen fundering smelten en in het waterbassin daaronder terechtkomen. Dan zou een stoomexplosie volgen die krachtiger zou zijn dan de eerste ontploffing.

Donderdag 2 mei.

De kerncentrale loosde steeds meer radioactiviteit in de omgeving. Brandweerlieden begonnen met het wegpompen van het water uit het opslagbassin onder de centrale, een gevaarlijk en langdurig karwei dat op 8 mei gereed kwam. Als beloning kregen de brandweerlieden elk 1000 roebel (3500 gulden volgens de officiële koers van toen).

Zaterdag 4 mei.

Als tweede maatregel tegen een stoomexplosie begon men met het maken van gaten in de aarde onder de centrale. Daarin werd vervolgens vloeibare stikstof gepompt, zodat de aarde bevroor.

Zondag 5 mei.

Aanvankelijk werd veel radioactiviteit geloosd, bijna net zoveel als op 26 april. Maar later stopte de lozing vrijwel. Er werd geen goede verklaring voor gevonden. Volgens Grigory Medvedev, die deel uitmaakte van de overheidscommissie, was de brand gedoofd omdat het grafiet op was. De lozing nam dus niet af door de maatregelen maar door een tekort aan grafiet.

Geconcludeerd moet worden dat het ongeluk in Tsjernobyl erg was, maar nog veel erger had kunnen aflopen als de hete brandstof door de betonnen fundering was gesmolten en na de daaropvolgende stoomexplosie was vrijgekomen, of als alle vier de Tsjernobyl-kerncentrales verongelukt waren.

2.3 Wie was schuldig?

Wie had de schuld van het ongeluk met de kerncentrale in Tsjernobyl van april 1986? Het bedienend personeel, stelden de Sovjetautoriteiten en het Internationaal Atoom Energie Agentschap (IAEA) te Wenen kort na de ramp.⁵⁷ Het personeel had namelijk belangrijke veiligheidsvoorschriften overtreden, zo stelden ze. Uit een rapport van het IAEA van 1992 bleek echter dat die voorschriften niet bestonden.⁵⁸

Het is zeer opmerkelijk dat het IAEA een eerder rapport herziet. Hoe heeft het zover kunnen komen? Een paar maanden na het Tsjernobyl-ongeluk kwam een officieel rapport uit van de Sovjet-Unie over de oorzaken van de ramp en de gevolgen daarvan. Voor het eerst in de geschiedenis kwam de Sovjet-Unie met veel informatie over kernenergie. Het rapport legde de schuld bij het bedienend personeel.

In de nacht van 25 op 26 april wilde het personeel een onderzoek uitvoeren, dat verband hield met de veiligheid van de kerncentrale. Volgens het Sovjet-rapport had het personeel daarbij zes grote fouten gemaakt. De lijst met fouten ging als persbericht de hele wereld rond en werd door iedereen voor zoete koek aangenomen. In alle literatuur uit de eerste jaren na het ongeluk trof

men diezelfde lijst met fouten aan.

Het IAEA heeft een veiligheids-adviesgroep, de International Safety Advisory Group (INSAG). Deze adviesgroep bracht in 1986 een rapport over Tsjernobyl uit, dat zwaar leunde op de analyse van de voormalige Sovjet-Unie. De INSAG herzag dit rapport in 1992. In het rapport stond dat men de verklaring van de Sovjet-Unie aanvankelijk aannemelijk vond en geen pogingen ondernam om andere ongevalsscenario's te bedenken.⁵⁹

Vanaf eind 1986 was veel informatie beschikbaar gekomen. In april 1991 verklaarde Leonid Bolshov, directeur van het Instituut voor Veilige Kernenergie-Ontwikkeling van de Academie van Wetenschappen van de Sovjet-Unie, dat de nucleaire gemeenschap de verantwoordelijkheid voor het ongeluk ook bij de ontwerpers legde.⁶⁰

Belangrijk was ook een rapport van een commissie onder voorzitterschap van Shteynberg: "On the root causes and circumstances of the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant unit 4 on April 26, 1986."⁶¹ Dit rapport was begin 1991 gereed en circuleerde inofficieel. Pas in juli 1991 berichtte het kernenergievakblad Nucleonics Week erover. In het rapport van de Staatscommissie voor Toezicht op Veiligheid in Industrie en Kernenergie stond dat de ontwerpers bewust meer dan tien jaar lang ontwerp- en veiligheidsregels overtraden. Ook handelden ze niet, hoewel er enkele ongelukken waren voorgekomen die een voorbode van de ramp met Tsjernobyl waren. Het ging hier met name om een ongeval met de kerncentrale Leningrad-1 in 1975.

De ontwerpers waren zich bewust van de instabiliteit van de reactor, maar namen nauwelijks maatregelen. Maatregelen om de veiligheid te verbeteren kosten geld en dat was een belangrijke reden om de voorschriften niet aan te scherpen. Voor zover verbeteringen werden voorgesteld, belandden die voorstellen in de bureaucratie en gebeurde er niets mee. Bovendien ontbrak in het rapport van de Sovjet-Unie van augustus 1986 een grote hoeveelheid technische informatie, hoewel die wel beschikbaar was.

INSAG besprak met name twee rapporten van Sovjet-commissies (ingesteld toen de Sovjet-Unie nog bestond), de genoemde commissie-Shteynberg en de commissie-Abagyan. Het rapport van de commissie-Shteynberg ging uitgebreid in op de veiligheidseisen waaraan de Tsjernobyl-centrale moest voldoen. De commissie somde talloze schendingen van de veiligheidseisen op. Dit bracht het IAEA en de INSAG-adviesgroep op andere gedachten en er kwam een herzien rapport. Daarbij verrichte de INSAG-groep overigens nuttig werk door als bijlagen de twee rapporten van de Sovjet-commissies toe te voegen, omdat die naar eigen zeggen niet algemeen verkrijgbaar waren.

De resultaten van het in 1992 verschenen rapport (met genoemde bijlagen) waren verrassend. Het bedienend personeel had tijdens het ongeval veiligheidssystemen uitgeschakeld en reeksen alarmsignalen uitgezet. In 1986 noemde het Sovjet-rapport dit nog een grove fout. Nu bleek dat dergelijke handelingen toelaatbaar waren en zelfs heel gemakkelijk uit te voeren. Het hoorde min of meer tot de normale praktijk.⁶²

Het Sovjet-rapport legde er de nadruk op dat het volgens de veiligheidsprocedures verboden was om de kerncentrale langere tijd bij laag vermogen in bedrijf te hebben. Het regelen van de centrale wordt dan namelijk steeds moeilijker. Het is weleens vergeleken met het balanceren van een stokje op de top van je vinger. Het kan, maar je moet erg opletten en het gaat snel mis. In tegenstelling tot eerdere berichten was het bedrijf van de kerncentrale bij laag vermogen echter

niet verboden.⁶³

In het INSAG-rapport gaf men de volgende omschrijving. Om de kerncentrale bij laag vermogen onder controle te houden moest een operator vooral varen op ervaring en intuïtie en niet zozeer op meetapparatuur. Hij moest ongeveer duizend handelingen per uur verrichten.⁶⁴ Het INSAG-rapport kwam tot de conclusie dat geen enkel voorschrift langdurig bedrijf van de kerncentrale bij laag vermogen verbood. Noch de overheid, noch de handboeken van de operators legden enige beperkingen op.⁶⁵

Opmerkelijk was eveneens het thema: ‘uitzetten van de beveiliging van de turbine’. Indien de turbine werd geblokkeerd, schakelde de reactor automatisch af. Het personeel zorgde er echter voor dat de turbine niet geblokkeerd kon worden, door een bepaald beveiligingssysteem uit te zetten. In 1986 stelde de INSAG-adviesgroep nog dat het intact blijven van dit beveiligingssysteem de reactor zou hebben gered. Nu bleek dit systeem een half uur eerder uit te zijn gezet dan eerst gemeld. Dit was bovendien gebeurd in overeenstemming met de procedures. Daarom was de uitspraak over het redden van de centrale niet meer geldig, stelde INSAG.⁶⁶ Bovendien verwees het nieuwe rapport naar drie eerdere ongevallen met kerncentrales van het Tsjernobyl-type: Leningrad (1975), Tsjernobyl-1 (1982) en Ignalina (1983). Het Leningrad-ongeval was zelfs een voorloper van de Tsjernobyl-ramp. Uit deze eerdere ongevallen had men echter nauwelijks lessen getrokken. Informatie werd niet doorgegeven, zodat de operators van Tsjernobyl niet op de hoogte waren. De autoriteiten hadden na deze eerdere ongevallen weliswaar maatregelen aangekondigd, maar daar bleef het bij. De hele zaak werd zelfs vergeten, stelde het INSAG-rapport.⁶⁷

De oorzaak van het Tsjernobyl-ongeluk lag volgens het nieuwe rapport van INSAG voor een deel in fouten in het ontwerp van de kerncentrale. Dat betekende echter niet dat de operators vrijuit gingen. INSAG benadrukte dat de operators ernstige beoordelingsfouten hadden gemaakt, de veiligheidsaspecten van de kerncentrale onvoldoende hadden begrepen en onvoldoende respect voor de bedrijfsprocedures hadden gehad.⁶⁸

De discussie over de verantwoordelijkheden was in 1995 nog niet voorbij. Anatoly Diatlov vond dat INSAG de schuld nog steeds te veel bij de operators legde. In september 1995 gaf hij daarop een toelichting.⁶⁹ Diatlov was verantwoordelijk voor de bedrijfsvoering van Tsjernobyl-4. Hij stelde het testprogramma vast en was op 26 april in de controlekamer. In december 1986 kwam hij in de gevangenis, maar wegens zijn slechte gezondheid werd hij in oktober 1990 vrijgelaten. Sindsdien schreef hij artikelen met de teneur dat in het ontwerp verborgen gebreken zaten, die onbekend waren bij de ontwerpers en dus bij de operators. G. Medvedev haalde in zijn boek echter bewijzen aan dat Diatlov minachting had voor zijn collega's en voor de veiligheidsregels.⁷⁰ Daarom was het opmerkelijk dat de ontwerper van de fatale test in tijdschriften zoveel ruimte kreeg om zijn gelijk te bewijzen.

In de visie van het British Nuclear Industrial Forum was het debat over het belang van ontwerp- dan wel menselijke fouten nogal steriel. Het ging erom dat het ongeluk gebeurde zonder dat onderdelen faalden. Met andere woorden: het ontwerp vereiste dat operators heel nauwlettend de veiligheidsinstructies opvolgden en geen fouten mochten maken. Daarom was het ontwerp gebrekkig en brachten menselijke fouten die gebreken aan het daglicht.⁷¹

2.4 De lozing van radioactieve stoffen

In deze paragraaf behandelen we hoeveel radioactiviteit in Tsjernobyl aanwezig was en wat er werd geloosd.

A. Hoeveel radioactiviteit zat er voor de ramp in de reactor?

Over het gewicht van de brandstof van Tsjernobyl ten tijde van het ongeluk en waar die brandstof gebleven is na de explosies, bestaan onduidelijkheden. Volgens mededelingen van A. N. Kisselev van het Koerchatov Instituut te Moskou, het instituut waar Tsjernobyl was ontworpen, bevatte de reactor op het moment van het ongeluk 227 tot 234 ton brandstof, hoofdzakelijk bestaande uit uranium.⁷² Een aantal stoffen verliest langzaam zijn radioactiviteit en bepaalt daarmee het gevaar op lange termijn. Het gewicht van de langlevende radioactieve stof cesium was 81 kilo, van strontium 44 kilo en van plutonium 652 kilo. Inclusief twee kilo americium en tien kilo neptunium ging het in totaal om 789 kilo langlevende radioactieve stoffen.⁷³

Kort na het ongeluk schatte het IAEA dat de kern 4×10^{19} Becquerel bevatte, ofwel 1 miljard Curie.⁷⁴ In 1993 schatten werknemers van het Instituut voor Geologische Wetenschappen van de Oekraïense Academie van Wetenschappen onder leiding van D. A. Bugai dat de kern ten tijde van het ongeluk $7,5 \times 10^{19}$ Becquerel bevatte, zonder de activiteit van uranium en edelgassen mee te rekenen⁷⁵. In totaal ging het om een twee keer zo grote radioactieve inhoud van de kern, dus om 2 miljard Curie.

B. Hoeveel ton kwam vrij bij de ramp?

Bij het ongeluk smolten de brandstofelementen en tevens betonnen muren en metalen onderdelen zoals koelwaterpompen. Grafietbranden bliezen radioactieve stoffen de lucht in. De explosies wierpen brokstukken weg tot op zeventig meter van de kerncentrale.

Wat niet geloosd werd of weggeslingerd naar de onmiddellijke omgeving moest zich nog in de centrale bevinden. Bugai van het Instituut voor Geologische Wetenschappen van de Oekraïense Academie van Wetenschappen wees erop dat volgens sommige schattingen 500 kilo en volgens andere 90 ton brandstof de reactor uit werd geslingerd. Over de juistheid van die gegevens liepen volgens Bugai de meningen nogal uiteen. Bovendien wees hij erop dat de besmetting van grondwater met cesium en plutonium steeg. Deze besmetting ging in de richting van de rivier de Pripjat. Het is niet bekend hoeveel radioactieve stoffen in het grondwater terecht kwamen en of ze het grondwater hebben bereikt.⁷⁶

Kisselev haalde berekeningen aan die duiden op de aanwezigheid van 135 ton. Hij deed metingen om die berekeningen te controleren. Dat ging als volgt.

De gesmolten brandstof vormde vermengd met beton en staal een soort lava. Deze stroomde in allerlei ruimten en koelde daarbij iets af zodat hij hard werd, stelde. De uraniumbrandstof gaf warmte af. Hoe warmer een gestolde massa is en hoe meer neutronen er aanwezig zijn door het verval van radioactieve stoffen, hoe meer uranium de gestolde massa bevat. Mensen hadden toegang tot een deel van de verongelukte centrale. Kisselev boorde met speciaal ontwikkelde apparatuur gaten in de gestolde massa. Daarop deed hij metingen in het boorgat en stelde aldus de hoeveelheid uranium vast. Hij kwam tot de verrassende conclusie dat hij slechts 24 ton gesmolten uranium kon aantonen. Ruim 110 ton brandstof was dus nog zoek. Kisselev pleitte derhalve voor een nieuw onderzoekprogramma om de vermiste brandstof op te sporen. Die

brandstof zou zich kunnen bevinden in ruimten die niet toegankelijk waren.⁷⁷ Maar het is ook mogelijk dat meer was vrijgekomen dan eerder werd toegegeven.

C. Hoeveel radioactiviteit kwam vrij in de lucht?

Het IAEA stelde in navolging van de Sovjet-Unie dat 30 tot 50 miljoen Curie van de 1 miljard Curie waren geloosd naar de lucht. Dit kwam overeen met 3 tot 4% van de radioactiviteit van de kern. Van het cesium en jodium werd 10 tot 20% geloosd. Maar indien de radioactiviteit van de kern twee keer zo groot was, zou dit duiden op een veel grotere lozing naar de omgeving.

Alexander Sich onderzocht monsters van Tsjernobyl op de aanwezigheid van cesium. Immers, wat niet geloosd was, moest zich nog ter plekke bevinden. Sich promoveerde in februari 1994 bij professor Norman Rasmussen (bekend van het Rasmussen-rapport over de bewezen veiligheid van kerncentrales) aan het Massachusetts Institute of Technology. Sich bracht 18 maanden door in Tsjernobyl en stelde vast dat niet 10 tot 20% maar wel 60 tot 80% van het cesium was ontsnapt. Daaruit volgde dat niet 50 miljoen maar 185 tot 250 miljoen Curie was vrijgekomen, dus 3,5 tot 5 keer zoveel als aanvankelijk werd aangenomen.⁷⁸

L. Bogdan van het Oekraïense Staatscomité voor Kernenergieveiligheid bestudeerde de verschillende gegevens⁷⁹. Hij kwam tot de conclusie dat 3,5 tot 13% van de kerninhoud geloosd moest zijn, dus 35 tot 130 miljoen Curie, uitgaande van een kerninhoud van een miljard Curie. Na het ongeluk werd in heel Europa radioactiviteit gemeten. Aan de hand van die metingen kon men terugrekenen hoeveel er moest zijn vrijgekomen. Verschillende auteurs kwamen echter tot verschillende lozingspercentages. Bogdan had geen argumenten voor of tegen een bepaald percentage.

Dit betekent dat ook het gewicht van de vrijgekomen langlevende radioactieve stoffen groter was. Aan de hand van de gegevens van Bogdan komen we op een lozing van ongeveer honderd kilo. Savchenko rekende uit dat het ging om 77 kilo.⁸⁰

We concluderen dat er 77 tot 100 kilo langlevende radioactieve stoffen zijn vrijgekomen in de lucht.

D. Waar kwam het cesium neer?

Voor cesium gold dat 25% van de geloosde hoeveelheid in de buurt van de kerncentrale bleef, dat 40% in de voormalige Sovjet-Unie neerdaalde en 35% daarbuiten.⁸¹ Oekraïne, waar Tsjernobyl ligt, kreeg 25 tot 30% van het geloosde cesium.⁸²

E. Hoe hoog ging de radioactieve wolk?

De radioactieve wolk van Tsjernobyl kon ver komen omdat radioactieve stoffen tot grote hoogte de lucht in werden geblazen, deels hoger dan 1800 meter. Ze werden met luchtstromen meegevoerd tot op grote afstand.

Ten tijde van het ongeluk kwam de wind op 1500 meter hoogte 8 tot 10 meter per seconde uit het zuiden. In 36 uur legde de wolk de 1200 kilometer naar Finland en Zweden af, waar de radioactiviteit als eerste werd gemeten.⁸³

F. Gevaar radioactieve wolk

De (WHO) stelde in november 1995 dat de totale hoeveelheid radioactiviteit die vrijkwam bij

Tsjernobyl 200 keer die van de atoombommen van Hiroshima en Nagasaki tezamen bedroeg.⁸⁴

BEGIN KADER

Halfwaardetijd

Cesium is een radioactieve stof die in 30 jaar de helft van haar radioactiviteit verliest; na 300 jaar (10 keer de halfwaardetijd) is deze stof vrijwel geheel vervallen. Bij een bepaalde soort radioactief jodium, jodium-131, is deze halfwaardetijd 8 dagen, zodat deze stof gedurende drie maanden een gevaar oplevert. De halfwaardetijd van strontium is 29 jaar. Plutonium daarentegen heeft een halfwaardetijd van 24.400 jaar. Bij het ongeluk in Tsjernobyl kwam een hele cocktail radioactieve stoffen vrij; voor de risico's wordt vooral gelet op genoemd cesium, jodium en plutonium, maar ook op strontium (zie tabel 1).

Tabel 1

Bron: <https://www.bibliotheek.nl/catalogus/titel.036734470.html/het-ongeval-bij-tsjernobyl--oorzaken--gevolgen-en-maatregelen/>, publicatie KIVI-Kerntechniek, 1987, p74.

Uitleg Becquerel en millisievert

De Becquerel is de eenheid van radioactiviteit van een stof.

Als men een radioactieve stof binnenkrijgt, loopt men schade op door de straling. De hoeveelheid schade hangt af van de dosis en wordt uitgedrukt in Sievert.

In plaats van de Becquerel (Bq) wordt ook wel de Curie (Ci) gebruikt. Daarbij is 1 Curie gelijk aan 37 miljard Becquerel. Het voordeel van werken met Curie is dat het om kleinere getallen gaat dan bij de Becquerel. Daarom zullen we ze soms door elkaar gebruiken. Om al te veel nullen in de tekst te voorkomen wordt vaak de term kBq, kilobecquerel, ingevoerd: 1 kBq = 1000 Bq.

In de oudere literatuur gebruikt men de term 'rem' om de stralingsschade aan te geven. Tegenwoordig is de term 'Sievert' (Sv) gangbaar. Daarbij is 1 Sv gelijk aan 100 rem. Bij stralingsdosis gaat het vaak over duizendsten rem, de millirem, of duizendsten Sievert, de millisievert (mSv).

De radioactieve neerslag wordt weergegeven in hetzij Ci per vierkante kilometer (km²) dan wel Bq per vierkante meter (m²). De volgende getallen komen veelvuldig voor:

$$40 \text{ Ci/km}^2 = 1480 \text{ kBq/m}^2$$

$$15 \text{ Ci/km}^2 = 555 \text{ kBq/m}^2$$

$$5 \text{ Ci/km}^2 = 185 \text{ kBq/m}^2$$

$$1 \text{ Ci/km}^2 = 37 \text{ kBq/m}^2$$

Omrekeningen

$$1 \text{ kBq} = 1000 \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Ci} = 37 \text{ miljard Bq}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

$$1 \text{ mSv} = 0,1 \text{ rem}$$

$$1 \text{ rem} = 10 \text{ mSv}$$

$$1 \text{ mrem} = 0,01 \text{ mSv}$$

EINDE KADER

HOOFDSTUK 3

GEVOLGEN VOOR ECOLOGIE EN ECONOMIE

Inleiding

Door het ongeluk met Tsjernobyl-4 kwam met name tussen 26 april en 5 mei veel radioactiviteit vrij, die omvangrijke gebieden in vooral Wit-Rusland, Rusland en Oekraïne besmette. Er werden verschillende maatregelen genomen om de gevolgen van de radioactieve lozing te beperken. Om de verongelukte centrale kwam een gebouw, de sarcofaag. Men ondernam een poging tot schoonmaak van grote gebieden, legde dammen aan om het drinkwater van Kiev zoveel mogelijk van radioactiviteit te vrijwaren en probeerde landbouw en veeteelt zoveel mogelijk te redden. Deze kwesties komen in dit hoofdstuk aan de orde. We beginnen met de geheimhouding rond Tsjernobyl.

3.1 Geheimhouding

Een wezenlijk probleem bij de beoordeling van de gevolgen van het ongeluk met de kerncentrale in Tsjernobyl was de geheimhouding van informatie, vooral in de eerste jaren na het ongeluk toen de Sovjet-Unie nog bestond.

De journaliste Alla Yaroshinskaja bracht in 1994 het boek “Chernobyl: The Forbidden Truth” uit.⁸⁵ Yaroshinskaja stelde lastige vragen over Tsjernobyl. Dat maakte haar bij de lezers zo populair dat ze in 1988 gekozen werd in de Opperste Sovjet. Ze maakte deel uit van een commissie die de gevolgen van het ongeluk in Tsjernobyl onderzocht. Deze commissie ondervond veel tegenwerking.

Na de zogeheten staatsgreep in de Sovjet-Unie van augustus 1991 verbood president Jeltsin de Communistische Partij. In de chaotische situatie die daarop volgde, wist Yaroshinskaja de hand te leggen op maar liefst veertig geheime Tsjernobyl-protocollen van het Politbureau van de Communistische Partij. Uit deze geheime stukken - het gaat om verslagen van vergaderingen - bleek duidelijk dat de regering van de Sovjet-Unie de bevolking bewust had misleid.

Nog in mei 1989 stelde de toenmalige minister van Volksgezondheid van Oekraïne, A. Romanenko, dat niet meer dan 209 mensen ziek waren geworden door het ongeluk in Tsjernobyl of op een andere manier te lijden hadden onder de gevolgen van straling. De geheime protocollen spraken echter andere taal.

“Er liggen nu 1.882 mensen in het ziekenhuis; 38.000 mensen zijn medisch onderzocht,” staat in de notulen van 4 mei 1986. Twee dagen later liep het aantal patiënten op tot 3.454, terwijl op 7 mei 4.301 mensen opgenomen waren. Daarvan leden minstens 520 aan stralingsziekte. Volgens de notulen van 12 mei waren er op die dag 2.703 patiënten bijgekomen, waarvan 345 met stralingsziekten.

De media stelden kort na het ongeluk kritische vragen aan de autoriteiten. Daarop formuleerde het Politbureau op 4 juni 1986 regels voor woordvoerders op persconferenties: “Deze moeten benadrukken dat beweringen over aanzienlijke ecologische en materiële schade onhoudbaar zijn vanwege de geringe hoeveelheid radioactiviteit die is vrijgekomen.” Op dat moment wist de regering echter dat het om een grote hoeveelheid radioactiviteit en omvangrijke schade ging. In de maanden na het ongeluk scherpte de regering het geheimhoudingsbeleid nog aan.

Yaroshinskaja haalde de volgende twee voorbeelden aan. Op 8 juli 1987 bepaalde het Sovjetministerie van Defensie dat alle ziekten van de schoonmakers (de zogeheten liquidatoren),

uitgezonderd acute stralingsziekte, niet in een causale relatie met radioactiviteit mochten worden gebracht. De regering bepaalde op 24 september 1987 dat alle gegevens over te hoge stralingsbelasting in dorpen of steden en over de gezondheid van liquidatoren geheimgehouden moesten worden.

Ook Borovikov, in 1990 permanente vertegenwoordiger in Wenen van de Wit-Russische Sovjet Republiek, stelde dat de gevolgen van Tsjernobyl veel ernstiger waren dan aanvankelijk werd aangenomen: “We kregen van Moskou te horen: Geen paniek, geen gevaar. Maar een groot deel van ons land is besmet en ons beste landbouwgebied is voor eeuwen ongeschikt.”⁸⁶

In zijn boek uit 1995 oefende Savchenko, medewerker van de Afdeling Ecologische Wetenschappen van Unesco, kritiek uit op het informatiebeleid. Hij citeerde de toenmalige vicepresident van Oekraïne, K. Masik, die in 1992 benadrukte dat de centrale Sovjetregering de volgende politiek had gevoerd vanaf het begin van de ramp:

- kalmeer de publieke opinie met alle middelen;
- ontken elke verantwoordelijkheid door de staat;
- minimaliseer de omvang van de compensatie van de bevolking voor hun verlies;
- kleiner zo veel mogelijk het reële gevaar voor de gezondheid van de bevolking.

