De beveiliging van kernenergiecentrales*

'Radioactiviteit en de drinkwatervoorziening'

Voordracht uit de 40ste vakantiecursus in drinkwatervoorziening. 'Radio-activiteit en de drinkwatervoorziening', gehouden op 7 en 8 januari 1988 aan de TU Delft.

Samenvatting
In dit artikel wordt een samenvatting gegeven van de maatregelen, die genomen kunnen worden voor het beveiligen van kernenergiecentrales tijdens normaal bedrijf en met het oog op ongevallen. Tevens wordt een beschrijving gegeven van de verschillende, in gebruik zijnde reactortypen, van de voor lichtwaterreactoren gebruikte veiligheidsfilosofie en van al of niet realistische 'brontermen' voor de beoordeling van de veiligheid van nieuw te bouwen kernenergiecentrales.

Inleiding

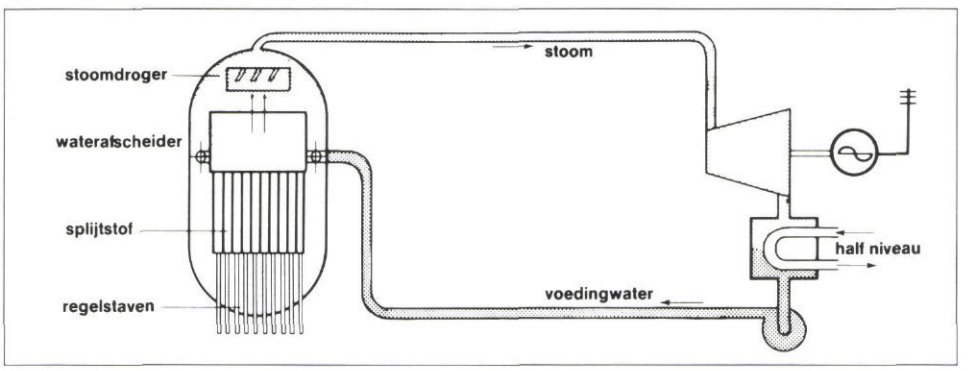
Sinds het begin van het gebruik van kernenergiecentrales voor de elektriciteitsproduktie hebben de risico's die daarmee gepaard gaan een belangrijke, soms zelfs een dominerende rol gespeeld. Bij de discussie over 'hoe veilig is veilig genoeg' of welk veiligheidsniveau acceptabel geacht mag worden, zijn vele aspecten van het gebruik van uranium de revue gepasseerd. Bijvoorbeeld de vraag welke risico's in de totale splijtstofcyclus dominant zijn, welke

B. TH. EENDEBAK
NV KEMA, Arnhem

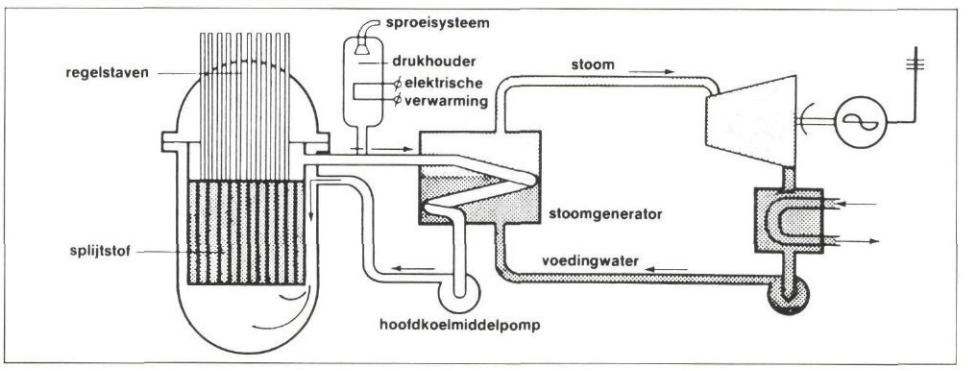
bijdrage ioniserende straling aan de beroepsrisico's levert en wat de risico's zijn voor de omgeving tijdens het normale bedrijf.
De ervaring met het bedrijf van kernenergiecentrales en de kennis van het gedrag van radio-actieve stoffen en de effecten van ioniserende straling zijn nu echter voldoende om te constateren dat kerncentrales op deze gebieden geen uitzondering innemen. Evenals bij de andere methoden voor de elektriciteitsproduktie liggen de grootste risico's bij de exploitatie en winning van grondstoffen. De beroepsrisico's zijn van dezelfde grootte-orde of liggen lager dan bij de alternatieven en ook de lozing van radio-actieve stoffen is geen privé recht voor kerncentrales. De effecten van lozingen van radio-actieve stoffen door kolengestookte centrales (uranium en thorium met dochterprodukten) en door gasgestookte centrales (voornamelijk radon) verschillen niet veel van die door kernenergiecentrales.
In de discussie over al dan niet gebruiken van kernenergiecentrales voor de elektriciteitsproduktie is dan ook zeker na het ongeval in Tsjernobyl het zwaartepunt komen te liggen bij de risico's van extreme ongevallen. Het is duidelijk dat ongevallen met kernenergiecentrales zich niet direct laten vergelijken met ongevallen die het gevolg zijn van het gebruik van fossiele brandstoffen of andere alternatieven.

