Kernveiligheid in perspektief

J.K. Basson

KERNKOR*, Privaatsak X256, Pretoria

UITTREKSEL

Die komende inbedryfstelling van Suid-Afrika se eerste kernkragstasie, Koeberg, genoodsaak 'n indringende analise van kernveiligheid onder plaaslike omstandighede. Oor die wêreld heen is daar meer oor stralingseffekte as oor enige ander gesondheidsgevaar bekend, en internasionale norme word alreeds sedert 1928 aanvaar. Die wydverspreide aanwending van röntgenstrale en radio-isotope, die ontginning en verwerking van uraan, besoeke van kernaangedrewe skepe en, veral, die kernreaktorbedryf te Pelindaba het stralingsbeskerming reeds stewig in Suid-Afrika gevestig. Gevolglik kon die voorafgaande ondersoeke van Koeberg deeglik afgehandel word met vertroue in die veilige inbedryfstelling daarvan.

ABSTRACT

Nuclear safety in perspective

The impending operation of South Africa's first nuclear power station, Koeberg, necessitates a thorough analysis of nuclear safety under local conditions. More is known, worldwide, about radiation effects than about any other health hazard, and international norms have already been accepted since 1928. The widespread use of X-rays and radio-isotopes, the extraction and processing of uranium, visits by nuclear-powered ships and, especially, the nuclear-reactor operation in South Africa. Consequently, the pre-operational investigations of Koeberg could be completed thoroughly, with full confidence in its safe commissioning.

INLEIDING

Dit is welbekend dat die kragte wat die protone en neutrone binne die kern van die atoom bind, miljoene keer sterker is as die elektriese binding van die elektrone in die buitenste bane. Gevolglik is die energieë wat met radioaktiewe straling uit die kern (alfa, beta, gamma) of met kernklowing (deur neutrone) gepaard gaan, ook soveel groter as die opbrengs van chemiese reaksies.

Radioaktiwiteit is, soos röntgenstrale, reeds aan die einde van die vorige eeu ontdek en spoedig vir mediese aanwending (diagnose en terapie) gevestig, met die toenemende gebruik daarvan op nie-mediese gebied as stralingsbron of spoorder. Daar is ook beweer dat die wye beskikbaarstelling van radio-isotope sedert die Tweede Wêreldoorlog, beide wat aktiwiteit en verskeidenheid betref, die vernaamste bydrae van die kernwetenskap tot die mensdom is.

Die geweldige energie wat in die atoomkern beskikbaar is, is ook gedurende die oorlog ontsluit – ongelukkig in die eerste plek in die vorm van die afgryslieke kernbomme op Hirosjima en Nagasaki! Die beheerde aanwending van kernklowing in kragreaktore om elektrisiteit te produseer het egter minder dramatiese ontwikkel – in so 'n mate dat daar teen die einde van

1981 altesaam 272 eenhede in 23 lande in bedryf was (tabel 1), wat ongeveer 8% van die wêreld se totale elektrisiteit gelewer het. Frankryk, wat ook Suid-Afrika se eerste kernkragstasie bou, het die hoogste persentasie kernkrag gebruik, nl. 38% deur 30 reaktore gelewer. Alhoewel kernreaktore slegs in groot eenhede vir die deurlopende ontwikkeling van elektrisiteit geskik is, is dit duidelik dat fossielbrandstowwe, veral olie, al hoe meer daardeur vervang sal word.

