

Milieu-effecten van kerncentrales

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

1. Inleiding

De bij de kernsplijting gevormde splijtingsprodukten zijn radio-actief. Omdat de splijtstofomhulling onvermijdelijk kleine lekkages vertoont, zal een klein gedeelte van deze radio-actieve splijtingsprodukten in het primaire koelwater terecht komen. Radio-actieve stoffen worden ook gevormd door activering van corrosie-produkten van in het primaire systeem aanwezig materiaal. Deze activering (het



DR. IR. J. A. M. M. KOPS
NV KEMA
Arnhem

invangen van een neutron in de kern van een atoom) vindt plaats als deze corrosie-produkten met het primaire koelwater langs de kern worden gevoerd. Het primaire koelwater zorgt voor verspreiding van de radio-activiteit in het gehele primaire systeem. Dit heeft tot gevolg dat personeel betrokken bij onderhoud en reparaties aan een stralingsbelasting onderhevig is. Enige milieu-belasting vindt plaats doordat bij normaal bedrijf een gecontroleerde lozing van radio-activiteit in de atmosfeer en het oppervlaktewater dient te geschieden. In de atmosfeer worden de gasvormige splijtingsprodukten geloosd, die door afgassing uit het primaire systeem worden verwijderd. Deze atmosferische lozing, waarbij ook een geringe hoeveelheid radio-actieve aerosolen wordt geloosd, vindt plaats via een afgasbehandelings-systeem. Hierin wordt de lucht zoveel mogelijk gezuiverd. Met radio-actieve stoffen besmet afvalwater ontstaat onder meer door geringe lekkage van primair water, zuivering van besmette onderdelen en oppervlakken en het wassen van bedrijfskleding. Dit afvalwater wordt in reservoirs opgevangen en na een zo goed mogelijk zuivering via het koelwater geloosd.

Bij ongevalsituaties kan de koeling van de kern wegvallen danwel onvoldoende worden. Hierdoor kunnen grote hoeveelheden splijtingsprodukten uit de splijtstof vrijkomen. Dit kan leiden tot een ongecontroleerde lozing in de atmosfeer. De omvang van de lozing is sterk afhankelijk van het ongevalsverloop. Teneinde enig inzicht te verkrijgen in de gevolgen van bovengenoemde lozingen, wordt in het hiernavolgende aandacht besteed aan milieu-aspecten van kern-

Samenvatting

Bij normaal bedrijf van een kerncentrale vindt gecontroleerde lozing van geringe hoeveelheden radio-activiteit plaats in zowel de atmosfeer als het oppervlaktewater. Modelberekeningen tonen aan dat de resulterende milieubelasting verwaarloosbaar klein is, hetgeen bevestigd wordt door de resultaten van een uitgebreid net van milieumetingen. Bij een extreme ongevalssituatie kan een ongecontroleerde lozing van radio-activiteit in de atmosfeer plaatsvinden. Dit resulteert in een stralingsbelasting voor de bevolking en een besmetting van het milieu. De omvang hiervan is behalve van de hoeveelheid geloosde activiteit in sterke mate afhankelijk van de meteorologische condities. Mitigerende maatregelen kunnen de stralingsbelasting voor de bevolking beperken.

centrales bij normaal bedrijf en de gevolgen van een ongeval.

2. Normaal bedrijf

Zoals in de inleiding reeds gesteld, brengt het bedrijven van een kerncentrale met zich dat geringe hoeveelheden radio-actieve stoffen worden geloosd. Daarnaast vindt door de koelwaterlozing een thermische belasting van het oppervlaktewater plaats. Dit laatste is, alhoewel iets hoger, niet wezenlijk verschillend van de thermische belasting door met fossiele brandstoffen gestookte centrales. Derhalve zullen we ons beperken tot de effecten van de lozing van radio-actieve stoffen. Deze lozingen kunnen via diverse wegen leiden tot een stralingsbelasting voor de bevolking (directe bestraling vanuit de wolk en op de bodem gedeponeerde activiteit, inhalatie van activiteit, opname van activiteit via voedselketens). Uit modelberekeningen volgt, dat het effect hiervan in de omgeving te verwaarlozen is [1, 2, 3].

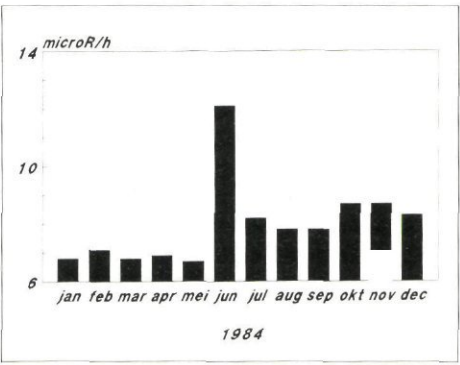
Teneinde toch een controle uit te kunnen voeren worden uitgebreide meetprogramma's opgezet, waarmee enkele jaren voor de ingebruikneming van de centrales wordt begonnen. In het hiernavolgende worden deze programma's zoals uitgevoerd rondom de centrales in Dodewaard en Borssele, beschreven. De gegeven resultaten hebben betrekking op de periode voor het ongeval in Tsjernobyl. Dit ongeval heeft kortstondig geleid tot een aanmerkelijke verhoging. Enige verhoging zal in de komende tijd nog resteren. Voor resultaten van metingen direct na Tsjernobyl wordt verwezen naar de CCRX-rapportage dienaangaande [4].