In dit artikel wordt ingegaan op de verschillende typen kernreactoren, de beveiliging tijdens normaal bedrijf en tijdens ongevalssituaties en de relatie tussen de keuze van een bepaald reactortype en een eventueel risico voor de drinkwatervoorziening.

Afb. 1 - Schema van een kokendwaterreactor.



Afb. 2 - Schema van een drukwaterreactor.



De ontwikkeling van kernenergiecentrales

In Chicago werd op 2 december 1942 om 3h25 de eerste kernreactor, opgebouwd uit grafietblokken met natuurlijke uranium als splijtstof, kritisch.
Deze gebeurtenis vond plaats onder leiding van Enrico Fermi, een Italiaanse natuurkundige, die na het aanvaarden van de Nobelprijs in 1938 naar Amerika was gevlucht. Deze ontwikkeling was mogelijk dankzij een reeks snel op elkaar volgende ontdekkingen. Met name de ontdekking van Otto Hahn in 1938, dat er nieuwe elementen, zoals bijvoorbeeld barium, ontstaan na het beschieten van uranium met neutronen en de conclusie (onder andere van Lise Meitner) dat deze nieuwe elementen brokstukken zijn van een gespleten uraniumkern en dat bij deze splijting een grote hoeveelheid energie vrijkomt, waren essentiële stappen op weg naar een gecontroleerde kettingreactie.
Het grafiet in deze reactor had de functie om de snelle, energierijke neutronen, die bij een splijting vrijkomen te verlangzamen (te modereren). Gebleken was, dat een langzaam of thermisch neutron een grotere kans heeft om een uraniumkern tot splijting te brengen dan een snel neutron.
Bij een dergelijke kernreactor als die in Chicago vinden de splijtingen voornamelijk plaats in het isotoop uranium-235 (U-235). Daar het uranium, zoals het in de natuur wordt gevonden voornamelijk bestaat uit U-238 en slechts voor 0,7% uit U-235, maakt men met een dergelijke reactor een slecht gebruik van de beschikbare hoeveelheden uranium. Ook U-238 is indirect te gebruiken voor energieproduktie, maar dan met een snelle reactor, waarin de neutronen niet gemodereerd worden en waar de snelle neutronen U-238 omzetten in plutonium 239. Dit isotoop is bij neutronenvangst goed splijtbaar. Op deze manier 'kweekt' men dus weer nieuwe splijtstof, vandaar de naam snelle kweekreactor.
Uit het bovenstaande zal duidelijk zijn dat we bij kernreactoren twee groepen

TABEL I - *Indeling reactortypen naar moderator en koelmiddel.*

Moderator	Koelmiddel	Splijtstof	Type reactor
grafiet	CO_2 (of helium)	U-235	GGR
grafiet	licht water	U-235	LWGR
zwaar water	zwaar water	U-235	HWR
licht water	licht water	U-235	
	- kokend		BWR
	- niet kokend		PWR
geen	natrium	plutonium	FBR

kunnen onderscheiden, namelijk *thermische reactoren,* waarin de neutronen gemodereerd worden en waarbij gebruik wordt gemaakt van splijtingen van U-233 of U-235 door langzame neutronen (eventueel kan nieuwe splijtstof gekweekt worden door toepassing van Th-232) en *snelle reactoren,* waarin plutonium als splijtstof wordt gebruikt en waarbij U-238 wordt omgezet in U-235. Door het gebruik van dergelijke snelle of kweekreactoren kan dus veel meer energie (factor 10 à 20) vrijgemaakt worden uit eenzelfde hoeveelheid natuurlijk uranium. Ook kan een indeling in reactorrypen plaatsvinden op grond van de gebruikte moderator of, bij vermogensreactoren, het gebruikte koelmiddel. De principes van enkele nu toegepaste reactortypen zijn aangegeven in tabel I.

Het koelmiddel, bijvoorbeeld water, dient om de bij de splijtingen vrijgekomen warmte af te voeren en deze warmte, via een turbine en een generator, om te zetten in elektrische energie.
Lichtwaterreactoren zijn dus reactoren waarbij zowel het modereren als de koeling plaatsvindt met behulp van gewoon (licht) water en waarbij als splijtstof, licht verrijkt, uranium wordt gebruikt. Onderscheid dient nog gemaakt te worden tussen een kokendwater reactor (BWR), waarbij het in het reactorvat tot koken gebrachte water direct naar de turbine wordt geleid (zie afb. 1) en een drukwaterreactor (PWR), waarbij tussen het reactorvat en de turbine nog een warmtewisselaar of stroomgenerator is geplaatst (zie afb. 2).

