



KIVI-RISICO BEHEER EN TECHNIEK

“TSJERNOBYL, 26 APRIL 1986: HOE ONTSTOND HET ONGEVAL EN WAT GING ER ALLEMAAL MIS”

KIVI-RBT
BIJEENKOMST WERKGROEP
PRAKTIJK & IMPLEMENTATIE

FRED VAN IDDEKINGE
28 JUNI 2017

PROGRAMMA WERKSYMPOSIUM DEEL 2

ONGEVALSVERLOOP TSJERNOBYL IV KERNREACTOR, VANAF 25 APRIL TOT 5 MEI 1986 EN DE GEVOLGEN TOT HEDEN

1. Introductie, algemene inleiding.
2. Hoe meet ik de ernst van een nucleair- of radiologisch ongeval?
3. Hoe werkt een kernreactor?
4. Specifieke kenmerken van de 4 Tsjernobyl reactoren.
 - bijna 1700 drukbuizen met on-line refueling
 - brandbaar grafiet als moderator
 - zeer grote reactorkern met zwak noodstopsysteem
 - positieve dampbel- en temperatuurcoëfficiënt
 - geen echt op druk te belasten containment (inluitsysteem)
5. De (voorziene) stoomturbine-generatortest van 25 april 1986.
6. Het reactorongeluk.
7. De onmiddellijke bestrijding van het ongeluk tot 5 mei 1986.
8. De bouw van de eerste en tweede sarcofaag.
9. De gevolgen voor mens en milieu tot heden.
10. Enkele doorgevoerde verbeteringen.

1. INTRODUCTIE, ALGEMENE INLEIDING

Omdat het aantal in bedrijf zijnde kernenergiecentrales in de wereld de afgelopen 30 jaar ongeveer constant is gebleven (430-440), neemt kernenergie als onze bron van elektriciteit relatief in betekenis af.

Thans is kernenergie met 11% na fossiele brandstoffen en waterkracht de op twee na meest belangrijke elektriciteitsbron. In de Europese Unie wordt nog altijd ongeveer 30% van de geproduceerde elektriciteit door kernenergiecentrales opgewekt.

Op zich is kernenergie veilig en schoon. Zowel de zon als de aarde ontleen hun energie aan kernreacties. In de zon smelten lichte atoomkernen samen door kernfusie, in de aarde vallen zware atoomkernen uiteen door kernsplijting.

Kort voor de Tweede Wereldoorlog (december 1938) ontdekten Lise Meitner en Otto Hahn in Berlijn dat uraniumkernen spontaan uiteenvallen als ze door een neutron getroffen worden.

1. INTRODUCTIE, ALGEMENE INLEIDING (2)

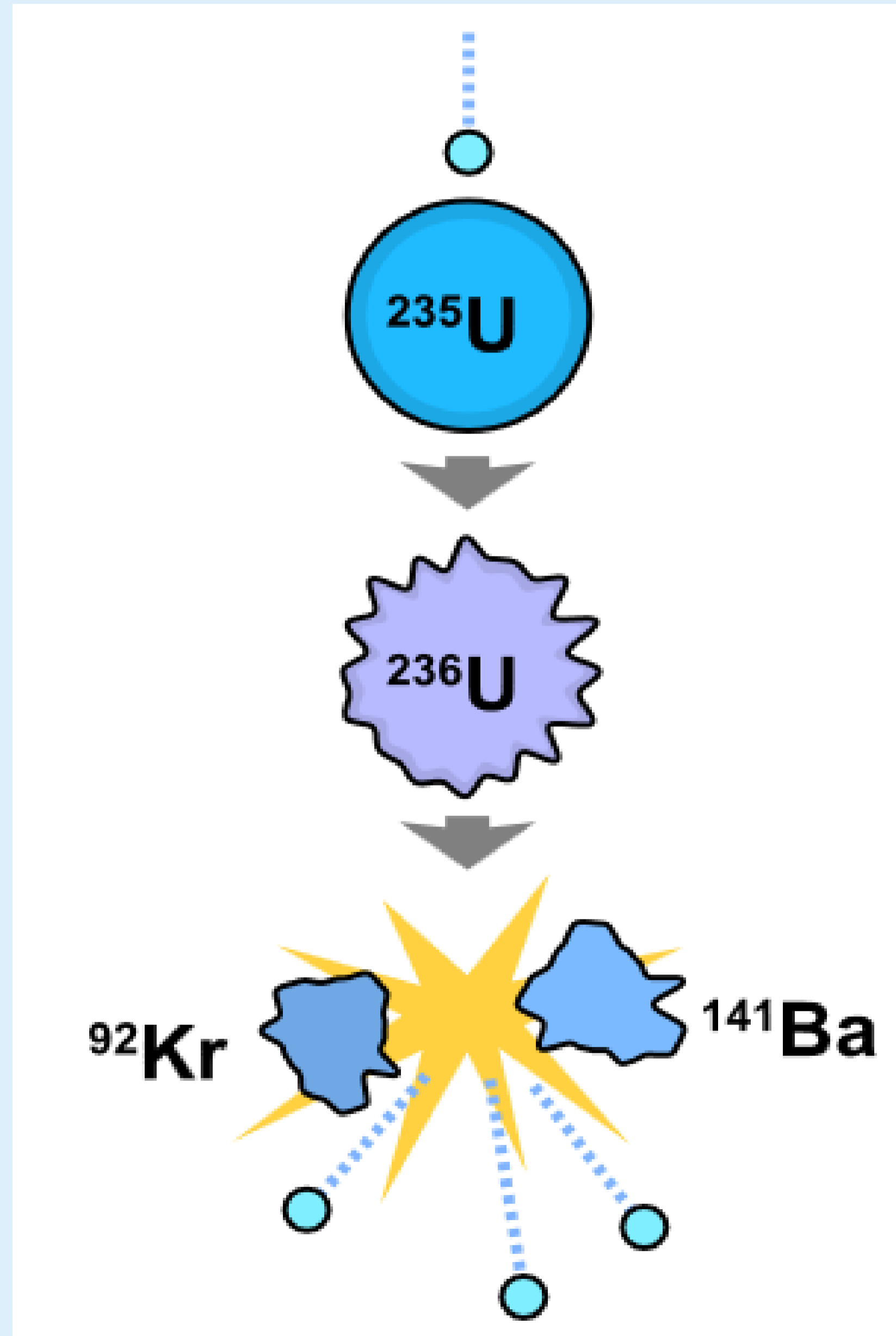
Bij dit proces bleken 2 tot 3 neutronen vrij te komen plus de bindingsenergie van de gespleten kern. Enrico Fermi zag in dat deze neutronen voor een kettingreactie zouden kunnen zorgen en bouwde in Chicago de eerste werkende kernreactor (december 1942).

Als deze kettingreactie ongeremd is, vindt een kernexplosie plaats waarbij het tekort aan massa vrijkomt volgens Einstein's $E=mc^2$. De volledige splijting van Uranium-235 levert op deze wijze $83,14 \times 10^{12}$ J/kg aan energie op.