Teneinde een mogelijke verhoging van het stralingsniveau ten opzichte van het natuurlijke niveau te registreren, wordt in de omgeving van de centrales (Dodewaard en Borssele) op zo'n vijftientwintig plaatsen gemeten. De afstanden

van de meetplaatsen tot de centrale variëren van ongeveer honderd meter tot een tiental kilometers. Vergelijking van de verkregen meetresultaten voor de ingebruikname en vergelijkbare metingen op grote afstanden hebben nooit een verhoging van het stralingsniveau gegeven.

Wel blijkt uit metingen, dat het natuurlijke stralingsniveau, onder meer afhankelijk van de grondsoort, een variatie vertoont van ongeveer 20%. Daarnaast kan lokaal een aanmerkelijke verhoging van het stralingsniveau plaatsvinden door het gebruik in de weg- en waterbouw van materialen met een sterk verhoogde natuurlijke activiteit. Dit wordt geïllustreerd in afb. 1 waarin de resultaten over het jaar 1984 gegeven zijn van een meetpunt in het meetnet van Borssele. Nabij dit meetpunt werd in juni 1984 een nieuw fietspad aangelegd waarbij als onderlaag een slak, uit een erts-verwerkende industrie, gebruikt werd met een significante verhoogde natuurlijke activiteit. Dit resulteerde in juni, in een verdubbeling van het stralingsniveau (de slaklaag was toen nog onbedekt), daarna daalde het niveau (de slaklaag was toen bedekt met een asfaltlaag) doch bleef significant hoger dan het aanvankelijke niveau.

Afb. 1 - Resultaten van stralingsniveaumetingen in 1984 op een meetpunt vijf kilometer NO van de kerncentrale te Borssele. Nabij dit punt zijn in juni als onderlaag van een fietspad slakken met een significant verhoogde natuurlijke activiteit toegepast.



Meting van de luchtgedragen radio-activiteit gebeurt door op een aantal plaatsen buitenlucht door meetfilters te zuigen. Deze filters worden iedere maand verwisseld en gemeten op de gevangen radio-activiteit. In afb. 2 zijn de resultaten van deze metingen over een groot aantal jaren, alsmede de resultaten van metingen in De Bilt door RIVM/KNMI, grafisch weergegeven. Omdat de luchtgedragen radio-actieve stoffen kunnen worden afgezet op gras en dan via melk de mens kunnen bereiken, worden ook regelmatig gras- en melkmonsters onderzocht. De ervaring van jaren meten en vergelijking met vergelijkbare metingen elders is, dat de gemeten activiteitsverhogingen afkomstig zijn van kernbom-explosies. Het plaatsvinden van een dergelijke explosie in bijvoorbeeld China constateren we dan ook snel in onze meetresultaten.

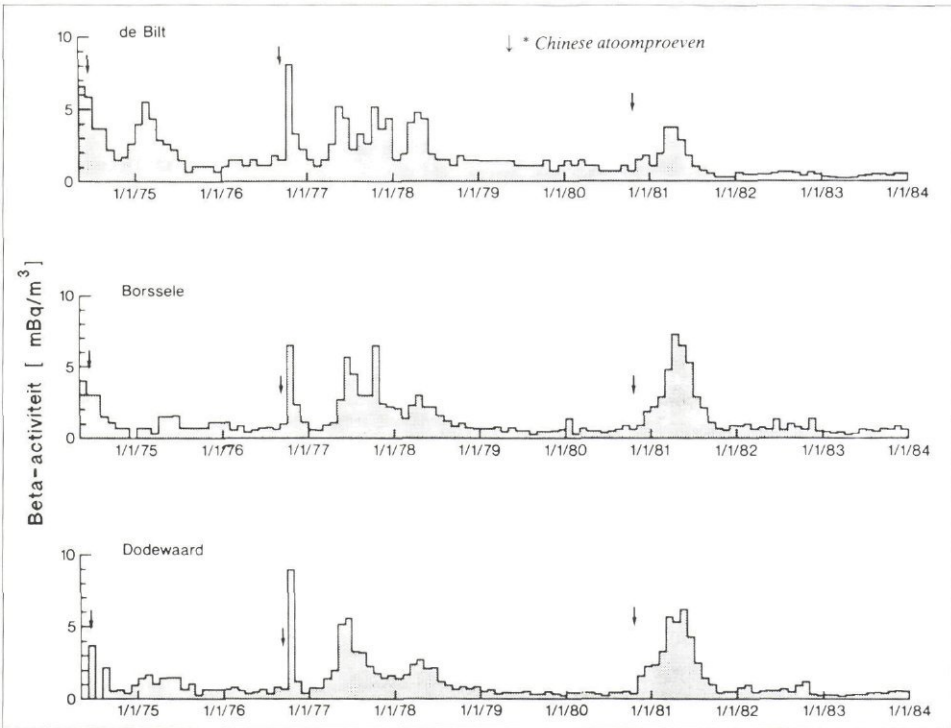
De controle van milieu-invloeden van via het koelwater geloosde radio-activiteit gebeurt door het regelmatig nemen van watermonsters en monsters van in het water levende organismen. Deze monsters worden op diverse plaatsen, zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts genomen (zie afb. 3 waarin de resultaten van de tritiummetingen in de Westerschelde gedurende 1985 gegeven zijn). Incidenteel is op korte afstand van de centrale een zeer geringe verhoging