Onvoldoende actie van de centrale regering in de periode 1986-1989 bracht de autoriteiten van de getroffen regio's ertoe eigen programma's te ontwikkelen. Daarnaast ontstonden tussen 1989 en 1991 vanuit de bevolking omvangrijke actiegroepen zoals het Volksfront uit Wit-Rusland (Adradzhenne) en het Volksfront uit Oekraïne (Rukh). Deze eisten dat de geheimhouding opgeheven zou worden.⁸⁷

Zelfs het IAEA, dat als centrale doelstelling de promotie van kernenergie heeft en als spreekbuis voor de nucleaire industrie fungeert, zette kanttekeningen bij het gebrek aan openheid. De eerste kaarten met een overzicht van radioactieve besmetting werden in juli 1986 gemaakt, stelde het International Chernobyl Project van het IAEA in 1991. Die kaarten waren echter voor intern gebruik. Pas in 1989 werden de eerste kaarten gepubliceerd, deelde het IAEA mee.⁸⁸

Op 2 februari 1989 werden de kaarten besproken tijdens de eerste openbare zitting van de Commissie van het Centrale Comité van de Communistische Partij Wit-Rusland en de Wit-Russische ministerraad. In de Sovjet-media verschenen de eerste kaarten op 20 maart 1989. Deze kaarten beschreven gebieden met een stralingsbelasting vanaf 5 Curie/km² cesium. Kaarten met bodembelasting vanaf 1 Curie/km² cesium en met de bodembelasting door andere radioactieve stoffen verschenen pas op 17 april 1990.⁸⁹

De politiek van geheimhouding maakte het zeer moeilijk om bijvoorbeeld te bepalen hoeveel doden er waren gevallen als gevolg van het ongeluk. Immers, als alle slachtoffers een verklaring van de doodsoorzaak kregen die niets met de kernramp te maken had, hoe konden we dan nog nauwkeurige gegevens verzamelen? Bij de liquidatoren hadden we ook te maken met militaire geheimhouding van hun dossiers. Dat alles maakte de bepaling van het aantal slachtoffers vrijwel onmogelijk.

3.2 De sarcofaag

Na de ramp met Tsjernobyl-4 wilde men de andere drie kerncentrales zo snel mogelijk weer in bedrijf nemen. Daartoe was het nodig de lozing van radioactiviteit zoveel mogelijk te stoppen.

Om dat te bereiken bedacht men een manier om het gapende gat te overkappen met een bouwwerk. Dit gebouw noemde men de sarcofaag.

De sarcofaag werd deels gebouwd op de ruïne van Tsjernobyl-4. Daarbij was veel improvisatie vereist. Veel werkzaamheden gebeurden met haastig ontwikkelde apparatuur die men op afstand bediende.

De sarcofaag was niet zo stevig als men aanvankelijk hoopte. Onder invloed van radioactiviteit en vocht brokkelde het gebouw af. Dat gaf 1000 vierkante meter gaten, die deels gedicht werden. De sarcofaag kon ook instorten. Daarom waren er plannen om een tweede sarcofaag te bouwen om de eerste heen. Voor een gedetailleerde bespreking verwijzen we naar hoofdstuk 5.

3.3 Operatie “uitwissen radioactiviteit”

Meteen na het ongeluk kwamen schoonmaakwerkzaamheden op gang. In de visie van de Sovjet-Unie nam het bestrijden van de gevolgen van het ongeluk heroïsche proporties aan. Men bezigde termen als het ‘uitwissen van de straling’, noemde brandweerlieden ‘helden’ en de schoonmakers ‘liquidatoren’. Het ongeluk en de straling werden beschouwd als vijanden die men moest uitschakelen. Van een overwinning op radioactiviteit kan echter alleen sprake zijn als de gevolgen gering zijn: als het dodental niet al te ver oploopt en het ontruimde gebied echt schoongemaakt wordt. Maar al kort na het ongeval steeg het aantal doden naar 31 en een gebied tot 30 kilometer van de centrale moest onbewoonbaar verklaard worden. Het bleek dat men de straling niet kon uitwissen.

De overheid wilde, zoals gezegd, dat de drie kerncentrales van Tsjernobyl die niet door de ramp getroffen waren, spoedig weer stroom gingen leveren en daarom waren maatregelen nodig.⁹⁰ In het gebied onmiddellijk rond de kerncentrales groef men daarom de bovenste laag grond weg; het ging om een toplaag van 30 centimeter.⁹¹ Daarvoor in de plaats kwam beton. De kerncentrales zelf werden zoveel mogelijk ontsmet, van binnen en van buiten.

3.4 Massale schoonmaak

“Dan volgt gedurende de zomer en de herfst van 1986 de grote schoonmaak die als een wals over delen van Wit-Rusland en Groot-Rusland gaat. Het publiek beseft dan dat de onzichtbare dreiging zich veel verder en minder voorspelbaar uitstrekt over een groot gebied.”⁹² Tot maart 1987 werden 60.000 huizen en andere gebouwen in 500 steden en dorpen schoongemaakt.⁹³ De huizen en gebouwen werden behandeld met speciale vloeistoffen die radioactieve stoffen binden. Tien tot twintig centimeter aarde uit de straten, tuinen en de gebieden rondom de plaatsen en dorpen werd afgegraven en naar elders vervoerd. Oude huizen werden gesloopt en vele daken vervangen.

Overall legde men asfalt, dat ter verwijdering van radioactieve stofdeeltjes dagelijks schoon gesproeid werd. Het sproeiwater liep in het riool; het is niet bekend of dit apart werd opgevangen. Langs wegen kwamen borden met de waarschuwing om de auto niet te verlaten. De berm was immers besmet. Toch berichtten ooggetuigen dat er gewoon koeien stonden te grazen naast dergelijke waarschuwingsborden.⁹⁴

Volgens het IAEA wilden de autoriteiten de stralingsniveaus vooral verminderen in gebieden waar de mensen niet geëvacueerd waren. Zo zou men minder radioactief stof binnen krijgen en minder stralingsbelasting oplopen. Op die manier hoopte de regering dat het leven weer zo

normaal mogelijk zou worden.⁹⁵

Volgens het IAEA werden van 1986 tot 1991 zo'n 70.000 huizen in meer dan 600 dorpen en steden in een gebied van 7.000 km² ontsmet. De helft van deze dorpen en steden werd meer dan twee keer behandeld. De meeste aandacht ging uit naar overheidsgebouwen als ziekenhuizen en scholen en naar bedrijven. Gebouwen die men minder waard achtte, werden vernietigd en het afval begraven. Belangrijke gebouwen behandelde men drie keer om ze aan van tevoren gestelde criteria te laten voldoen. Als dat toch niet lukte, werden de gebouwen met de grond gelijk gemaakt.

De grond rond vele huizen werd tot op 10 tot 15 centimeter diep afgegraven. Dit verminderde de stralingsbelasting met een factor 3 tot 4. Tuinen werden geplaveid of bedekt met stenen. Soms werd schoon zand aangevoerd om de externe stralingsbelasting met een factor 10 te reduceren. De besmette bodem werd op verschillende plaatsen tijdelijk opgeslagen. Veel opslagplaatsen werden er speciaal voor gebouwd en hadden een moeilijk waterdoorlatende laag klei, een betonnen plaat of plastic als ondergrond. Het afval werd bedekt met een laag zand van 1 meter dikte. Echter, soms werd de opslagplaats snel gekozen en werd er geen beschermende constructie aangelegd wegens gebrek aan bouwmaterialen. Soms lagen dergelijke primitieve opslagplaatsen dicht bij dorpen, in gebieden die in gebruik waren voor landbouw of op laag gelegen gronden met hoge grondwaterstanden.⁹⁶

Men verzamelde bij de schoonmaakoperatie vier miljoen kubieke meter grond, die op 800 punten in de geëvacueerde zone rond Tsjernobyl werd opgeslagen.⁹⁷

De belangrijkste bronnen van radioactieve besmetting waren volgens Pavel Pokutny, in 1989 directeur Informatie en Public Relations van het Tsjernobyl Kombinaat, cesium-137, strontium-90 en plutonium. "Heroïsche ontsmettingsmaatregelen" maakten het volgens hem mogelijk het niveau van radioactiviteit bij de kerncentrale te reduceren van meer dan een rem per uur in mei 1986 naar 2,5 millirem per uur in maart 1989. De radioactiviteit in de lucht bij Pripjat was gedaald naar 0,2 millirem per uur.⁹⁸

Het hele gebied rond de kerncentrale werd begin 1989 voor de tweede keer schoongemaakt vanwege het bezoek van de toenmalige president Gorbatsjov. Desalniettemin bleven er binnen de 10-kilometer-zone om Tsjernobyl 'hot spots' met een radioactiviteit van 2-3 millirem per uur.⁹⁹

3.5 Schoonmaak mislukt

Aanvankelijk dachten de autoriteiten dat een groot deel van het gebied weer bewoond zou kunnen worden na deze schoonmaakoperatie. Ondanks alle werkzaamheden bleek dat een groot deel van de radioactieve stoffen niet verwijderd kon worden. De radioactieve stoffen werden uitsluitend verplaatst. In vele gevallen werd het aardoppervlak opnieuw besmet door radioactieve stoffen die vanuit bomen naar beneden dwarrelden. Slechts van een handvol dorpen in Wit-Rusland konden de bewoners naar huis terugkeren.¹⁰⁰

De Russische stralingsdeskundige Leonid Ilyin, die een vooraanstaande rol speelde bij de te nemen maatregelen, stelde in oktober 1987 dan ook dat de autoriteiten geen haast hadden met het terugbrengen van de 116.000 mensen die binnen de straal van 30 kilometer rond de kerncentrale geëvacueerd waren. Als reden noemde Ilyin dat de migratie van radioactieve stoffen bestudeerd moest worden en dat een dergelijk onderzoek pas in 1988 zou kunnen beginnen.¹⁰¹ De

schoonmaak leidde slechts tot een reductie van de dosis met een factor twee tot drie, schreef Ilyin in 1988.¹⁰²

Het Tsjernobyl-ministerie van Wit-Rusland sprak in een rapport van december 1995 over enige vermindering van de stralingsbelasting voor de bevolking vanwege de schoonmaakwerkzaamheden, maar een significante verbetering van de radiologische omstandigheden vond niet plaats. Wel kostte het erg veel geld en dat was de reden voor stopzetting van de massale ontsmettingswerkzaamheden.¹⁰³ Dit ministerie vermeldde dat er nog wel schoonmaakwerkzaamheden plaatsvonden maar onder strikte voorwaarden. Op die manier moest de stralingsbelasting wezenlijk omlaag gaan en de behandeling kosteneffectief zijn. Wit-Rusland maakte vooral gebouwen schoon die van belang waren voor de bevolking zoals scholen en industrieën. Dit leverde jaarlijks 50.000 ton radioactief afval op. Geschikte opslagplaatsen hiervoor moesten op dat moment nog gebouwd worden.¹⁰⁴

3.6 Besmetting grond- en oppervlaktewater

Onmiddellijk na het ongeluk was de mogelijke besmetting van het watersysteem een van de meest kritische problemen.¹⁰⁵ Vanaf de eerste dag van het ongeluk begon het Staatscomité voor Hydrometeorologie van de USSR met studies. Daaruit bleek een verhoogde radioactiviteit in de rivieren Pripjat en Dnjepr.

In de eerste dagen na het ongeluk werden schattingen gemaakt van de totale hoeveelheden vrijgekomen radioactiviteit en van de concentraties die men kon verwachten, indien de radioactieve stoffen door regenval vanaf de besmette grond in het water zouden wegspoelen. Vanwege de zware besmetting in de onmiddellijke omgeving van de reactor, de aard van de bodem in het gebied en de directe verbinding met het belangrijkste drinkwaterreservoir van Kiev, ten noorden van deze stad aan de Dnjepr, werd veel aandacht besteed aan pogingen om de beweging van langlevende radioactieve stoffen zoals cesium en strontium door het grondwater of het oppervlaktewater te vertragen. Stroomafwaarts vanaf Tsjernobyl betrokken 40 miljoen mensen hun drinkwater uit de rivier. De autoriteiten geloofden dat een geringe besmetting van dit drinkwater bij deze 40 miljoen mensen paniek zou veroorzaken.

Men nam twee soorten maatregelen. Ten eerste werden 130 dammen en dijken gebouwd om de stroming vanaf de omgeving van de kerncentrale in de Pripjat te beperken. Ten tweede bouwde men een barrière van 8 kilometer lang en 30 tot 35 meter diep rond de kerncentrale. Deze muur sloot aan op de ondoordringbaar geachte kleilaag op die diepte. Op die manier wilde men stroming van grondwater naar de Dnjepr voorkomen. De muur was gereed voor de jaarlijkse overstromingen in de lente van 1987.

De maatregelen hadden gedeeltelijk effect. Het onderzoek naar de radioactieve inhoud van de Dnjepr liet zien dat de concentraties cesium de norm niet overschreden. De concentratie strontium-90 overschreed die norm wel in de rivier de Pripjat in mei 1986 en in de winter van 1991, toen zich een ijssdam vormde. Deze ijssdam veroorzaakte een sterke verhoging van het waterniveau, zodat de rivier buiten haar oevers trad. De daaropvolgende maand steeg de besmetting van het Kiev reservoir naar 30-50 picocurie (picocurie= 10^{-12} Curie) per liter, om daarna weer onder de toelaatbare niveaus te zakken. Deze buitengewone gebeurtenis laat zien dat de kerncentrale en de omgeving, die besmet waren met strontium-90, in 1991 nog steeds een gevaar voor het gehele Dnjepr-watersysteem opleverden.¹⁰⁶

Volgens schattingen stroomden tussen juni 1986 en november 1991 in totaal 2.580 Ci strontium-90 en 2.980 Ci cesium-137 naar het Kiev-reservoir. Daarbij kwam nog wat via de rivier de Sozh bij Briansk was binnengekomen. De rivieren monden uit in de Zwarte Zee. Door bovengrondse kernproeven kwamen in de Zwarte Zee in totaal 40.000 Curie cesium-137 en strontium-90 terecht. Tsjernobyl voegde daar nog 45.000 Ci cesium-137 en 7.500 Ci strontium-90 aan toe. Tussen 1986 en 1991 daalde de concentratie in de bovenste 50 meter van de Zwarte Zee met een factor vijf, doordat de radioactieve stoffen naar beneden zakten.¹⁰⁷ In 1994 bleek overigens dat de praktische invloed van de 8 kilometer lange muur niet verder ging dan een paar honderd meter rondom de kerncentrale. De richting waarin het grondwater stroomde, was vrijwel onveranderd.¹⁰⁸

BEGIN KADER

Regenmakers

In de getroffen gebieden in Wit-Rusland en de Russische Federatie gingen hardnekkige geruchten dat de Sovjetautoriteiten de situatie erger hadden gemaakt door de radioactieve wolken uit te laten regenen, toen die koers namen richting Moskou.¹⁰⁹ Deze berichten werden officieel ontkend. Wel werd via het IAEA bekendgemaakt dat er, om regenval boven de besmette gebieden rond Tsjernobyl zoveel mogelijk te voorkomen, ‘passende maatregelen’ genomen werden tegen de wolken. Die acties vonden plaats vanuit vliegtuigen van meteorologische laboratoria van het USSR Staatscomité voor Hydrometeorologie, nadat de overzichten van de besmette gebieden waren gemaakt.

De maatregelen vonden plaats in twee tijdsperiodes: van 10 mei tot 15 juni en van 15 september tot 20 oktober 1986. Het werk bestond uit het bevriezen van ‘schone’ wolken op afstanden van 30 tot 100 kilometer van de kerncentrale. Zo werd tegengegaan dat radioactieve stoffen wegspoelden in de rivieren.¹¹⁰

EINDE KADER

3.7 De besmette gebieden

In de literatuur bestaat geen eenduidige weergave van de omvang van de besmette gebieden en van de hoeveelheid mensen die daar woonden. Dit kan verschillende oorzaken hebben. Aan de ene kant werden in de loop van de jaren steeds meer besmette gebieden gemeten. Aan de andere kant werd het stralingsniveau sinds 1986 geleidelijk minder en vielen sommige gebieden in een andere besmettingscategorie dan in 1986.

De besmetting wordt uitgedrukt in kBq of Curie cesium-137. Deze stof vervalst met 50% in dertig jaar: sinds de ramp was de cesiumbesmetting met zo’n 30% verminderd door het natuurlijke verval. De omvang van de besmette gebieden nam derhalve langzaam af. Het zal echter nog 300 jaar duren voor de cesium-besmetting vrijwel helemaal weg is (dan resteert nog een duizendste).

Bovendien heeft de concentratie van cesium-137 de neiging af te nemen in gebieden met hoge niveaus van radioactiviteit en toe te nemen in gebieden met lagere besmetting in een straal van 30-60 kilometer rond de kerncentrale. Schattingen laten zien dat we een toename van 10% kunnen verwachten in gebieden die met 1 tot 2 Ci/km² besmet zijn. Het proces van verspreiding van radioactiviteit werd veroorzaakt door voorjaarsoverstromingen en stof in de zomer. Ook

branden droegen bij aan de verspreiding van radioactiviteit. In april 1989 brak brand uit in het bos bij het dorp Dovliady. Tijdens de brand werden luchtmetingen gedaan, die tussen 23 en 28 april 1989 een sterke toename van de neerslag van radioactieve stoffen aangaven vanwege het neerslaan van radioactieve deeltjes van de brand. De stoffen sloegen op 14-40 kilometer afstand neer.¹¹¹

Wat betreft de aantallen mensen in de getroffen gebieden was niet altijd duidelijk of bedoeld werd: de mensen die daar woonden ten tijde van het ongeluk, of het aantal nadat veel mensen uit het gebied waren weggevlucht.

De besmette gebieden worden in de volgende categorieën onderverdeeld, waarbij overigens nergens een rechtvaardiging voor deze verdeling te vinden is:

minder dan 1 Ci/km² heet onbesmet;

de lichte besmettingscategorie bestaat uit gebieden met 1 tot 5 Ci/km²;

onder matige besmetting valt 5 tot 15 Ci/km²;

zwaar besmet is het gebied met 15 tot 40 Ci/km²;

extreem besmet is land dat meer dan 40 Ci/km² heeft.

BEGIN KADER

Neerslag radioactieve wolk in Europa

De radioactieve wolken sloegen neer in heel Europa. Om een idee te geven van de verschillen in radioactiviteit tussen de landen enkele gegevens over Nederland in vergelijking met de meest getroffen gebieden.

De totale neerslag van jodium bedroeg in Nederland 11.400 Bq/m².^{112 113} In Kiev kwam alleen al op 2 mei 1986 87 keer zoveel neer.¹¹⁴ In grote delen van Wit-Rusland, tot op honderden kilometers van Tsjernobyl, kwam 370.000 tot 1.850.000 Bq/m² neer.¹¹⁵ Voor Rusland geldt een soortgelijke situatie.

EINDE KADER

3.8 Omvang besmette gebieden

3.8.1 Welk gebied was besmet met meer dan 1 Ci/km²?

Volgens Savchenko van Unesco was in 1986 een gebied van 105.000 km² besmet met meer dan 1 Curie per vierkante kilometer.¹¹⁶ Astrid Sahn van de Universiteit te Mannheim kwam op grond van een gedetailleerde studie naar de officiële bronnen uit Wit-Rusland, de Russische Federatie en Oekraïne uit op 135.000 km². Volgens een rapport van het Department of Humanitarian Affairs (UNDHA) (de Afdeling Humanitaire Zaken) van de Verenigde Naties van 8 september 1995 was een gebied van 160.000 km² radioactief besmet.¹¹⁷ Dit komt overeen met de oppervlakte van Engeland, Wales en Noord-Ierland tezamen. In deze gebieden werden tenminste negen miljoen mensen direct of indirect getroffen door Tsjernobyl: 2 miljoen in Wit-Rusland, 3 miljoen in Rusland en 4 miljoen in Oekraïne.

De Wit-Russische Tsjernobyl-minister Ivan Kenik stelde hierover in het UNDHA-News van november 1995 dat bijna 2 miljoen Wit-Russen, van wie een half miljoen kinderen onder de 17

jaar, in besmet gebied leefden. Ze hadden vaak te maken met een jaarlijkse stralingsbelasting van 5 mSv of hoger. De stress onder deze mensen was erg groot. Dit was niet de eerste keer dat een grote ramp Wit-Rusland trof: 25% van de toenmalige bevolking werd tijdens de Tweede Wereldoorlog om het leven gebracht. In 1996 leefde een op de vijf Wit-Russen in besmet gebied.¹¹⁸ Het probleem was dat de besmetting maar langzaam afnam.

3.8.2 Welk gebied was besmet met meer dan 5 Curie/km²?

Over de omvang van de gebieden die met 5 Curie of meer per vierkante kilometer besmet waren, bestond meer overeenstemming: het ging om ongeveer 25.000 km². Hiervan lag 14.600 km² in Wit-Rusland, 8.100 km² in Rusland en 2.100 km² in Oekraïne. In deze gebieden woonden 825.000 mensen, van wie 45% in Wit-Rusland, 24% in Rusland en 31% in Oekraïne. 8.000 km² had meer dan 15 Ci/km² (555 kBq/m²) en 1.700 km² meer dan 40 Ci/km² (1.480 kBq/m²).^{119 120} Zie ook tabel 1.

Tabel 1

Besmette grond (Curie per vierkante kilometer) en aantal getroffen mensen per land

Besmetting	Wit-Rusland	Rusland	Oekraïne	Totaal
5 tot 15	267.200	113.100	204.200	584.500
15 tot 40	95.700	80.900	29.700	206.300
Groter dan 40	9.700	4.600	19.200	33.500

De World Health Organisation noemde overigens in november 1995 een aantal van 270.000 mensen die nog woonden in een gebied met 15 tot 40 Ci/km², dus meer dan het aantal van 206.300 van bovenstaande tabel.¹²¹ Een verklaring voor dit verschil kon niet gevonden worden.

BEGIN KADER

Hier bespreken we vooral de gevolgen van het Tsjernobyl-ongeval voor Wit-Rusland, Oekraïne en Rusland. Dat neemt niet weg dat anno 1996 ook elders de gevolgen te merken waren van de radioactieve wolk van tien jaar daarvoor. We noemen enkele voorbeelden.

- In Noorwegen was de cesium-radioactiviteit in het vlees van 64.000 schapen te hoog;¹²²
- Hazelnoten uit Turkije bevatten een te hoge belasting vanwege strontium;¹²³
- Paddenstoelen in Zuid-Duitsland bevatten dermate veel radioactiviteit dat de overheid elke herfst waarschuwde voor consumptie daarvan;¹²⁴
- In Engeland stond een deel van de schapen in Cumbria onder controle: het ging om 21.000 schapen behorend tot dertien kuddes; dit was een kwart van de kuddes die in 1986 onder controle werden gesteld vanwege het te hoge cesium-gehalte.¹²⁵

EINDE KADER

3.9 Gevolgen voor landbouw, veeteelt en voedselvoorziening

Het ongeluk met de kerncentrale in Tsjernobyl had gevolgen voor de gehele ecologie van de getroffen gebieden. We behandelen hier uitsluitend de gevolgen voor de landbouw en de manier waarop met name de regering van Wit-Rusland daar tot begin 1996 mee te kampen had. We beginnen met Oekraïne.

3.9.1 Omvang getroffen landbouwgebieden in Oekraïne

De Afdeling Humanitaire Zaken van de Verenigde Naties stelde dat in Oekraïne “een gebied overeenkomend met de oppervlakte van heel Nederland” tot in lengte van dagen “ongeschikt voor landbouw” was.¹²⁶ Dat had gevolgen voor de economie. Aan de ene kant werd er minder voedsel verbouwd en dat gaf minder inkomsten. Aan de andere kant moest de overheid geld uitgeven om de gevolgen van de ramp enigszins in te dammen.¹²⁷

Er werd een groot aantal maatregelen genomen om toch iets met de besmette landbouwgrond te kunnen doen.¹²⁸ Zo'n 90.000 hectare (ha) hoog besmet land werd bebost. Ander besmet land werd gebruikt voor de productie van rapen voor oliën. Soms werden soorten toegepast die minder radioactieve stoffen uit de bodem opnemen. Granen en aardappelen kwamen in de plaats van groente, lupines, bieten of wortelen.

Het gebruik van een 1,5 tot 2 keer hogere dosis kalium en fosfaatkunstmest, in combinatie met het toepassen van een soort kalk, reduceert de opname van strontium en cesium. In Oekraïne werd sinds 1986 423.000 ha grond bewerkt en op 725.000 ha een extra hoeveelheid kunstmest gebruikt. Tussen 1986 en 1989 werd in Wit-Rusland 239.500 ha met de speciale kalksoort bewerkt en kreeg 248.900 ha extra kunstmest.

Radioactieve stoffen liet men weglekken uit de bovenste laag van de bomen via chemische oplossingen zoals H₂SO₄ (zwavelzuur) en HCl (zoutzuur). Dit gaf goede resultaten, maar vereiste grote hoeveelheden chemische stoffen. Deze aanpak leverde het gevaar op van chemische en radioactieve besmetting van grondwater. Door genoemde chemische stoffen wordt de grond immers erg zuur, zodat er nauwelijks iets op groeit.