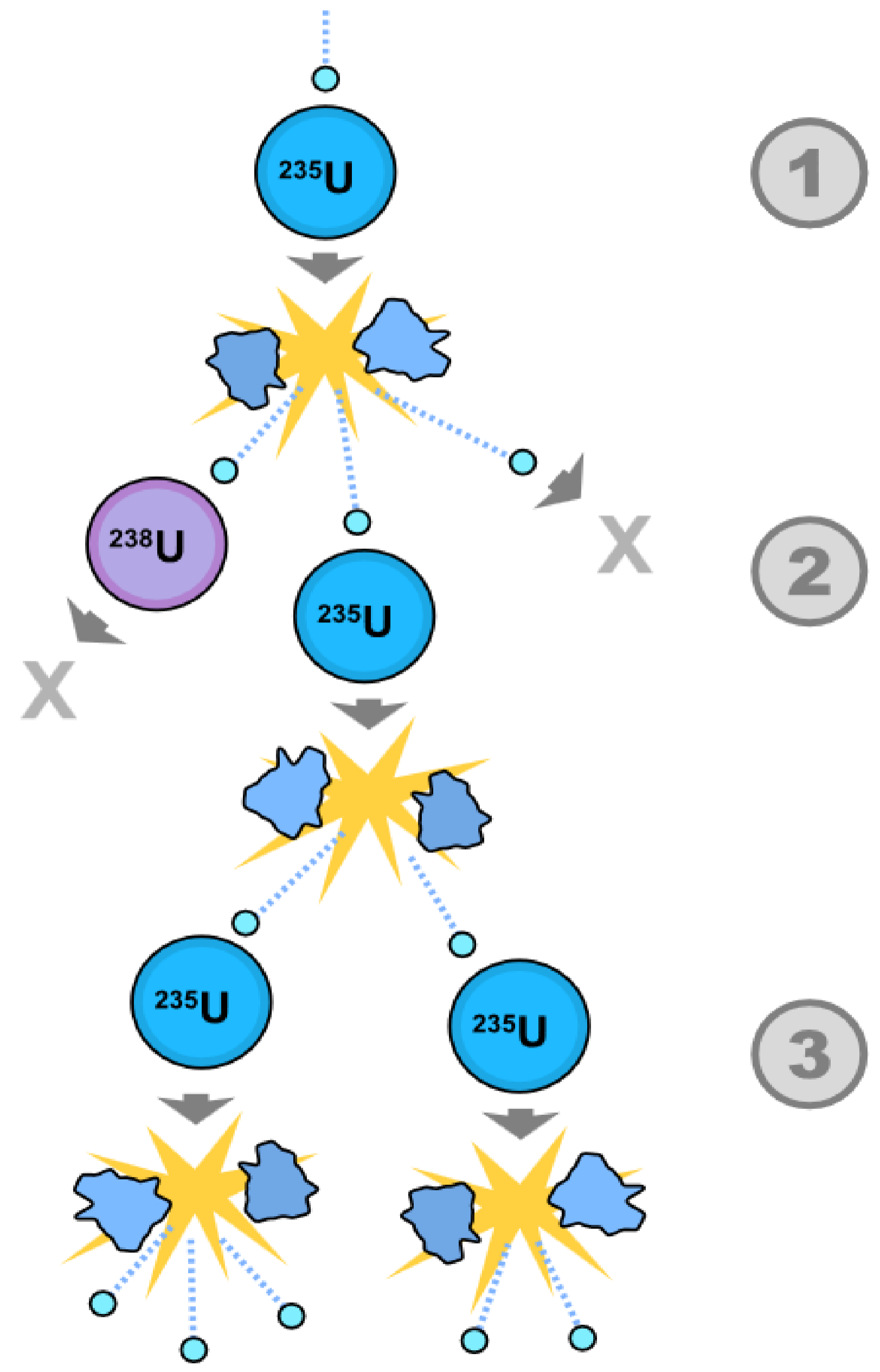
N.B. Als resultaat van het Amerikaanse Manhattan project vond op 16 juli 1945 de eerste atoombomexplosie plaats in de woestijn van New Mexico.

Minder dan een maand later viel de eerste atoombom op de Japanse haven- en industriestad Hiroshima (6 augustus 1945).

1. INTRODUCTIE, ALGEMENE INLEIDING (3) VOORBEELD VAN EEN KERNSPIJTINGSREACTIE

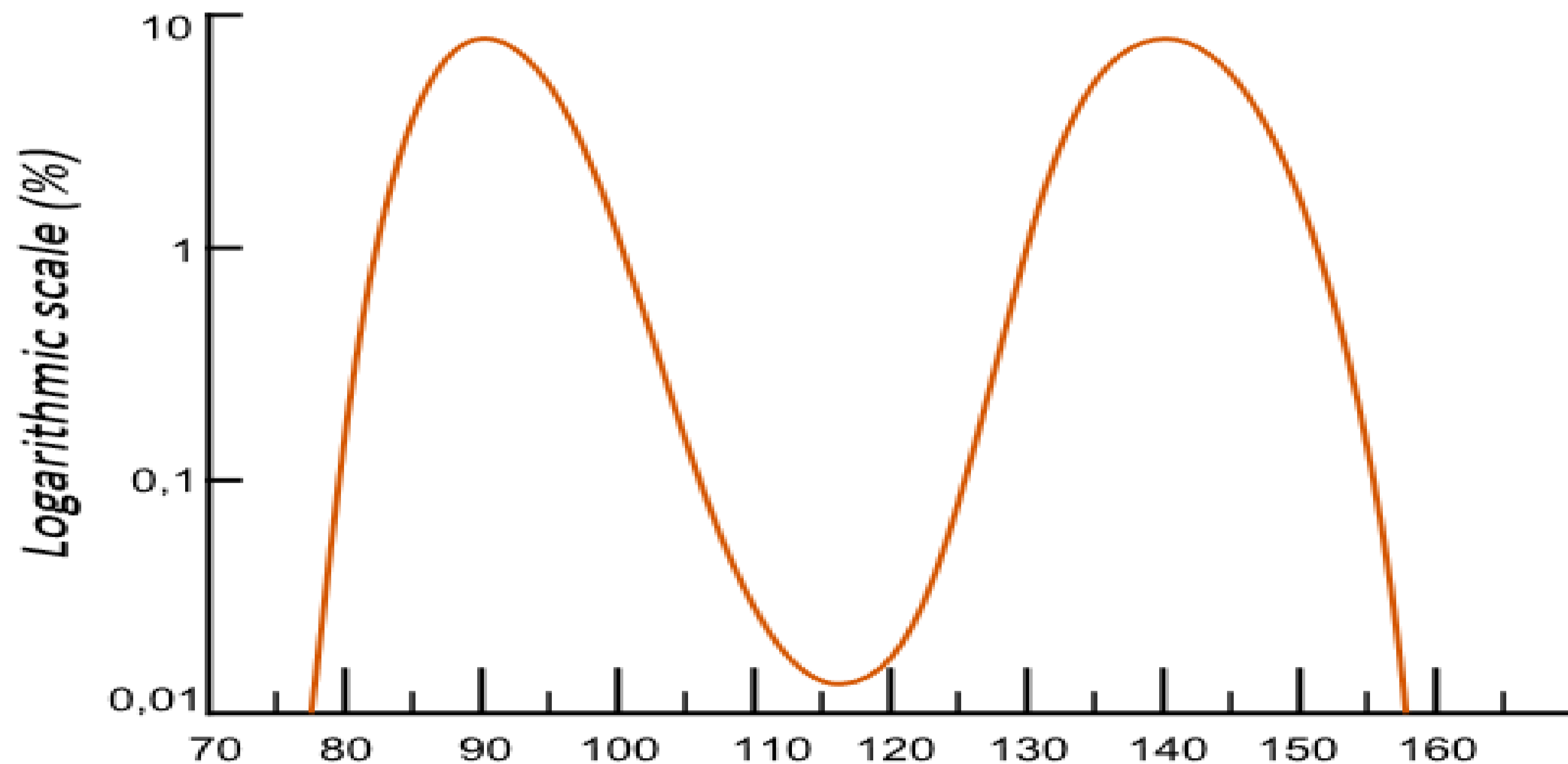


1. INTRODUCTIE, ALGEMENE INLEIDING (4) VOORBEELD VAN EEN KETTINGREACTIE



1. INTRODUCTIE, ALGEMENE INLEIDING (5) VOORBEELDEN VAN KERNSPIJTINGSREACTIES

De meest bekende splijtbare isotoop is [uranium-235](#), waarmee vele splijtingsreacties mogelijk zijn. Enkele voorbeelden zijn:



Distribution of Uranium-235 fission products (A)

2. HOE MEET IK DE ERNST VAN EEN NUCLEAIR OF RADIOLOGISCH ONGEVAL ?

Evenals voor windkracht (schaal van de Ierse Royal Navy officier Francis Beaufort van 0, windstil, tot 12, orkaan) en aardbevingen (schaal van de Amerikaanse seismoloog Charles Francis Richter van 0, niet waarneembaar, tot 12, totale verwoesting, nog nooit waargenomen op aarde) bestaat er een schaal om de ernst van een nucleair of radiologisch incident of ongeval uit te drukken.

Dit is de INES-schaal die loopt van 0, onregelmatigheid zonder gevolgen voor de veiligheid, tot 7, grootschalig ongeval met verstrekkende (inter)nationale gevolgen voor de veiligheid.

Deze INES (International Nuclear and radiological Event Scale)-schaal is ontwikkeld door een samenwerkingsverband van IAEA (International Atomic Energy Agency in Wenen van de Verenigde Naties) en OECD (Organization for Economic Cooperation and Development in Parijs) na het Tsjernobyl ongeval van 26 april 1986. De oorspronkelijke INES-schaal dateert uit 1990. De schaal is inmiddels driemaal herzien. De huidige versie van de INES-schaal werd in 2008 geïntroduceerd en is nog steeds actueel, ook na het Fukushima Daiichi ongeval van 11 maart 2011.