geconstateerd. Deze verhoging, die dank zij de zeer gevoelige meetmethode kon worden aangetoond, was echter dusdanig gering, dat geen enkel nadelig effect voor het milieu het gevolg was. Wel is zowel bij Dodewaard als bij Borssele een beperkt gebiedje nabij de centrale aanwezig, waar een lichte contaminatie aantoonbaar is ten gevolge van lozingen van radioactiviteit via het koelwater. In Borssele is deze contaminatie veroorzaakt doordat bij de koelwater-overstort een waternevel wordt gevormd, die bij westenwind gedeeltelijk over een nabij gelegen gebiedje wordt verspreid. Bij Dodewaard stroomt het koelwater via een nauw kanaal door de uiterwaarden naar de Waal. Tijdens hoogwaterperioden overstroomt de uiterwaarden, waardoor het koelwater direct over de uiterwaarden stroomt. Hierdoor worden met het koelwater geloosde radio-actieve stoffen gedeeltelijk op de uiterwaarden gedeponneerd. (Overigens zijn ten gevolge van een identiek mechanisme de uiterwaarden van de Rijn, IJssel en Waal lichtelijk gecontamineerd ten gevolge van lozingen stroomopwaarts van de Duits-Nederlandse grens).

Op grond van uitgevoerde metingen en berekeningen kan worden gesteld, dat deze geringe contaminaties een uiterst geringe stralingsbelasting tot gevolg hebben, zowel voor individuen (maximaal

dosis-equivalent bij Dodewaard kleiner dan 0,1 mSv/a en bij Borssele kleiner dan 0,01 mSv/a) als de bevolking in zijn geheel (collectieve dosis voor Dodewaard en Borssele kleiner dan respectievelijk 10 mSv/a en 0,5 mSv/a). Ondanks deze zeer geringe consequenties zijn maatregelen genomen om de contaminatie te verminderen en worden één à twee maal per jaar controle-metingen uitgevoerd. Geconcludeerd kan worden, dat de hierboven genoemde metingen hebben aangetoond dat, uitgezonderd in een klein gebiedje bij zowel Borssele als Dodewaard, geen verhogingen van bestralings- en besmettingsniveau ten gevolge van de centrales meetbaar zijn. In twee kleine gebiedjes is een contaminatie ten gevolge van lozingen in het koelwater door de centrales aantoonbaar, terwijl verder nog een lichte contaminatie van de uiterwaarden van Rijn, Waal en IJssel aanwezig is (dit ten gevolge van lozingen in de Rijn stroomopwaarts van de Duits-Nederlandse grens). Het niveau van deze contaminaties is dermate gering dat de stralingsbelasting voor individuele leden van de bevolking en de bevolking als geheel te verwaarlozen is ten opzichte van de stralingsbelasting door andere, reeds bestaande beïnvloedingen, zoals de natuurlijke stralingsbelasting en neerslag van radio-actieve stoffen afkomstig van kernbom-explosies.

Afb. 2 - Resultaten van β -activiteitsmetingen in luchtstof, gemonsterd nabij de centrales in Dodewaard en Borssele (door NV KEMA) en in De Bilt (door RIVM/KNMI).