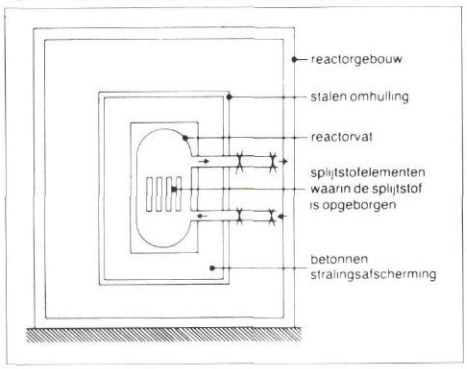
Totaal zijn er nu over de hele wereld circa 400 grote kernenergiecentrales in bedrijf, daarvan zijn er 300 het lichtwatertype, waarvan 200 PWR's en bijna 100 BWR's. Het vermogen van kernenergiecentrales is voortdurend toegenomen vanaf de eerste Amerikaanse centrales van circa 250 MWe (Shippingport, Dresden 1, Yankee Rowe) in het begin van de jaren zestig tot 1.200 à 1.400 MWe in de jaren tachtig.
Een overzicht van de in Europa gebouwde kernenergiecentrales is gegeven in afb. 3 [ref. 1]. Bij deze afb. dient opgemerkt te worden dat bij veel van de aangegeven plaatsen, met name in Frankrijk en Rusland, per centrale veelal 2 of 4 reactoren staan opgesteld. Uit afb. 3 is duidelijk dat in Europa een groot aantal reactortypen staan opgesteld. Bij het nemen van maatregelen ter bescherming van de drinkwatervoorziening is het dan ook moeilijk om, indien daarbij rekening wordt gehouden met buitenlandse kernreactoren, uit te gaan van een bepaald reactortype. Hierop zal in dit artikel verder worden ingegaan.

Afb. 3 - Kernenergiecentrale in West-Europa.

Veiligheidsfilosofie van lichtwaterreactoren

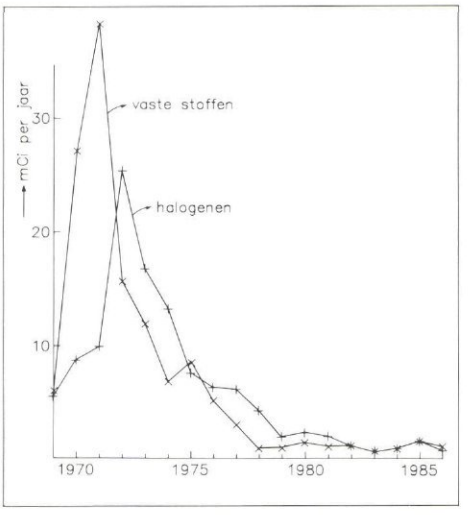
Er is een aantal leveranciers van lichtwaterreactoren, die elk een 'eigen' ontwerp hebben. Deze ontwerpen bezitten verschillende oplossingen voor het optimaliseren van zaken die de bedrijfszekerheid van de installatie, de regeling, het onderhoud, de kwaliteitscontrole, de veiligheid voor het personeel enzovoort betreffen. Grote verschillen zijn daarin echter niet te verwachten. Dat komt omdat deze verschillende ontwerpen mede gebaseerd zijn op een veiligheidsfilosofie, die internationaal aanvaard is. Bij de ontwikkeling van deze veiligheidsfilosofie in de afgelopen tientallen jaren bestond een sterke wisselwerking tussen de overheden in de verschillende landen en de fabrikanten en gebruikers van kerncentrales en ook een continu overleg en uitwisseling van gedachten binnen internationale organisaties zoals bijvoorbeeld de EG en de OECD. Die ontwikkeling heeft met zich meegebracht dat verwacht mag worden dat kernenergiecentrales, zoals die in deze tijd door leveranciers in de westerse geïndustrialiseerde landen worden aan-

Afb. 4 - Barrières bij een lichtwaterreactor.



geboden, zonder uitzondering kunnen voldoen aan de op grond van deze veiligheidsfilosofie te stellen eisen.
In het navolgende zal deze voor lichtwaterreactoren algemeen aanvaarde veiligheidsfilosofie nader uiteen worden gezet.

Nucleaire installaties moeten zo ontworpen worden dat een aantal achtereenvolgende barrières ontstaat, die het ontsnappen van radio-actieve stoffen verhinderd [ref. 2]. Als barrières kunnen onder andere de splijtstoftabletten, de splijtstofbekleding, het reactorvat en het insluitsysteem met de ventilatiesystemen worden genoemd (zie afb. 4).
Het bestaan van deze barrières is echter niet voldoende: het is noodzakelijk ervoor te zorgen dat deze barrières ook intact blijven bij abnormale gebeurtenissen (zoals het falen van apparatuur, menselijke fouten of natuurverschijnselen).
Om de kans minimaal te maken dat de barrières door één van dergelijke oorzaken worden doorbroken, wordt de veiligheid op vier verschillende niveaus bewaakt. Deze niveaus zijn zo geordend dat fouten die op een bepaald niveau zijn gemaakt, worden 'opgevangen' door de maatregelen op de andere niveaus.
Het eerste niveau betreft ongevallenpreventie door betrouwbaarheid, waaronder kwaliteitsborging. Alle systemen van een kernenergiecentrale moeten zodanig worden ontworpen dat storingen zeer onwaarschijnlijk worden. De belangrijkste aspecten daarbij zijn de kwaliteit, beproefbaarheid en de inspecteerbaarheid van componenten en systemen.
Op het tweede niveau gaat het om schadepreventie door regel- en beveiligingssystemen. Het uitgangspunt van het tweede niveau is de veronderstelling dat storingen en bedieningsfouten kunnen plaatsvinden. Daarom moet ervoor worden gezorgd dat storingen op een betrouwbare wijze worden opgespoord en dat vervolgens regel- of beveiligingssystemen in werking komen, zodat de storing niet tot een ongeval kan uitgroeien. Tot deze systemen behoren onder andere een reactorafschakelsysteem en een extra elektriciteitsvoorziening.
Het derde niveau betreft beperking van de gevolgen van ongevallen door extra veiligheidssystemen. Het uitgangspunt bij dit niveau is dat storingen, indien deze niet worden beheerst, kunnen leiden tot een ongeval. Ter beheersing van deze ongevallen worden additionele veiligheidssystemen geïnstalleerd. De keuze daarvan is gebaseerd op een evaluatie van hypothetische ongevallen, waarbij moet worden aangetoond dat ook dan de