2. HOE MEET IK DE ERNST VAN EEN NUCLEAIR OF RADIOLOGISCH ONGEVAL ? (2)

Van alle incidenten en ongelukken met nucleaire installaties zijn er tot heden maar 2 op INES-niveau 7 geklasseerd. Dit zijn de ongelukken met reactor 4 in Tsjernobyl op 26 april 1986 en de ongelukken met de 4 Fukushima Daiichi reactoren op 11 maart 2011. In het eerste geval betrof het een uit de hand gelopen kernreactie met als gevolg een gigantische explosie en brand die pas na 10 dagen geblust was. In het tweede geval betrof het een aardbeving in zee (met de nog niet eerder gemeten kracht 9+ op de schaal van Richter) gevolgd door een enorme vloedgolf (Tsunami) die alle elektriciteitsverbindingen en noodkoelwatervoorzieningen vernietigde waardoor in drie van de vier reactoren na enige dagen kernsmelt optrad met containmentfalen . Het containment van reactor 2 explodeerde hierbij door een waterstofexplosie. Omdat koeling alleen extern mogelijk was, lekte er gedurende lange tijd nog radioactief koelwater. Dit kwam uiteindelijk in zee terecht.

N.B. De lozingen in het milieu waren in het eerste geval voornamelijk in de atmosfeer en in het tweede geval voornamelijk in de oceaan.

3. HOE WERKT EEN KERNREACTOR ?

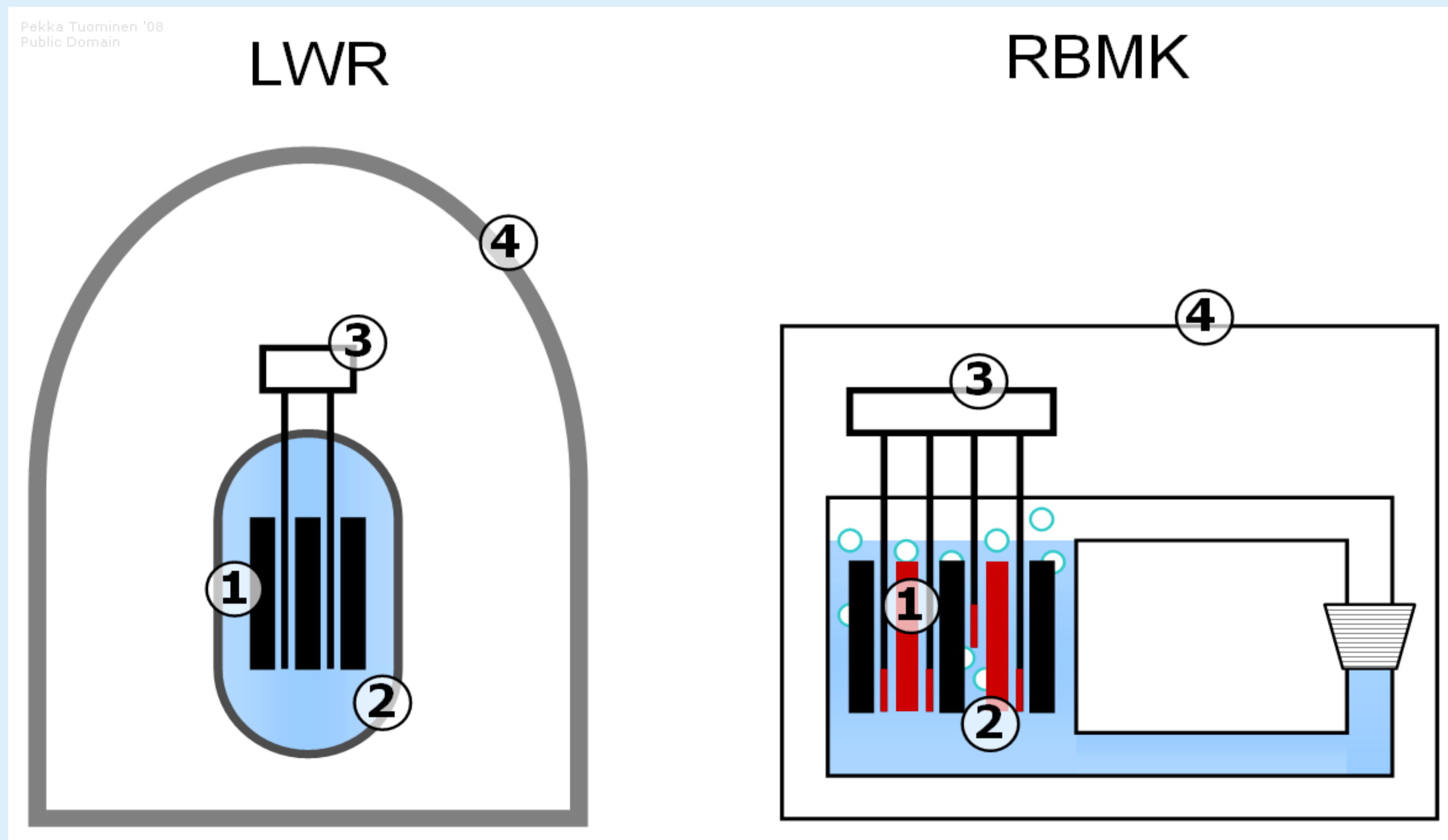
Elke kernenergiereactor waarin een kernsplijtingsreactie plaatsvindt heeft altijd minimaal de volgende onderdelen:

- 1. Splijtstof, de nucleaire brandstof**
- 2. Neutronenremstof of moderator om de neutronen af te remmen en te behouden voor de kettingreactie**
- 3. Regelstaven om de kernreactie te beheersen en te stoppen**
- 4. Koelmiddel om de warmte uit de reactorkern af te voeren**
- 5. Een nood- en nakoelsysteem om de nakomende warmte af te voeren na het stoppen van de kernreactie**
- 6. Stoomopwekking (gasturbines worden nergens gebruikt)**
- 7. Stoomturbine(s)**
- 8. Generator of dynamo aangedreven door de stoomturbine(s)**
- 9. Nettransformatoren voor voeding aan en vanuit het openbare elektriciteitsnet en eigen bedrijf transformatoren voor de interne elektriciteitsvoorziening van de centrale**
- 10. Een of andere vorm van een insluitsysteem ter beheersing van een incident of ongeval met een radioactieve lozing**

3. HOE WERKT EEN KERNREACTOR ? (2)

Vergelijking tussen de kernenergiecentrales in Borssele en Tsjernobyl

1. Moderator of neutronenremstof, respectievelijk water en grafiet
2. Koelmiddel, respectievelijk water en water/stoom mengsel
3. Regelstaven en noodstopsysteem, respectievelijke volledige indaalsnelheid 1 seconde en 20 seconden
4. Insluitsysteem, resp. op 4 bar en 0,8 bar overdruk belastbaar



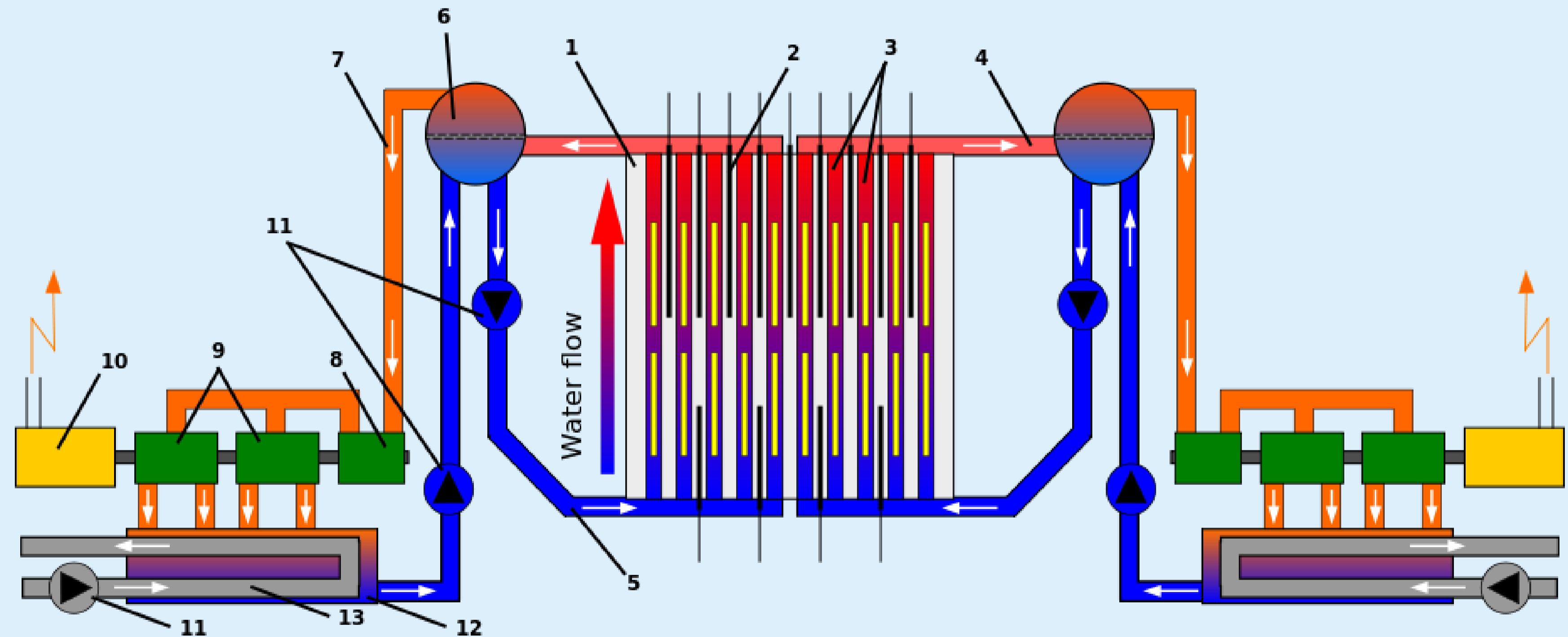
4. SPECIFIEKE KENMERKEN VAN DE 4 TSJERNOBYL REACTOREN

Specifieke kenmerken van de 4 Tsjernobyl reactoren.