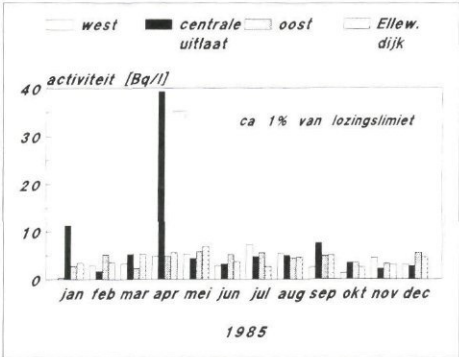


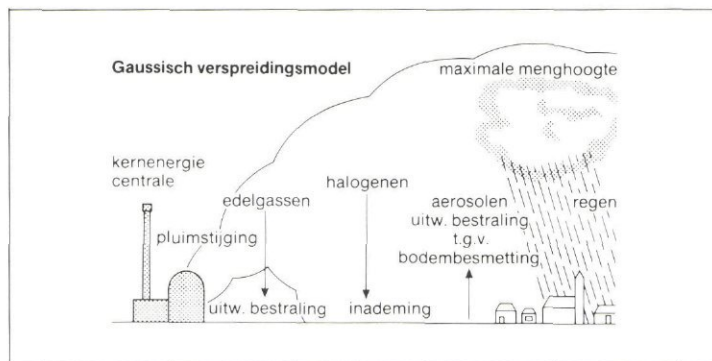
3. Ongevalssituaties

3.1 Gevolgen voor de volksgezondheid

Een ongeval met een kerncentrale kan leiden tot een ongecontroleerde lozing van de activiteit in de atmosfeer. De geloosde activiteit verspreidt zich in het milieu en resulteert in een stralingsbelasting voor de bevolking (in afb. 4 is dit schematisch weergegeven). De omvang van de stralingsbelasting voor de bevolking is afhankelijk van de hoeveelheid geloosde activiteit, de verspreiding en de mogelijk

Afb. 3 - Resultaten tritiummetingen in de Westerschelde in 1985.





Afb. 4 - Schematisch overzicht van de verspreiding en de berekening van de stralingsdoses na een reactor-ongeval.

te nemen maatregelen. De hoeveelheid activiteit die wordt geloosd, is sterk afhankelijk van het ongevalsverloop (ongevalsscenario). Derhalve kan een scala van ongevalsverlopen worden opgesteld met bijbehorende kansen van optreden en geloosde hoeveelheden activiteit. Dit geheel staat te boek als een bronterm.

De na lozing optredende verspreiding is sterk afhankelijk van de meteorologische condities. Een zeer stabiel weertype kan leiden tot een zeer geringe verspreiding, waardoor aan de pluim blootgestelde personen een zodanig hoge dosis kunnen ontvangen, dat acute slachtoffers vallen. Bij meer verspreiding zal het aantal personen dat dergelijke hoge doses ontvangt, geringer zijn en derhalve het aantal acute slachtoffers ook. Doorrekening van alle mogelijke combinaties van ongevalsverlopen en meteorologische condities met bijbehorende kansen resulteert in een risicocurve. Een dergelijke risicocurve (afb. 5) geeft de kans, dat een ongeval plaatsvindt, waarbij meer dan een gegeven aantal slachtoffers valt. Dergelijke risicoanalyses zijn in het verleden voor de Nederlandse situatie gemaakt door de SEP [1] en de Gezondheidsraad [5]. Een overzicht van de hierbij gebruikte uitgangspunten en bereikte resultaten is gegeven door Eendebak [6]. De risicocurve is voor een zelfde bronterm uiteraard afhankelijk van de vestigingsplaats (bevolkingsdichtheid, meteorologische parameters).

In afb. 5 is de in de SEP-studie gevonden curve voor een 1.000 MWe PWR in Borssele gegeven. Uiteraard zijn er naast acute slachtoffers nog andere risico's zoals de inductie van tumoren en contaminatie van grond.

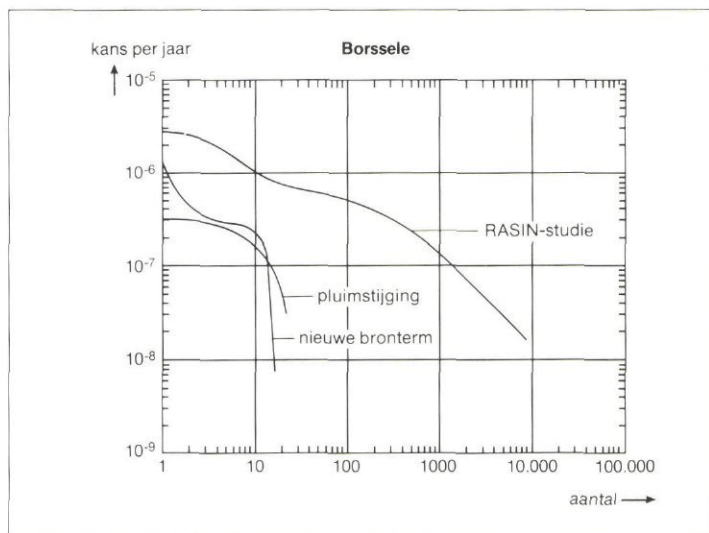
Eendebak [6] heeft aangetoond, dat de oorspronkelijke risicocurven sterke overschattingen inhouden. Aanmerkelijke reducties worden bereikt

door toepassing van nieuwe inzichten op de volgende gebieden:

- Bronterm: nieuwe inzichten in fysische en chemische processen welke gedurende het ongevalsverloop plaatsvinden geven aan, dat in veel gevallen de geloosde activiteit aanmerkelijk minder zal zijn dan voorheen aangenomen, vooral bij lozingen die gedurende langere tijd plaatsvinden. Dit geldt in nog sterkere mate voor moderne lichtwaterreactoren, aangezien hierin op basis van de oorspronkelijke studies extra veiligheidsvoorzieningen zijn getroffen. De kans op een ongeval resulterend in een zeer grote lozing à la Tsjernobyl (enkele tientallen procenten van de kerninhoud aan I en Cs) wordt voor moderne lichtwaterreactoren dan ook zeer klein geacht ($<10^{-7}$ per jaar). In een recente ECN-studie [7] wordt zelfs geconcludeerd dat nieuwe centrales zodanig gebouwd kunnen worden dat dergelijke grote ongevallen uitgesloten kunnen worden (kans $<10^{-9}$ per jaar).