Afb. 5 - Lozing uit de ventilatieschacht bij de kerncentrale te Dodewaard.

veiligheid van omwonenden afdoende wordt gewaarborgd. Uit deze evaluaties worden verscheidene hypothetische ongevalsreeksen geselecteerd als basis voor het ontwerp van belangrijke delen en systemen van de centrale. Tot het derde niveau behoren onder andere de noodkoelsystemen.
Het vierde en laatste niveau is gericht op bescherming tegen extreme situaties. Het uitgangspunt daarbij is een extreem onwaarschijnlijk ongeval, waarbij wordt aangenomen dat alle veiligheidssystemen falen. Met het oog op dergelijke ongevallen verdient passieve veiligheid veel aandacht en is het van belang dat door het ontwerp van de centrale en de gebouwen ook in die situatie de hoeveelheid vrijkomende radio-actieve stoffen wordt beperkt. Bovendien zal een interne en externe alarmregeling moeten worden opgezet. Het doel van het vierde niveau is om te zorgen dat ook bij deze extreme ongevallen de nadelige gevolgen voor de gezondheid op zowel de korte als de lange termijn worden geminimaliseerd.

Beveiliging tijdens normaal bedrijf

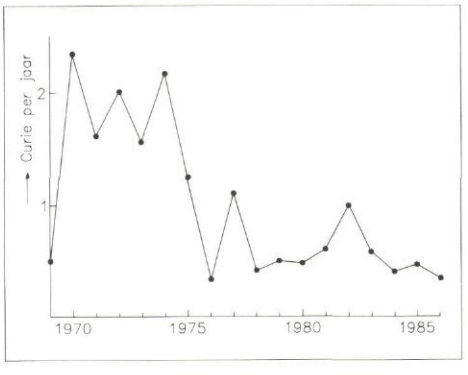
Het ontstaan van radio-actieve stoffen
Voor de produktie van stoom in een kerncentrale wordt gebruik gemaakt van de warmte die vrijkomt bij de splitsing van uraniumkernen. Bij zo'n splijting komen, behalve neutronen, twee brokstukken vrij, die variëren van lichte metalen zoals zink en jodium tot zwaardere elementen als barium en de zeldzame aarden.
Totaal worden er op deze wijze in de splijtstof bijna 800 verschillende isotopen geproduceerd, waarvan de meeste één eigenschap gemeen hebben: ze bezitten een overmaat aan neutronen, zijn daardoor instabiel of radio-actief en zenden doorgaans zowel beta- als gamma-straling uit. Zodra de reactor stopgezet wordt, neemt deze activiteit eerst snel en daarna langzaam af. Door de aanwezigheid van isotopen met een zeer grote levensduur (halfwaarde-tijd) wordt deze activiteit theoretisch gesproken nooit helemaal nul.
De splijtingsprodukten bevinden zich in de splijtstof (gesinterde UO_2-tabletjes) binnen een zircaloy splijtstofbekledingsbuis; deze splijtstofstaven zijn weer samengebundeld in splijtstofelementen. Nadat de splijtstofelementen 3 à 4 jaar in de kern hebben gestaan, worden ze overgebracht naar het splijtstofopslagbassin, waar ze minimaal een jaar opgeslagen worden om af te koelen.
Door lekkage van de splijtstofbekleding kunnen in het koelmiddel geringe hoeveelheden splijtingsprodukten aanwezig zijn. Ook buiten de eerste barrière, de splijtstofbekleding, ontstaan echter radio-actieve produkten. Dit wordt met name veroorzaakt door de absorptie van neutronen in de constructiematerialen, in het koelmiddel van de reactor en in de in het koelmiddel aanwezige corrosieprodukten, waardoor geïnduceerde radio-activiteit ontstaat. Men spreekt dan meestal van activeringsprodukten. Bekend is bijvoorbeeld de vorming van Co-58 en Co-60 volgens de reacties:
Ni-58 $(n \cdot \varrho)$ Co-58 ($T\frac{1}{2} = 70$ dagen)
Co-59 (n, γ) Co-60 ($T\frac{1}{2} = 5{,}3$ jaar)
Er zijn nog vele andere activeringsprodukten, die in het water in het kerngebied en in de lucht rondom het reactorvat gevormd worden. Voorbeelden daarvan zijn N-13, N-16 N-17, O-19, F-18, C-14 en A-41.
De splijtingsprodukten, die binnen de splijtstofbekleding opgesloten blijven, vormen echter verreweg de grootse bijdrage (>99,99%) aan de totale hoeveelheid radio-activiteit die in de kerncentrale aanwezig is.