Om de opname van radioactieve stoffen in planten zoveel mogelijk tegen te gaan werd al in 1986 een reeks maatregelen genomen: diepploegen, toevoegen van extra hoeveelheden kalk en speciale soorten kunstmest. Met behulp hiervan lukte het de besmettingsgraad van de producten uit de landbouw met de helft tot een derde te verminderen.

Een probleem was dat ondanks het diepploegen de wortels van planten de radioactieve stoffen bleven opnemen. Er is geen reden om aan te nemen dat het tot een zelfreiniging van de bodem komt door horizontale of verticale bewegingen van de radioactieve stoffen.¹²⁹

3.9.2 Dood en ziek vee

De radioactieve stoffen hadden grote invloed op vee. Twee derde van de koeien die in 1986 of 1987 geboren werden in gebieden met 15 tot 40 Ci/km², baarde in de jaren 1989/1990 dode kalveren. Bij de overige koeien duurde het langer dan normaal voor ze drachtig waren.

Bovendien daalde de natuurlijke weerstand van de beesten. Ongeveer 80% van de kalveren en koeien hadden een bepaald virus (rotavirus) en 25 tot 80% van de dieren hadden speciale antilichamen, waardoor de opname van zuurstof in de cellen afnam. Zowel in 1989 als in 1990 werden veranderingen in het beenmerg vastgesteld.¹³⁰

Dieren die geslacht moesten worden, kregen 40 tot 120 dagen van tevoren onbesmet voedsel. Op die manier werd de radioactieve inhoud van het vlees naar beneden gebracht, opdat het vlees verkoopbaar zou worden.¹³¹ Onmiddellijk na het ongeval deed zich het probleem voor van het gebruik van in het wild levende dieren. In vele sterk besmette gebieden werd de jacht verboden,

evenals de visserij. Later, bij afnemende besmetting, deed zich het probleem voor hoe men jagen en vissen moest reguleren. In de ergst besmette gebieden veranderde de radioactieve besmetting sinds 1990 niet significant en was er geen reden om de jacht toe te staan. Indien men die wel toestond, moest de radioactiviteit van het vlees gemeten worden.¹³²

3.9.3 Meetsysteem voor voedsel Wit-Rusland

Wit-Rusland zette een uitgebreid meetsysteem voor radioactiviteit op.^{133 134} Voedsel moest namelijk ook in 1996 nog gemeten worden op radioactiviteit.

De Commissie voor Hydrometeorologie controleerde de radioactieve besmetting van lucht, bodem en oppervlaktewater met behulp van 52 meetstations. Het ministerie van Landbouw en Voeding onderzocht de voedingsmiddelen die in de staats- en marktsector werden geproduceerd. Voedsel uit eigen tuin werd door het ministerie van Gezondheid gemeten. Het was echter zo dat door de afstand tot de laboratoria een volledige controle van voedsel uit eigen tuin niet verwezenlijkt kon worden.

Het meetsysteem van het ministerie van Landbouw en Voeding omvatte 1330 laboratoria en meetstations. Medewerkers van die laboratoria waren aanwezig in vleesverwerkende bedrijven en bij melkfabrieken. De kolchozen en sovchosen werden met meettoestellen uitgerust om de aanwezigheid van radioactief cesium vast te stellen. Jaarlijks vonden rond 125.000 metingen plaats.

In dorpen met minstens 80 inwoners stelde de overheid een meetstation voor radioactiviteit in. In de dorpen werden dosimetristen opgeleid. Dat waren mensen uit de dorpen zelf. Tot 1996 hadden 500 mensen het diploma dosimetrist gehaald.

De belangrijkste werkzaamheden voor het tot stand brengen van dergelijke stations werden sinds 1991 gedaan door het Wit-Russische Instituut voor Stralingsbescherming, waarvan Nesterenko toen de directeur was. De overheid betaalde dit werk. De dosimetristen waren in dienst van het Instituut voor Stralingsbescherming en daarmee financieel onafhankelijk van de plaatselijke autoriteiten.

De metingen in de plaatselijke stations lieten een tien keer hogere dosis zien dan in de staatslandbouwsector. In 1992 werden bijvoorbeeld in de regio Gomel in de helft van de meetstations te hoge waarden bij hoofdvoedingsmiddelen vastgesteld. Midden 1992 was in 26% van de privéhuishoudens het stralingsniveau van de melk te hoog; soms werd 3700 Bq/liter gemeten. De melk werd toch geconsumeerd.

In 1993 kwamen door de grote hoeveelheid neerslag meer radioactieve stoffen in de voedselketen terecht. Ook in 1994 was de overschrijding van de normen aanzienlijk. In de regio Gomel werd in het tweede kwartaal in 34,5% van alle metingen van melk de norm overschreden. In de regio Mogilev ging het zelfs om 51%. Deze producten werden dan naar andere delen van Wit-Rusland gestuurd. De staat was op grond van de moeilijke economische situatie niet in staat om de bevolking van onbesmette levensmiddelen te voorzien.

Zowel in de staats- als de privésector konden de koeien in de winter van 1994 op 1995 niet van onbesmet hooi en ander voedsel voorzien worden. Daardoor nam de radioactiviteit in het lichaam van de koeien weer toe, wat in 1995 weer tot hogere doses in melk en vlees aanleiding gaf.

3.9.4 Besmetting van voedsel

De maximaal toegestane hoeveelheid radioactiviteit in voedsel leidde volgens de Wit-Russische normen uit 1990 tot een stralingsbelasting van 1,7 tot 1,8 mSv per jaar, gemiddeld over de hele bevolking. In november 1992 stelde het ministerie van Gezondheid van Wit-Rusland nieuwe normen vast, die zouden moeten leiden tot maximaal 1 mSv per jaar.

Volgens die normen mocht melk 111 Bq/liter cesium bevatten, vlees en vleesproducten 600 Bq/kilo, meel en aardappelen 370 Bq/kilo en groente en brood 185 Bq/kilo. Maar opvulling van die normen gaf al een dosis van 1,25 mSv per jaar. Daarbij kwam nog dat voeding niet op strontium gecontroleerd werd. Daarnaast waren er geen maximaal toelaatbare doses voor radioactiviteit in water en lucht. Dat betekende het volgende. Ook bij de voedselnormen van 1992 kunnen we ervan uitgaan dat de som van de doses door voedsel, de externe besmetting en inademing van radioactieve stoffen leidde tot overschrijding van de norm van 1 mSv. Op dit onderwerp komen we later nog terug.

3.10 De economische schade van de kernramp

Het is slechts gissen naar de kosten die het ongeluk in Tsjernobyl voor de meest getroffen gebieden met zich meebracht. Wij baseren ons hier uitsluitend op literatuur waarin de kosten in dollars zijn aangegeven. Dit om de invloed uit te schakelen van de gigantische inflatie die de roebel onderging. De dollar was sinds 1986 veel stabiel.

Volgens het Politbureau van de Communistische Partij van de Sovjet-Unie bedroegen de kosten tot 1988 zo'n 14 miljard dollar. Onder dit bedrag vielen de schoonmaakwerkzaamheden, de bouw van de sarcofaag en van 21.000 huizen en 15.000 appartementen voor de vluchtelingen uit de 30-kilometer-zone in Oekraïne.¹³⁵

Een jaar later waren de kosten gestegen naar 17 miljard dollar, waarbij overigens het verlies aan elektriciteitsopwekking doordat Tsjernobyl-1, -2 en -3 lange tijd stillagen na het ongeluk met Tsjernobyl-4, niet meegeteld was. Daarnaast leverden ook de andere RBMK-centrales van de Sovjet-Unie minder elektriciteit omdat ze langdurig stillagen voor aanpassing van de veiligheidsvoorzieningen. Ook werd het verlies door het stoppen van de bouw van Tsjernobyl-5 en -6 niet meegeteld in dit bedrag van 17 miljard dollar.¹³⁶

De uitgaven van de getroffen landen vanwege Tsjernobyl waren aanzienlijk. De regering van Oekraïne besteedde vier procent van haar uitgaven aan het bestrijden van de gevolgen van Tsjernobyl. Het ging om een bedrag van 100 miljoen dollar per jaar, maar hiermee kon slechts een vijfde betaald worden van wat de regering eigenlijk zou willen uitgeven. De regering van Wit-Rusland besteedde al wel jarenlang 10 tot 20% van haar inkomsten aan de gevolgen van Tsjernobyl.^{137 138} Dit was een ondraaglijke belasting voor de betreffende economieën.

Zowel Wit-Rusland, Oekraïne als Rusland hadden begin jaren negentig te maken met een sterke terugloop van het Bruto Nationaal Product (BNP), dat staat voor wat de inwoners van een land met elkaar verdienen. In Oekraïne werd het BNP tussen 1990 en 1995 gehalveerd. De benodigde uitgaven vanwege Tsjernobyl daalden echter niet. Daardoor drukten de gevolgen van Tsjernobyl steeds zwaarder op vooral Oekraïne en Wit-Rusland.

De schade voor Wit-Rusland bedroeg 32 keer de jaarlijkse begroting van dit land. Het verlies voor de landbouw bedroeg in de periode 1986 tot 2015 rond 26 miljard dollar. Het verlies voor

de bosbouw in deze periode was 4 miljard dollar en voor de industrie 9 miljard dollar. De waarde van de dorpen en steden die men moest verlaten, was 14 miljard dollar. Daarnaast waren er kosten voor het scheppen van normale voorwaarden voor de mensen in besmette gebieden en voor herhuisvesting en medische verzorging. Daarbij ging het om 86 miljard dollar in de periode 1986-2015. De som van de kosten bedroeg 139 miljard dollar.¹³⁹

In 1995 gaf de regering van Wit-Rusland 13,5% van de begroting uit aan de gevolgen van Tsjernobyl. Deze uitgaven dekten de echte behoefte niet: indien daaraan zou worden voldaan, ging het om 40% van de begroting.

Als we het bedrag uit 1989 van 17 miljard dollar optellen bij de schade voor Wit-Rusland van 139 miljard dollar, komen we op ruim 150 miljard dollar. Daar komen nog de overige uitgaven bij van Oekraïne en Rusland, waarvoor we geen nadere specificatie konden vinden. De kosten waren derhalve 150 miljard dollar + X. Omdat het in Rusland en Oekraïne ging om miljoenen mensen in omvangrijke besmette gebieden, is er op zich geen reden dat de kosten daar lager zouden zijn dan in Wit-Rusland. We nemen derhalve aan dat getal X staat voor tientallen miljarden dollars. De kosten van Tsjernobyl werden opgebracht door de bevolking en de regeringen van de betreffende landen.

BEGIN KADER

Kosten Tsjernobyl voor enkele West-Europese landen

De in Nederland veroorzaakte kosten bedroegen 20 miljoen gulden voor de jaren 1986 en 1987. Volgens het Nederlandse ministerie van Milieu bedroeg de totale schade “enige tientallen miljoenen gulden”.¹⁴⁰ In Groot-Brittannië leden de schapenhouders in 1986 een verlies van 15 miljoen dollar.¹⁴¹ In dat jaar bedroegen de kosten voor landbouw en veeteelt in Zweden 145 miljoen dollar.¹⁴²

Er werd in 1996 nog steeds geld uitgegeven wegens Tsjernobyl. De Noorse overheid besteedde 3 miljoen dollar per jaar voor het meten van radioactiviteit in vlees.¹⁴³ De Duitse overheid gaf volgens het ministerie van Milieu en Reactorveiligheid tot 1996 zo'n 452 miljoen DM (ongeveer 300 miljoen dollar) uit als tegemoetkoming in de schade van veeteelt en land- en tuinbouw. Daarnaast werd 66 miljoen DM (44 miljoen dollar) besteed aan de verwerking van besmette melk. Over de totale economische schade had dit ministerie geen gegevens.¹⁴⁴ Tot 2020 waren de kosten voor Duitsland 1 miljard euro.¹⁴⁵

EINDE KADER

3.11 Conclusies hoofdstuk 3

1. Aanvankelijk dachten de autoriteiten van de voormalige Sovjet-Unie dat alle radioactiviteit door het ongeluk uit de reactor was geslingerd. Later begon men daaraan te twijfelen en ging men op onderzoek uit. Het bleek dat niet alle radioactieve stoffen te achterhalen waren: 110 ton was zoek, de helft van de tijdens het ongeluk aanwezige 230 ton.

2. De Sovjet-Unie en het IAEA stelden in 1986 dat 40 miljoen Curie was geloosd in de lucht. Eind 1986 maakte men er 50 miljoen Curie van. In februari 1996 herzag de Nuclear Energy Agency van de OECD de lozing: het ging om 120 miljoen Curie.¹⁴⁶ Uit andere berekeningen bleek dat 185 tot 250 miljoen Curie was vrijgekomen. De lozing was dus drie tot zes keer zo

groot als aanvankelijk gesteld.

3. De 230 ton brandstof in de kern bestond vooral uit uranium. Radioactieve splijtingsproducten als jodium, cesium, strontium en nieuw gevormde stoffen als plutonium wogen in totaal 1900 kilo. Van deze radioactieve stoffen werd honderd kilo de lucht in geblazen en besmette omvangrijke gebieden. Dat laat zien hoe gevaarlijk radioactiviteit is. Slechts honderd kilo veroorzaakte langdurige besmetting.

4. Na het ongeluk werd met grote snelheid een omhulling om de verongelukte reactor gebouwd: de sarcofaag. Het tempo waarmee de sarcofaag gebouwd kon worden, was van doorslaggevende betekenis bij het ontwerp.

5. Jarenlang hadden de autoriteiten van de voormalige Sovjet-Unie het idee dat men radioactiviteit kon uitwissen. Vandaar dat ze opdracht gaven tot massale schoonmaakoperaties. Maar radioactiviteit laat zich niet vernietigen, slechts verplaatsen. De massale schoonmaak van tienduizenden huizen in honderden dorpen en steden leverde geen goed resultaat op. Omdat die schoonmaak wel veel geld kostte, stopte men er in 1990 mee. Het gevolg van die schoonmaak was overigens de inzet van honderdduizenden mensen die daarvan problemen ondervonden, zoals rond 1995 duidelijk werd.

6. Ook het idee om besmetting van grondwater en rivieren tegen te gaan door de aanleg van honderden dammen bleek een illusie. De toestroming van de radioactiviteit werd hooguit vertraagd.

7. Een gebied van 160.000 vierkante kilometer was besmet. Daar leefden negen miljoen mensen. Zeker 200.000 mensen woonden in 1996 nog steeds in zwaar besmette gebieden.

8. Het ongeluk in Tsjernobyl had grote gevolgen voor landbouw, veeteelt en voedsel. Een derde van het besmette gebied was voor deze doeleinden in gebruik. Ook in 1996 bevatte een aanzienlijk percentage voedsel meer radioactiviteit dan was toegestaan, soms wel een derde van de onderzochte producten. Dit besmette voedsel bleef echter in de handel, omdat Wit-Rusland anders een tekort aan voedsel zou hebben. Bij de veeteelt werd een sterke toename geconstateerd van het aantal koeien dat dode kalveren baarde.

9. De totale kosten ten gevolge van het Tsjernobyl-ongeluk waren gigantisch. Omdat de radioactiviteit van een stof als cesium in dertig jaar met slechts de helft afneemt, bleef de economische schade voortduren. De kosten tot het jaar 2015 (toen cesium met de helft verminderd was) bedroegen minimaal 150 miljard dollar.

10. Samengevat met gegevens uit 2017 toegevoegd: door het ongeval in april 1986 met de kerncentrale bij Tsjernobyl in Oekraïne werd 200.000 vierkante kilometer land radioactief besmet; 350.000 mensen werden geëvacueerd; het totaal aantal doden door dit ongeval kan in Oekraïne en Wit-Rusland nog oplopen tot 140.000.¹⁴⁷ De economische schade was tot en met 2016 zo'n 646 miljard euro.¹⁴⁸

HOOFDSTUK 4

GEVOLGEN VAN HET TSJERNOBYL-ONGELUK VOOR DE MENS

Inleiding

In dit hoofdstuk behandelen we de gevolgen die Tsjernobyl had voor de mens. Eerst bespreken we de evacuatie, hoe die verliep en waar de mensen gingen wonen, voor zover dat bekend is. Daarna komen de gevolgen voor de gezondheid aan bod: schildklierkanker, ziekte bij liquidatoren, ziekte bij mensen die nog steeds in besmette gebieden wonen en bij mensen die geëvacueerd zijn.

4.1 Omvang evacuatie

Enkele uren na het ongeluk in de vroege ochtend van 26 april 1986 kreeg de Bescherming Bevolking van Kiev en Gomel bericht van de explosie. Er werd een staf opgezet in Pripjat, drie kilometer ten noordwesten van de kerncentrale. Pripjat was de stad waar de operators van de kerncentrales in Tsjernobyl woonden. De politie richtte meteen wegblokkades op om te verhinderen dat mensen de stad in of uit gingen, behalve degenen die hielpen bij de bestrijding van de gevolgen van het ongeluk.¹⁴⁹

De journaliste Lbo Kovaleveskaja was in Pripjat en stond laat in de ochtend op. Ze ging naar buiten en zag veel politie. In de verte was goed te zien dat de kerncentrale in brand stond en dat de zijmuren kapot waren. Mensen liepen door de straat hun hond uit te laten, kinderen speelden buiten.¹⁵⁰

's Avonds was de straling tussen 0,1 en 1 mSv per uur. Doktoren raadden evacuatie aan. Rond 22.00 uur besloot het hoofd van de Regeringscommissie om de volgende dag de bevolking te evacueren. Op 27 april werd dit in de straten omgeroepen tussen 10 en 12 uur, terwijl 's ochtends kinderen nog buiten hadden gespeeld.¹⁵¹

Om 12.00 uur werd via de radio omgeroepen dat de inwoners voor drie dagen spullen mee moesten nemen. De evacuatie was om 14.00 uur gepland. De overheid bestelde en kreeg 1200 bussen. De colonne reed 50 kilometer naar het westzuidwesten naar een ontvangstcentrum in Poleskoje en naar het zuidzuidwesten naar de regio Ivankov in het district Kiev.¹⁵² Het kader van de Communistische Partij van Pripjat vertrok als eerste. De windrichting op dat moment was westelijk, dus men volgde de richting waarin de radioactieve wolk zich verplaatste.¹⁵³

De mensen kwamen om 20.00 uur in Poleskoje aan. Daar vond geen medisch onderzoek plaats en evenmin werden de vluchtelingen gecontroleerd op besmetting. Na drie dagen onderzochten doktoren hun bloed. Sommigen werden naar het ziekenhuis gestuurd.¹⁵⁴

De overheid nam in de wijde omtrek stralingsmeters van mensen en instituten in beslag. Dit om de stralingsgevolgen geheim te houden. Eind 1988 was het bezit van een dosimeter nog steeds een misdaad.¹⁵⁵

Er werden op die dag zo'n 44.000 tot 50.000 mensen getransporteerd. Vanuit de ontvangstcentra gingen de vluchtelingen naar familie in de buurt. Vanaf augustus 1986 verhuisden sommige mensen naar huizen in Kiev. Ze mochten eind augustus even terug naar Pripjat om kleren, bestek en boeken op te halen. Iedere persoon werd begeleid door een stralingsdeskundige die opmat welke dosis ze opliepen.¹⁵⁶

Op 28 april stelden de hoofden van de Bescherming Bevolking van Oekraïne en de toenmalige Sovjet-Unie voor om tot op 10 kilometer rond de kerncentrale te evacueren. De regering besloot hiertoe op 1 mei.¹⁵⁷ Op 2 mei besloot de regeringscommissie onder leiding van Legasov dat tot op 30 kilometer van de kerncentrale iedereen weg moest.¹⁵⁸ Nog eens zo'n 90.000 mensen werden tussen de achtste en elfde dag na het ongeluk geëvacueerd uit 170 plaatsen en dorpen.¹⁵⁹ Op 6 mei gingen de scholen in Kiev en Gomel dicht; de kinderen werden naar elders gestuurd. Dit bracht het aantal mensen dat vanwege het ongeluk weg moest op 500.000.¹⁶⁰ Op 21 mei was de 30-kilometer-zone geheel ontruimd.¹⁶¹

Op 10 mei stelde men vast dat de stralingsdosis ten oosten en westen van de centrale buiten de 30-kilometer-zone zo hoog was, dat daar de mensen ook weg moesten: het ging om 29 dorpen in Wit-Rusland en vier in Rusland.¹⁶² Ook elders werden hoge stralingsdoses gemeten. De eerste dagen na het ongeluk was het onduidelijk wie in Wit-Rusland tot evacuatie of andere beschermende maatregelen mocht besluiten. De burgemeester van Gomel besloot daarop eigenhandig maatregelen te nemen en die via de radio mee te delen. Het ging om de aanbeveling om binnen te blijven en ramen en deuren te sluiten. Ook het vee moest naar binnen.

Op 1 mei werd de beslissing genomen om kinderen en zwangere vrouwen te evacueren uit 25 dorpen in Wit-Rusland buiten de zone. In de loop van deze maand stelden de autoriteiten vast dat nog veel meer dorpen te hoog besmet waren: in totaal moesten tot eind augustus 24.700 mensen uit 107 dorpen.¹⁶³

Van de 500.000 in 1986 geëvacueerden mochten 116.000 niet terugkeren.¹⁶⁴ Er kwamen geen nieuwe stromen geëvacueerden bij. Wel verhuisde men soms naar gebieden die ernstig besmet bleken te zijn. Daarom werden eind 1986 zo'n 1600 mensen voor de tweede keer geëvacueerd. In 1987 en 1988 gebeurde dit met 15.000 mensen.

In 1989 werd bekend dat een veel groter gebied besmet was dan alleen maar rond Tsjernobyl. Daarop werd bepaald dat veel meer mensen geëvacueerd moesten worden. Het Sovjet-Staatsprogramma 1990-1992 bepaalde de evacuatie van nog eens 364.000 mensen. Het ging om drie groepen.

Ten eerste: iedereen moest weg uit de gebieden met meer dan 40 Ci/km². Ten tweede: alle families met zwangere vrouwen of kinderen onder de twaalf jaar die leefden in gebieden met meer dan 15 Ci/km², moesten verhuizen. Deze twee groepen bestonden uit 218.000 mensen.¹⁶⁵ Ten derde was evacuatie voorzien voor dorpen met beperkingen voor lokaal geproduceerde voeding. Het ging om 146.000 mensen.¹⁶⁶ Bij uitvoering van dit programma zou het totaal aantal geëvacueerden op 116.000+218.000+146.000= 470.000 mensen komen. Maar daar zou het niet bij blijven. De Sovjet-Unie stelde ook een programma vast dat tot 1995 liep, het Sovjet-Staatsprogramma 1990-1995. Dit voorzag de gedwongen evacuatie van 525.000 mensen, dus van 161.000 mensen meer dan volgens het programma 1990-1992. Deze groep van 161.000 mensen zou in de periode 1993-1995 geëvacueerd moeten worden. Uitvoering hiervan zou het totaal aantal vluchtelingen op 641.000 brengen.¹⁶⁷

Deze programma's werden echter niet geheel gerealiseerd. Dit kwam door het uiteenvallen van de Sovjet-Unie en de economische crisis die daarop volgde in de verschillende landen.

Wegens geldgebrek werd de bouw van nieuwe huisvesting gestaakt en daarmee de verdere evacuatie.

In april 1996 stond het aantal geëvacueerden op 375.000. Dat was althans de visie van de Afdeling Humanitaire Zaken van de Verenigde Naties¹⁶⁸.

Over de betrouwbaarheid van de aantallen vluchtelingen zei Gregory Härtl, medewerker van deze afdeling: “De getallen kregen we van de regeringen. Maar het is ons bekend dat niet nauwkeurig bijgehouden is waar de geëvacueerden zijn. Ze wonen nu overal, verstrooid over verschillende regio's. In Oekraïne verblijven ze vooral in Kiev en Odessa, in Wit-Rusland veelal in Minsk. De regeringen zijn nog steeds bezig de vluchtelingen te registreren.”

Bij de aantallen moeten we ook het volgende bedenken. In de meest getroffen gebieden woonden van oudsher veel joden. Daarvan zijn er sinds 1987 zo'n 150.000 naar Israël geëmigreerd. Voor zover valt na te gaan, worden deze niet meer meegeteld in de statistieken van de Tsjernobyl-vluchtelingen.¹⁶⁹ Indien we dat wel doen komen we op een half miljoen mensen die na Tsjernobyl huis en haard hebben verlaten.

BEGIN KADER

100.000 ABORTUSSEN

Duizenden zwangere vrouwen wilden een abortus. Volgens de arts Robert Gale werden zo'n 100.000 abortussen gepleegd vanwege Tsjernobyl.¹⁷⁰ Zwangere vrouwen uit het gebied rondom Tsjernobyl die hun kind wilden behouden, gingen naar het Centrum voor Bescherming van Moeder en Kind in Kiev. Na de bevalling bleven de vrouwen daar twee en een halve week. De belangrijkste zorg van het Centrum was de radioactiviteit in de moedermelk. Er werd van alles gedaan om te zorgen dat de stralingsbelasting van de moedermelk onder de maximaal toelaatbare norm bleef, zodat de vrouwen borstvoeding konden geven.¹⁷¹

EINDE KADER

4.2 Situatie geëvacueerden

De evacuatie verliep niet zonder problemen. Vooral oudere mensen wilden niet weg of kwamen na korte tijd terug. In de herfst van 1986 werd de 30-kilometer-zone daarom met hekken afgezet. Het gebied was alleen met een speciale pas toegankelijk. De grote schoonmaak van de zone was toen in volle gang. Eind 1987 werden veertien dorpen opnieuw bewoond.¹⁷²

De huisvesting van de geëvacueerden ging niet zonder slag of stoot. Er waren veel huizen nodig.