- De lozingsduur: bij de verspreidingsberekeningen werd aangenomen, dat de meteorologische condities (windrichting, windsnelheid enzovoort) gedurende de lozing constant blijven. Voor een kortdurende lozing moge dit het geval zijn, voor een langer durende lozing is dit echter zeer onwaarschijnlijk. Verandering van windrichting leidt uiteraard tot grotere verspreiding van activiteit en derhalve minder acute slachtoffers.

- Pluimstijging: in de verspreidingsmodellen is steeds aangenomen, dat de lozingspluim niet van de grond opstijgt. Gebeurt dit wel dan resulteert dit in een geweldige reductie van de stralingsbelasting en derhalve het aantal acute slachtoffers. Experimenten hebben aangetoond, dat indien voldoende thermisch



Afb. 5 - Kans per jaar voor het overschrijden van een aantal acute slachtoffers ten gevolge van een extreem ongeval met een lichtwaterreactor.

vermogen (10 à 100 MW) in de pluim aanwezig is, pluimstijging inderdaad waarschijnlijk is. Bij een zeer ernstig ongeval, waarbij in korte tijd een hoge lozing optreedt, zal een dergelijk thermisch vermogen ruimschoots in de pluim aanwezig zijn.

Samengevat laten bovengenoemde nieuwere inzichten zich vertalen als:

1. bij een reactorongeval, waarbij in korte tijd een grote hoeveelheid activiteit wordt geloosd, bevindt zich zoveel thermische energie in de pluim dat pluimstijging optreedt;
2. ongevallen waarbij de lozing gedurende langere tijd plaatsvindt, gaan gepaard met lagere brontermen en een grotere verspreiding.

In afb. 5 zijn de invloeden van bovengenoemde mechanismen op de risicocurve gegeven. Hieruit volgt, dat het aantal acute slachtoffers voor de vestigingsplaats Borssele hooguit ongeveer 20 zal zijn. Indien uitgegaan wordt van de recente ECN-bronterm [7] zijn de resulterende gevolgen nog aanmerkelijk minder. Naast acute slachtoffers zullen er uiteraard ook late effecten (tumoren en leukemie) worden geïnduceerd. Met behulp van de verspreidingsmodellen en de daaraan gekoppelde dosisberekening laat zich dit aantal, met in de in [8] gegeven risicogedaten, berekenen. Hieruit volgt voor een betrokken bevolking van vijf miljoen mensen, een aantal late slachtoffers van enkele tientallen per jaar gedurende een risicoperiode van circa vijftig jaar. Dit aantal, hoewel absoluut erg groot, valt in het niet bij de normaal voorkomende sterfte door tumoren (in desbetreffende bevolking van vijf miljoen in totaal circa een miljoen, hetgeen overeenkomt met

circa tienduizend per jaar). Allerlei andere milieu-invloeden en welvaartsgebruiken (roken, barbecue en dergelijke) hebben een aanmerkelijk groter aantal tumoren tot gevolg. Overigens geldt ook hier dat uitgaand van de ECN-bronterm de gevolgen aanmerkelijk geringer zijn.

Het is uiteraard noodzakelijk na te gaan of in het licht van het ongeval in Tsjernobyl het veiligheidsdenken ten aanzien van de moderne lichtwaterreactoren moet worden herzien. Hierbij dienen twee aspecten bezien te worden, namelijk de bronterm en de verspreiding van geloosde activiteit:

- Bronterm: zoals reeds vermeld is steeds aangenomen dat voor een moderne lichtwaterreactor de kans op een extreem ongeval resulterend in een zeer grote lozing (10% of meer van de kerninhoud van I en Cs) zeer klein is ($<10^{-7}$ jaar⁻¹). Desalniettemin heeft zich in Tsjernobyl een dergelijk groot ongeval voorgedaan. De vraag rijst dan of hierdoor de verrichte brontermstudies niet volledig ondergraven worden. Beseft moet echter worden dat het in Tsjernobyl een reactortype betreft, dat volledig afwijkt van de moderne lichtwaterreactoren. Een ongevalsverloop als in Tsjernobyl is in een lichtwater-reactor zelfs fysisch onmogelijk. Daarnaast ontbraken daar diverse in het westen gebruikelijke veiligheidsvoorzieningen [9, 10]. De recente ECN-studie met betrekking tot de bronterm [7] ondergraaft dan ook geenszins de studies van voor Tsjernobyl. Zelfs wordt in deze studie geconcludeerd dat voor nieuw te bouwen centrales door het aanbrengen van enkele extra veiligheidsvoorzieningen, een ongeval met een omvang als Tsjernobyl uitgesloten kan worden (kans $<10^{-9}$ per jaar).