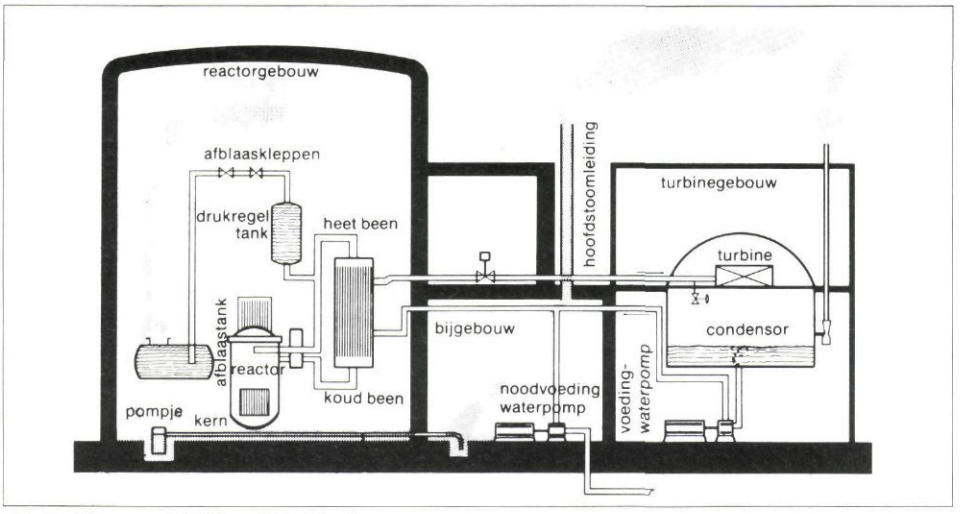
Lozing van radio-actieve stoffen
Lozingen van radio-actieve stoffen in de lucht kunnen plaatsvinden via de ventilatie van de diverse gebouwen en ruimten van de centrale. De belangrijkste radioactieve nucliden worden gevormd door de edelgassen xenon en krypton, door jodium en tritium en in mindere mate door enkele vaste stoffen in de vorm van een aerosol.
Lozing van radio-actieve stoffen in water kan plaatsvinden doordat in het afvalwaterbehandelingssysteem van een kernenergiecentrale sommige deelstromen vanwege hun vervuilingsgraad of chemische eigenschappen minder geschikt zijn voor hergebruik en daarom verdund met het koelwater naar het oppervlaktewater worden afgevoerd. De belangrijkste nucliden in deze afvalstroom zijn meestal

die van cobalt, jodium, cesium en mangaan. Technisch is het mogelijk deze afvalstroom tot volstrekt onbelangrijke hoeveelheden te minimaliseren.
De maximaal toelaatbare hoeveelheden, die bijvoorbeeld per jaar geloosd mogen worden en de maximaal toelaatbare concentraties van radio-actieve stoffen in de afgevoerde lucht en het afgevoerde water zijn vastgesteld in de bedrijfsvergunning. Deze vergunning wordt opgesteld na zorgvuldige analyse van de technische mogelijkheden en de locale omstandigheden. De wijze waarop deze lozingen plaatsvinden, de wijze waarop de geloosde hoeveelheden en concentraties worden gemeten en gecontroleerd en de manier waarop de meetresultaten aan de controlerende overheidsinstanties worden gerapporteerd, zijn eveneens voorgeschreven.

In de afb. 5 en 6 is een indruk gegeven van de lozingen die door de kerncentrale te Dodewaard hebben plaatsgevonden. Duidelijk is dat de lozingen in de loop der jaren gedaald zijn. Eenzelfde tendens is ook bij de centrale te Borssele aanwezig en is in het algemeen bij kerncentrales niet ongebruikelijk. De reden van deze daling in tweeërlei. Primair is uiteraard de kwaliteit van de eerste barriéres, de splijtstof en de splijtstofbekleding. Door een goede kwaliteitszorg en een zorgvuldige bedrijfsvoering behoren lekkages van de splijtstofbekleding in de centrale Dodewaard tot een grote uitzondering. Dit komt vooral tot uiting in afb. 5. Daarnaast is een vakkundig omgaan met de 'waterhuishouding' in de centrale en met zuiveringssystemen en het waterbehandelingssysteem van belang. Daarmee kan de lozing in het koelwater geminimaliseerd worden. Bij de centrale in Dodewaard heeft dat geleid tot lozingen die onder, en meestal ver onder, de volgens de vergunning maximaal toelaatbare lozingen lagen.
Ook voor eventueel nieuw te bouwen

Afb. 6 - Lozing in het koelwater bij de kerncentrale te Dodewaard.





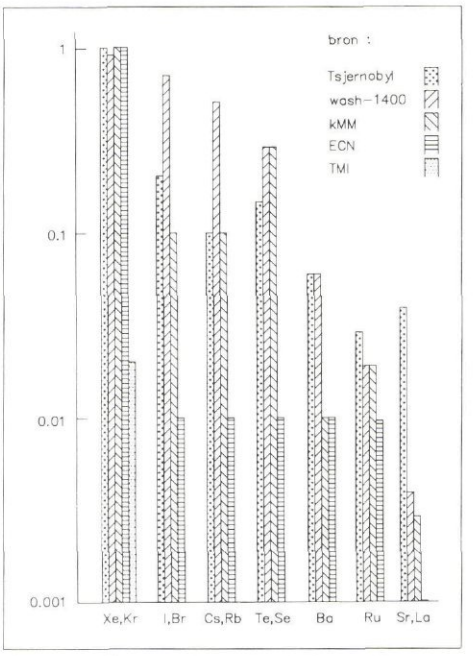
Afb. 7 - Het ongeval bij Three Mile Island.

kernenergiecentrales zijn door de overheid grenzen aan de lozingen gesteld. Deze grenzen zijn zo laag dat (volgens de Gezondheidsraad [ref. 3]) de mogelijk daaruit voortvloeiende individuele risico's te verwaarlozen zijn.