In Oekraïne werden 11.000 nieuwe huizen, 27 appartementencomplexen en 600 gemeenschappelijke gebouwen neergezet. Er werden nieuwe wegen met een totale lengte van 14.000 kilometer aangelegd en oude wegen gerepareerd.¹⁷³ Volgens andere bronnen werden voor de mensen die niet mochten terugkeren, 12.000 nieuwe huizen gebouwd, een stukje buiten de 30-kilometer-zone. De overheid huurde voor mensen uit Pripjat 8.000 appartementen in Kiev en Tsjernihiv. In de regio Kiev werden 52 dorpen gebouwd voor 27.000 mensen, en in 1987 bestond het plan om nog eens 3.000 huizen te bouwen en 1.500

appartementen te huren.¹⁷⁴ Een jaar na de ramp hadden duizenden mensen dus nog steeds geen vervangende woonruimte.

BEGIN KADER

Borodjanka, een plaats die geëvacueerden opnam.

Borodjanka is een plattelandsgemeente in Oekraïne, waar geëvacueerden uit Pripjat en de 30-kilometer-zone naartoe gingen. In de regio woonden begin 1986 zo'n 60.000 mensen. Daar kwamen 38.000 vluchtelingen bij. De gemeentebestuurders hadden als taak die mensen onder te brengen: bijna elk huis kreeg vluchtelingen toegewezen.

De evacuatie legde grote druk op de financiën van de regio. Men bouwde 1.300 nieuwe huizen voor 4.500 vluchtelingen. Bovendien werden vijf nieuwe scholen gebouwd. De regio was niet vrij van besmetting: er waren gebieden met een besmetting tot 5 Ci/km² cesium.

Daarom werd de radioactiviteit van het verbouwde voedsel gemeten.

De geëvacueerden hadden aanvankelijk het idee dat ze konden terugkeren. Dat idee moesten ze laten varen. Een collectieve boerderij van een dorp op tien kilometer van Tsjernobyl evacueerde als geheel naar Borodjanka. De boeren en boerinnen werkten de eerste dagen na het ongeluk normaal op hun land. Van 29 april tot 4 mei pootten ze aardappelen. Ze hielpen ook mee de zandzakken voor de helikopters te vullen. Die zandzakken werden dan boven de rampcentrale gedumpt. Pas op 4 mei kregen ze te horen dat ze weg moesten. Aanvankelijk werkten ze verspreid op verschillende boerderijen, maar dat beviel hun niet. In september 1986 besloten ze weer een collectieve boerderij op te zetten, vooral omdat ze toen inzagen dat ze niet naar hun oorspronkelijke dorp konden terugkeren. Ze besloten een dorp te bouwen dat zoveel mogelijk op hun eigen dorp leek. De huizen werden net zo gebouwd, met dezelfde straten en dezelfde straatnamen. Ze kregen ook dezelfde burens. Ze poogden kortom weer net zo te leven als voor het ongeluk.

Polesskoe, een stad die ook geëvacueerden opnam.

Polesskoe, een stad met 13.500 bewoners, was de tijdelijke verblijfplaats van een groot aantal geëvacueerden. 10% van de regio Polesskoe lag binnen de 30-kilometer-zone. Vijf dorpen van de regio waren geëvacueerd, terwijl vijf andere zwaar besmette plekken hadden. Ook de stad zelf was op een aantal plekken zwaar besmet. De bewoners vroegen zich daarom af hoe veilig ze waren en of ze niet beter konden evacueren.

EINDE KADER

De autoriteiten van Wit-Rusland kampten - net als in Oekraïne - met een aantal problemen. De bevolking in de regio dacht dat mensen uit de besmette gebieden zelf ook besmet waren. Dit was een psychosociaal probleem. De huwelijkskansen van meisjes die na de ramp met de kerncentrale in Tsjernobyl hun dorpen moesten verlaten, waren niet erg groot. Mannen gingen ervan uit dat deze meisjes misvormde kinderen zouden krijgen. Dat bleek uit onderzoek van psychologen uit Wit-Rusland, waarover drs. Astrid Sahm van de Universiteit te Mannheim berichtte. In hoeverre mannen uit de besmette gebieden zelf geen kinderen wilden verwekken, meldde het onderzoek niet.¹⁷⁵ Mensen gaven daarom de voorkeur aan vrijwillige evacuatie naar een gebied waar niemand hen kende. Daarmee verdwenen ze overigens ook uit de

statistieken. In 1990 was het aantal mensen dat vrijwillig verhuisde 1,3 keer groter dan het aantal gedwongen evacuatieën. Dat betekende dat de bevolking in de besmette gebieden vergrijsde. Het waren namelijk juist de jongeren die vrijwillig verhuisden.¹⁷⁶

Bovendien moesten de autoriteiten greep krijgen op het probleem dat ze de vluchtelingen moesten huisvesten. Deze vluchtelingen gingen voor op de mensen die al lange tijd op een huis wachtten en dat gaf aanleiding tot spanningen.

Ook moesten de autoriteiten uitzonderingen maken voor oudere mensen die hoe dan ook niet wilden evacueren. Het was erg moeilijk om oudere mensen een nieuwe plek te geven; hun voorouders hadden vaak al in de verlaten gebieden gewoond, nu konden ze hun graven ook niet meer bezoeken. Deze oude mensen voelden zich ontworteld.

Ten slotte hadden Wit-Rusland en Oekraïne het geld niet om huizen te bouwen voor de vluchtelingen.

4.3 Geen hoop op terugkeer

De mensen verhuisden destijds met in hun achterhoofd het idee dat ze na enkele weken zouden kunnen terugkeren, maar moesten hun hoop daarop opgeven. In 1988 verschenen er berichten in de Sovjet-Russische pers, onder andere in de Pravda, dat de stad Tsjernobyl afgebroken zou worden. Dit bericht werd afgezwakt door de stralingsdeskundige Leonid Ilyin, vicevoorzitter van de USSR Academie van Wetenschappen, en verantwoordelijk voor de stralingsbescherming na Tsjernobyl. Hij gaf aan dat de stad Tsjernobyl, op 18 kilometer van de kerncentrale, slechts gedeeltelijk afgebroken zou worden. De gebouwen waarin de militairen die deelnamen aan de schoonmaakwerkzaamheden gehuisvest waren, werden wel afgebroken, maar er zouden andere voor in de plaats komen, hetgeen in 1996 overigens niet gebeurd was. Ilyin zei dat hij tegen de herhuisvesting van Pripjat was.¹⁷⁷

Zoals beschreven mislukte de schoonmaak grotendeels en bleven de besmette gebieden onbewoonbaar. Toch keerden in 1988 honderden mensen terug, omdat ze zich elders niet thuis voelden.¹⁷⁸ De overheid bleef doorgaan met de schoonmaak. In 1989 waren in de zone van tien kilometer rond de kerncentrale nog steeds 8.000 mensen bezig met schoonmaak- en ontsmettingswerkzaamheden.¹⁷⁹

In 1990 vervloog de hoop op snelle terugkeer naar de besmette gebieden echter definitief. Alexander Karasiuk, directeur Informatie van het Tsjernobyl-Kombinaat, zei toen dat in het jaar 2000 wetenschappers konden studeren op de vraag of mensen weer in de 30-kilometer-zone konden gaan wonen.¹⁸⁰ Desondanks liet een aantal mensen zich niet tegenhouden. In 1990 woonden weer 2.000 mensen in de verboden zone. Na de bosbranden in de zomer van 1992 daalde dit aantal naar 762 in februari 1993.¹⁸¹ In 1994 leefden 250 mensen weer in de 30-kilometer-zone, meest tussen 65 en 74 jaar oud en meest vrouwen.¹⁸²

Sinds 1994 nam het aantal bewoners van de geëvacueerde gebieden sterk toe. Het ging hier om vluchtelingen uit oorlogen in de voormalige Sovjet-Unie en om Russen die het slachtoffer waren geworden van etnische zuiveringen in Rusland en daarom ten einde raad in bijvoorbeeld de ontruimde dorpen in Wit-Rusland een woonplaats zochten. Deze dorpen waren deels vervallen, geplunderd of platgebrand. Het leek er wel oorlog, maar het was er tenminste stil. Het argument van de mensen die hier kwamen wonen was: “Liever op den duur dood aan kanker, dan onmiddellijk dood of intimidaties te moeten ondergaan.”¹⁸³

De regering van Wit-Rusland stond terugkeer toe. In maart 1995 keurde president Lukaschenko het goed dat mensen woonden in Sawitschi, op 28 kilometer van Tsjernobyl. Kort daarop had deze plaats weer elektriciteit en telefoon. Ook andere plaatsen werden weer bewoond, zoals Swetilowitschi met 1.200 inwoners. Dit paste in het nieuwe beleid van Wit-Rusland, dat men zoveel mogelijk deed of de ramp voorbij was.¹⁸⁴

4.4 De toegestane dosis in niet-geëvacueerde gebieden

Internationaal vonden en vinden er nog steeds discussies plaats over stralingsnormen. Het gaat dan vaak over de vraag of 1 mSv erbij toelaatbaar is of niet. Zodra er echter sprake is van een rampsituatie, lijkt het of alle regeringen deze discussies zijn vergeten. Er worden dan pas maatregelen genomen, indien de bevolking tientallen mSv oploopt. In Nederland mogen mensen na een ongeluk met een kerncentrale in een besmet gebied blijven wonen als ze niet meer dan 50 tot 250 millisievert stralingsdosis oplopen in de rest van hun leven.¹⁸⁵ Zo ging het ook bij Tsjernobyl.

In 1991 bleek dat de Sovjet-Unie de volgende tijdelijke stralingslimieten voor evacuatie gehanteerd had:

1986: 100 mSv (10 rem)

1987: 30 mSv (3 rem)

1988: 25 mSv (2,5 rem)

1989: 25 mSv (2,5 rem).¹⁸⁶

In totaal was de tijdelijke stralingslimiet tussen 26 april 1986 en 1 januari 1990 derhalve 180 mSv (18 rem), dus veel hoger dan 1 dan wel 5 mSv per jaar. Mensen mochten blijven wonen, indien ze in hun leven niet meer dan 250 mSv zouden oplopen.¹⁸⁷ Uit de beschikbare informatie komt echter nergens naar voren waarom deze normen werden gekozen en hoe die normen in de praktijk gebruikt werden.

De normen leverden echter vanaf 1988 discussie op. In maart 1988 besloot de regering van Wit-Rusland om gegevens over de radioactieve besmetting vrij te geven, tegen de zin van de regering van de Sovjet-Unie.¹⁸⁸ Dit veroorzaakte onmiddellijk een groot probleem. De regering van Wit-Rusland stelde namelijk vast dat in de ernstig besmette delen van de regio's Gomel en Mogilev de bewoners gedurende de komende jaren een stralingsdosis van 250 millisievert of meer zouden oplopen, wanneer ze daar bleven wonen.¹⁸⁹

De regering van de Sovjet-Unie stelde als reactie hierop in september 1988 een nieuwe dosislimiet vast, de zogeheten levens-dosislimiet (lifetime dose limit). Die limiet zou moeten gelden vanaf 1 januari 1990. Het idee achter deze limiet was dat een mens in de Sovjet-Unie gemiddeld 70 jaar leefde en per jaar hooguit 5 mSv mocht oplopen. In 70 jaar is dat derhalve 350 mSv (35 rem). Deze limiet hield geen rekening met de stralingsdosis die mensen sinds 1986 hadden opgelopen.

De Academie van Wetenschappen van Wit-Rusland was het er niet mee eens. Zij stelden een limiet van 1 mSv per jaar voor, dus een levenslimiet van 70 mSv. De norm van 1 mSv per jaar kwam, zoals ze opmerkten, meer overeen met de normen van de International Commission on Radiation Protection (ICRP) en het IAEA. Daarop ontstond begin 1989 in de besmette gebieden een openbaar debat over de stralingslimieten.

In april 1990 besloot de Opperste Sovjet van de Sovjet-Unie als reactie op het debat over de limieten om de 350 mSv levenslimiet niet goed te keuren. De regering wilde toch aan deze limiet vasthouden en riep de hulp in van het IAEA. Het rapport dat daarop in 1991 werd uitgebracht, beval echter niet aan om het 350 mSv-concept in te voeren.

De 350 mSv levenslimiet verdween in 1991 uit beeld, mede doordat de Sovjet-Unie ophield te bestaan. In de onafhankelijkheidsverklaring van zowel Oekraïne als Wit-Rusland werden de gevolgen van het ongeluk in Tsjernobyl nadrukkelijk opgevoerd als argument tegen het voortbestaan van de Sovjet-Unie.¹⁹⁰

Het concept dook eind 1995 toch weer op maar onder een andere naam. In de “beschermingsmaatregelen in de rehabilitatiefase voor de bevolking in de door de catastrofe van Tsjernobyl radioactief belaste gebieden van Wit-Rusland” die de regering van Wit-Rusland in december 1995 goedkeurde, stond het volgende. In een gebied waar de stralingsdosis per jaar de 1 mSv niet overschreed, werd het dagelijkse leven niet beperkt door de radioactiviteit. Die stralingsdosis was toelaatbaar.

In gebieden met meer dan 1 mSv maar minder dan 5 mSv per jaar mocht men blijven wonen. Bij 5 mSv per jaar leverde dit bij een levensverwachting van 70 jaar genoemde 350 mSv op. De regering wilde in deze gebieden echter wel controle en onderzoek van milieu en landbouw, en fundamentele maatregelen om de stralingsdosis te verminderen.¹⁹¹ Tot zover de Wit-Russische regering. In Oekraïne gold een soortgelijke wet.

Deze regelgeving had een aantal haken en ogen. In een gebied met een besmetting van 5 Ci/km² bedroeg de gemiddelde dosis door externe bestraling 1,5 mSv per jaar.^{192 193}

Bovendien ademen mensen radioactieve stoffen in. De stralingsbelasting daarvan hing af van de situatie, maar kon volgens berekeningen uiteenlopen van 1 tot 19 mSv per jaar. In het volgende gaan we uit van 1 mSv.

Bij de dosis door externe bestraling en inademing kwam nog een dosis door het eten van besmet voedsel. Indien men voedsel nuttigde dat net voldeed aan de geldende voedselnormen in Wit-Rusland, gaf dit een stralingsdosis 1,25 mSv/jaar.^{194 195}

Als we de drie stralingsbronnen bij elkaar optellen, gaf dit het volgende resultaat. In de getroffen regio's woonden 825.000 mensen op grond die met meer dan 5 Ci/km² besmet was.¹⁹⁶ Deze kregen dus allemaal meer dan 1 mSv, de dosis die volgens de ICRP maximaal jaarlijks toegestaan was. De leefsituatie van deze mensen was derhalve strijdig met strikte toepassing van de ICRP-normen. Zo'n 200.000 mensen van deze groep van 825.000 woonden in een gebied met meer dan 15 Ci/km². Ze liepen een dosis op van minimaal 6 mSv zodat opruimen van de besmetting hier eigenlijk een minimale vereiste was.

BEGIN KADER

Veel regeringen namen voor wat betreft de maximale blootstelling aan radioactiviteit de voorstellen van de International Commission on Radiological Protection (ICRP) over. De ICRP had in 1977 de volgende jaarlijkse limieten vastgesteld: 5 mSv voor een lid van de bevolking en 50 mSv voor radiologische werkers.¹⁹⁷ In 1990 werden deze normen herzien. Op grond van nieuwe inzichten in de gevaren van radioactiviteit werd de jaarlijkse limiet voor een lid van de bevolking op 1 mSv gesteld en voor radiologische werkers op 20 mSv.¹⁹⁸

De Nederlandse regering had naar aanleiding van de omstreden normen van de ICRP van 1977 in 1989 al een wijziging voorgesteld in de nota "Omgaan met risico's van straling": 0,4 mSv voor de bevolking en 20 mSv voor stralingswerkers.¹⁹⁹ Over deze nota waren vele debatten gevoerd. Ook de Europese Unie had zich ermee bemoeid blijkens een brief van 9 november 1994 van de EU aan de Permanente Vertegenwoordiger van Nederland bij de EU. Het probleem was dat de EU in een ontwerp-richtlijn van 20 juli 1993 voor de bevolking een limiet van 1 mSv voorstelde. De EU vond dat Nederland zich daarin moest schikken en dus moest afzien van de norm van 0,4 mSv voor de bevolking. Tijdens een mondeling overleg in de Tweede Kamer op 14 juni 1995 deelde milieuminister M. de Boer mee dat Nederland de Europese norm van 1 mSv zou volgen.²⁰⁰ Als onderbouwing verwees de minister naar een advies van de Gezondheidsraad van 10 januari 1995.²⁰¹ Daarin gaf de Gezondheidsraad als onderbouwing voor deze limiet dat 1 mSv per jaar niet tot een onaanvaardbaar risico leidt. EINDE KADER

4.5 De gezondheid van liquidatoren

4.5.1 Aantallen liquidatoren

De groep die misschien wel de meeste stralingsdosis kreeg, is volgens een rapport van september 1995 van het Department of Humanitarian Affairs van de VN die van de zogeheten liquidatoren. Het ging om 800.000 mensen - meest militairen - die vanaf 1986 werkten aan de bouw van de sarcofaag en aan schoonmaakoperaties: 200.000 uit Oekraïne, 350.000 uit de Russische Federatie en 130.000 uit Wit-Rusland. De rest kwam uit andere landen, daar was volgens de VN onduidelijkheid over.²⁰² Astrid Sahm van de Universiteit te Mannheim haalde verschillende bronnen uit de landen van de voormalige Sovjet-Unie aan, waaruit bleek dat 7.000 liquidatoren uit Litouwen en 30.000 uit Letland kwamen.²⁰³ Daarnaast leverde Armenië 3.000 liquidatoren.²⁰⁴

Over de aantallen liquidatoren werden in het verleden verschillende getallen genoemd. V.A. Krizhnikov van het Biophysics Institute in Moskou stelde in 1990 dat er rond de 600.000 liquidatoren waren.²⁰⁵ Het getal van 800.000 werd voor het eerst in 1994 genoemd door de World Health Organisation, die daaraan toevoegde dat enkele duizenden liquidatoren naar Israël en de Verenigde Staten geëmigreerd waren.²⁰⁶ Deze verschillen in aantallen liquidatoren kunnen overigens ook te maken hebben met het feit dat in 1996 nog steeds schoonmaakwerkzaamheden plaatsvonden.^{207 208}

4.5.2 De dosis

In juni 1986 werden de dosislimieten voor de helpers (de liquidatoren) op 250 mSv bepaald. De meeste van die werknemers hadden aanvankelijk geen persoonlijke dosimeter, met name de militairen. De mensen werkten in groepen. Een oordeel van de opdrachtgever verschafte de basis voor de beslissing hoeveel tijd een persoon aan een bepaalde taak kon besteden. Tot eind 1989 werden ongeveer 650.000 liquidatoren ingezet. Volgens officiële gegevens waarover het IAEA beschikte, had 10% echter een hogere dosis dan 250 mSv opgelopen.²⁰⁹ Over de ontoereikende metingen van de stralingsdoses stelde V.A. Krizhnikov van het Biophysics Institute in Moskou dat de liquidatoren in het eerste jaar na het ongeluk - het ging

vooral om soldaten - 500 tot 700 mSv opliepen omdat er geen geschikte dosimeters beschikbaar waren of omdat de dosimeters niet gebruikt werden.²¹⁰

Volgens R. Tilles van de Tsjernobyl Union, een organisatie van liquidatoren, werkte hij als liquidator meer dan twee weken zonder dosimeter. Toch werd zijn dosis op 290 mSv gesteld. Hij vroeg zich af hoe dat kon. Het probleem van de liquidatoren was volgens Tilles dat ze verspreid waren over het land en moeilijk te traceren vanwege hun militaire achtergrond: gegevens van militairen vermeldden vaak niet dat ze bij Tsjernobyl gewerkt hadden.²¹¹ Vaak mochten de liquidatoren overigens niet meer dan 90 seconden aan de slag vanwege de hoge stralingsvelden. En deze tijd werd snel overschreden. Hoewel de liquidatoren soms maar een paar seconden mochten werken bij Tsjernobyl-3 en -4, liepen ze daarnaast een dosis op tijdens een training van een uur of twee voor de werkzaamheden in de nabijheid van de kerncentrale. Niemand registreerde die dosis.

In de literatuur staat de volgende schatting van de verdeling van de dosis voor de liquidatoren.

Tabel 2

Liquidatoren (als percentage van het totaal) en opgelopen stralingsdosis in microsievert

Percentage liquidatoren	Stralingsdosis
16	Minder dan 50
30	50-100
47	100-250
7	250-500
0,02	Meer dan 500

4.5.3 De gevolgen voor de gezondheid

De onvolledige gegevens over de opgelopen stralingsdosis vormden een hindernis bij de bepaling van de gevolgen daarvan voor de liquidatoren. Wel was bekend dat steeds meer liquidatoren ziek waren.

Het VN Department of Humanitarian Affairs wees op een stijging van ziektes en sterfte in deze groep: 10% van de liquidatoren uit de Russische Federatie kon geen volledige werktijd meer aan; 38% leed aan ziekte.

De VN haalde het Oekraïense ministerie van Gezondheid aan, dat de sterfte bij liquidatoren die in besmette gebieden leefden 30% hoger was dan bij vergelijkbare groepen mensen in onbesmette gebieden; zo'n 7.000 liquidatoren stierven aan verschillende ziektes, ook aan zelfmoord.²¹² Andere bronnen noemden het getal van 20.000 gestorven liquidatoren, waarbij zelfmoord vaak een van de doodsoorzaken was.²¹³

a. Ziekte

De gezondheid van de liquidatoren verslechterde. In 1988 werd 74% nog gezond beschouwd, maar dit was in 1991 gedaald naar 33%. De liquidatoren werden getroffen door ziektes die schijnbaar geen verband hadden met radioactiviteit: ademhalingsmoeilijkheden, kwaadaardige tumoren, gebreken in het zenuwstelsel, hartproblemen. De bevolking van Wit-Rusland als geheel had dergelijke kwalen, maar die openbaarden zich vooral op latere leeftijd. Het

probleem bij de liquidatoren was echter dat ze al ernstig ziek werden op 35- tot 40-jarige leeftijd.²¹⁴ Een analyse van de gezondheid van 712 liquidatoren liet zien dat ze tussen het vijfde en het achtste jaar na de kernramp tien keer vaker ziek werden.²¹⁵

De vroegtijdige veroudering van liquidatoren werd in 1994 bevestigd door Alexei Nikiforov, directeur van het Centrum voor Ecologische Medische Wetenschappen in St.Petersburg. De liquidatoren ontwikkelden aandoeningen als arteriosclerose. Dat gebeurde veel te vroeg gezien hun leeftijd. Veel experts namen waar dat de liquidatoren snel oud werden. Ten tijde van hun inzet waren de liquidatoren gemiddeld 33 jaar oud. Snelle veroudering was derhalve een tragedie voor die mensen.²¹⁶

De frequentie van schildklier-aandoeningen werd 40 keer zo hoog, het aantal gevallen van suikerziekte acht keer, de ziektes van bloed en bloedvormende organen 9,4 keer, vooral door bloedarmoede.²¹⁷ Uit immuniteitsonderzoek naar chauffeurs van zware wagens die in de 30-kilometer-zone hadden gewerkt, bleek een toename van gebreken in immuniteit naarmate men langer in de zone gewerkt had. Dit gaf meer kans op infecties en allergieën.²¹⁸

b. Kanker

Er was een toename van tumoren, vooral in longen, bronchiën en maag. In de periode 1988-1990 nam het aantal gevallen van tumoren bij liquidatoren met een factor van ruim twee toe.²¹⁹ Bij een dosis van meer dan 150 mSv bestond een toenemende kans op kanker.²²⁰

In Wit-Rusland kwam kanker als volgt voor (gegevens per 100.000 inwoners):

146,6 voor de bevolking tussen 20 en 54 jaar als geheel;

273,7 voor alle liquidatoren;

200,4 voor liquidatoren die in niet-besmette gebieden woonden;

316,3 voor liquidatoren die woonden in gebieden met meer dan 15 Ci/km².

De conclusie was dat het aantal gevallen van kanker bij liquidatoren in de laatste groep twee keer zo hoog was als bij mensen van dezelfde leeftijdsgroep als geheel.²²¹

Bij de liquidatoren uit Armenië werd eenzelfde patroon van ziekte en kanker vastgesteld.²²²

c. Psychische problemen

De psychologische problemen van de liquidatoren waren veel erger dan bij de overige bevolking. 80% van de 3.000 mensen die jaarlijks in de kliniek in St. Petersburg behandeld werden, had neurotische symptomen.