- **1661 drukbuizen met on-line refueling i.p.v. één reactorvat met een jaarlijkse splijtstofwisselstop**
- **211 drukbuizen met regelstaven**
- **brandbaar grafiet als moderator i.p.v. water**
- **zeer grote reactorkern (diameter 14 m, hoogte 8 m) en zwak en traag noodstopsysteem**
- **positieve dampbel- en temperatuurcoëfficiënt , d.w.z. dat bij toenemend stoombelgehalte van het koelmiddel en toenemende temperatuur van de moderator het nucleair vermogen van de reactor toeneemt i.p.v. afneemt, dit in tegenstelling met de drukwaterreactor**
- **geen echt op druk te belasten containment (inluitsysteem) maar een relatief zwakke reactortank die bovendien geïnertiseerd moet blijven (met een helium/stikstof mengsel) i.v.m. het brandbare grafiet**
- **zeer groot turbinegebouw met 8 stoomturbines, 2 per reactor; de reactoren zijn als 2 duo's gebouwd**

4. SPECIFIEKE KENMERKEN VAN DE 4 TSJERNOBYL REACTOREN (2)

Schematische weergave van de hoofdcomponenten van de Tsjernobyl RBMK-reactoren (hoog vermogen kokend water kanaalreactor met grafiet als moderator). Er zijn 2 onafhankelijke koelwaterkringlopen met ieder 2 stoom/water scheiders en 4 hoofdkoelmiddelpompen, waarvan 3 in bedrijf en 1 reserve.



Legend :

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. Graphite moderated reactor core | 8. High-pressure steam turbine |
| 2. Control rods | 9. Low-pressure steam turbine |
| 3. Pressure channels with fuel rods | 10. Generator |
| 4. Water/steam mixture | 11. Pump |
| 5. Water | 12. Steam condenser |
| 6. Water/steam separator | 13. Cooling water (from river, sea, etc.) |
| 7. Steam inlet | |

5. DE STOOMTURBINE-GENERATORTEST VAN 25 APRIL 1986

In de ochtend van 26 april 1986 werd in Tsjernobyl reactor nummer 4 een test uitgevoerd. Deze test was voorzien voor de dagploeg op 25 april, maar moest worden uitgesteld, omdat een andere elektriciteitscentrale uitgevallen was en de Tsjernobyl-4 reactor langer aan het net moest blijven. Daarom moest de avondploeg, zonder enige voorbereiding, testen of de uitlopende stoomturbine-generatorcombinatie bij uitschakelen van de reactor bij 700 tot 1000 MW nog genoeg vermogen gaf om de hoofdkoelmiddelpompen te laten doordraaien gedurende de 40 tot 60 seconden die de noodstroomdiesels nodig hadden om op te starten. Deze test was tweemaal eerder mislukt zodat de leiding van de centrale er op gebrand was de test nu wel te laten slagen.

N.B. Op het moment van de test was Tsjernobyl-4 pas drie jaar in bedrijf.

6. HET REACTORONGELUK

Door een bedieningsfout of mankement werd tijdens het overschakelen van handbediening op automatische bediening de reactor op een gegeven moment onbedoeld vrijwel volledig stilgelegd. Het reactorvermogen viel terug tot 30 MW, veel minder dan de vereiste 700 MW die nodig was voor de test. Door de snelle daling van het vermogen ontstond in de reactor een grote hoeveelheid xenon-135 dat neutronen absorbeert en daardoor de kernreactie vertraagt. De operatoren haalden daarop meer regelstaven omhoog. Nu steeg het vermogen tot 200 MW, nog altijd onder de 700 MW die nodig was om de geplande test uit te voeren. De test werd toch doorgezet, en op 26 april om 01.03 uur en 01.07 uur schakelden de operatoren de zevende en achtste hoofdkoelmiddelpompen in. Doordat water ook neutronen absorbeert, zakte het vermogen nog verder. De operatoren haalden hierop 20 van de 26 handbediende veiligheidsstaven omhoog. Om 01.23 uur sloten ze de stoom naar de turbines af om de test te beginnen. Daar alleen draaiende turbines de pompen konden aandrijven, verminderde nu het waterdebiet en zo ook de absorptie van neutronen door het water. De reactor werd heter en er ontstonden stoombelletjes doordat het water aan de kook raakte.

6. HET REACTORONGELUK (2)

Door deze belletjes nam de absorptie van neutronen verder af, waardoor het vermogen steeg. Xenon-135 werd nu sneller omgezet naar xenon-136 dan het aangemaakt werd uit jodium-135. Daardoor ging de reactor nog heviger werken. Doordat er nog maar zes van de voorgeschreven 26 veiligheidsstaven uit de reactor over waren, nam het vermogen alsmaar toe. Om 01.23:40 uur drukte een operator op knop AZ-5 voor een snelle noodstop, om alle regelstaven weer in de reactorkern te laten zakken. Het mechanisme om de staven in te brengen had hiervoor 18 à 20 seconden nodig. Door een verkeerd ontwerp van de regelstaven (met een punt van grafiet) werd eerst het water verdreven voor ze zelf een remmende invloed konden uitoefenen. Hierdoor nam het vermogen in de onderste helft van de kern nog verder toe. Er volgde een explosie, waardoor de veiligheidsstaven klem kwamen te zitten op een derde van hun normale diepte. De kettingreactie werd nu onvoldoende geremd, en het reactorvermogen nam zeer snel toe. Om 01.23:50 uur bereikte de reactor 30 GW; tien keer zijn normale vermogen van 3 GW.

6. HET REACTORONGELUK (3)

Het vermogen bleef toenemen waardoor de brandstofstaven smolten, de druk steeg en een stoomontploffing optrad. Deze blies het 2000 ton zware deksel van de reactortank weg. Hierdoor kwam de hele reactor open te liggen. Door de binnenstromende lucht vlogen de hete grafieten moderatorblokken in brand. De grafietbrand voerde een radioactieve rookwolk in de atmosfeer. Deze nucleaire brand werd uiteindelijk na tien dagen definitief geblust. Gedurende deze tijd werden splijtstofproducten onbelemmerd in de atmosfeer geloosd. Alle noodkoelvoorzieningen waren niet effectief vanwege de verwoeste reactor, het water bereikte de reactor niet.

6. HET REACTORONGELUK (4)



6. HET REACTORONGELUK (5)

Stomende en nog gloeiende Tsjernobyl reactorkern op 3 mei 1986



6. HET REACTORONGELUK (6)



photo-text.at.ua

6. HET REACTORONGELUK (7)



7. DE ONMIDDELLIJKE BESTRIJDING VAN HET ONGELUK TOT 5 MEI 1986

Timeline April 26,1986

1:26:03 – fire alarm activated

1:28 – arrival of local firefighters, Pravik's guard

1:35 – arrival of firefighters from Pripyat, Kibenok's guard

1:40 – arrival of Telyatnikov

2:10 – turbine hall roof fire extinguished

2:30 – main reactor hall roof fires suppressed

3:30 – arrival of Kiev firefighters

4:50 – fires mostly localized

6:35 – all fires extinguished[‡]

[‡]With the exception of the fire contained inside Reactor 4, which continued to burn for many days.

7. DE ONMIDDELLIJKE BESTRIJDING VAN HET ONGELUK TOT 5 MEI 1986 (2)

Gedurende de eerste dagen na het ongeval werden vele honderden tonnen neutronenvangend en vlamdovend materiaal uitgeworpen door helicopters om de kernreactie te stoppen en de nucleaire brand te blussen. Dit lukte uiteindelijk na 10 dagen, waarna de atmosferische lozingen snel afnamen.