Beveiliging tegen ongevallen
Moderne kerncentrales, en zeker die van het lichtwatertype, zijn zo ontworpen, dat ook bij ernstige storingen of ongevallen de lozing van radio-actieve stoffen niet uitgaat boven de in de vergunning toegestane lozingen. Het plaatsvinden van een ongeval waarbij dat wel het geval is, kan echter nooit met 100% zekerheid uitgesloten worden. De enige situatie waarin het mogelijk is dat bij lichtwaterreactoren relatief grote hoeveelheden radio-actieve stoffen ontsnappen, doet zich voor wanneer na een ongeval de veiligheidssystemen niet of onvoldoende werken zodat een reactiviteitstransiënt optreedt of de reactorkern niet meer voldoende kan worden gekoeld, waardoor de reactorkern tenslotte geheel (zoals in Tsjernobyl) of gedeeltelijk (zoals Three Mile Island) smelt. Deze ongevallen worden kernsmeltingsongevallen genoemd.
Het ongeval in Three Mile Island (TMI-2) vond plaats op 28 maart 1979 in een kerncentrale bij Harrisburg in de Verenigde Staten. Tijdens het verloop van het ongeval traden ernstige technische storingen op, werden zwakheden in het ontwerp duidelijk en waren ook menselijke beoordelingsfouten mede oorzaak van zware beschadigingen van de reactorkern. Doordat de kern onvoldoende werd gekoeld gedurende 4-16 uur na het begin van het ongeval, is de splijtstofomhulling zwaar beschadigd en de reactorkern gedeeltelijk gesmolten. Door deze beschadigingen zijn grote hoeveelheden radio-activiteit in het primaire systeem vrijgekomen; van de edelgassen is ook een groot gedeelte terechtgekomen in het reactorgebouw en in de omgeving (zie afb. 7; [ref. 4]). Van de overige nucliden zijn dankzij het feit dat het een lichtwaterreactor betrof en ook dankzij het feit dat het insluitsysteem intact bleef, slechts te verwaarlozen hoeveelheden in de omgeving vrijgekomen. Radio-actieve besmetting in de omgeving of in het drinkwater is dan ook niet opgetreden.

Het ongeval met eenheid 4 van de centrale bij Tsjernobyl is het ernstigste ongeval dat ooit heeft plaatsgevonden met een kernenergiecentrale. Niet alleen door het aantal directe slachtoffers, maar ook door de indirecte gevolgen die voortvloeien uit de lozing van nagenoeg alle edelgassen, 10-20% van het jodium en cesium en circa 3% van de overige splijtingsprodukten. In de kern van Tsjernobyl waren ongeveer dezelfde hoeveelheden radionucliden aanwezig als in de kern van TMI-2.
Vergelijking van de ongevallen bij TMI-2 en Tsjernobyl leert dat bij TMI-2, afgezien van de edelgassen, nagenoeg alle radioactiviteit binnen het reactorgebouw en voor het grootste deel zelfs binnen het primaire systeem is gebleven, en dat bij Tsjernobyl vrijwel alle vaste splijtingsprodukten in de splijtstof zijn achtergebleven. Doordat bij Tsjernobyl echter in het begin van het ongeval door een explosie, gevolgd door een grote brand in de reactorkern een gedeelte van de splijtstof naar buiten is geworpen, zijn op die wijze ook splijtingsprodukten zoals neptunium en plutonium buiten het reactorgebouw gekomen.
Deze twee tot nu toe opgetreden kernsmeltingsongevallen zijn statistisch onvoldoende om kwantitatief betrouwbare uitspraken te kunnen doen over de kans

op en de gevolgen van kernsmeltingsongevallen. Totaal zijn er nu circa 400 kernenergiecentrales in bedrijf, waarmee in totaal meer dan 4.000 reactorjaren ervaring is opgedaan. Voor lichtwaterreactoren zijn dat circa 300 kernenergiecentrales en bijna 3.000 reactorjaren ervaring.
Juist omdat kernsmeltingsongevallen – gelukkig – zo zelden voorkomen én omdat de veiligheidsvoorzieningen in lichtwaterreactoren steeds verder zijn uitgebreid, moeten schattingen van de kans op een kernsmeltingsongeval worden ontleend aan risico-analyses. Daarbij zijn de berekeningen gebaseerd op praktijkervaring met deelsystemen en op experimenten. Dergelijke risico-analyses zijn veelvuldig uitgevoerd voor lichtwaterreactoren en de uitspraken over de veiligheid van kerncentrales in dit artikel gelden dan ook voornamelijk dat type reactor.
De gasgekoelde, grafietgemodereerde kerncentrale in Tsjernobyl is zo wezenlijk anders dan deze lichtwaterreactoren dat op grond van het daar plaatsgevonden ongeval geen oordeel gegeven kan worden over de hiervoor genoemde veiligheidsfilosofie en risico-analyses.
De eerste complete risico-analyse voor kernenergiecentrales met lichtwaterreactoren werd uitgevoerd in de Verenigde Staten en is bekend geworden onder de naam 'Rasmussen rapport' of WASH-1400, [ref. 5]. In deze studie zijn de risico's berekend van twee Amerikaanse reactoren, namelijk
– Peach Bottom Power Station, unit II, een kokendwaterreactor van 1065 MWe
– Surrey Power Station, unit I, een drukwaterreactor van 788 MWe.
De ontwerpen van deze eenheden stammen uit 1966 en zijn dus niet representatief voor de huidige generatie lichtwaterreactoren. Een dergelijke studie is in Nederland uitgevoerd voor de bestaande centrales te Dodewaard en Borssele. De resultaten werden gerapporteerd in de zogenaamde RASIN-studie [6]. Risico-analyses zoals WASH-1.400 zijn sinds 1975 regelmatige uitgevoerd en hebben in belangrijke mate bijgedrage aan een verhoging van de veiligheid van lichtwaterreactoren.
In de discussies over de risico's van kernenergiecentrales wordt de laatste jaren veelvuldig het begrip 'bronterm' gebruikt. Daaronder wordt dan de hoeveelheid radio-actieve stoffen verstaan, die in een ernstige ongevalssituatie geloosd kan worden.
Daarbij dient tevens aangegeven te worden welke nucliden er geloosd worden, onder welke omstandigheden en wat de kans is dat een dergelijke lozing zal