Tijdens de conferentie "Mental Health Consequences of the Chernobyl Disaster: Current State and Future Prospects", georganiseerd op instigatie van de Physicians of Chernobyl in Kiev in juni 1995, werd naar voren gebracht dat 90% van de liquidatoren aan psychische storingen leed zoals depressie en angst. Onderzoek stelde een significante vermindering van psychische capaciteiten vast: die waren 60% van het gemiddelde bij volwassenen, overeenkomend met een leeftijd van kinderen van 10 à 11 jaar. De geestesziekten veroorzaakten vaak problemen bij de seksuele gemeenschap. Uit studies bleek dat 38 tot 90% hier last van had.²²³

De conclusie van deze paragraaf is derhalve dat de gezondheid van de liquidatoren sterk achteruit was gegaan. Dat bleek uit alle onderzoeken. Ze waren vijf keer vaker ziek dan de

rest van de bevolking. Ze werden vroeg oud en hun psychische capaciteiten namen sterk af. Ook was bij de liquidatoren het aantal gevallen van kanker duidelijk gestegen. Bovendien gold: hoe langer ze met de schoonmaak bezig waren geweest, hoe groter de kans op kanker. Daarnaast was de sterfte onder deze groep hoger dan in vergelijkbare bevolkingsgroepen.

4.6 De gezondheid van bewoners van de besmette gebieden

4.6.1 Toename van ziekte

Tot 1996 werd in de meest getroffen gebieden een forse toename van het aantal zieken vastgesteld. Wetenschappers en artsen berichtten in december 1995 over onderzoek van enkele jaren. Een belangrijke conclusie was dat van de 600.000 kinderen die in de besmette gebieden woonden, er 500.000 ziek en 20.000 invalide waren; bovendien hadden nog eens 20.000 kinderen psychische problemen. Slechts 10% van de kinderen was gezond.

Volgens gegevens van het Wit-Russische Nationaal Instituut voor Genetica waren de aangeboren beschadigingen bij kinderen in de besmette gebieden van dit land met 30% gestegen bij een bodembelasting van 5 Ci/km²; bij een besmetting van 15 Ci/km² bedroeg de toename zelfs 80%.

Bij 55% van de moeders uit de besmette gebieden werden de kinderen te vroeg geboren. Bovendien kwamen steeds meer tot dan toe onbekende ziektes voor. In 1993 en 1994 bijvoorbeeld kwamen in het ziekenhuis 60 gevallen voor van een schildklierontsteking die tot vernietiging van de schildklier leidde; deze ziekte werd in 1995 al 93 maal vastgesteld. Het ging hier om een schildklierontsteking waar lichaamscellen de schildklier niet meer herkennen als deel van het eigen lichaam en daarom de schildklier vernietigen.²²⁴

Op een congres van het Duitse Rode Kruis in 1994 wees Dr. W. Rsheutskij van het ministerie van Gezondheid van Wit-Rusland erop dat ook in het gebied van Gomel slechts 10% van de kinderen gezond genoemd kon worden. Bij de kinderen kwam krop dertien keer en bovengenoemde ernstige schildklierontsteking zeven keer vaker voor dan bij kinderen in onbesmette gebieden.

Onderzoek wees ook op een sterke verandering van de maagslijmvlies, wat een aanwijzing kan zijn voor een latere kwaadaardige ziekte in het spijsverteringskanaal. Artsen stelden een verzwakking van het immuunstelsel vast. De radioactiviteit kon volgens Rsheutskij ook een combinatie van verschillende klinische syndromen veroorzaken: hart-, maag-, bloed- en immunologische ziektes.²²⁵

De Verenigde Naties hadden in een rapport van september 1995 soortgelijke ziektes bij kinderen vastgesteld. Enkele voorbeelden: tussen 1988 en 1994 namen ziektes van het zenuwstelsel, de zintuigen en de bloedsomlooporganen met 43% toe, ziektes van het skelet, spieren en bindweefsel met 62%.²²⁶

De frequentie van de aangeboren afwijkingen per 1000 geboorten was sinds 1986 toegenomen met 261%.²²⁷ Hoe erger het gebied besmet was waar het kind geboren werd, hoe erger deze afwijking.²²⁸ Het aantal aangeboren afwijkingen bij pasgeborenen in Wit-Rusland was veel meer toegenomen dan verklaard kon worden met de gangbare risicoschattingen; en hoe hoger de besmetting in het gebied waar de ouders leefden, hoe sterker de toename.²²⁹

Naast schildklierkanker steeg ook het aantal gevallen van leukemie en borstkanker. De voorspellingen waren dat leukemie een piek zou krijgen rond zeven jaar na het ongeluk. Het aantal gevallen van acute leukemie was weinig veranderd in vergelijking met de periode voor het ongeluk. Wel steeg het aantal gevallen van chronische leukemie gestaag: het ging om een toename van 50% tot 1992. Sinds 1986 werd een toename van borstkanker met 45% geconstateerd.²³⁰

Er was in Wit-Rusland een nationaal programma voor preventieve maatregelen in verband met genetische gevolgen. Vanwege genetische indicatie steeg het aantal abortussen van 261 in 1991 naar 523 in 1994, een verdubbeling.²³¹

De gezondheidsproblemen bij kinderen in besmette gebieden in Oekraïne waren vergelijkbaar met die in Wit-Rusland.²³²

Behalve bij kinderen ging de gezondheid ook bij volwassenen achteruit. De VN wees op een toename van het aantal ziektegevallen in de betreffende regio's. In de besmette gebieden van Oekraïne was dat aantal 30% hoger dan in de rest van het land. Het aantal zieken onder volwassenen was 40% hoger dan voor Oekraïne als geheel.²³³

Een oorzaak van ziekte kan stress en angst zijn. De overheid van Wit-Rusland stelde in 1995 een groeiende onrust vast onder de mensen die in besmette gebieden woonden. Terwijl in 1990 zo'n 55% verklaarde zich zorgen over de eigen gezondheidstoestand te maken, nam dit percentage toe tot 69% in september 1995. Een groot deel van de bevolking voelde wat 'socio-radiologische stress' wordt genoemd. Dit wordt gekenmerkt door een alarmerend gevoel, het gevoel gevaar te lopen, een gevaar dat toeneemt in de tijd en aanwezig blijft in de woonomgeving. Als reactie hierop vluchtten velen in ziektebeelden. Naar elders verhuizen was ook vaak geen oplossing. Twee derde van degenen die verhuisd waren, leden onder de gedwongen scheiding van hun oorspronkelijke woonomgeving. Ze leden ook onder de wetenschap dat ze nooit zouden kunnen terugkeren.²³⁴

Er trad door het ongeluk een drastische verandering op in zowel de stedelijke als de landelijke ecologische systemen, hetgeen wederom leidde tot verandering van de levensstijl van miljoenen mensen. Er waren beperkingen in de recreatieve mogelijkheden in de natuurlijke omgeving van grote steden. Altijd loerde het gevaar van het consumeren van plaatselijk verbouwd voedsel met te veel besmetting. Er was de angst dat mensen geestelijke afwijkingen zouden krijgen. Al deze gevolgen creëerden een gevoel van wanhoop.²³⁵

Hoge doses straling leiden altijd tot een tijdelijk verlies van immuniteit. Bij sommige medische ingrepen wordt daarvan zelfs expres gebruik gemaakt om de afweer af te zwakken, bijvoorbeeld bij transplantaties.

Het beenmerg van degenen die een middelhoge tot hoge stralingsdosis overleven, begint zich na een paar weken te herstellen. Het herstel kan voldoende zijn om iemand uit het ziekenhuis te ontslaan. Over het algemeen is het beenmerg na zes weken op deze wijze 'hersteld'. Dat wil echter niet zeggen dat de betrokkene dan ook weer helemaal de oude is.

Uit onderzoek is gebleken dat men onderscheid moet maken tussen schijnbaar en werkelijk herstel. Schijnherstel betekent dat de uiterlijke vorm en de functies van de door straling aangetaste cellen, zoals vermenigvuldiging en ontwikkeling onder standaardcondities, normaal zijn. Onder stresscondities blijkt het systeem echter opeens anders dan normaal te

functioneren. Echt herstel betekent dat de cellen bijvoorbeeld ook in staat zijn om op een normale manier op verwondingen te reageren. Dat blijkt vaak niet het geval.^{236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247}

4.6.2 Schildklierkanker en schildklierontstekingen bij kinderen

Over schildklierkanker bij kinderen bestond in de eerste jaren na het ongeluk onenigheid. Het IAEA stelde in 1991 nog het volgende. De beschikbare data geven geen adequate basis om te bepalen of een toename in leukemie of schildklierkanker is opgetreden. De data zijn niet gedetailleerd genoeg om een toename van sommige soorten tumoren uit te sluiten.²⁴⁸ Een jaar later stond de toename van schildklierkanker bij kinderen in Wit-Rusland en Oekraïne als gevolg van Tsjernobyl wel vast. Tussen 1986 en 1990 ging het in Wit-Rusland om 131 gevallen, tegen 5 gevallen in de periode 1978 tot 1986. Schildklierkanker openbaarde zich bovendien veel sneller dan de meeste stralingsdeskundigen hadden verwacht: die gingen ervan uit dat een toename pas in 1997 te zien zou zijn.²⁴⁹

Kinderen die tussen 1981 en 1987 geboren werden, hadden de meeste kans om de gevolgen van radioactieve straling te merken. In de eerste dagen na de ramp was er veel radioactief jodium in de lucht. Ook in Nederland kwam deze stof neer, zodat de koeien op stal moesten en de spinazie doorgedraaid werd. In een straal van 200 kilometer rond Tsjernobyl was de belasting met radioactief jodium veel hoger. Deze stof kan zich in de schildklier ophopen en daarmee de oorzaak zijn van schildklierkanker.

De Afdeling Humanitaire Zaken van de Verenigde Naties stelde in een rapport van 8 september 1995 een stijging van schildklierkanker vast naar 610 gevallen.²⁵⁰ In het VN-rapport stond dat sinds 1986 in Wit-Rusland 379 gevallen van schildklierkanker geregistreerd waren in de leeftijdsgroep van 0 tot 14 jaar, tegen 21 in de periode 1966 tot 1985. In Wit-Rusland ging het om 208 gevallen, tegen 25 in de periode 1981 tot 1985. De autoriteiten van Rusland namen 1 geval van schildklierkanker waar tussen 1986 en 1989, tegen 23 sinds 1990; tot eind 1995 ging het om 61 gevallen.²⁵¹ Dit is een bewijs voor “de dramatische toename van schildklierkanker bij kinderen,” stelde de VN. Uit onderzoek bleek dat het hier om bijzonder agressieve tumoren ging. Duitse artsen trokken zich het lot van de getroffen kinderen aan en behandelden 89 kinderen.²⁵²

De World Health Organisation kwam in november 1995 tot een iets lager aantal gevallen van schildklierkanker. De WHO onderzocht 50.000 kinderen op schildklierandoeningen. Er werden 565 gevallen van schildklierkanker vastgesteld (333 in Wit-Rusland, 24 in Rusland en 208 in Oekraïne). In Wit-Rusland ging het in 1986 om 1 geval per miljoen. Voor heel Wit-Rusland ging het derhalve om 36 keer zoveel schildklierkankergevallen en in de regio Gomel zelfs om honderd keer zoveel. Zo'n 95% van de schildklierkankers waren zeer agressief en zaaiden uit naar de omgeving, bloedvaten en longen. Enkele kinderen (ongeveer tien) stierven aan deze kanker. De hoogste doses op de schildklier kregen volgens de WHO kinderen in de regio Gomel en Mogilev in Wit-Rusland, op een afstand tot 300 kilometer van de kerncentrale. Deze doses waren nog groter dan in de regio's Chernogov, Kiev en Zhitomir rond Tsjernobyl in Oekraïne en Bryansk en Kaluga in Rusland.²⁵³

Naast schildklierkanker kwamen zeer veelvuldig schildklieraandoeningen voor bij kinderen die ten tijde van het ongeluk met de kerncentrale nul tot tien jaar oud waren. Vooral in de regio Gomel hadden zelfs meer dan 600 op de duizend kinderen (60%) last van deze aandoening.²⁵⁴

4.6.3 Strontium veronachtzaamd

Onderzoekers bestudeerden vanaf 1986 vrijwel uitsluitend de gevolgen van cesium. Maar al in 1990 wees Roland Scholz in een brochure van de Duitse afdeling van Artsen tegen Kernwapens (IPPNW) ter gelegenheid van vier jaar na Tsjernobyl op de effecten van strontium. In de besmette gebieden kwamen steeds meer ziektes voor als schildklierafwijkingen, staar en bloedneuzen. Bovendien werd een verzwakking van het immuuniteitsstelsel vastgesteld. Deze ziektes werden wel “Tsjernobyl-aids” genoemd. Dit kwam voor Scholz niet onverwacht. De oorzaak was volgens hem de radioactieve stof strontium, die wegens de verwantschap met calcium in de botten opgenomen kan worden en daar zeer lang aanwezig blijft. Strontium is erg radioactief en kan daarom, vooral bij kinderen in de groeifase, een verwoestende uitwerking hebben op de botgroei en op het beenmerg. Het duurt drie jaar voordat schade door strontium zichtbaar wordt en daarom was het volgens Scholz logisch dat de verzwakking van het immuuniteitsstelsel bij met name kinderen pas vanaf 1989 aan het licht kwam. Deze verzwakking van het immuuniteitsstelsel was volgens Scholz waarschijnlijk ook de verklaring voor de toename van het aantal gevallen van kanker. Het ging hierbij om al aanwezige gevallen van kanker die zich nog niet hadden geopenbaard, maar konden doorbreken omdat de afweer van het lichaam tegen kankercellen ondermijnd was.²⁵⁵ Scholz had zijn hypothese graag willen onderbouwen. Daartoe had zijn instituut het volgende onderzoek opgezet. In tanden zijn sporen van strontium terug te vinden. Als men derhalve melktanden van kinderen verzamelde en precies wist waar die kinderen woonden, kon men bepalen welke de strontiumbelasting was. Scholz vertelde echter dat, toen al die melktanden verzameld waren, de overdracht naar zijn instituut niet door kon gaan. Om onduidelijke redenen stond de overheid het niet toe.²⁵⁶

4.7 Aantal doden onbekend

Het ongeluk in Tsjernobyl leverde doden op, maar nauwkeurige aantallen zijn niet te geven. In dit onderdeel leggen we uit waarom.

De regering van de Sovjet-Unie stelde kort na het ongeval dat het aantal acute doden 31 bedroeg. Het is de vraag of dit aantal klopte, vanwege het feit dat na het ongeluk medici het verbod opgelegd kregen om gevolgen van radioactiviteit als doodsoorzaak op te geven. Overigens moeten we in dit verband bedenken dat het ongeluk 's nachts gebeurde. Overdag werkten 2000 mensen aan de bouw van de eenheden Tsjernobyl-5 en -6. Bij een ongeluk overdag zouden velen de acute stralingsdood zijn gestorven. Als de lozing westelijk was geweest in plaats van zuidwestelijk, had de op drie kilometer afstand gelegen stad Pripjat de initiële lozing ontvangen en zou geen van de 65.000 inwoners dit hebben overleefd.²⁵⁷ In april 1990 deelde een groep parlementariërs uit Oekraïne en Wit-Rusland mee dat het aantal doden was opgelopen tot 300.²⁵⁸ In 1992 noemde Natalia So bij een congres een toename van schildklierkanker. Vele congresgangers, met name Ilyin van het Institute of

Biofysics, vielen over haar heen. Toen A. Okeanov, directeur van het Institute of Medical Technologies in Wit-Rusland, berekeningen liet zien waaruit een duidelijke toename van allerlei soorten kanker naar voren kwam, ontstond er hevige onrust in de zaal: dergelijke gegevens waren niet welkom.²⁵⁹

4.8 Conclusies hoofdstuk 4

1. Kort na de ramp moest een half miljoen mensen weg vanwege de hoge radioactiviteit. Daarvan konden er 116.000 niet naar huis terugkeren. Soms evacueerden de mensen naar gebieden die - naar later bleek - ernstig besmet waren. Daarom moesten ze voor de tweede keer evacueren.
2. Vanaf 1989 kwam een tweede evacuatiegolf op gang. De regering van de voormalige Sovjet-Unie had berekend dat grote groepen van de bevolking te veel stralingsdoses opliepen. Uitvoering van de plannen zou het aantal geëvacueerden op 640.000 hebben gebracht. Vanwege het uiteenvallen van de Sovjet-Unie en de daarmee gepaard gaande economische crisis kon dit evacuatieprogramma slechts ten dele uitgevoerd worden. Het totaal aantal Tsjernobyl-vluchtelingen stond in 1996 op 375.000, niet inbegrepen tienduizenden joden uit de meest besmette gebieden die naar Israël waren geëmigreerd.
3. Zo'n 200.000 mensen woonden anno 1996 in gebieden waar ze volgens de Verenigde Naties en de Wereldgezondheidsorganisatie een te hoge stralingsdosis opliepen, zodat evacuatie vereist zou zijn. Daarnaast kregen ongeveer 600.000 mensen vanwege Tsjernobyl een stralingsdosis van meer dan 1 millisievert per jaar. Deze 1 millisievert was de maximale stralingsdosis die mensen volgens internationale normen jaarlijks mochten oplopen.
4. Bij de schoonmaak zette de regering 800.000 mensen in. Voor hen gold een maximumdosis van 250 millisievert. Die dosis liepen ze soms binnen één minuut op. Deze schoonmakers heten ook wel liquidatoren. De gezondheid van de liquidatoren was over het algemeen slecht. De sterfte lag hoger dan bij vergelijkbare groepen. Hun geestelijke vermogens gingen hard achteruit en tevens vertoonden ze alle kenmerken van veroudering. Veel mensen dachten dat de liquidatoren hen konden besmetten. Daarom leefden veel liquidatoren in een isolement.
5. Mensen in de besmette gebieden waren opvallend vaak ziek. Van de 600.000 kinderen in de besmette gebieden van Wit-Rusland waren er 500.000 ziek.
6. Schildklierkanker kwam veel vaker en veel eerder voor dan verwacht en de verdeling over mannen en vrouwen en jongens en meisjes was anders dan men gewend was. Hoe erger de gebieden besmet waren, hoe meer gevallen van schildklierkanker vastgesteld werden. In Gomel in Wit-Rusland kwam schildklierkanker honderd keer zo vaak voor als voor het ongeluk in 1986. Het onderzoek waarop men destijds de verwachtingen baseerde, paste niet zo goed bij het probleem dat zich in Tsjernobyl voordeed.
7. In kringen van het Internationaal Atoom Energie Agentschap bestond aanvankelijk de neiging om de toename van het aantal ziektes af te doen als radiofobie of aanstellerij. Aldus kwam men tot de conclusie dat de 'echte' gevolgen van Tsjernobyl wel meevielen. De literatuur tot 1996 liet echter zien dat bij de slachtoffers van atoombommen eenzelfde verschijnselen zijn waargenomen als men vond bij liquidatoren en geëvacueerden die een vrij hoge dosis hadden opgelopen. Daarom is het onjuist om de ziektes af te doen als radiofobie.

Honderdduizenden mensen ondervonden in 1996 nog dagelijks de gevolgen van Tsjernobyl: slechte behuizing, geen werk, sociaal isolement, etc.

8. Over het totale aantal dodelijke slachtoffers door het Tsjernobyl-ongeluk bestaat onduidelijkheid. Er zijn geen registers beschikbaar waar het aantal stralingsdoden exact in is opgetekend. Daar komt nog bij dat in de eerste jaren na het ongeluk de overheid verbood stralingsbelasting als doodsoorzaak op te geven. Bovendien werkten radioactiviteit en de sociale omgeving op elkaar in. De geëvacueerden en de liquidatoren hadden vaak geen werk en ze leefden geïsoleerd. Daardoor raakten ze soms aan de drank. Indien ze ziek waren, hadden ze vaak geen geld voor medische verzorging. Ook kwam zelfmoord veelvuldig voor bij liquidatoren. Deze mensen waren derhalve al overleden voordat de gevolgen van de stralingsbelasting zich konden openbaren.

TOEVOEGING 2020

In 2005 berekende de VN dat 4.000 mensen gestorven zijn door de stralingsbelasting van Tsjernobyl. In januari 2018 had 1,8 miljoen mensen in Oekraïne de status van stralingsslachtoffer, waaronder 377.589 kinderen. De regering van Oekraïne betaalde in 2019 een uitkering aan 36.000 weduwen van mannen die gestorven zijn als gevolg van het ongeluk in Tsjernobyl.²⁶⁰

HOOFDSTUK 5 DE SARCOFAAG

Inleiding

Na de ramp met Tsjernobyl-4 wilde men de andere drie kerncentrales zo snel mogelijk weer in bedrijf nemen. Daartoe was het nodig de lozing van radioactiviteit zoveel mogelijk te stoppen. Om dat te bereiken bedacht men een manier om het gapende gat in het dak te overkappen met een bouwwerk. Dit gebouw noemde men de sarcofaag.

De sarcofaag werd deels gebouwd op de ruïne van Tsjernobyl-4. Daarbij was veel improvisatie vereist. Veel werkzaamheden gebeurden met haastig ontwikkelde apparatuur die men op afstand bediende.

De sarcofaag was niet zo stevig als men aanvankelijk hoopte. Onder invloed van radioactiviteit en vocht brokkelde het gebouw af. Dat gaf 1000 vierkante meter gaten, die deels gedicht werden. De sarcofaag kon ook instorten. Daarom waren er plannen om snel een tweede sarcofaag te bouwen om de eerste heen. De tweede sarcofaag was echter pas in 2016 gereed.

5.1 Waarom de sarcofaag gebouwd werd

Hoe werd de sarcofaag gebouwd? Hoe groot waren de risico's? Wat was de verwachte levensduur van de sarcofaag? Daar proberen we in dit hoofdstuk een antwoord op te geven. Uitgebreide gegevens over de stand van zaken vinden we in de bijdragen aan een conferentie van maart 1994 in Oekraïne. De OECD vertaalde de onderzoeksresultaten en zo kwamen in juni 1995 veel gegevens over de sarcofaag beschikbaar.²⁶¹ Alle bijdragen aan de conferentie waren afkomstig van medewerkers van instituten in Oekraïne, Wit-Rusland en Rusland. Het betreffende rapport bevatte echter niet altijd eenduidige informatie.

Daarnaast gebruiken we veel informatie uit een rapport van het internationale Alliance consortium, waarin zes Franse, Britse en Duitse ondernemingen deelnamen. Dit rapport van 12 juli 1995 bevatte een voorstel om voor 1,6 miljard dollar een tweede sarcofaag te maken (Shelter-2). Alliance beweerde:

- de bestaande sarcofaag werd door de autoriteiten in de Oekraïne als onstabiel omschreven, en Alliance was het daarmee eens;
- een langetermijn-versteving van de bestaande sarcofaag was onmogelijk;
- de instorting van de sarcofaag zou een nieuwe ecologische ramp veroorzaken;
- de sarcofaag bevatte 400 kilo plutonium, honderd ton kernbrandstof en honderdduizenden kubieke meter radioactief afval, dat vele eeuwen gevaarlijk blijft.^{262 263}

5.2 Hoe de sarcofaag gebouwd werd

Om een verdere verspreiding van radioactiviteit te voorkomen besloten de autoriteiten tot de bouw van een sarcofaag. Over de levensduur liet men zich uit in termen “van deze generatie tot honderd jaar.”²⁶⁴

Na het ongeval stelden onderzoekers met behulp van foto's en film vast dat het hart van de reactor geheel vernield was, evenals de koelsystemen. Het dak van de centrale hal was kapot, de kraan voor de wisseling van brandstofelementen hing schuin, overal lag puin. Ook het dak van de turbinehal was kapot. Dit kwam voor een deel door de droppings van de helikopters.

De eerste dagen na 26 april 1986 bestond de kans dat de brandstof vanwege de hoge temperatuur door de fundering van de centrale heen zou smelten. Daarom werd meteen begonnen aan een constructie om de warmte onder de fundering te laten wegstromen. Men maakte ter plekke een platte warmtewisselaar op een betonnen plaat. Dit werk was eind juni 1986 gereed.

Kort na het ongeval studeerden onderzoekers op het ontwerp van een sarcofaag. Het gebouw moest verdere lozing van radioactiviteit voorkomen, zodat mensen in de buurt weer konden werken. Vanwege de hoge temperatuur van de gesmolten brandstof zou een ventilatiesysteem aangelegd moeten worden. Bovendien zou de sarcofaag vol meetinstrumenten moeten komen om de zaak in de gaten te houden.^{265 266}

Medewerkers Kurnosov, Moiseev en Tsurikov van VNIPIET (Russisch Wetenschappelijk Onderzoek en Ontwerp Instituut voor Elektricitetsopwekking Technologie) hebben het ontwerp en de bouw van de sarcofaag beschreven.^{267 268} Ze begonnen hun beschrijving met de vermelding dat VNIPIET Tsjernobyl-1 en -2 ontworpen had. Tsjernobyl-3 en -4 daarentegen waren ontworpen door het Hidroproekt Institute en vormden samen een gebouw. Dit ontwerp was fout, zowel vanuit de bouw als vanuit de veiligheid gezien, stelden Kurnosov c.s. Ze legden daarbij echter niet uit wat de fouten precies waren.

Onderzoekers bedachten in totaal 18 ontwerpen, uiteenlopend van de aanleg van een heuvel van gravel en beton tot de bouw van een koepel waarvan de top 100 meter boven de reactorhal zou komen te liggen. De meeste ontwerpen zouden een aanzienlijke bouwtijd met zich meebrengen, namelijk 1,5 tot 2 jaar. Dit was in strijd met de basisgedachte van een snelle schoonmaak na de ramp.²⁶⁹ Daarom werden die ontwerpen terzijde geschoven.

Het belangrijkste idee achter het gekozen ontwerp was het volgende: maak zoveel mogelijk gebruik van de resten van Tsjernobyl-4 en bouw zoveel mogelijk op bestaande structuren.²⁷⁰ Deze keuze bracht een aantal nieuwe problemen met zich mee. Men zou vanwege de hoge stralingsbelasting zoveel mogelijk met afstandsbediening moeten werken. Voorbeelden uit andere landen had men niet.