- Verspreiding: bij het ongeval in Tsjernobyl heeft zich zeer duidelijk een grote pluimstijging voorgedaan (tot circa vijftienhonderd meter). Het gevolg is dan ook daadwerkelijk geweest, dat ondanks de zeer hoge bronterm er geen acute slachtoffers onder de omwonenden gevallen zijn (volgens de ontvangen berichten zijn circa dertig acute slachtoffers gevallen, echter allen leden van het personeel betrokken bij de ongevalsbestrijding).

Kortom, het is veel te eenvoudig te concluderen dat ten gevolge van het ongeval in Tsjernobyl het veiligheidsdenken ten aanzien van moderne lichtwaterreactoren drastisch dient te worden herzien. Er kan worden gesteld, dat in zekere zin zelfs bevestigd is, dat het aantal acute slachtoffers bij een zeer ernstig ongeval beperkt zal zijn.

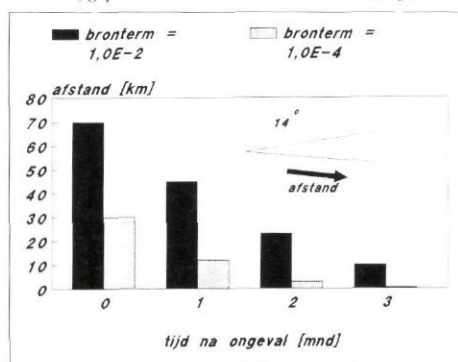
Naast gevolgen voor de volksgezondheid heeft een reactor-ongeval ook consequenties voor andere activiteiten, zoals de landbouw en de drinkwatervoorziening. Op deze laatste twee aspecten wordt hieronder nader ingegaan.

3.2 Gevolgen voor veeteelt en landbouw

Na lozing van radio-activiteit in de atmosfeer bij een ongeval, vindt depositie op de bodem plaats. Dit resulteert in een besmetting van de daarop groeiende gewassen. Het depositiepatroon is sterk afhankelijk van de meteorologische omstandigheden. Zeer turbulent weer resulteert in een grote verspreiding en derhalve een relatief geringe bodembesmetting, doch weliswaar over een groot oppervlak. Dit geldt in nog sterkere mate indien een significante pluimstijging heeft plaatsgevonden: Bij zeer stabiele weersomstandigheden blijft de wolk compact met als resultaat een hogere besmetting doch over een kleiner oppervlak. Daarbij komt nog dat regen een zeer hoge depositie tot gevolg heeft (uitregenen) en derhalve kan leiden tot hoge lokale besmettingen. Derhalve is het niet goed mogelijk de gevolgen voor de landbouw en veeteelt in volledig eenduidige cijfers te geven.

Ter indicatie van de mogelijke gevolgen is in afb. 6 voor ongunstige weersomstandigheden het gebied aangegeven (een taartpunt) waarbinnen geproduceerde melk niet geschikt is voor directe consumptie vanwege een te hoge I-activiteit. Dat is gedaan voor drie tijdstippen na de lozing en twee brontermen, namelijk 1% van de kerninhoud van I en Cs (hoogste bronterm in recente ECN-studie, kans $<10^{-7}$ per jaar) en 0,01%. Uitgegaan is van een interventie-niveau van 250 mSv voor de schildklier (meest belaste orgaan) van kinderen (meest belaste groep) als aanbevolen door de Gezondheidsraad [11]. Verder is ervan uitgegaan dat alleen melk geproduceerd in het aangegeven gebied geconsumeerd zou worden (consumptie

Afb. 6 - Gebied (taartpuntvorm met hoek van circa 14°) waarbinnen ingeval ongunstige meteorologische condities, geproduceerde melk de norm overschrijdt.



0,5 l/dag). Ongeveer een vergelijkbaar beeld wordt verkregen voor de gevolgen voor bladgroenten en dergelijke. Met dien verstande echter dat bij bladgroente de Cs-activiteit het belangrijkste is. Omdat Cs niet tot een exclusief sterke belasting van één orgaan leidt, moet uitgegaan worden van een limiet voor het gehele lichaam (5 mSv/jaar). Het getroffen gebied neemt snel in omvang af. Ingeval I komt dit door de korte halveringstijd (acht dagen voor I-131, het belangrijkste I-isotoop). Ingeval Cs-besmetting komt dit doordat we aanvankelijk te maken hebben met depositie op de gewassen zelf en later met opname van Cs via de wortels, hetgeen slechts in zeer geringe mate geschiedt.

Cs migreert zeer langzaam in de bodem. Omdat daarnaast de halveringstijd van het belangrijke Cs-isotoop (Cs-137) lang is (dertig jaar) zal deze activiteit lang in de toplaag aanwezig blijven, indien geen maatregelen genomen worden. Een afdoende saneringsmaatregel van de bodem kan zijn het afgraven van de toplaag. Ook is het mogelijk de activiteit-houdende toplaag door diepploegen naar enige diepte te verplaatsen. Gezien de slechte opname van Cs via de wortels zal dit een afdoende maatregel zijn.