7. DE ONMIDDELLIJKE BESTRIJDING VAN HET ONGELUK NA 5 MEI 1986; BEGIN BOUW EERSTE SARCOFAAG (3)

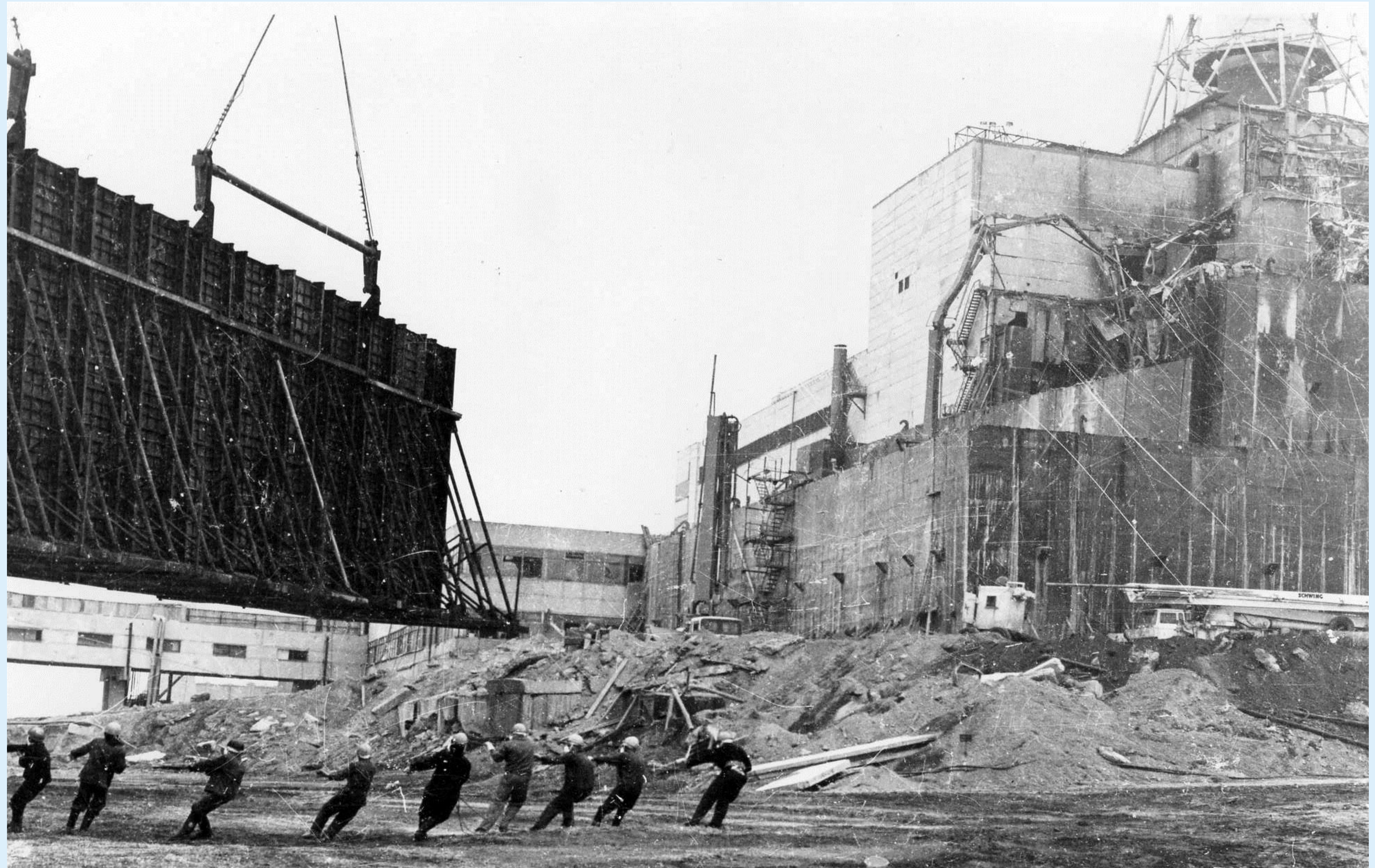


8. DE BOUW VAN DE EERSTE EN TWEEDE SARCOFAAG

DE VERLATEN REGELZAAL VAN TSJERNOBYL- 4



8. DE BOUW VAN DE EERSTE SARCOFAAG (2)



8. DE BOUW VAN DE EERSTE SARCOFAAG (3)



8. DE BOUW VAN DE EERSTE SARCOFAAG (4)

De voltooiing van de eerste sarcofaag (deze is in gebruik geweest van november 1986 tot november 2016)

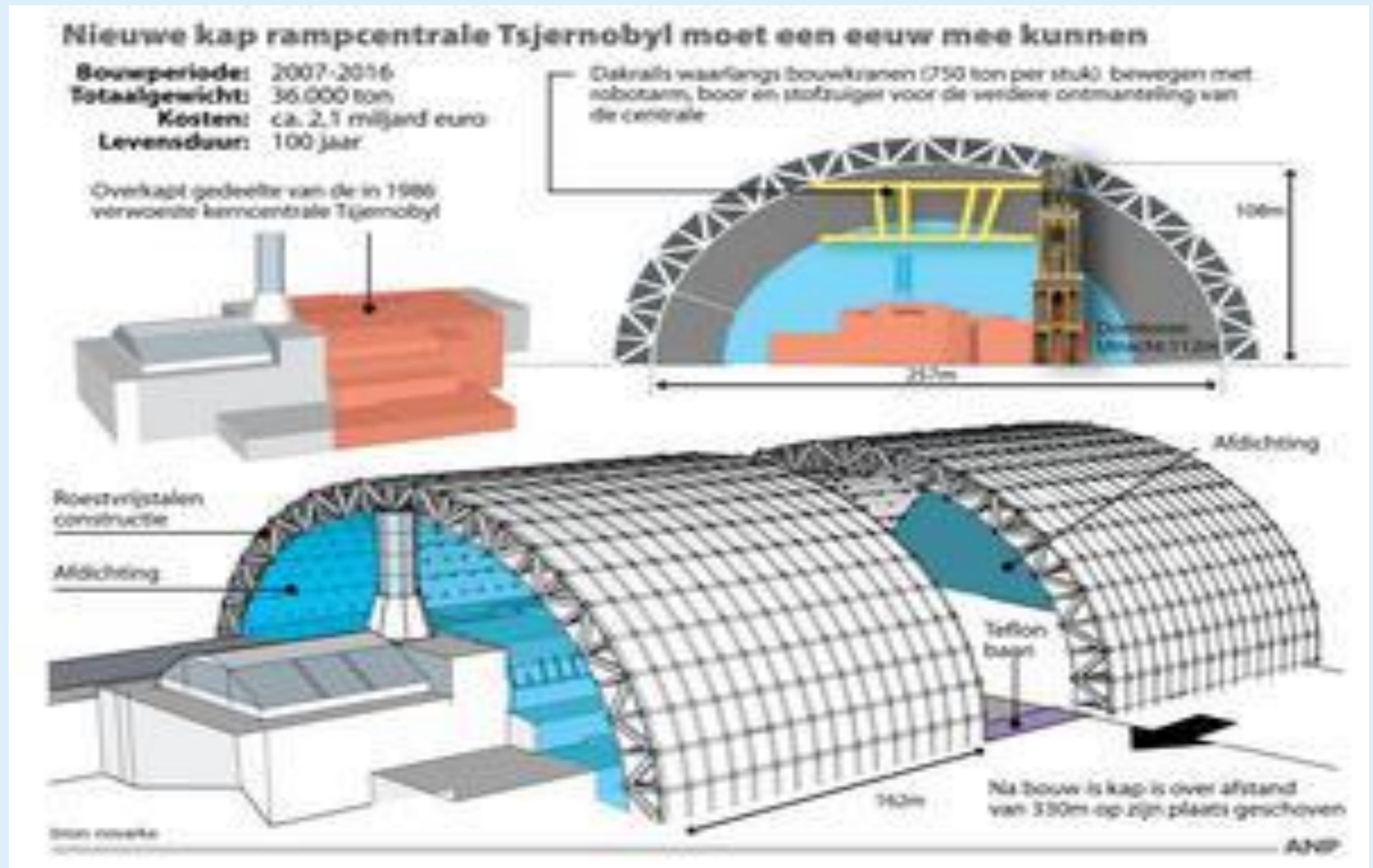


8. DE BOUW VAN DE EERSTE SARCOFAAG (5)

De eerste sarcofaag (deze is in gebruik geweest van november 1986 tot november 2016)



8. DE BOUW VAN DE EERSTE EN TWEEDE SARCOFAAG (6)



8. DE BOUW VAN DE TWEEDE SARCOFAAG (7)

De 36000 ton wegende, € 1,5 miljard kostende tweede sarcofaag, door Mammoet in november 2016 geplaatst is het grootste beweegbare gebouw ooit gebouwd (hoogte 108 m, lengte 162 m, totale breedte kap 257 m).



8. DE BOUW VAN DE TWEEDE SARCOFAAG (8)

De tweede sarcofaag is over een afstand van 330 m verplaatst d.m.v. een speciale hydraulische vijzelconstructie en omhult nu de oorspronkelijke uit 1986 daterende eerste sarcofaag.