Als eerste groef men in de omgeving van de verongelukte centrale de bovenste laag grond weg; het ging om een toplaag van 30 centimeter.²⁷¹ Op de weggegraven grond bracht men een laag beton van 50 centimeter dikte aan. Dit om de straling tijdens het werk te verminderen.

Vervolgens bouwde men pal naast de hele centrale een betonnen muur van 6 tot 8 meter hoog. In de eerste weken waren de werkomstandigheden vreselijk: de werknemers liepen vaak in een paar seconden de maximaal toegestane stralingsdosis op. Soms moesten ze zonder iets gedaan te hebben het terrein verlaten: het kwam voor dat beton te laat aankwam en de werknemers hun dosis opliepen tijdens het wachten. De aanleg van de betreffende muur met honderden tonnen beton kostte een maand.²⁷²

Tsjernobyl-4 had vier muren, waarvan een de tussenmuur vormde met Tsjernobyl-3. Deze tussenmuur was beschadigd. Er zaten gaten in. Om Tsjernobyl-3 weer in bedrijf te kunnen nemen was een extra afscheiding met de verongelukte centrale een absolute voorwaarde. Dat gebeurde dan ook.

Het volgende probleem was de noordelijke zijmuur, die helemaal was weggeslagen. Op dertig

meter afstand van deze zijmuur stelde men metalen platen van 54 bij 12 meter op met een gewicht van 100 ton. Die platen vormden een eerste bescherming tegen de straling. De ruimte tussen de zijmuren en de metalen platen vulde men op met beton. Op 12 meter hoogte stelde men weer metalen platen op, maar nu dichterbij de zijmuren. Wederom werd beton gestort. Op die manier maakten de autoriteiten een cascade van beton en staal.

De westelijke zijmuur van de sarcofaag stond tegen de overblijfselen van de oorspronkelijke zijmuur aan. Deze muur van de sarcofaag was van een meter dik beton met daarop een stalen plaat. De muur was 45 meter hoog en had steunbalken die er dwars op stonden. Het gaf een geribbeld uiterlijk dat vaak op foto's te zien is.

Men had nu de zijmuren, maar men moest nog een dak maken. Allereerst gingen de ontwerpers op zoek naar steunpunten. Aan de westelijke kant van de reactor vond men die in de resten van een muur die men eerst met een metalen korset versterkte. Aan de noordelijke kant kwam het dak op de nieuw gemaakte cascade-muur. Twee ventilatieschachten aan de oostelijke kant leken geschikt als steunpunt. Aan de zuidelijke kant maakte men een metalen balk van 70 meter lengte, 6 meter hoogte en 2,4 meter breedte, met een gewicht van 147 ton; deze constructie kreeg de naam mammoet. De metalen balk rustte op brokstukken van 3 tot 6 meter hoog. Daaroverheen werd beton gestort om te voorkomen dat de brokstukken zouden gaan schuiven.

Met een grote kraan werd vervolgens een metalen draadwerk van 165 ton op het dak gehesen. Daarna werden op dit draadwerk metalen pijpen van 36 meter lengte met een doorsnede van 1,22 meter gelegd.

Het resultaat van dit alles was een sarcofaag van 74 meter hoog, waarin 400.000 kubieke meter beton en 7300 ton staal waren verwerkt. Voordat men met de aanleg kon beginnen, werd 90.000 kubieke meter radioactieve aarde naar elders binnen de besmette zone getransporteerd. Volgens Kurnosov duurde de bouw vijf en een halve maand en werd het document dat de sarcofaag gereed was, op 28 november 1986 getekend.

Intussen was Tsjernobyl-1 in oktober 1986 weer in bedrijf gekomen. Tsjernobyl-2 volgde een maand later.²⁷³ Het in bedrijf nemen van Tsjernobyl-3 kostte meer tijd, omdat deze centrale direct naast de verongelukte stond. Er moesten uitgebreide en ingewikkelde ontsmettingswerkzaamheden worden verricht, voordat deze kerncentrale op 4 december 1987 kon opstarten. Het doel van de sarcofaag, namelijk dat de andere drie centrales weer in bedrijf konden komen, was daarmee bereikt.

Wel werd besloten om de kerncentrales Tsjernobyl-5 en -6 niet te voltooien “vanwege de gevoeligheid van de plaatselijke bevolking over de kwestie kernenergie,” aldus de toenmalige Sovjetminister van Energie, Lukonin. Hij voegde er nog aan toe dat de operators van Tsjernobyl via speciaal aangelegde wegen vanuit Kiev en andere plaatsen naar de kerncentrales werden vervoerd.²⁷⁴

De autoriteiten waren tevreden over het werk. Weliswaar smolt in de winter van 1986 op 1987 de sneeuw die op de sarcofaag viel, maar dat dit te maken had met te hoge temperaturen van de gesmolten brandstof, werd ontkend. In juni 1987 deelde de toenmalige directeur van Tsjernobyl, Michael Oemanets, mee dat het gevaar geweken was. Hij zei er zeker van te zijn dat de sarcofaag “het honderden jaren zou uithouden.” In september 1995, toen Oemanets minister voor Kernenergie van Oekraïne geworden was, kwam hij op die visie terug zoals we in het vervolg

zullen zien.

5.3 Instortingsgevaar dreigde

Kurnosov c.s. constateerden dat de sarcofaag gebouwd was volgens de regels. De duurzaamheid was echter een heel andere vraag vanwege het gebrek aan toegang tot de verschillende structuren waarop de sarcofaag gebouwd was. Inspectie en onderhoud waren daardoor soms niet mogelijk. Ook vonden de onderzoekers het belangrijk op te merken dat het niet mogelijk was via lasnaden of bouten onderdelen aan elkaar te bevestigen. Via afstandsbediening kon men niet precies bepalen of alles op de geplande plaats was terechtgekomen.²⁷⁵ Bovendien dacht men bij de bouw dat alle kernbrandstof uit de verongelukte reactor geslingerd was. Dat was de grondslag voor de bepaling van een levensduur van de sarcofaag van 25 jaar.²⁷⁶

In 1987 stelde het Koerchatov-Instituut vast dat er nog veel kernbrandstof in de sarcofaag was. Dat maakte extra onderzoek naar de omvang van deze brandstof en naar de stevigheid van de sarcofaag noodzakelijk. Tsjernobyl-4 werd aldus een kerncentrale met een aanzienlijke hoeveelheid personeel.²⁷⁷

Tijdens het onderzoek werden verontrustende feiten vastgesteld. De muren van de sarcofaag konden instorten door bewegingen van de resten van de kerncentrale. Medewerkers van het Wit-Russische Instituut voor Ecologische Problemen benadrukten op een congres in Zeleny Mys in maart 1994 de problemen met het zogeheten radiobiologische schild, een grote metalen koker met deksel om de brandstofelementen. Na de ramp op 26 april 1986 was de koker verzakt. Het deksel hing schuin onder een hoek van 55 graden. Het totale gewicht van 4500 ton rustte op een muur die niet op deze kracht gebouwd was. Een lichte aardbeving of tornado kon het wankele evenwicht verstoren, zodat het radiobiologische schild vier meter naar beneden zou storten. Dit kon nieuwe gaten in de sarcofaag veroorzaken, waardoor radioactiviteit naar buiten kon komen.²⁷⁸ Kurnosov c.s. merkten op dat men het radiobiologische schild zou moeten versterken, maar dat dit niet was gebeurd.²⁷⁹ Bovendien bleek dat beton en staal verrotte in de vochtige en sterk radioactieve omgeving. Beton brokkelde af met 0,2 mm per jaar, bij staal ging het om 0,075 mm per jaar. Op korte termijn was dit geen ernstige zaak, op langere termijn echter wel. De steunen voor het dak van de sarcofaag werden namelijk ook aangetast. En dat verminderde de betrouwbaarheid van de sarcofaag. Kurnosov c.s. stelden dat de discussie ging over de vraag of de sarcofaag nog 5 dan wel 25 jaar veilig zou blijven.²⁸⁰

M. V. Sidorenko van NIISK in Kiev probeerde de kansen op het falen van de sarcofaag uit te rekenen.²⁸¹ Er konden drie oorzaken zijn voor het instorten van de sarcofaag: een aardbeving, een tornado en een dik pak sneeuw.

Op 30 mei 1990 was er een aardbeving met als epicentrum Roemenië. Bij de sarcofaag was de kracht 4 op de schaal van Richter. Dit leverde geen schade op. In de winter van 1986-1987 sneeuwde het hevig in de regio-Tsjernobyl. Sidorenko nam deze mate van sneeuwval als uitgangspunt voor zijn berekeningen (opgemerkt zij overigens dat door de hoge temperatuur van de sarcofaag de sneeuw toen niet bleef liggen). Hij rekende vervolgens uit dat de kans op instorten van de sarcofaag in het meest ongunstige geval "0,07 tot 0,13%" was.²⁸² Daarbij gaf hij niet aan of hij 0,07 tot 0,13% per jaar of bijvoorbeeld over 50 jaar bedoelde. Hij ging er echter wel van uit dat door versteviging van de steunpunten, het kunstmatig laten smelten van sneeuw op het dak en de vervanging van de zware pijpen van het dak door lichter materiaal, de sarcofaag

het nog 50 jaar zou houden. De vraag daarbij was echter hoe de verstevigingen zouden moeten plaatsvinden en of het in beginsel wel zou kunnen.

Ook de aangenomen kracht van een aardbeving was problematisch. Tussen 1091 en 1990 waren er 29 aardbevingen in het gebied met een kracht van 4 tot 5 op de schaal van Richter. Eventueel kon zelfs kracht 7 voorkomen. En een aardbeving vanaf kracht 5 was voor de sarcofaag fataal.²⁸³

Volgens Alliance zou de sarcofaag instorten bij een aardbeving met kracht 6, die eens in de honderd jaar voorkomt bij Tsjernobyl.²⁸⁴

Tenslotte bleek de sarcofaag al snel minder duurzaam dan verwacht. V.K. Tolstonogov was plaatsvervangend hoofd van Tsjernobyl Kerncentrale Sarcofaag, de onderneming die verantwoordelijk was voor de handhaving van de verongelukte centrale. Op het congres in Zeleny Mys in 1994 stelde hij het volgende. Onder invloed van radioactiviteit werd het staal bros, en dit gevoegd bij vochtig weer bevorderde het wegroesten van het 50 meter hoge dak. Ook de betonnen zijmuren brokkelden af. Dat gaf gaten in de sarcofaag met een totale oppervlakte van 1000 vierkante meter. Volgens Tolstonogov was tussen 1986 en 1994 246 vierkante meter gaten in het dak gerepareerd. Hij vreesde echter voor verdere aantasting en instorting van de sarcofaag.²⁸⁵

5.4 Mogelijke gevolgen van instorting sarcofaag

Medewerkers van het Wit-Russische Instituut voor Ecologische Problemen rekenden uit dat bij de beschadiging van de sarcofaag door een tornado 1,3 miljoen Curie zou vrijkomen. Als gevolg daarvan konden gebieden tot op 200 kilometer van Tsjernobyl zwaar radioactief besmet raken. Bij wind in de richting van Wit-Rusland zou de besmetting van de bodem zelfs ernstiger zijn dan in 1986.²⁸⁶ Indien uitsluitend het dak van de sarcofaag instortte, zou veel minder radioactiviteit vrijkomen, namelijk 2600 Curie. Bij deze windrichting zou in Wit-Rusland ook bij een dergelijke lozing een gebied tot op 120 kilometer ongeschikt voor landbouw worden. De ergste besmetting zou overigens binnen de al ernstig radioactieve 30-kilometer-zone blijven. Radioactieve besmetting van de wijde omgeving was ook mogelijk zonder instorting van de sarcofaag. Medewerkers van het Oekraïense Directoraat voor Dosimetrie Controle wezen op tien ton verse kernbrandstof in de sarcofaag, die ten tijde van de ramp in een voorraadkamer aanwezig was. De onderzoekers gaven ook aan dat er water bij deze verse brandstof kon komen. Water bevordert de splijting van uranium. Er kon dan een korte maar hevige kettingreactie optreden, een zogeheten criticaliteitsongeval. Dat gaf een kleine drukgolf met splijtingsproducten die bijvoorbeeld via de gaten in de sarcofaag naar buiten konden komen. Ook voerde deze drukgolf radioactief stof mee. De totale lozing bedroeg dan 1000 Curie. Berekeningen lieten zien dat alleen al als gevolg van het radioactieve jodium de koeien tot op veertig kilometer afstand op stal zouden moeten.²⁸⁷

5.5 Van 1990 tot 2016: op naar een nieuwe, verbeterde sarcofaag

In het bovenstaande werd de stand van de kennis over de sarcofaag beschreven. Sinds 1990 gaven berichten over de kans op instorten van de sarcofaag aanleiding tot uitgebreide discussies over de bouw van een tweede sarcofaag. Niet duidelijk was aanvankelijk wie een tweede sarcofaag zou moeten betalen. Daarom duurde het tot 2016 voor die tweede sarcofaag gereed was. In deze paragraaf geven we de hoofdlijnen van de discussie weer.

1990

In mei 1990 kwamen de eerste berichten over problemen met de sarcofaag. Onderdirecteur Andrei Gagarinski van het Koerchatov Instituut deelde mee dat zijn instituut van plan was het dak van de sarcofaag te verstevigen. Dit om te voorkomen dat het dak zou instorten. Hij stelde dat de sarcofaag niet hermetisch afgesloten was en dat radioactieve stofdeeltjes naar buiten konden treden door de vele gaten en barsten in de sarcofaag. Gagarinski bevestigde eveneens dat de Sovjet-Unie studeerde op een verbeterde omhulling voor Tsjernobyl. Men dacht na over de bouw van een stalen omhulling om de sarcofaag.²⁸⁸

Ronddwarrelend stof wilde men binden met schuim. Dat vertelde Y. Senin, directeur van het Tsjernobyl-consortium, in juni 1990. Hij maakte tevens plannen bekend om vloeibaar beton te injecteren om beweging in de gesmolten brandstof te verhinderen.²⁸⁹

De regering van Oekraïne ging studeren op een mogelijke sluiting van de Tsjernobyl-centrales die in bedrijf waren. Men dacht aan sluiting rond 1995.²⁹⁰

1991

Ten tijde van “vijf jaar na Tsjernobyl” was de status van de sarcofaag een belangrijke kwestie. “De sarcofaag lekt en de stralingsrisico’s zullen binnen zeven tot tien jaar een gevaarlijk niveau bereiken in plaats van binnen 20 jaar, de geplande levensduur van de omhulling. Eind 1991 moet er een besluit komen over de toekomst van de sarcofaag.” Dat stelde A.A. Borovoy, directeur van het Tsjernobyl Nucleair Instituut van het ministerie van Atoomenergie en Industrie. Volgens hem moest een tweede sarcofaag om de al bestaande komen.²⁹¹

Met zijn pleidooi kwam Borovoy onder andere via een interview op de BBC in het nieuws. Daar deed hij een dramatische oproep tot Westerse hulp bij het zoeken naar een oplossing voor de sarcofaag. Dat leidde in verschillende landen tot vragen van parlementariërs en tot uitspraken van regeringen dat ze bijdragen zouden willen gaan leveren, maar niet tot hulp.²⁹²

De Sovjet-Unie maakte daarop in juni bekend een eigen studie van negen maanden naar de sarcofaag te gaan uitvoeren, alvorens het Westen opnieuw te benaderen. Twee opties stonden daarbij centraal: de sarcofaag volpompen met polymeren of de bouw van een tweede sarcofaag.²⁹³

1992

De omhulling van de in 1986 verongelukte kerncentrale in Tsjernobyl zou nog hooguit zes jaar meegaan. Dat stelde Georgy Reyktman, hoofdingenieur van de kerncentrale. De regering van Oekraïne presenteerde op 9 juli 1992 een internationale competitie waarbij verschillende westerse bedrijven aanwezig waren, zoals Bouygues en Campenon Bernard uit Frankrijk en Siemens en Hochtief uit Duitsland.²⁹⁴

1993

Als de sarcofaag instortte, zou meer radioactiviteit vrijkomen dan tijdens de ramp van april 1986. Dat stelde Bernhard Haselwander, project directeur van Hochtief AG, een firma die deelnam aan de Internationale Competitie in april 1993. Het plan van deze firma behelsde een gebouw van 75 meter hoog, 240 meter breed en 300 lang om de bestaande sarcofaag.

M. Oemanets, in 1993 president van het consortium Ukratomenergoprom dat kerncentrales exploiteerde, ging ervan uit dat de maximum levensduur van de sarcofaag tien jaar was.²⁹⁵ In juni werd de uitslag bekend van de Internationale Competitie. Een Frans consortium onder aanvoering van het ingenieurbureau Campenon Bernard won de Tsjernobyl-prijsvraag. Het bekendmaken van de prijswinnaars viel echter niet samen met het verlenen van de bouwopdracht. Oekraïne had geen geld en ging op zoek naar financiers.^{296 297} In oktober vonden besprekingen plaats met de European Bank for Reconstruction and Development (EBRD), maar die hadden geen resultaat.²⁹⁸

1994

Tsjernobyl kwam aan de orde op de G7-top van 8 tot 10 juli 1994 in Napels. De Europese Unie (EU) en de G7 stelden in totaal 1,4 miljard gulden beschikbaar, zo deden ze het tenminste voorkomen. In september 1994 bleek dat het G7- en EU-plan niets concreets behelsde.²⁹⁹ De industrie zat intussen niet stil. De verschillende deelnemers aan de Internationale Competitie over Tsjernobyl verenigden zich in “Alliance”, onder leiding van Campenon Bernard. Het consortium kreeg van de Europese Unie in augustus 1994 de opdracht om een studie te verrichten naar de uitvoerbaarheid van de bouw van een tweede sarcofaag.³⁰⁰

1995

In juli 1995 verscheen een rapport van Alliance. “De sarcofaag kan elk moment instorten,” schreef Alliance.³⁰¹ “De conditie van de sarcofaag maakt het, mede onder invloed van de sterke radioactiviteit, onmogelijk de bestaande structuren zo te verstevigen dat ze het lange tijd uithouden.”³⁰² Daarom stelde het consortium voor om een tweede sarcofaag te bouwen in de vorm van een grote boog om de verongelukte centrale én om Tsjernobyl-3. De keuze viel op een boog vanwege de harmonieuze vorm en omdat die losstaat van de bestaande structuren van de sarcofaag.³⁰³

De kosten van de aanleg van de boog zouden 689 miljoen dollar bedragen, waar 186 miljoen dollar bij zou komen voor voorbereidend werk en 122 miljoen dollar voor materiaal. Daarnaast was 280 miljoen dollar nodig voor onderzoek en 75 tot 150 miljoen dollar voor het verstevigen van de bestaande structuren van de sarcofaag. Het totaal kwam op 1.350 tot 1425 miljoen dollar. Als alternatief noemde Alliance het omhullen van alleen Tsjernobyl-4. Dit kostte echter vrijwel hetzelfde.³⁰⁴

De autoriteiten van Oekraïne deelden bij de presentatie van het Alliance-plan mee dat een tweede sarcofaag onnodig was omdat de bestaande omhulling wel gestabiliseerd kon worden.

Bovendien zou een tweede sarcofaag (met de naam Shelter-2) een bovenmatige druk op de ondergrond uitoefenen. Shelter-2 zou namelijk 260 miljoen kilo wegen.³⁰⁵

Alliance ging ervan uit tien jaar nodig te hebben voor de bouw van een nieuwe omhulling voor de verongelukte Tsjernobyl-4. In de twintig jaar daarna wilde Alliance de rampcentrale stukje bij beetje afbreken. Het daarbij vrijkomende puin zou als zwaar radioactief afval ergens opgeborgen moeten worden.

Er was in 1995 echter te weinig geld voor de tweede sarcofaag om Tsjernobyl. Oekraïne kon niets betalen en westerse landen wilden maar weinig bijdragen. Daarom stelde Alliance voor andere geldbronnen aan te boren zoals loterijen.³⁰⁶ Maar ook dit liep op niets uit.

Sarcofaag Tsjernobyl

1998 tot 2016: Tweede sarcofaag kwam er uiteindelijk

De firma Arcadis Bouw Infra werd in 1998 betrokken bij een nieuw plan, maar dat ging ook niet door. In 2005 koos de regering van Oekraïne voor een 30.000 ton wegende boog, 260 meter breed en 100 meter hoog, die over de bestaande sarcofaag geschoven moest worden. Deze boog zou 870 miljoen dollar kosten en kon in 2008 klaar zijn. Maar dat tijdschema lukte niet, want eerst moesten er stabilisatiewerkzaamheden aan de bestaande constructie plaatsvinden. Toen die klaar waren, begon Novarka, een Frans consortium met onder meer VINCI en Bouygues, in 2012 met de bouw van de boog.

Vanwege de omvang van het bouwwerk werden eerst twee halve bogen gemaakt die in 2015 aan elkaar werden vastgemaakt. De Nederlandse firma Mammoet zorgde voor nauwkeurig hijswerk, zodat de delen precies op elkaar aansloten. Daarop begon het verplaatsen van de boog, waarbij de boog met een hydraulisch systeem van Mammoet met 224 krikken en via geleiderails telkens 60 centimeter werd verplaatst. Daarna sloten twee platen aan de uiteinden de boog af van de buitenwereld. Een ventilatiesysteem zorgde ervoor dat de structuur roestvrij blijft tijdens de geplande levensduur van 100 jaar. In de boog kwamen op afstand bedienbare kranen en boorinstallaties om Tsjernobyl-4 af te breken.

De nieuwe omhulling was in november 2016 klaar.³⁰⁷ Intussen waren Tsjernobyl-1, -2 en -3 ook stilgelegd en werd geen elektriciteit meer opgewekt bij Tsjernobyl (zie figuur 5.1).

Figuur 5.1
De Tsjernobyl-kerncentrales

Opstarten	Reactor 1	1977
	Reactor 2	1978
	Reactor 3	1981
	Reactor 4	1983
	Reactor 5	Nimmer
	Reactor 6	Nimmer
Stillegging	Reactor 4	1986
	Reactor 2	1991
	Reactor 1	1996
	Reactor 3	2000

Bron: https://nl.wikipedia.org/wiki/Kerncentrale_Tsjernobyl

Bronnen:

1. H. Born, KERNENERGIE IN DER SOWJETUNION, in Atomwirtschaft, december 1983, p. 645-649.
2. B. Semenov, NUCLEAR POWER IN THE SOVIET UNION, in IAEA-Bulletin, vol.25, no.2, juni 1983, p. 47-60.
3. Prof. dr. D. van Bekkum, STRALING EN RADIOACTIVITEIT, Drachten, 1986, p. 24.
4. Klaus Traube e.a., NACH DEM SUPER-GAU, TSCHERNOBYL UND DIE KONSEQUENZEN, Hamburg, mei 1986, p. 74
5. British Nuclear Forum, Paul Seaman, FACT SHEETS CHERNOBYL, Londen, september 1995.
6. USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy, THE ACCIDENT AT THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT AND ITS CONSEQUENCES, Information compiled for the IAEA's Experts' Meeting, 25-29 augustus, Part 1 and II, Vienna, augustus 1986.
7. Asmolov, V.G., et. al., "THE ACCIDENT AT THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT: ONE YEAR AFTER", Nuclear Power Performance and Safety (Proceeding International Conference Vienna, 1987), IAEA, Vienna, 1988.
8. Atomic Energy Board of Canada, THE ACCIDENT AT CHERNOBYL AND ITS IMPLICATIONS FOR THE SAFETY OF CANDU REACTORS, mei 1987.
9. International Nuclear Safety Advisory Group, International Atomic Energy Agency, SUMMARY REPORT ON THE POST-ACCIDENT REVIEW MEETING ON THE CHERNOBYL ACCIDENT, Safety Series No.75-INSAG-1, IAEA, Vienna, 1986.
10. Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Cooperation and Development, CHERNOBYL AND THE

SAFETY OF NUCLEAR REACTORS IN OECD COUNTRIES, Parijs, 1987.

11. U.S. Department of Energy, REPORT OF THE U.S. DEPARTMENT OF ENERGY'S TEAM ANALYSIS OF THE CHERNOBYL-4 ATOMIC ENERGY STATION ACCIDENT SEQUENCE, november 1986.

12. U.S. Nuclear Regulatory Commission, IMPLICATIONS OF THE ACCIDENT AT CHERNOBYL FOR SAFETY REGULATION OF COMMERCIAL NUCLEAR POWER PLANTS IN THE UNITED STATES, mei 1987.

13. Atomic Energy of Canada Limited and Nuclear Safety Analysis Center (Electric Power Research Institute), MULTIDIMENSIONAL ANALYSIS OF THE CHERNOBYL ACCIDENT, 1986.

14. Christopher Flavin, REASSESSING NUCLEAR POWER: THE FALLOUT FROM CHERNOBYL, Worldwatch Institute, Washington DC, maart 1987.

15. U.S. Nuclear Regulatory Commission, REPORT ON THE ACCIDENT AT THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER STATION, december 1987.