Afb. 8 - De 'bronterm' voor Three Mile Island, Tsjernobyl en drie risico-analyses.

plaatsvinden. In 'engere' zin wordt vaak over de bronterm gesproken als de grootste lozing die bij het grootst denkbare ongeval kan plaatsvinden. Zo wordt de grootste lozing bij een extreem ernstig ongeval zoals dit geanalyseerd is in de WASH-1.400 studie wel de 'WASH-1.400 bronterm genoemd. In Nederland heeft de Commissie Reactorveiligheid een uitspraak gedaan over de bronterm van lichtwaterreactoren, de grootste lozing daarbij werd wel de 'KMM-bronterm' genoemd [ref. 7]. In een recente studie van het ECN [ref. 8] is een uitgebreid onderzoek verricht naar brontermen van lichtwaterreactoren. Het ging daarbij met name om de vraag met welke bronterm(en) voor nieuwere centrales van het lichtwatertype rekening gehouden moet worden en welke extra (veiligheids)eisen aan die centrales gesteld mogen worden om die bronterm zo laag mogelijk te houden. Uit deze studie blijkt duidelijk dat als bij het ontwerp van de bouw van een kerncentrale rekening gehouden wordt met de huidige kennis op het gebied van de reactorveiligheid, het mogelijk is om de bronterm drastisch te verlagen.
In afb. 8 is een overzicht gegeven van de nuclidensamenstelling van enkele van de genoemde brontermen. Het is daarbij van belang zich de oorzaak te realiseren van in het oog vallende verschillen. De grootste bronterm, die van het ongeval in Tsjernobyl, is afkomstig van een reactortype dat onvergelijkbaar is, zeker wat de veiligheid betreft, met de andere lichtwaterreactoren. De bronterm uit de WASH-1.400 studie en in iets mindere mate de KMM-bronterm uit de studie van de Commissie Reactorveiligheid gelden niet voor moderne nu nog te bouwen kerncentrales. Indien voor een evaluatie van de risico's voor de drinkwatervoorziening tengevolge van nieuw te bouwen kerncentrales, uitgegaan wordt van een bepaalde (maximale) bronterm dan komt die uit de studie van het ECN daarvoor dan ook het meest in aanmerking. De kans op deze lozing wordt geschat op één keer in de 10 à 100 miljoen jaar per reactor. Een grotere lozing wordt uitgesloten geacht.

Kernenergiecentrales en de drinkwatervoorziening

Het ongeval in Tsjernobyl heeft de noodzaak aangetoond beter voorbereid te zijn op ongevallen met radio-actieve besmetting dan tot nu toe het geval was. Bij de maatregelen die voorbereid en genomen kunnen worden om bij een besmetting de nadelige gevolgen voor de drinkwatervoorziening te voorkomen of te beperken, kan geconstateerd worden dat deze veelal een zo algemeen karakter hebben, dat ze onderdeel uit kunnen maken van vrijwel elk rampenplan voor de drinkwatervoorziening. Daarbij kan gedacht worden aan de mogelijkheden van extra opslag, vertraging, zuivering, sanering enzovoort.
Het zou daarom onverstandig zijn, maatregelen specifiek voor te bereiden en af te stemmen op een radio-actieve besmetting en niet of onvoldoende rekening te houden met andere risico's van nu in ons land plaatsvindende activiteiten. Risico's, die wellicht een grotere kans op ernstige gevolgen kunnen hebben dan ten gevolge van de in ons land gebouwde of nieuw te bouwen kernenergiecentrales. Dat wil echter niet zeggen dat bij het treffen van maatregelen een mogelijk radio-actieve besmetting uit het oog verloren mag worden.

Gezien de vele reactortypen in de ons omringende landen is het moeilijk om een bepaald ongevalscenario van een kernongeval als model voor de te nemen maatregelen te kiezen. Het is overigens in principe ook beter om waar mogelijk scenario-onafhankelijke maatregelen te definiëren. Een andere mogelijkheid is dat er op grond van eisen, die gesteld mogen worden aan de kwantiteit en de kwaliteit van de drinkwatervoorziening, randvoorwaarden worden gesteld aan de daarvoor van belang zijnde risico's. Dergelijke randvoorwaarden zullen dan algemeen geformuleerd dienen te worden en niet exclusief gesteld aan het gebruik van kernenergiecentrales in ons land. Verwacht mag echter worden dat door

moderne kernenergiecentrales aan elk redelijk criterium redelijk in verhouding met andere geaccepteerde of afgewezen risico's, zal kunnen worden voldaan.