9. DE GEVOLGEN VOOR MENS EN MILIEU

Bij de brand en de explosie kwamen binnen een maand 31 mensen om, waarvan 2 direct tijdens het ongeluk. Meer dan 24 uur later, op 27 april, kwam de evacuatie van de directe omgeving op gang. [N.B. De Zweedse kernenergiecentrale Forsmark “ontdekte” op 28 april het door de Sovjet autoriteiten geheim gehouden ongeluk na analyse van de luchtbesmetting rond de Zweedse centrale.] Na tien dagen waren circa 135.000 mensen geëvacueerd uit een gebied met een straal van 30 km rond de reactor. Ongeveer 3500 inwoners weigerden het gebied te verlaten. De 30-kilometer zone, ook wel “vervreemdingszone” (Oekraïens: *Zona Vidtsjoezjennja*) genoemd, is sinds 15 augustus 2012 weer bewoonbaar omdat de straling genoeg is gedaald. Wel blijft het bij wet verboden om in het gebied permanent te wonen. Men beschouwt groenten en fruit uit het gebied nog steeds als ongeschikt voor menselijke consumptie vanwege de nog aanwezige radioactieve isotopen.

9. DE GEVOLGEN VOOR MENS EN MILIEU (2)

All of the noble gases, including krypton and xenon, contained within the reactor were released immediately into the atmosphere by the first steam explosion. The atmospheric release of xenon-133, with a half-life of 5 days, is estimated at 5200 PBq.

50 to 60% of all core radioiodine in the reactor, about 1760 PBq (1760×10^{15} becquerels), or about 0.4 kg, was released, as a mixture of sublimed vapour, solid particles, and organic iodine compounds. Iodine-131 has a half-life of 8 days.

20 to 40% of all core caesium-137 was released, 85 PBq in all. Caesium was released in aerosol form; caesium-137, along with isotopes of strontium, are the two primary elements preventing the Chernobyl exclusion zone being re-inhabited. 8.5×10^{16} Bq equals 24 kilograms of caesium-137. Cs-137 has a half-life of 30 years. Tellurium-132, half-life 78 hours, an estimated 1150 PBq was released.

An early estimate for total nuclear fuel material released to the environment was $3 \pm 1.5\%$; this was later revised to $3.5 \pm 0.5\%$. This corresponds to the atmospheric emission of 6 t of fragmented fuel.

9. DE GEVOLGEN VOOR MENS EN MILIEU (3)

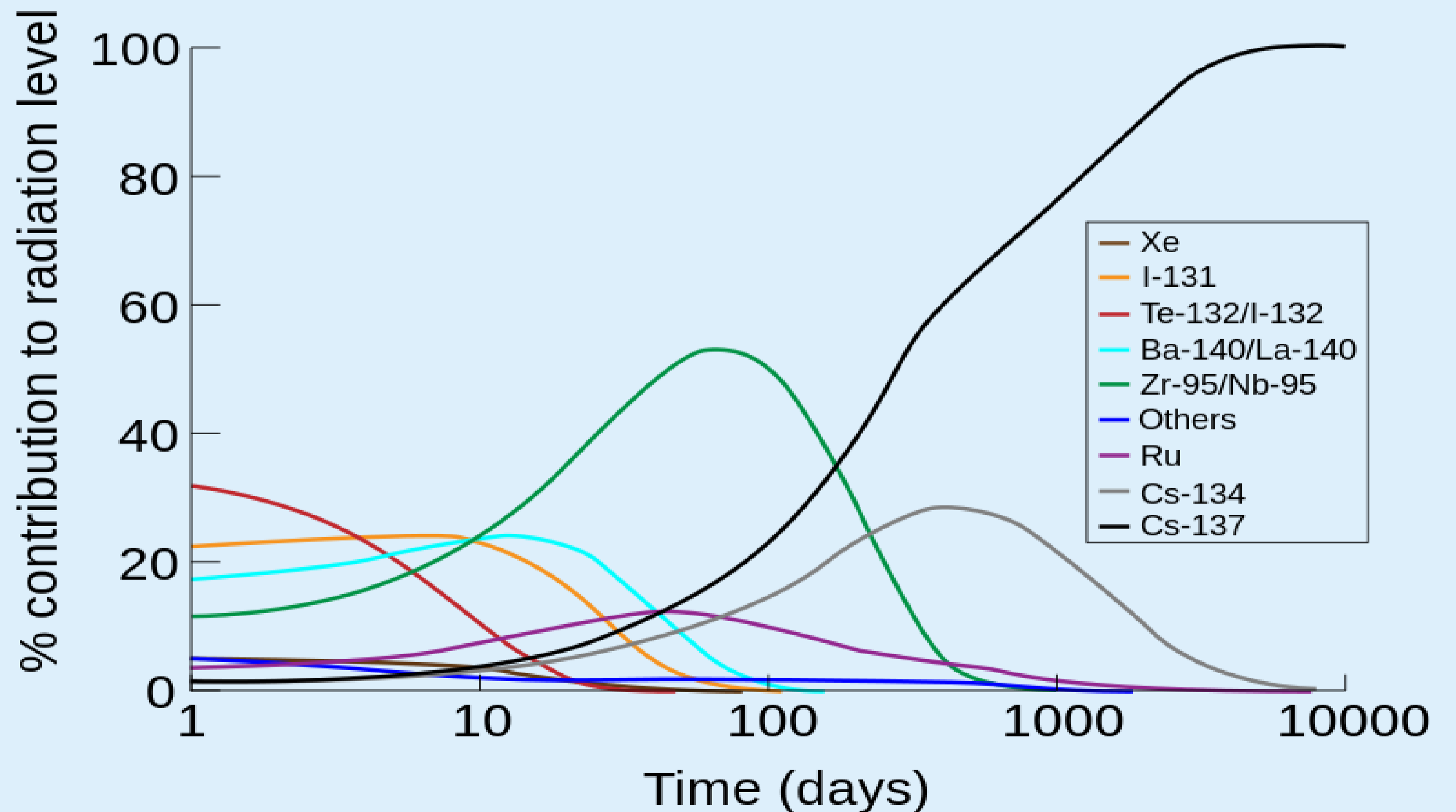
Schatting van het aantal slachtoffers door de WHO

Literatuuronderzoek is gedaan door de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO), die onder de Verenigde Naties (VN) valt. In 2006 is een rapport door de WHO uitgebracht. Onder de 600.000 mensen die ten gevolge van deze kernramp de hoogste stralingsdosis opgelopen hebben (de 'liquidatoren', de mensen die zijn geëvacueerd uit de 'uitsluitingszone' van 30 km en de huidige bewoners van de *strictly controlled zones* [meer dan 15 Ci/km^2]), zullen naar schatting in totaal zo'n 4000 doden vallen. Onder 6,8 miljoen mensen uit overige besmette gebieden (die gemiddeld ten gevolge van de ramp een dosisequivalent van 7 mSv opgelopen hebben) zullen naar verwachting in totaal ca. 5000 mensen overlijden.