16. Zhores A. Medvedev, THE LEGACY OF CHERNOBYL, Basil Blackwell, Oxford, UK, 1990.

17. David R. Marples, THE SOCIAL IMPACT OF THE CHERNOBYL DISASTER, Londen, UK, 1988.

18. Richard F. Mould, CHERNOBYL; THE REAL STORY, Pergamon Press, New York, 1988.

19. V.M. Chernousenko, CHERNOBYL, INSIGHT FROM THE INSIDE, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1991.

20. Grigori Medvedev, THE TRUTH ABOUT CHERNOBYL, I.B. Tauris and Co Ltd, Londen - New York, 1991.

21. Piers Paul Read, ABLAZE, THE STORY OF CHERNOBYL, Secker and Warburg, Londen, 1993.

22. Jurij Stscherbak, PROTOKOLLE EINER KATASTROPHE, Atheneum Verlag, Frankfurt am Main, 1988.

23. Ref. 16, p 232.

24. Idem, p 232.

25. Idem, p 234.

26. Gruppe Okologie, INTERNATIONAL NUCLEAR REACTOR HAZARD STUDY, Greenpeace International, september 1986.

27. Jan van Bentum, HOE KON HET GROOTSTE REAKTORONGELUK UIT DE GESCHIEDENIS GEBEUREN?, Wetenschap en Samenleving, 4/5, 1987, p. 3-12.

28. Ref 3, p 22 en 23.

29. Ref.9, p. 98; Nucleonics Week, 8 januari 1987, p. 1.

30. Ref. 27, p 6.

31. K. van der Meer, RECENT DEVELOPMENTS IN REACTIVITY INITIATED ACCIDENT ASSESSMENTS, 1990, ECN-CX-90-038; C.D. Andriesse, BEHEERSTE KERNSPLIJTING, in: Energiespectrum, juli/augustus 1990, p 202-204; Algemeen Dagblad, 4 december 1990; Volkskrant, 12 december 1990; Tweede Kamer, Vergaderjaar 1990-1991, Aanhangsel 242, 12 december 1990; Tweede Kamer, Vergaderjaar 1990-1991, 21.800-XV, nr. 59, 29 januari 1991; Tweede Kamer, Handelingen, TK 49, 6 februari 1991, p 2908 e.v..

32. Ministerie E.Z., Studie REAKTORTYPES VOOR NEDERLAND, Bijlage bij brief van de minister d.d. 20 augustus 1990 over Studies kernenergie.

33. Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen, ERLÄUTERUNGEN ZUM AKTUELLEN STAND DES ATOMRECHTLICHEN GENEHMIGUNGSVERFAHRENS FÜR DEN SNR-300 IN KALKAR, Düsseldorf, 1 april 1987.

34. Ref 16, p 6.

35. William Sweet, CHERNOBYL; WHAT REALLY HAPPENED, Technology Review, juli 1989, p. 43-52.

36. Nucleonics Week, 7 december 1989, p. 1 en 11.

37. Ref. 16, p 238.

38. Ref 20, p 32.

39. Ref. 16, p 13.

40. Ref 16, p 13 en 14.

41. Ref 16, p 16.

42. Nucleonics Week, 31 mei 1990, p. 1 en 10.

43. Ref 16, p 40.

44. Idem.

45. A. J. van Loon, DE KERNSMELTINGSONGEVALLEN BIJ TSJERNOBYL EN HARRISBURG: LESSEN VOOR DE REACTORVEILIGHEID, Arnhem 1987, p. 30.

46. Ref 16, p 21.

47. Nucleonics Week, 3 november 1988, special issue.

48. Ref. 21, p 29.

49. Nucleonics Week, 17 september 1987, p. 13 en 25 april 1991, p 1, 7 en 8.

50. Uranium Institute, UI Facts on Chernobyl, London, september 1995.
51. Deze paragraaf is gebaseerd op met name: Ref 16, p 23 tm 39; Ref. 50; Ref 9, section 1.
52. Nucleonics Week, 7 december 1989, p. 1 en 11.
53. Ref. 35, p 50.
54. Nucleonics Week, 31 mei 1990, p. 10.
55. Nucleonics Week, 11 oktober 1990, p. 14.
56. De informatie van deze paragraaf komt vooral uit referenties 16, 20 en 21.
57. Zie ref. 5 en ref. 9.
58. International Nuclear Safety Advisory Group, THE CHERNOBYL ACCIDENT: UPDATING OF INSAG-1, IAEA, Safety Series No. 75-INSAG-7, Vienna, 1992.
59. Ref 58, p 1.
60. Nucleonics Week, 25 april 1991, p 1, 7 en 8.
61. Nucleonics Week, 25 juli 1991, p 1, 14, 15 en 16.
62. Ref. 58, p 6.
63. Idem, p 11.
64. Idem, p 5.
65. Idem, p 11
66. Idem, p 11.
67. Idem, p 23.
68. Idem, p 24.
69. Anatoly Diatlov, WHY INSAG HAS STILL GOT IT WRONG, Nuclear Engineering International, Vol. 40, No 494, september 1995, p 17-21.
70. Ref. 20, p 51-55.
- ⁷¹ ref 5, paragraaf 2.
72. A. N. Kisselev, LAVA-LIKE CONTAINING MASSES IN UNIT 4 OF CHERNOBYL NPP (BASED ON RESEARCH IN THE PERIOD 1986-1993), in: "Sarcophagus Safety '94; The State of the Chernobyl Nuclear Power

Plant Unit 4", Proceedings of an International Symposium, Zeleny Mys, Chernobyl, Ukraine, 14-18 maart 1994, Nuclear Energy Agency (OECD), Paris, juni 1995, p 54-64.

73. L. Bogdan, ISSUES OF ACCIDENT WASTE MANAGEMENT, in: "Sarcophagus Safety '94; The State of the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit 4", Proceedings of an International Symposium, Zeleny Mys, Chernobyl, Ukraine, 14-18 maart 1994, Nuclear Energy Agency (OECD), Paris, juni 1995, p 43-51.

74. Ref 9, section II, para. 1.1.

75. D.A. Bugai, HYDROGEOLOGY OF THE SHELTER AND RISK OF CONTAMINATION OF UNDERGROUND WATER, in: "Sarcophagus Safety '94. The State of the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit 4", Proceedings of an International Symposium, Zeleny Mys, Ukraine, 14-18 March 1994, OECD Nuclear Energy Agency, Paris, June 1995, p 358-369.

76. D.A. Bugai, HYDROGEOLOGY OF THE SHELTER AND RISK OF CONTAMINATION OF UNDERGROUND WATER, in: "Sarcophagus Safety '94. The State of the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit 4", Proceedings of an International Symposium, Zeleny Mys, Ukraine, 14-18 maart 1994, OECD Nuclear Energy Agency, Paris, juni 1995, p 358-369.

77. Zie ref. 6.

78. WISE NEWS COMMUNIQUE 407, 25 februari 1994, p 3 en 4.

79. L. Bogdan, ISSUES OF ACCIDENT WASTE MANAGEMENT, in: "Sarcophagus Safety '94; The State of the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit 4", Proceedings of an International Symposium, Zeleny Mys, Chernobyl, Ukraine, 14-18 March 1994, Nuclear Energy Agency (OECD), Paris, June 1995, p 43-51.

80. Ref 3, p 5.

81. Nucleonics Week, 7 december 1989, p. 12.

82. WISE News Communiqué 432, 19 May 1995.

83. Ref 4., C2.7.

84. WHO Fact Sheet, 20 november, 1995.

85. Alla Yaroshinskaya, CHERNOBYL: THE FORBIDDEN TRUTH, Oxford: John Carpenter, 1994.

86. Nucleonics Week, 28 juni 1990, p 16.

87. V.K. Savchenko, THE ECOLOGY OF THE CHERNOBYL CATASTROPHE: SCIENTIFIC OUTLINES OF AN INTERNATIONAL PROGRAMME OF COLLABORATIVE RESEARCH, Published by UNESCO and The Parthenon Publishing Group Ltd, London, New York, 1995, p 137-140.

88. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International

Chernobyl Project, Wenen, 21-24 mei 1991, uitgegeven door het IAEA, Part C, C3.3.

89. Astrid Sahm, DIE AUSWIRKUNGEN DER REAKTORKATASTROPHE VON TSCHERNOBYL IN DER REPUBLIK BELARUS, DER RUSSISCHE FEDERATION UND DER UKRAINE, Universität Mannheim, in press.

90. David R. Marples, THE SOCIAL IMPACT OF THE CHERNOBYL DISASTER, Londen, UK, 1988, p 148-155.

91. David R. Marples, THE SOCIAL IMPACT OF THE CHERNOBYL DISASTER, Londen, UK, 1988, p 168.

92. R. Giel, DE LATE GEVOLGEN VAN RAMPZALIGE TRAUMATISCHE ERVARINGEN, Groningen, 1990, p. 9. (Giel is emeritus-hoogleraar in de psychiatrie en is tweemaal met een internationale onderzoekscommissie in de besmette gebieden geweest.)

93. David R. Marples, THE SOCIAL IMPACT OF THE CHERNOBYL DISASTER, Londen, UK, 1988, p 162.

94. Zhores A. Medvedev, THE LEGACY OF CHERNOBYL, Basil Blackwell, Oxford, UK, 1990, p 97.

95. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Wenen, 21-24 mei 1991, uitgegeven door het IAEA, Part C, C3.4

96. V.K. Savchenko, THE ECOLOGY OF THE CHERNOBYL CATASTROPHE: SCIENTIFIC OUTLINES OF AN INTERNATIONAL PROGRAMME OF COLLABORATIVE RESEARCH, Published by UNESCO and The Parthenon Publishing Group Ltd, London, New York, 1995, p 17.

97. Nucleonics Week, 2 november 1989, p. 4 en 5.

98. Nucleonics Week, 23 maart 1989, p 7 en 8.

99. Nucleonics Week, 23 maart 1989, p 7 en 8.

100. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Wenen, 21-24 mei 1991, uitgegeven door het IAEA, Part C, C3.4.

101. Nucleonics Week, 8 oktober 1987, p 11.

102. L.A. Ilyin, O.A. Pavlovskij, RADIOLOGICAL CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL ACCIDENT IN THE SOVIET UNION AND MEASURES TAKEN TO MITIGATE THEIR IMPACT, IAEA-CN-48/33, p 149-166.

103. Ministry for Emergencies and Population Protection from the Chernobyl NPP Catastrophe Consequences, THE REPUBLIC OF BELARUS: 9 YEARS AFTER CHERNOBYL. SITUATION, PROBLEMS, ACTION. NATIONAL REPORT, Minsk, december 1995, p 43.

104. Ministry for Emergencies and Population Protection from the Chernobyl NPP Catastrophe Consequences, THE REPUBLIC OF BELARUS: 9 YEARS AFTER CHERNOBYL. SITUATION, PROBLEMS, ACTION. NATIONAL REPORT, Minsk, december 1995, p 44 en 45.
105. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Wenen, 21-24 mei 1991, uitgegeven door het IAEA, Part C, C2.8.
106. V.K. Savchenko, THE ECOLOGY OF THE CHERNOBYL CATASTROPHE: SCIENTIFIC OUTLINES OF AN INTERNATIONAL PROGRAMME OF COLLABORATIVE RESEARCH, Published by UNESCO and The Parthenon Publishing Group Ltd, London, New York, 1995, p 14.
107. V.K. Savchenko, THE ECOLOGY OF THE CHERNOBYL CATASTROPHE: SCIENTIFIC OUTLINES OF AN INTERNATIONAL PROGRAMME OF COLLABORATIVE RESEARCH, Published by UNESCO and The Parthenon Publishing Group Ltd, London, New York, 1995, p 15.
108. D.A. Bugai e.a. "HYDROGEOLOGY OF THE SHELTER AND RISK OF CONTAMINATION OF UNDERGROUND WATER, in: "Sarcophagus Safety '94; The State of the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit 4", Proceedings of an International Symposium, Zeleny Mys, Chernobyl, Ukraine, 14-18 March 1994, Nuclear Energy Agency (OECD), Paris, juni 1995, p 358-370.
109. World Health Organisation EURO Working Group, PSYCHOLOGICAL DIMENSIONS OF THE CHERNOBYL NUCLEAR ACCIDENT, 1990, p 5.
110. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Wenen, 21-24 mei 1991, uitgegeven door het IAEA, Part C, C2.8.
111. V.K. Savchenko, THE ECOLOGY OF THE CHERNOBYL CATASTROPHE: SCIENTIFIC OUTLINES OF AN INTERNATIONAL PROGRAMME OF COLLABORATIVE RESEARCH, Published by UNESCO and The Parthenon Publishing Group Ltd, London, New York, 1995, p21.
112. Directie Stralenbescherming VROM, DE GESCHATTE STRALENBELASTING IN NEDERLAND IN 1986, Den Haag, juli 1988, p. 76.
113. Coördinatie-Commissie voor de Metingen van Radioactiviteit en Xenobiotische Stoffen, AANVULLEND MEETPROGRAMMA Tsjernobyl juni 1988, Den Haag, p. 5.
114. L.A.Ilyin e.a., RADIOCONTAMINATION AND POSSIBLE HEALTH CONSEQUENCES OF THE ACCIDENT AT THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER STATION, in Journal Radiological Protection, 1990, Vol. 10, p. 3-29.
115. A. Okeanov. TIME TRENDS STUDY ON CANCER MORBIDITY IN BELARUS BEFORE AND AFTER CHERNOBYL, WHO-Conference, Geneva, 21 november 1995.
116. V.K. Savchenko, THE ECOLOGY OF THE CHERNOBYL CATASTROPHE: SCIENTIFIC OUTLINES OF

AN INTERNATIONAL PROGRAMME OF COLLABORATIVE RESEARCH, Published by UNESCO and The Parthenon Publishing Group Ltd, London, New York, 1995, p2.

117. United Nations, Department of Humanitarian Affairs, STRENGTHENING OF INTERNATIONAL COOPERATION AND COORDINATION OF EFFORTS TO STUDY, MITIGATE AND MINIMIZE THE CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL DISASTER, Report to the Secretary-General, Fiftieth session, Item 20 (b) of the provisional agenda, 1995.

118. Ivan A. Kenik, BELARUS: A SMALL COUNTRY FACES 70 PERCENT OF THE FALLOUT. In: UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF HUMANITARIAN AFFAIRS, DHA NEWS, SEPTEMBER/OCTOBER 1995, NO 16, p. 7 en 8, verscheen 21 november 1995.

119. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Wenen, 21-24 mei 1991, uitgegeven door het IAEA, Part A, A5.1.

120. Het IAEA geeft voor wat betreft Wit-Rusland en Rusland de volgende toelichting. 70% van de besmette gebieden ligt in Wit-Rusland (38.400 km² of 18% van het oppervlak van de republiek). 27 steden en 2666 dorpen met een totale bevolking van 2,1 miljoen mensen liggen in gebieden met meer dan 1 Ci/km² cesium-besmetting. Er zijn 14 steden en 1352 dorpen met een bevolking van 1,73 miljoen mensen die liggen in gebieden met een besmetting tussen 1 en 5 Ci/km². Acht steden en 919 dorpen zijn besmet met 5 tot 15 Ci/km²; daar wonen 267.000 mensen. Vijf steden en 295 dorpen met een inwonersaantal van 105.000 liggen in een gebied besmet met meer dan 15 Ci/km². Meer dan 40 Ci/km² is neergekomen in een gebied met 70 dorpen en een inwonersaantal van 9700. In april 1986 stelden de autoriteiten vast dat in de regio Bryansk vijf districten besmet waren. Het ging om een gebied van 5500 km² met een bevolking van 278.300. In 216 dorpen was de besmetting tussen 15 en 40 Ci/km² en in 15 dorpen met 104.500 inwoners was de besmetting meer dan 40 Ci/km². De meeste mensen uit de ergst besmette gebieden zijn gevlucht. De nog overgebleven aantallen staan vermeld in tabel 1. (Bron: Ref. 4, Part C, C4.2 en C4.3)

121. World Health Organisation, HEALTH CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL ACCIDENT, RESULTS OF THE IPHECA PILOT PROJECTS AND RELATED NATIONAL PROGRAMMES, summary report, Geneva, november 1995.

122. Norway Now, nr 8, mei 1995.

123. Strahlentelex 214-215/1995.

124. Frankfurter Allgemeine Zeitung, 8 november 1995.

125. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Persbericht 15/96, 17 januari 1996.

126. United Nations, Department of Humanitarian Affairs, STRENGTHENING OF INTERNATIONAL COOPERATION AND COORDINATION OF EFFORTS TO STUDY, MITIGATE AND MINIMIZE THE CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL DISASTER, Report to the Secretary-General, Fiftieth session, Item 20 (b) of the provisional agenda, 1995.

127. V.K. Savchenko, THE ECOLOGY OF THE CHERNOBYL CATASTROPHE: SCIENTIFIC OUTLINES OF AN INTERNATIONAL PROGRAMME OF COLLABORATIVE RESEARCH, Published by UNESCO and The

Parthenon Publishing Group Ltd, London, New York, 1995, p 53.

128. V.K. Savchenko, THE ECOLOGY OF THE CHERNOBYL CATASTROPHE: SCIENTIFIC OUTLINES OF AN INTERNATIONAL PROGRAMME OF COLLABORATIVE RESEARCH, Published by UNESCO and The Parthenon Publishing Group Ltd, London, New York, 1995, p 53 and 54.

129. Prof. I.N. Nikitschenko, Instituut voor Landbouw, Minsk, AUSWIRKUNGEN DER STRAHLENBELASTUNG AUF DIE LANDWIRTSCHAFT UND DIE AGRARINDUSTRIE IN WEISSRUSSLAND; BISHERIGE ERKENNTNISSE UND PROGNOSEN. GSF-Congres "Tschernobyl und die Folgen für Deutschland und die Sowjetunion", 19/20 maart 1991, München.

130. Idem.

131. V.K. Savchenko, THE ECOLOGY OF THE CHERNOBYL CATASTROPHE: SCIENTIFIC OUTLINES OF AN INTERNATIONAL PROGRAMME OF COLLABORATIVE RESEARCH, Published by UNESCO and The Parthenon Publishing Group Ltd, London, New York, 1995, p 53.

132. I V.K. Savchenko, THE ECOLOGY OF THE CHERNOBYL CATASTROPHE: SCIENTIFIC OUTLINES OF AN INTERNATIONAL PROGRAMME OF COLLABORATIVE RESEARCH, Published by UNESCO and The Parthenon Publishing Group Ltd, London, New York, 1995, p 37.

133. Professor W.B. Nesterenko, DAS SYSTEM DER RADIOAKTIVITÄTS-KONTROLLE DES WOHNGBIETES UND DER NAHRUNGSMITTEL DER BEVÖLKERUNG DER REPUBLIK BELARUS NACH DER TSCHERNOBYL-KATASTROPHE, Lezing in Korschenbroich, Duitsland, 29 oktober 1994 (vertaling Astrid Sahm).

134. W.B. Nesterenko, DIE BITTERE WAHRHEIT ÜBER DIE FOLGEN DER KATASTROPHE VON TSCHERNOBYL IN BELARUS, lezing Tschernobyl-Konferens des Diakonischen Werkes von Hessen-Nassau, 1-3 oktober 1995, Manloff (Taunus), Duitsland (vertaling: Astrid Sahm).

135. Nucleonics Week, 21 januari 1988, p 14.

136. Nucleonics Week, 23 maart 1989, p 7 en 8.

137. United Nations, Department of Humanitarian Affairs, STRENGTHENING OF INTERNATIONAL COOPERATION AND COORDINATION OF EFFORTS TO STUDY, MITIGATE AND MINIMIZE THE CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL DISASTER, Report to the Secretary-General, Fiftieth session, Item 20 (b) of the provisional agenda, 1995.

138. Y.Korolenko, minister van Gezondheid van de Oekraïne, welkomstwoord bij WHO-Conferentie "Health consequences of the Chernobyl and other radiological accidents", 20 november 1995.

139. Ministry for Emergencies and Population Protection from the Chernobyl NPP Catastrophe Consequences, THE REPUBLIC OF BELARUS: 9 YEARS AFTER CHERNOBYL. SITUATION, PROBLEMS, ACTION. NATIONAL REPORT, Minsk, december 1995, p 23 en 24.

140. Tweede Kamer, vergaderjaar 1986-1987, 18.830, nr 78, p 13.

141. The Guardian, 27 augustus 1986.
142. Christian Science Monitor, 9 september 1986.
143. Junge Welt, 11 augustus 1994.
144. Atomwirtschaft, jaargang 40, nummer 11, november 1995, p 724.
- ¹⁴⁵ https://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/pressematerial/Hinkley_Point/200424_FOES_Kosten_Tschernobyl.pdf, 24 april 2020.
146. Nuclear Energy Agency, CHERNOBYL - TEN YEARS ON: RADIOLOGICAL AND HEALTH IMPACT, Parijs, 13 februari 1996.
- ¹⁴⁷ http://laka.org/info/publicaties/2011-chernobyl_chronology.pdf, 11 maart 2011.
- ¹⁴⁸ https://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/pressematerial/Hinkley_Point/200424_FOES_Kosten_Tschernobyl.pdf, 24 april 2020.
149. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Vienna, 21-24 mei 1991, uitgave van het IAEA, Part C, C3.1.
150. Zhores A. Medvedev, THE LEGACY OF CHERNOBYL, Basil Blackwell, Oxford, UK, 1990, p 142-143.
151. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Vienna, 21-24 mei 1991, uitgave van het IAEA, Part C, C3.1.
152. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Vienna, 21-24 mei 1991, uitgave van het IAEA, Part C, C3.1.
153. David R. Marples, THE SOCIAL IMPACT OF THE CHERNOBYL DISASTER, Londen, UK, 1988, p 30 and 31.
154. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Vienna, 21-24 mei 1991, uitgave van het IAEA, Part C, C3.1.
155. Zhores A. Medvedev, THE LEGACY OF CHERNOBYL, Basil Blackwell, Oxford, UK, 1990, p 149.
156. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE

CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Vienna, 21-24 mei 1991, uitgave van het IAEA, Part C, C3.1.

157. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Vienna, 21-24 mei 1991, uitgave van het IAEA, Part C, C3.2.

158. David R. Marples, THE SOCIAL IMPACT OF THE CHERNOBYL DISASTER, Londen, UK, 1988, p 115.

159. David R. Marples, THE SOCIAL IMPACT OF THE CHERNOBYL DISASTER, Londen, UK, 1988, p 151.

160. Zhores A. Medvedev, THE LEGACY OF CHERNOBYL, Basil Blackwell, Oxford, UK, 1990, p 31.

161. Zhores A. Medvedev, THE LEGACY OF CHERNOBYL, Basil Blackwell, Oxford, UK, 1990, p 31.

162. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Vienna, 21-24 mei 1991, uitgave van het IAEA, Part C, C3.2.

163. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Vienna, 21-24 mei 1991, uitgave van het IAEA, Part C, C4.2.1.

164. V.K. Savchenko, THE ECOLOGY OF THE CHERNOBYL CATASTROPHE: SCIENTIFIC OUTLINES OF AN INTERNATIONAL PROGRAMME OF COLLABORATIVE RESEARCH, Published by UNESCO and The Parthenon Publishing Group Ltd, London, New York, 1995, p 70.

165. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Vienna, 21-24 mei 1991, uitgave van het IAEA, Annex G2, 5.1.2.

166. V.K. Savchenko, THE ECOLOGY OF THE CHERNOBYL CATASTROPHE: SCIENTIFIC OUTLINES OF AN INTERNATIONAL PROGRAMME OF COLLABORATIVE RESEARCH, Published by UNESCO and The Parthenon Publishing Group Ltd, London, New York, 1995, p 144.

167. Astrid Sahn, DIE AUSWIRKUNGEN DER REAKTORKATASTROPHE VON TSCHERNOBYL IN DER REPUBLIK BELARUS, DER RUSSISCHEN FÖDERATION UND DER UKRAÏNE, UNIVERSITÄT MANNHEIM, 1999.

168. United Nations, Department of Humanitarian Affairs, STRENGTHENING OF INTERNATIONAL COOPERATION AND COORDINATION OF EFFORTS TO STUDY, MITIGATE AND MINIMIZE THE CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL DISASTER, Report to the Secretary-General, Fiftieth session, Item 20 (b) of the provisional agenda, 8 september 1995.

169. Astrid Sahm, DIE AUSWIRKUNGEN DER REAKTORKATASTROPHE VON TSCHERNOBYL IN DER REPUBLIK BELARUS, DER RUSSISCHEN FÖDERATION UND DER UKRAÏNE, UNIVERSITÄT MANNHEIM, 1999.
170. Robert Gale, CHERNOBYL: ANSWERS SLIPPING AWAY, in: Bulletin of the Atomic Scientists, September 1990, p 19- 24.
171. Zhores A. Medvedev, THE LEGACY OF CHERNOBYL, Basil Blackwell, Oxford, UK, 1990, p 45.
172. Zhores A. Medvedev, THE LEGACY OF CHERNOBYL, Basil Blackwell, Oxford, UK, 1990, p 127 and 141.
173. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Vienna, 21-24 mei 1991, uitgave van het IAEA, Part C, C4.
174. Zhores A. Medvedev, THE LEGACY OF CHERNOBYL, Basil Blackwell, Oxford, UK, 1990, p 198, 199 and 200.
175. Astrid Sahm, DIE AUSWIRKUNGEN DER REAKTORKATASTROPHE VON TSCHERNOBYL IN DER REPUBLIK BELARUS, DER RUSSISCHEN FÖDERATION UND DER UKRAÏNE, UNIVERSITÄT MANNHEIM, 1999.
176. Astrid Sahm, DIE AUSWIRKUNGEN DER REAKTORKATASTROPHE VON TSCHERNOBYL IN DER REPUBLIK BELARUS, DER RUSSISCHEN FÖDERATION UND DER UKRAÏNE, UNIVERSITÄT MANNHEIM, 1999.
177. Nucleonics Week, 17 november 1988, p 3.
178. Nucleonics Week, 17 november 1988, p 3.
179. Nucleonics Week, 16 en 23 maart 1989.
180. Nucleonics week, 14 juni 1990, p 16.
181. Astrid Sahm, DIE AUSWIRKUNGEN DER REAKTORKATASTROPHE VON TSCHERNOBYL IN DER REPUBLIK BELARUS, DER RUSSISCHEN FÖDERATION UND DER UKRAÏNE, UNIVERSITÄT MANNHEIM, 1999.
182. Nucleonics Week, 6 juli 1995, p 1, 13 and 14.
183. Swetlana Alexijewitsch, DIE ERDE DER TOTEN, in: F.Dorn (ed), Erinnerungen Gegen den Krieg, Journalistenfonds des Journalistenverbandes von Belarus, Minsk, 1995 (in Duits en Russisch), p 229-257.
184. Astrid Sahm, DAS NEUE BELARUSSISCHE TSCHERNOBYL-PROGRAMM SETZT AUF NORMALISIERUNG, januari 1996 (niet gepubliceerd).
185. Ministerie VROM, NOTA KERNONGEVALLENBESTRIJDING, 13 februari 1989, Tweede Kamer, 21015,

nr. 1-2, p 36.

186. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Vienna, 21-24 mei 1991, uitgave van het IAEA, Part C, C5.1.1.

187. Zhores A. Medvedev, THE LEGACY OF CHERNOBYL, Basil Blackwell, Oxford, UK, 1990, p 186.

188. A. Kellerer, BERICHT AN DAS DEUTSCHE ROTE KREUZ, Würzburg, 1990, p. 8.

189. Zhores A. Medvedev, THE LEGACY OF CHERNOBYL, Basil Blackwell, Oxford, UK, 1990, p 186.

190. Astrid Sahn, DIE AUSWIRKUNGEN DER REAKTORKATASTROPHE VON TSCHERNOBYL IN DER REPUBLIK BELARUS, DER RUSSISCHEN FÖDERATION UND DER UKRAÏNE, UNIVERSITÄT MANNHEIM, 1999.

191. Astrid Sahn, DAS NEUE BELARUSSISCHE TSCHERNOBYL-PROGRAMM SETZT AUF NORMALISIERUNG, januari 1996 (niet gepubliceerd).

192. P. Hill, R. Hille and M. Heinzelmann, RADIATION EXPOSURE OF THE POPULATION IN REGIONS OF BELARUS, RUSSIA AND THE UKRAINE AFFECTED BY THE CHERNOBYL ACCIDENT, paper for: WHO-Conference Health Consequences of the Chernobyl and other Radiological Accidents, International Conference, 20-23 November 1995, Geneva.

193. Ilya Likhtariov e.o., EFFECTIVE DOSES DUE TO EXTERNAL IRRADIATION FROM THE CHERNOBYL ACCIDENT FOR DIFFERENT POPULATION GROUPS OF UKRAINE, in: Health Physics 70(1), p 87-98, 1996.

194. Professor W.B. Nesterenko, DAS SYSTEM DER RADIOAKTIVITÄTS-KONTROLLE DES WOHNGBIETES UND DER NAHRUNGSMITTEL DER BEVÖLKERUNG DER REPUBLIK BELARUS NACH DER TSCHERNOBYL-KATASTROPHE, Lezing in Korschbroich, Duitsland, 29 oktober 1994 (vertaling Astrid Sahn).

195. Deze berekening kunnen we maken op basis van het consumptiepatroon én de aangenomen besmetting, gebruik makend van de omrekening van Bq naar mSv, zoals die in de literatuur gevonden wordt. De normen voor cesium zijn (in Bq/liter of kilo): melk 111, vlees 600, aardappelen 370, brood 185 en groente 185. Een volwassene gebruikt per dag 0,7 liter melk, 100 gram vlees, 200 gram aardappelen, 200 gram brood en 100 gram groente. Opvulling van de normen geeft dan $(0,7 \times 111 + 0,1 \times 600 + 0,2 \times 370 + 0,2 \times 185 + 0,1 \times 185) \times 0,014 \text{ microSv/dag} = 3,43 \text{ microSv/dag} = 1,25 \text{ mSv/jaar}$.

196. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Vienna, 21-24 mei 1991, uitgave van het IAEA, Part A.

197. International Commission on Radiological Protection, RECOMMENDATIONS OF THE INTERNATIONAL

COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ADOPTED JANUARI 17, 1977), ICRP Publication 26, London, Pergamon Press, 1977.

198. International Commission on Radiological Protection, 1990 RECOMMENDATION OF THE INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, ICRP Publication 60, Annals of the ICRP 1991: 21(1-3).

199. Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, 21137, nr 5.

200. Tweede Kamer, vergaderjaar 1994-1995, 23900 XI, nr 76.

201. Gezondheidsraad, PRINCIPES VAN STRALINGSBESCHERMING, Den Haag, 10 januari 1995, 1994/28.

202. United Nations, Department of Humanitarian Affairs, STRENGTHENING OF INTERNATIONAL COOPERATION AND COORDINATION OF EFFORTS TO STUDY, MITIGATE AND MINIMIZE THE CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL DISASTER, Report to the Secretary-General, Fiftieth session, Item 20 (b) of the provisional agenda, 8 september 1995. .

203. Astrid Sahm, DIE AUSWIRKUNGEN DER REAKTORKATASTROPHE VON TSCHERNOBYL IN DER REPUBLIK BELARUS, DER RUSSISCHEN FÖDERATION UND DER UKRAÏNE, UNIVERSITÄT MANNHEIM, 1999.

204. N.M. Oganessian, THE STATE OF HEALTH OF CHERNOBYL NPP ACCIDENT LIQUIDATORS, in: Radiation Protection dosimetry, Vol. 62. No 1/2, p 69 en 70 (1995).

205. Nucleonics Week, 19 juli 1990, p 1, 8 en 9.

206. Nucleonics Week, 17 november 1994, p 10 en 11.

207. Astrid Sahm, DIE AUSWIRKUNGEN DER REAKTORKATASTROPHE VON TSCHERNOBYL IN DER REPUBLIK BELARUS, DER RUSSISCHEN FÖDERATION UND DER UKRAÏNE, UNIVERSITÄT MANNHEIM, 1999.

208. Ministry for Emergencies and Population Protection from the Chernobyl NPP Catastrophe Consequences, THE REPUBLIC OF BELARUS: 9 YEARS AFTER CHERNOBYL. SITUATION, PROBLEMS, ACTION. NATIONAL REPORT, Minsk, december 1995, Part 5.3.

209. The International Chernobyl Project, THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Vienna, 21-24 mei 1991, uitgave van het IAEA, Part C, C2.11.

210. Nucleonics Week, 19 juli 1990, p 1, 8 en 9.

211. Nucleonics Week, 19 juli 1990, p 1, 8 en 9.

212. NV DHA.

213. R. Nussbaum en W. Köhnlein, HEALTH CONSEQUENCES OF EXPOSURES TO IONIZING RADIATION FROM EXTERNAL AND INTERNAL SOURCES: CHALLENGES TO RADIATION PROTECTION STANDARDS AND BIOMEDICAL RESEARCH, in: *Medicine and Global Survival*, december 1995, Vol.2, No. 4, p 198-213.
214. *Nucleonics Week*, 10 september 1992, p 1, 8 en 9.
215. A. Kesminiene a.o., Chernobyl Medical Centre, Vilnius, CHERNOBYL CLEAN-UP WORKERS FROM LITHUANIA: MONITORING OF HEALTH EFFECTS; 11th International Symposium on Epidemiology in Occupational Health, September 5-8, 1995, Noordwijkerhout, The Netherlands.
216. *Nucleonics Week*, 17 november 1994, p 10 en 11.
217. Ministry for Emergencies and Population Protection from the Chernobyl NPP Catastrophe Consequences, THE REPUBLIC OF BELARUS: 9 YEARS AFTER CHERNOBYL. SITUATION, PROBLEMS, ACTION. NATIONAL REPORT, Minsk, december 1995, Part 5.3, p 31.
218. H. Vinarskava, Ukrainian Scientific Centre of Hygiene. Kiev, THE IMMUNOLOGICAL MARKING OF EFFECT IN THE ESTIMATION OF OCCUPATIONAL RISK; 11th International Symposium on Epidemiology in Occupational Health, September 5-8, 1995, Noordwijkerhout, The Netherlands.
219. WISE NEWS COMMUNIQUE 432, 19 MAY 1995 en Ref. 68.
220. V. Ivanov, Medical Radiological Research Centre, Obninsk, Rusland, EPIDEMIOLOGICAL INVESTIGATION OF HEALTH PROBLEMS AMONG PARTICIPANTS OF CLEAN UP WORKS FOLLOWING BY THE CHERNOBYL ACCIDENT: RADIATION RISK ANALYSIS; 11th International Symposium on Epidemiology in Occupational Health, September 5-8, 1995, Noordwijkerhout, The Netherlands
221. Alexy Okeanov, Belarussian Centre for Medical Technologies, Minsk, Belarus, THE HEALTH STATUS OF THE LIQUIDATORS ACCORDING TO THE BELORUSSIAN CHERNOBYL REGISTRY DATA (PRELIMINARY ANALYSIS); 11th International Symposium on Epidemiology in Occupational Health, September 5-8, 1995, Noordwijkerhout, The Netherlands.
222. N.M. Oganessian, THE STATE OF HEALTH OF CHERNOBYL NPP ACCIDENT LIQUIDATORS, in: *Radiation Protection dosimetry*, Vol. 62. No 1/2, p 69 en 70, (1995).
223. *Nucleonics Week*, 6 juli 1995, p 1, 13, 14 en 15.
224. Persbericht TSCHERNOBYL BERAUBT BELARUS SEINER ZUKUNFT, DOCH DER STAAT STECKT DEN KOPF IN DEN SAND, 6 december 1995 (vertaling Astrid Sahn).
225. W. Rsheutskij, MEDIZINISCHE ASPEKTE DER HAVARIE VON TSCHERNOBYL. Deutsches Rotes Kreuz, Landesverband Niedersachsen e.V., FOLGEN DES REAKTORUNFALLS VON TSCHERNOBYL IN WEISSRUSSLAND AUS MEDIZINISCHER SICHT, Eine Fachtagung des DRK-Landesverbandes Niedersachsen e.V. am 23/24. April 1994 in der DRK-Rettungsschule Goslar.
226. United Nations, Department of Humanitarian Affairs, STENGTHENING OF INTERNATIONAL COOPERATION AND COORDINATION OF EFFORTS TO STUDY, MIGITATE AND MINIMIZE THE CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL DISASTER, Report to the Secretary-General, Fiftieth session, Item 20

(b) of the provisional agenda, 8 september 1995..

227. R. Nussbaum en W. Köhnlein, HEALTH CONSEQUENCES OF EXPOSURES TO IONIZING RADIATION FROM EXTERNAL AND INTERNAL SOURCES: CHALLENGES TO RADIATION PROTECTION STANDARDS AND BIOMEDICAL RESEARCH, in: *Medicine and Global Survival*, december 1995, Vol.2, No. 4, tabel 5.

228. R. Nussbaum en W. Köhnlein, HEALTH CONSEQUENCES OF EXPOSURES TO IONIZING RADIATION FROM EXTERNAL AND INTERNAL SOURCES: CHALLENGES TO RADIATION PROTECTION STANDARDS AND BIOMEDICAL RESEARCH, in: *Medicine and Global Survival*, december 1995, Vol.2, No. 4, Idem. p 32.

229. G.I. Laziuk a.o., FREQUENCY CHANGES OF INHERITED ANOMALIES IN THE REPUBLIC BELARUS AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT, in: *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 62, nr 1/2, 1995, p 71-74.

230. Ministry for Emergencies and Population Protection from the Chernobyl NPP Catastrophe Consequences, THE REPUBLIC OF BELARUS: 9 YEARS AFTER CHERNOBYL. SITUATION, PROBLEMS, ACTION. NATIONAL REPORT, Minsk, december 1995, p 83.

231. Ministry for Emergencies and Population Protection from the Chernobyl NPP Catastrophe Consequences, THE REPUBLIC OF BELARUS: 9 YEARS AFTER CHERNOBYL. SITUATION, PROBLEMS, ACTION. NATIONAL REPORT, Minsk, december 1995, Part 5.3, p 32.

232. *Nucleonics Week*, 11 mei 1995, p 10 en 11.

233. United Nations, Department of Humanitarian Affairs, STENGTHENING OF INTERNATIONAL COOPERATION AND COORDINATION OF EFFORTS TO STUDY, MIGITATE AND MINIMIZE THE CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL DISASTER, Report to the Secretary-General, Fiftieth session, Item 20 (b) of the provisional agenda, 8 september 1995.

234. Ministry for Emergencies and Population Protection from the Chernobyl NPP Catastrophe Consequences, THE REPUBLIC OF BELARUS: 9 YEARS AFTER CHERNOBYL. SITUATION, PROBLEMS, ACTION. NATIONAL REPORT, Minsk, december 1995, Part 5.3, p 35-37.

235. Ministry for Emergencies and Population Protection from the Chernobyl NPP Catastrophe Consequences, THE REPUBLIC OF BELARUS: 9 YEARS AFTER CHERNOBYL. SITUATION, PROBLEMS, ACTION. NATIONAL REPORT, Minsk, december 1995, Part 5.3, p 146.

236. Jones, T.D. (1984) A unifying concept for carcinogenic risk assessments: comparison with radiation-induced leukemia in mice and men. *Health Physics* 47: 533-558.

237. Anno, G.H., S.J. Baum, R.H. Withers and R.W. Young (1989) Symptomatology of acute radiation effects in human after exposure to doses of 0,5-30 Gy. *Health Physics* 56: 821-838.

238. Rotblat, J. (1986) Acute mortality in nuclear war. In: F. Solomon and R.Q. Marston (eds.), *The medical implications of nuclear war*. Washington D.C.:Institute of Medicine, National Academy of Sciences.

239. Jones, T.P. (1981) Hematologic syndrome in man modeled from mammalian lethality. *Health Physics* 41: 83-

103.

240. Ellinger, F. (1957) *Medical Radiation Biology*. Springfield, Ill.: Charles C. Thomas, p. 337.

241. Botnick, L.E., E.C. Hannon and S. Hellman (1978) Multisystem stem cell failure after apparent recovery from alkylating agents. *Cancer Research* 38: 1942-1947.

242. Hendry, J.H. and L.G. Lajatha (1972) The response of haemopoietic colony-forming units to repeated doses of x-rays. *Radiation Research* 52: 309-315.

243. Sado, T., H. Kamisaku, M. Muto and E. Kubo (1982) Late immunological effects of neonatal radiation exposure in mice. I. Effects on survival and immunologic competence. *J. Radiat. Res.* 23: 58.

244. Tubiana, M. (1981) Does post operative radiotherapy facilitate metastatic dissemination? In: J.B. Dubois, B. Serrou and C. Rosenfeld (eds). *Immunopharmacologic Effects of Radiation Therapy*. New York: Raven Press, p. 399-414.

245. Kumatori, T., T. Ishihara, K. Hirashima, H. Sugiyama, S. Ishii and K. Miyoshi (1980) Follow-up studies over a 25 year period on the Japanese fishermen exposed to radioactive fall-out in 1954. In: K.F. Hübner and S.A. Fry (eds). *The medical basis of radiation accident preparedness*. New York: Elsevier/North Holland, p. 33-54.

246. Andrews, G.A., K.F. Hübner, S.A. Fry, C.C. Lushbaugh and Littlefield (1980) Report of 21-year medical follow-up of survivors of the Oak-Ridge Y-12 accident. In: K.F. Hübner and S.A. Fry (eds). *The medical basis of radiation accident preparedness*. New York: Elsevier/North Holland, p. 59-79.

247. Vodopick, H. and G.A. Andrews (1974) Accidental radiation exposure. *Arch. Environ. Health.* 28: 53-56.

248. The International Chernobyl Project, **THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES IN THE USSR OF THE CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL EFFECTS AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES**, Presented at the International Conference on the International Chernobyl Project, Vienna, 21-24 mei 1991, uitgave van het IAEA, Overview, p 34.

249. *Nucleonics Week*, 10 september 1992, p 1, 8 en 9.

250. United Nations, Department of Humanitarian Affairs, **STRENGTHENING OF INTERNATIONAL COOPERATION AND COORDINATION OF EFFORTS TO STUDY, MITIGATE AND MINIMIZE THE CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL DISASTER**, Report to the Secretary-General, Fiftieth session, Item 20 (b) of the provisional agenda, 8 september 1995.

251. A.F. Tsyb a.o., **THE LINK BETWEEN THYROID CANCERS IN CHILDREN AND TEENAGERS AND THE RADIATION EFFECTS DUE TO THE CHERNOBYL ACCIDENT**, WHO-conferentie Health Consequences of the Chernobyl and Other Radiological Accidents, Genève, 20-23 november 1995.

252. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 6 september 1995.

253. World Health Organisation, **HEALTH CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL ACCIDENT. RESULTS OF THE IPHECA PILOT PROJECTS AND RELATED NATIONAL PROGRAMMES**, Summary Report, Genève, november 1995, p 22, 23 and 24.

254. Y. Shibata, 1ST REPORT- CHERNOBYL SASAKAWA HEALTH AND MEDICAL COOPERATION PROJECT, Paper voor WHO-conferentie, Genève, 20-23 november 1995
255. Roland Scholz, VIER JAHRE NACH TSCHERNOBYL, uitgave IPPNW, Duitsland, april 1990.
256. Personal communication, 16 januari 1996.
257. A.C. Grade, LEVEN EN WERKEN ROND TSJERNOBYL, in Arbeidsomstandigheden 67 (1991), nr 4, p 235-238.
258. Nucleonics Week, 3 mei 1990, p 1, 8 en 9.
259. A. Okeanov, TIME TRENDS STUDY ON CANCER MORBIDITY IN BELARUS BEFORE AND AFTER CHERNOBYL, WHO-Conferentie 21 november 1995, Genève.
- ²⁶⁰ <http://www.bbc.com/future/story/20190725-will-we-ever-know-chernobyls-true-death-toll>, 25 juli 2019.
 Kate Brown, Manual for Survival, <https://www.penguin.co.uk/books/309/309235/manual-for-survival/9780241352069.html>, 12 maart 2019; <http://www.bbc.com/future/story/20190725-will-we-ever-know-chernobyls-true-death-toll>, 25 juli 2019.
261. OECD Documents, "Sarcophagus Safety '94; The State of the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit 4", Proceedings of an International Symposium, Zeleny Mys, Chernobyl, Ukraine, 14-18 maart 1994, Nuclear Energy Agency (OECD), Paris, juni 1995; <https://www.tib.eu/de/suchen/id/BLCP%3ACN008831543/Issues-of-Accident-Waste-Management/>.
262. UKAEA, "Alliance presents global solution to Chernobyl containment problem", Harwell, 12 juli 1995.
263. Alliance, STABILISATION OF THE EXISTING SHELTER AND THE CONTAINMENT OF BOTH THE EXISTING SHELTER AND THE DAMAGED REMAINS OF REACTOR 4 AT THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT, juli 1995, Executive Summary.
264. De informatie van deze paragraaf komt uit: David R. Marples, THE SOCIAL IMPACT OF THE CHERNOBYL DISASTER, Londen, UK, 1988.
265. V.A. Kurmosov e.a., DESIGN OF SHELTER - EXPERIENCE OF PLANNING AND CONSTRUCTION 1986;in Ref 261,p 243-251.
266. V.A. Kurmosov e.a., STATUS OF BUILDING STRUCTURES OF "SHELTER";in Ref 261,p 262-272.
267. V.A. Kurmosov e.a., DESIGN OF SHELTER - EXPERIENCE OF PLANNING AND CONSTRUCTION 1986;in Ref 261,p 243-251.
268. V.A. Kurmosov e.a., STATUS OF BUILDING STRUCTURES OF "SHELTER";in Ref 261, p 262-272.
269. Gruppe Ökologie, INTERNATIONAL NUCLEAR REACTOR HAZARD STUDY, Greenpeace International, september 1986, p 246.

270. Gruppe Ökologie, INTERNATIONAL NUCLEAR REACTOR HAZARD STUDY, Greenpeace International, september 1986.
271. V.A. Kurnosov e.a., STATUS OF BUILDING STRUCTURES OF "SHELTER";in Ref 261,p 168.
272. David R. Marples, THE SOCIAL IMPACT OF THE CHERNOBYL DISASTER, Londen, UK, 1988.
273. Nucleonics Week, 2 oktober 1986, p 10.
274. Nucleonics Week, 1 oktober 1987, p 1, 10 en 11.
275. Gruppe Ökologie, INTERNATIONAL NUCLEAR REACTOR HAZARD STUDY, Greenpeace International, september 1986, p 249.
276. Gruppe Ökologie, INTERNATIONAL NUCLEAR REACTOR HAZARD STUDY, Greenpeace International, september 1986, p 268.
277. Gruppe Ökologie, INTERNATIONAL NUCLEAR REACTOR HAZARD STUDY, Greenpeace International, september 1986, p 263.
278. V.P. Beskorovajnyj e.a., RADIATION EFFECTS OF COLLAPSE OF STRUCTURAL ELEMENTS OF THE SARCOPHAGUS;in Ref 261, p 196-203.
279. Gruppe Ökologie, INTERNATIONAL NUCLEAR REACTOR HAZARD STUDY, Greenpeace International, september 1986, p 266.
280. Gruppe Ökologie, INTERNATIONAL NUCLEAR REACTOR HAZARD STUDY, Greenpeace International, september 1986, p 270.
281. M.V. Sidorenko en V.G. Poshivach, EVALUATING THE RELIABILITY OF STRUCTURAL ELEMENTS OF THE "SHELTER" ON THE BASIS OF RETROSPECTIVES OF ITS EXISTENCE;in Ref 261,p 299-312.
282. M.V. Sidorenko en V.G. Poshivach, EVALUATING THE RELIABILITY OF STRUCTURAL ELEMENTS OF THE "SHELTER" ON THE BASIS OF RETROSPECTIVES OF ITS EXISTENCE;in Ref 261,p 305.
283. U.I. Nemchinov Marenkov, THE DYNAMIC REACTION OF CONTAINMENT STRUCTURES (SARCOPHAGUS) TO SEISMIC WAVES AND VIBRATIONS;in Ref 261,p 326-331.
284. Alliance, STABILISATION OF THE EXISTING SHELTER AND THE CONTAINMENT OF BOTH THE EXISTING SHELTER AND THE DAMAGED REMAINS OF REACTOR 4 AT THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT, juli 1995, Executive Summary. .
285. V. K. Tolstogov, CURRENT STATE OF THE SARCOPHAGUS AND SAFETY PROBLEMS; in Ref 261, p 13-37.
286. V. P. Beskorovajnyj e.a., RADIATION CONSEQUENCES OF COLLAPSE OF STRUCTURAL ELEMENTS OF THE SARCOPHAGUS;in Ref 261, p 196-203.

287. N.V. Gorbachëva e.a., "HYPOTHETICAL ACCIDENTS IN THE SARCOPHAGUS";in Ref 261, p 303-209.
288. Nucleonics Week, 3 mei 1990, p 1 en 17 mei 1990, p 12 en 13.
289. Nucleonics Week, 21 juni 1990, p 5.
290. Nucleonics Week, 14 juni 1990, p 16.
291. Nucleonics Week, 18 april 1991, p 12 en 13.
292. Tweede Kamer, vergaderjaar 1990-1991, Aangangsels van de Handelingen, nr 622, 6 juni 1991.
293. Nucleonics Week, 6 juni 1991, p 3 en 4.
294. Nucleonics Week, 30 juli 1992, p 1, 11 en 12.
295. Nucleonics Week, 29 april 1993, p 1, 8 en 9.
296. Atom 428, May/June 1993, p 2 en 3; Atom 429, July/August 1993, p 3 en 4.
297. Nucleonics Week, 1 juli 1993, p 1, 14 en 15.
298. Nucleonics Week, 21 oktober 1993, p 18.
299. Nucleonics Week, 8 september 1994, p 13.
300. Nucleonics Week, 4 augustus 1994, p 7 en 8.
301. Alliance, STABILISATION OF THE EXISTING SHELTER AND THE CONTAINMENT OF BOTH THE EXISTING SHELTER AND THE DAMAGED REMAINS OF REACTOR 4 AT THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT, juli 1995, p 4.
302. AEA TECHNOLOGY, ALLIANCE PRESENTS GLOBAL SOLUTION TO CHERNOBYL CONTAINMENT PROBLEM, persbericht 12 juli 1995.
303. Alliance, STABILISATION OF THE EXISTING SHELTER AND THE CONTAINMENT OF BOTH THE EXISTING SHELTER AND THE DAMAGED REMAINS OF REACTOR 4 AT THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT, juli 1995, p 12.
304. Nucleonics Week, 27 juli 1995, p 14 en 15.
305. Nucleonics Week, 27 juli 1995, p 14 en 15.
306. Nucleonics Week, 27 juli 1995, p 14 en 15.
- ³⁰⁷ <https://www.technischweekblad.nl/nieuws/nieuwe-overkapping-tsjernobyl-bijna-klaar>, 25 november 2016.
[https://www.mammoet.com/news/2016/mammoet-completes-installation-of-new-safe-confinement-in-
chernobyl/](https://www.mammoet.com/news/2016/mammoet-completes-installation-of-new-safe-confinement-in-chernobyl/), november 2016.