Referentie

1. *Nuclear Engineering International.* World Nuclear Industry Handbook (1987).
2. Eendebak, B. Th., (1986). *Veiligheid van kernenergiecentrales.* Elektrotechniek 64, 8.
3. Gezondheidsraad, (1975). *Kerncentrales en Volksgezondheid.* Rijkswijk, 3 september 1975, aanvullend advies, 11 september 1978.
4. Loon, A. J. van (red.). *De kernsmeltingsongevallen bij Tsjernobyl en Harrisburg: Lessen voor de reactorveiligheid.*
5. USNRC (United States Nuclear Regulatory Commission), (1975). *Reactor safety study on assessment of accident risks in US commercial nuclear power plants.* Rapport NUREG 75/014 WASH-1.400.
6. NV Sep (Samenwerkende Elektriciteits Produktiebedrijven) (1975). *Risico-analyse van de splijtstofcyclus in Nederland.* Arnhem, juni 1975.
7. Commissie Reactorveiligheid, (1982). *Advies over de gewijzigde inzichten inzake de consequenties van ernstige reactorongevallen.*
8. ECN (Energieonderzoek Centrum Nederland) (1987). *Ernstige reactorongevallen opnieuw bezien.* ECN-PB-87-13, december 1987.

• • •

Flevolandse opent nieuw hoofdkantoor

De Commissaris der Koningin in Flevoland, de heer Lammers, heeft op woensdag 29 augustus het nieuwe hoofdkantoor van de Flevolandse Drinkwater Maatschappij in Lelystad officieel geopend. Het nieuwe kantoorgebouw aan de Grietenij 17-05 (hoek Middendreef) biedt tevens onderdak aan de rayonkantoren van de NV GAMOG Gasmaatschappij Gelderland en de NV PGEM Energiemaatschappij voor Gelderland en Flevoland.
Landelijk gezien is het bijzonder dat afzonderlijke regionale nutsbedrijven een gezamenlijke huisvesting hebben.
Voor Flevoland is dit echter een logische volgende stap in de reeds bestaande nauwe samenwerking tussen de nutsbedrijven.
Vlak na de oprichting van de FDM in 1986 werd met de voorbereidingen om te komen tot het nieuwe gebouw voor de gezamenlijke nutsbedrijven een begin gemaakt.
In februari 1989 ging de eerste paal de grond in. Het gebouw is ontworpen door Louis Reinalda, architect van het Bureau De Gruyter uit Lelystad. Als hoofdaannemers fungeerden Moes, Zwolle voor het bouwkundige deel en Unica, Zwolle voor het installatietechnische gedeelte.
Met de realisatie van het totale project, inclusief de inrichting was een investering gemoeid van 10 miljoen gulden.
Het totale bebouwde oppervlak bestaat uit bijna 3.000 vierkante meter in het hoogbouwgedeelte en ruim 1.700 vierkante meter in het laagbouwgedeelte.
In de hoogbouw zijn voornamelijk kantoren gevestigd, terwijl de laagbouw vooral de magazijnen en werkplaatsen herbergt. Bij het pand bevindt zich een bedrijfsterrein van 1.750 vierkante meter oppervlakte, dat wordt gebruikt voor de opslag van materialen.
Voor het nieuwe pand is een groot modern kunstwerk geplaatst van de hand van de beeldend kunstenaar Eugène Terwindt uit Velp.
De bordessen van het trappenhuis van het gebouw worden opgesierd door een fotoserie van de bekende fotograaf/kunstenaar Ger Dekkers.
Door zijn locatie aan de spoorlijn vlak voor het station Lelystad vormt het moderne kantoorgebouw een eerste blikvanger van de provinciehoofdstad.

Tentoonstelling over renovatie Scheveningse watertoren

Van 7 september tot en met 8 december 1990 organiseert de Haagse Werkgroep voor Monumenten van Bedrijf en Techniek in opdracht van de NV Duinwaterbedrijf Zuid-Holland een tentoonstelling over de renovatie van de Scheveningse watertoren in Museum Scheveningen, Neptunusstraat 92, Scheveningen.

De (voormalige) Duinwaterleiding van 's-Gravenhage plaatste op 27 november vorig jaar een nieuw reservoir in de toren.

'Toren van formaat' toont originele bouwtekeningen uit de periode 1872 - 1874 en fotomateriaal van vóór de renovatie van de toren. Daarnaast geeft de tentoonstelling aan de hand van foto's een overzicht van de renovatie met onder andere de spectaculaire plaatsing van het nieuwe waterreservoir en de kap.

Het Gemeentelijk Bureau Monumentenzorg geeft een boekje uit: VOM-reeks 1990-2 'De Watertoren aan de Pompstationsweg'. Dit kost f 10,–. Er is ook een bouwplaat van de watertoren verkrijgbaar voor f 3,50.

De tentoonstelling is te bezichtigen van dinsdag tot en met zaterdag van 10.00 tot 17.00 uur. Tot en met 30 september en tijdens de herfstvakantie is het museum ook op maandag geopend.