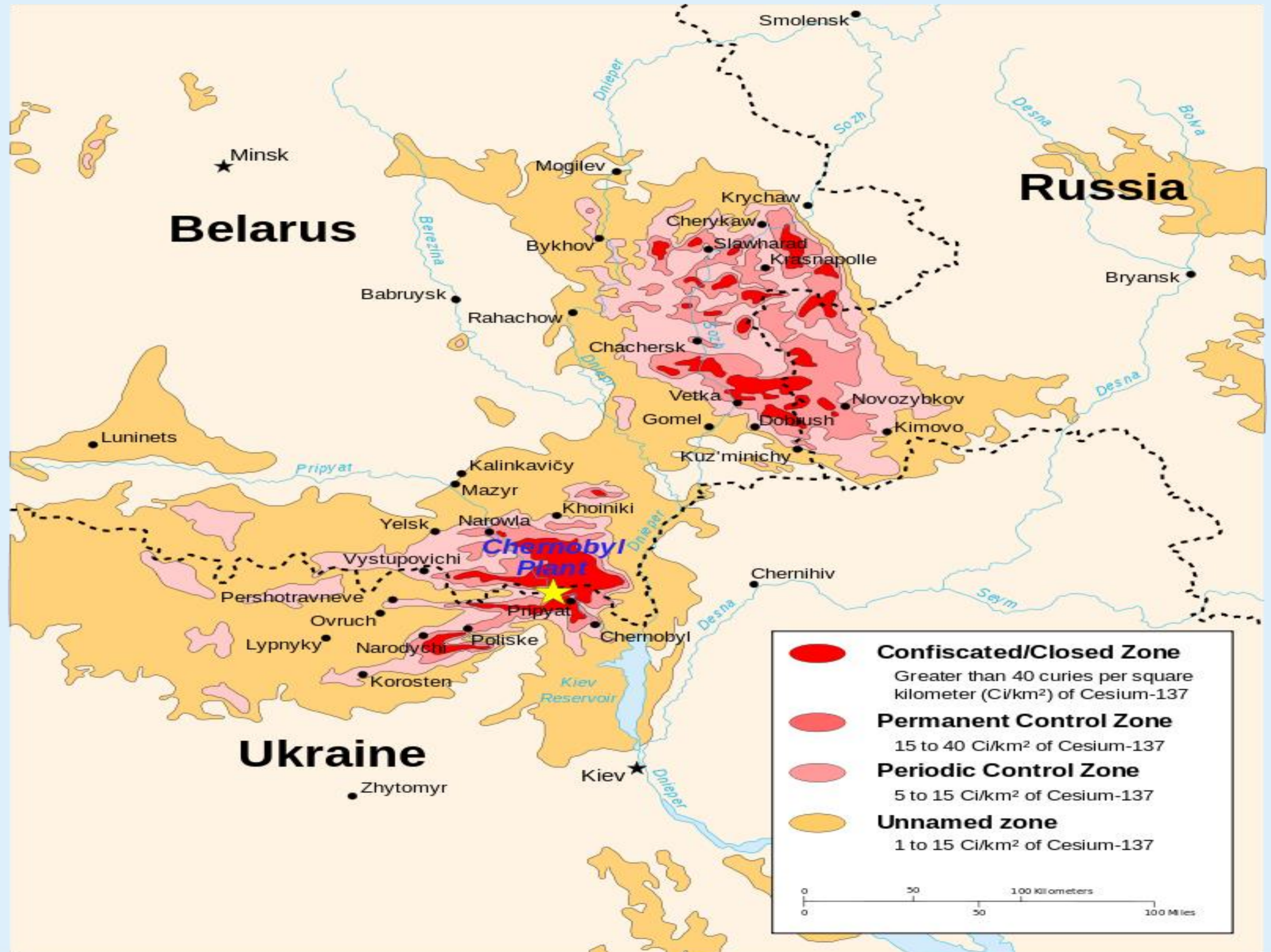
N.B. 1 Curie (Ci) komt overeen met 1 gram Radium-226, ofwel 3.7×10^{10} Becquerel (Bq) of radioactieve vervallen per seconde. De sievert (symbool Sv) is de SI-eenheid voor de equivalente dosis ioniserende straling waaraan een mens in een bepaalde periode is blootgesteld. $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Joule/kg} = 100 \text{ rem}$ (roentgen equivalent man). Acute blootstelling aan 8 Sv is dodelijk.

9. DE GEVOLGEN VOOR MENS EN MILIEU (4)

Relatieve bijdrage van een aantal isotopen aan stralingsniveau nabij Tsjernobyl. Thans overheerst de β -straler Cesium-137 met een halfwaardetijd van ruim 30 jaar.



9. DE GEVOLGEN VOOR MENS EN MILIEU IN 1996



10. DOORGEVOERDE VERBETERINGEN AAN HET REACTORNOODSTOPSYSTEEM

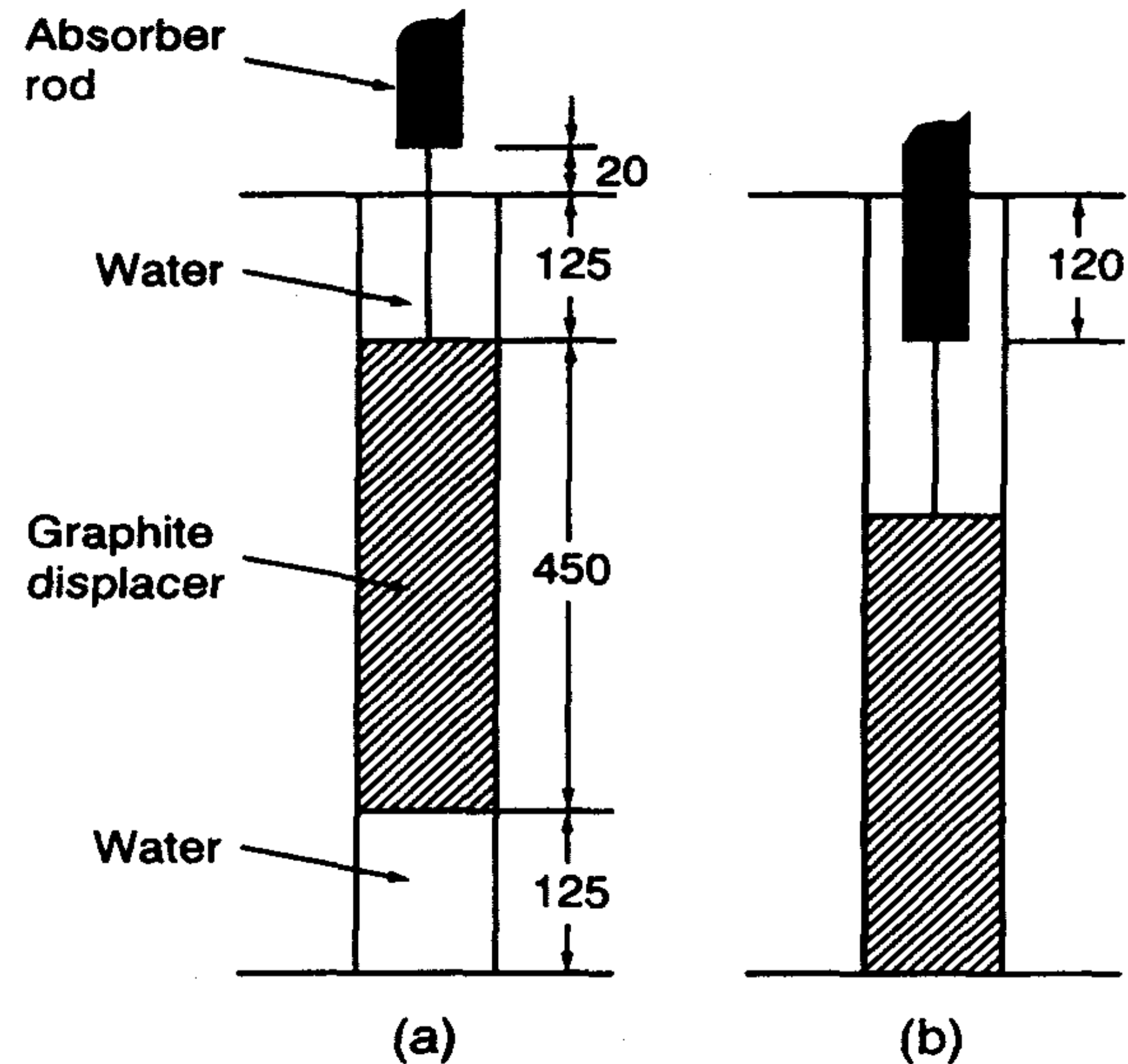


FIG. 1. Uppermost position of a control rod of the RBMK emergency protection system relative to the reactor core (a) before and (b) after the improvements made in response to the Chernobyl accident. Dimensions are given in centimetres.