3.3 Gevolgen voor de drinkwatervoorziening

Geloosde radio-actieve stoffen deponeren voor een deel in het oppervlaktewater. Dit zou consequenties voor de drinkwatervoorziening tot gevolg kunnen hebben. Door het RIWA is in een tweetal studies aandacht aan dit aspect besteed [2, 3]. De conclusie van deze studies was dat er bij normaal bedrijf geen onacceptabele gevolgen voor de drinkwatervoorziening zijn. Voor de analyse van de gevolgen van een ongeval werd uitgegaan van een ongeval met een 1.000 MWe-centrale waarbij 10% van de Cs- en I-kerninhoud geloosd wordt. Verder werd aangenomen dat tengevolge van regen een groot deel van de geloosde activiteit in een drinkwaterbekken gedeponerd wordt. Bij de drinkwaterbereiding werd geen (het 1985-rapport) of slechts een geringe zuivering (50% in het 1987-rapport, zijnde de verwijdering van de veronderstelde aan slib gebonden fractie) aangenomen. Tot slot werd de beschikbaarheid van het bekken getoetst aan een norm voor de activiteitsconcentratie, welke bij de consumptie van twee liter per dag resulteert in een stralingsbelasting van 0,5 mSv per jaar (zijnde 10% van de limiet voor individuele leden van de bevolking).

De RIWA-resultaten hangen sterk af van het bekkenoppervlak en de afstand tot

de locatie van de reactor. De berekende tijdsduur dat de concentratie boven de norm uitkomt varieert van minder dan een week tot enkele tientallen weken, met als absolute uitschieter circa honderdvijftig weken voor het IJsselmeer bij een ongeval met een reactor bij de Noordoostpolderdijk. Op grond van deze berekeningen werd in het RIWA 1985-rapport de vestigingsplaatsen Moerdijk en Noordoostpolderdijk afgewezen en spraken men zich uit voor 'een locatie zoveel mogelijk stroomopwaarts en buiten stilstaand water doch dicht bij de kust'. In het 1987-rapport werd dit nog verder aangescherpt tot het volledig afwijzen van de plaatsing van kerncentrales in Nederland, tenzij het optreden van kernsmeltingsongevallen volledig zou kunnen worden uitgesloten.

Bij de RIWA-analyses dienen de volgende kanttekeningen geplaatst te worden:

- a. de berekeningen zijn sterk vereenvoudigd;
- b. evasieve maatregelen worden in het geheel niet beschouwd;
- c. het 'kansaspect' blijft volledig buiten beschouwing.

Onderstaand wordt hierop nader ingegaan.

ad a

De aangenomen fractie van de Cs-activiteit welke niet gebonden wordt aan slib en dergelijke is aan de hoge kant. In de literatuur worden hiervoor waarden tot slechts 3% gegeven [12], leidende tot een veel hogere zuivering bij de bereiding. Metingen na Tsjernobyl indiceren dat ook voor het slibrijke IJsselmeer de ongebonden fractie laag zal zijn (reeds na enkele weken kon geen ongebonden Cs-activiteit meer aangetoond worden). Deze sterke adsorptie van Cs zal naast een grotere zuivering bij de bereiding aanvankelijk resulteren in een snellere zuivering van het water ten gevolge van sedimentatie. Daarentegen kan op termijn de opgeloste Cs-activiteit hoger zijn ten gevolge van nalevering uit het slib. Derhalve is er alle reden te komen tot een meer realistische analyse, gebruikmakend van de na Tsjernobyl verkregen meetresultaten.

ad b

In de RIWA-studies worden geen evasieve maatregelen, zoals extra zuivering, voorzien noch overwogen. Een reductie van de activiteitsconcentratie door middel van extra zuivering met zeker een factor honderd is realiseerbaar [13], hetgeen bevestigd wordt door de reeds genoemde 'natuurlijke' zuivering. Een en ander houdt een tegenstrijdigheid in, namelijk de stelling dat kerncentrales

waar dan ook in Nederland een onacceptabel risico vormen voor de drinkwaterbereiding, impliceert dat dit ook geldt voor de centrales direct langs onze grenzen. Omdat deze centrales nu eenmaal een gegeven zijn, zouden evasieve maatregelen *moeten* worden beschouwd. Zo niet, dan is het risico blijkbaar minder onacceptabel dan gesteld.