10. DOORGEVOERDE VERBETERINGEN AAN HET REACTORNOODSTOPSYSTEEM (2)

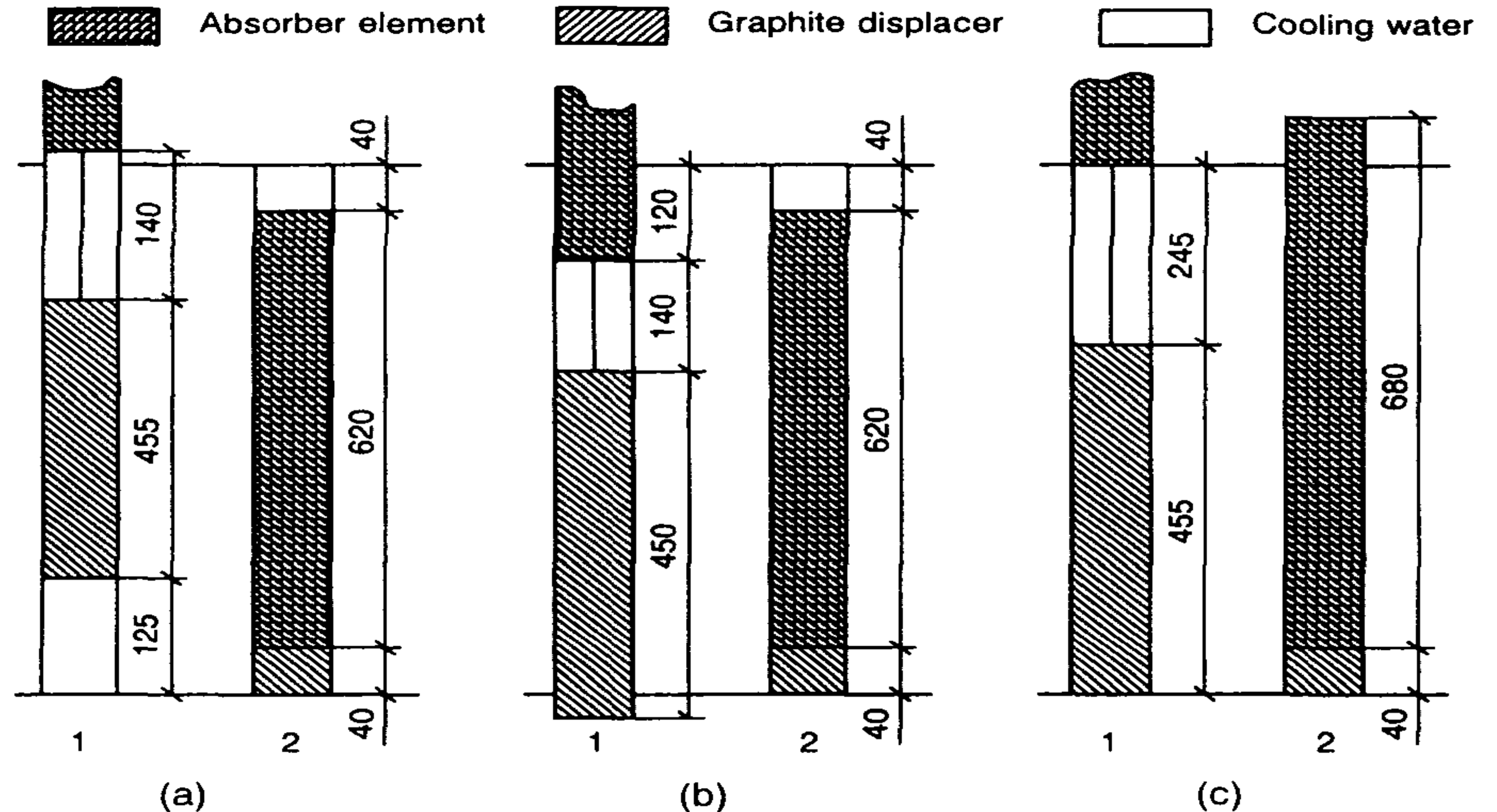


FIG. II-13. Manual control rods in the RBMK reactor. (a) old design rod; (b) old design rod inserted into the core to avoid the insertion of positive reactivity; (c) retrofitted rod. 1: rod withdrawn; 2: rod inserted. [Dimensions are given in centimetres.]

APPENDIX BIJ 6. CHRONOLOGIE VAN HET ONTSTAAN VAN HET ONGELUK EN DE ONMIDDELLIJKE GEVOLGEN-1

25 April 1986

(time in operating log)

01:06 Start of reactor power reduction; ORM equals 31 manual control rods

03:45 Start of replacement of the nitrogen—helium gas mixture with nitrogen in the gas cooling system for the reactor graphite stack

03:47 Reactor thermal power is 1600 MW

from 04:13 Sequential measurement of the control system parameters and until 12:36 vibration characteristics of turbogenerator No. 7 and turbogenerator No. 8 at constant thermal power of 1500 MW

07:10 ORM equals 13.2 manual control rods

13:05 Disconnection of turbogenerator No. 7 from the system

14:00 Disconnection of the ECCS from the multipass forced circulation circuit (MFCC)

14:00 Postponement of testing programme requested by Kiev power grid controller

15:20 ORM equals 16.8 manual control rods

18:50 Power supply to auxiliary equipment not involved in the tests switched to working transformer No. T6

23:10 Power reduction continued, ORM equals 26 manual control rods

APPENDIX BIJ 6. CHRONOLOGIE VAN HET ONTSTAAN VAN HET ONGELUK EN DE ONMIDDELLIJKE GEVOLGEN-2

26 April 1986

(time on printout of DREG)

00:05 Reactor thermal power was 720 MW

(in operating log)

00:28 At reactor thermal power of about 500 MW transfer made

(in operating log) from the local to global main range automatic power control

(automatic power controllers Nos 1 and 2). During the transfer

there was a reduction in thermal power to 30 MW (neutron power to zero), which was not envisaged in the testing programme.

Measures to increase the power were taken

00:34:03 Emergency fluctuations of water level in steam separator drums

00:36:24 The EPS trip point in response to a pressure drop in the steam separator drums was changed from 55 to 50 kg/cm²

from 00:39:32 until 00:43:35 DREG program did not work

Personnel blocked the EPS signal which would have shut down the two turbogenerators

from 00:41 until 01:16 Disconnection of turbogenerator No. 8 from the system to determine the vibration characteristics during rundown

01.03 Reactor thermal power increased to 200 MW and stabilized

APPENDIX BIJ 6. CHRONOLOGIE VAN HET ONTSTAAN VAN HET ONGELUK EN DE ONMIDDELLIJKE GEVOLGEN-3

01:03 (in operating log) Seventh main circulating pump was put into operation(MCP No. 12)

01:07 (in operating log) Eighth MCP was put into operation (MCP No. 22)

from 01:12:10 until 01:18:49 DREG program did not work

01:19:39 'One overcompensation upwards' signal on

from 01:19:44 until 01:19:57 'One overcompensation upwards' signal on

01:22:30 The parameters were recorded on magnetic tape (calculations were performed at the Smolensk plant after the accident using the PRIZMA program; ORM proved to be equal to 8 manual control rods)

01:23:04 'Oscilloscope is on' signal was given, emergency stop valves of turbogenerator No. 8 were closed. The rundown was started of four MCPs: MCPs Nos 13 and 23 (section 8RA) and MCPs Nos 14 and 24 (section 8RB)

01:23:10 Design basis accident button was pressed

01:23:30 'One overcompensation upwards' signal went off (it lasted 3 min 33 s)

01:23:40 EPS-S button was pressed; the EPS rods and manual control rods started to move down into the core

01:23:43 Power excursion rate emergency protection system signals on; excursion period: less than 20 s; emergency power protection system signals actuated; power exceeded 530 MW(th)

01:23:46 Disconnection of the first pair of MCPs being 'run down'

01:23:46.5 Disconnection of the second pair of MCPs being 'run down'

APPENDIX BIJ 6. CHRONOLOGIE VAN HET ONTSTAAN VAN HET ONGELUK EN DE ONMIDDELLIJKE GEVOLGEN-4

01:23:47 Sharp reduction in the flow rates (by 40%) of MCPs not involved in the rundown test (MCPs Nos 11, 12, 21 and 22) and unreliable flow rate readings of the MCPs taking part in the rundown (MCPs Nos 13, 14, 23 and 24); sharp increase of pressure in the steam separator drums; sharp increase in the water level in the steam separator drums; signals 'failures of measuring systems' from both main range automatic controllers (automatic power controllers Nos 1 and 2)

01:23:48 Restoration of flow rates of MCPs not involved in the rundown test to values close to the initial ones; restoration of flow rates to 15% below the initial rate for the MCPs on the left side which were being 'run down'; restoration of flow rates to 10% below the initial rate for MCP No. 24; unreliable readings for MCP No. 23; further increase of pressure in the steam separator drums (left side 75.2 kg/cm², right side 88.2 kg/cm²) and of water level in the steam separator drums; triggering of fast acting systems for dumping of steam to condensers Nos 1 and 2

01:23:49 Emergency protection signal 'Pressure increase in reactor space (rupture of a fuel channel)'; 'No voltage — 48 V signal (no power supply to the servodrive mechanisms of the EPS)'; 'Failure of the actuators of automatic power controllers Nos 1 and 2' signals

From a note in the chief reactor control engineer's operating log:

"01:24: Severe shocks; the RCPS rods stopped moving before they reached the lower limit stop switches; power switch of clutch mechanisms is off"

HET BEGRIP ORM: OPERATIONAL REACTIVITY MARGIN (vereiste minimaal aantal regelstaven in de reactorkern om stabiliteit te bewaren)

REQUIRED OPERATING REACTIVITY MARGIN AS A FUNCTION OF REACTOR POWER LEVEL
[From the Operating Procedures.]

Reactor power level (Percentage of nominal)	Required ORM (Equivalent number of manual control rods)
80-100%	50
50-80%	45
<50%	30

The minimum operational reactivity margin during a power rise following a short term shutdown must not be less than 15 rods.

"If in withdrawing manual control rods while the reactor is being brought to criticality the operational reactivity margin falls to 15 rods and *continues to fall, all rods must be dropped to the lower limit stop switches...*"

N.B.

On the authorization of the Chief Plant Engineer, *a reactor may be allowed to operate with an ORM below the minimum value, but for no longer than three days. Operation of the unit is not permitted at an ORM of less than 10 rods. "*



ZIJN ER NOG VRAGEN ?