ad c

Een geïsoleerde beschouwing van een industriële activiteit aan de hand van de maximaal denkbare gevolgen, levert geen reële basis voor besluitvorming. Naast de gevolgen dient de kans hierop beschouwd te worden en dit dient dan in perspectief geplaatst te worden door vergelijking met andere risico's. Dit geldt ook voor de combinatie kernenergie/drinkwatervoorziening. Het exclusieve IJsselmeerresultaat in de RIWA-studies geldt voor een zeer ernstig ongeval bij de Noordoostpolderdijk, dit in combinatie met oostenwind en regen. De kans op het bestaande ongeval wordt voor moderne centrales $<10^{-7}$ per jaar geacht, terwijl volgens de recente ECN-studie, bij nieuwe centrales een dergelijk ongeval zelfs uitgesloten kan worden. Schatten we de kans van voorkomen van de unieke weersomstandigheid oostenwind en regen ruwweg op 0,01, dan is de totale kans op het RIWA-scenario $<10^{-9}$ per jaar. Nu is echter alleen al de kans, dat het IJsselmeer voor lange tijd onbruikbaar is als drinkwaterbekken, ten gevolge van het doorbreken van de afsluitdijk al circa 10^{-4} per jaar. Geconcludeerd kan worden dat een ernstig reactor-ongeval ongetwijfeld significante implicaties voor de drinkwatervoorziening zal hebben. Een realistische afschatting hiervan, gebaseerd op praktijkgegevens ontbreekt nog. Door middel van evasieve maatregelen zoals extra zuivering, moeten de gevolgen beperkt gehouden kunnen worden. Nog onvoldoende aandacht is hieraan besteed. Ook moet opgemerkt worden dat het risico zeker niet groter of zelfs veel kleiner is dan het risico van andere gebeurtenissen (bijvoorbeeld doorbraak afsluitdijk).

4. Conclusie

Zowel uit modelberekeningen als jarenlange praktijk met milieumetingen volgt dat bij normaal bedrijf kernenergie een milieuvriendelijke manier van elektriciteitsopwekking is. Daarentegen houdt kernenergie een geringe kans op een ongeval in met als gevolg de lozing van significante hoeveelheden radio-actieve stoffen. Risico-analyses tonen dat zelfs bij de meest ernstig denkbare ongevallen, de

directe gevolgen voor de volksgezondheid relatief gering zijn. Daarnaast kunnen echter ten gevolge van de resulterende milieubesmetting, belangrijke gevolgen voor landbouw en veeteelt, alsmede de drinkwatervoorziening optreden. Technische maatregelen (diepploegen, extra drinkwaterzuivering) zijn mogelijk om deze gevolgen te beperken. Meer aandacht voor de toepasbaarheid van deze technische maatregelen is nodig. Geconcludeerd moet worden dat een ernstig reactor-ongeval, grote maatschappelijke consequenties zal hebben. Beoordeling van de kernenergie-optie aan de hand van een geïsoleerde analyse van de maximaal denkbare gevolgen is echter niet correct. De afwijzing van kernenergie impliceert namelijk de keuze van meer inzet van andere energiedragers met de daaraan verbonden milieuproblematiek. Kortom, de keuze is niet wel of geen kernenergie, maar of kernenergie, milieuvriendelijk maar met een zeer kleine kans op een ernstig ongeluk, of meer inzet van andere brandstoffen met als zeker resultaat een vergroting van diverse milieuproblemen met deels nog onoverzienbare gevolgen (verzuring, CO₂-problematiek).

Referenties

1. NV SEP (Samenwerkende Elektriciteits Productiebedrijven), (1975). *Risico-analyse van de splijtstofcyclus in Nederland*. Arnhem, juni 1975.
2. RIWA (Samenwerkende Rijn- en Maas-waterleidingbedrijven), (1985). *Vestigingsplaatsen van kerncentrales en de openbare drink- en industrievoorziening*. Amsterdam, december 1985.
3. RIWA, (1987). *Vestigingsplaatsen van kerncentrales en de openbare watervoorziening*. Amsterdam, juni 1987.
4. CCRX, (1986). *De radio-actieve besmetting in Nederland ten gevolge van het kernreactor-ongeval in Tsjernobyl*. Leidschendam, oktober 1986.
5. Gezondheidsraad, (1975). *Kerncentrales en volksgezondheid*. VAR-serie nr. 40.
6. Eendebak, B. Th., (1981). *Een nucleaire ramp in Nederland*. Energiespectrum 5, nr. 10, p. 257-265.
7. ECN, (1987). *Ernstige reactor-ongevallen opnieuw bezien: de Bronterm*, ECN PB-87-13. Petten, december 1987.
8. ICRP publikatie 26, (1977). *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Annals of the ICRP, 1, nr. 3.
9. Loon, A. J. van, (red.), (1987). *De kernsmeltingsongevallen bij Tsjernobyl en Harrisburg: Lessen voor de reactorveiligheid*. NV Kema, Arnhem.
10. Loon, A. J. van, (red.), (1987). *Het ongeval bij Tsjernobyl. Oorzaken, Gevolgen en Maatregelen*. KIVI Kerntechniek, Arnhem.
11. Gezondheidsraad, (1986). *Normen voor interventie bij reactor-ongevallen*. Gezondheidsraad, Den Haag, september 1986.
12. Hettling, H. K., (1987). *Verspreiding van Cesium-134 en Cesium-137 in het zoet aquatische milieu*. Rijkswaterstaat dienst binnenwateren/RIZA, Lelystad.
13. Lettinga, G., (1972). *Radioactivity and water supplies*, Eur. 4866e. EEG Commissie, Luxemburg.