Die energieke kernstraling wat met die bedryf van 'n klowingsreaktor en sy hoogs radioaktiewe splytingsprodukte gepaard gaan, sowel as die wye aanwending van radio-isotope, hou nou 'n potensieel ernstige gevaar in vir die mens en sy omgewing. Dit is egter belangrik om te besef dat sodanige straling nog altyd in die natuur teenwoordig was, te wete kosmiese strale en natuurlike radioaktiwiteit (in die aardbodem sowel as in die menslike liggaam).¹

Die hoogs energieke straling kan kwalitatief en kwantitatief baie fyn waargeneem word. Verder word ioniserende straling reeds sedert die ontdekking daarvan aan die einde van die vorige eeu gebruik om biologiese veranderinge onder goed gekontroleerde mediese toestande, d.w.s. in die vorm van radio-terapie, te veroorsaak. Weens hierdie twee feite asook die openbare bekommernis oor kerngevaar sedert Hirosjima en Nagasaki, is soveel aandag aan stralingsbeskerming gewy dat daar tans meer oor stralingsgevaar bekend is as oor enige gevaarhoudende stof.

*Die voormalige Raad op Atoomkrag, RAK, is op 1 Julie 1982 omgeskep in die Kernontwikkelingskorporasie van S.A. (Edms.) Bpk., KERNKOR, wat saam met die Uraanverrykingskorporasie van S.A. (Edms.) Bpk., UKOR, filiale is van die nuwe Atoom-energiekorporasie van S.A. Bpk., AEK.

TABEL 1

Kernkragreaktore in bedryf oor die wêreld einde 1981
(IAEA-bulletin, Maart 1982)

Land	Getal eenhede	MW(e) totaal
Argentinië	1	335
België	3	1 664
Bulgarye	3	1 224
Duitsland, Demokratiese Republiek van	5	1 694
Duitsland, Federale Republiek van	14	8 606
Finland	4	2 160
Frankryk	30	21 595
Indië	4	809
Italië	4	1 417
Japan	24	14 994
Joego-Slawië	1	632
Kanada	11	5 494
Korea, Republiek van	1	564
Nederland	2	501
Pakistan	1	125
Sjina, Republiek van (Taiwan)	3	2 159
Spanje	4	1 973
Swede	9	6 415
Switserland	4	1 940
Tsjeggo-Slowakye	2	800
U.S.S.R.	35	14 036
Verenigde Koninkryk	32	7 627
V.S.A.	75	57 008
TOTAAL	272	153 772

KERNVEILIGHEID

Radioaktiwiteit is die eienskap van onstabiele atoomkerne om na gelang van die uitstraling van karakteristieke ioniserende stralings te verval. Sodanige radioaktiewe verval vind met 'n kenmerkende halveertyd plaas en kan nie deur hitte, chemiese reaksies, ens. beïnvloed word nie. Die straling is gewoonlik energiek en deurdringend en kan dus biologiese skade veroorsaak, veral indien die radionuklied inwendig deur die betrokke organisme opgeneem word. Sodanige metabolisme word egter nie deur die aard van die radioaktiwiteit beïnvloed nie, maar is slegs afhanklik van die normale biochemiese eienskappe van die element waarvan die nuklied 'n radio-isotoop is.

Stralingsuitwerking

Die gevolg op die menslike liggaam word deur skade aan die individuele selle veroorsaak. Die basiese verskil tussen kernstralings en die meer algemene stralings, soos hitte en lig, is dat die eersgenoemde voldoende energie het om ionisasie te veroorsaak. In water, wat die hoofbestanddeel van selle is, kan ionisasie tot molekulêre veranderinge en tot die vorming van skadelike chemiese stowwe lei. Sodanige biochemiese veranderinge kan die individuele sel afteek deur:

(i) Vroeë dood van die sel.

(ii) Voorkoming van selverdeling.

(Die bostaande effekte is slegs van belang indien daar genoeg selle betrokke is om 'n akute letsel te veroorsaak.²⁾

(iii) Permanente verandering wat by daaropvolgende selverdelings oorgedra word.

Blootstelling aan ioniserende straling kan dus skade veroorsaak wat eers later in die blootgestelde persoon of in sy nageslag na vore tree, te wete somatiese en genetiese gevolge. Laat somatiese skade sluit in leukemie en ander kwaadaardige siektes as gevolg van onbeheerde groei, verlaagde vrugbaarheid en katarakte. Genetiese effekte kan in die nageslag van bestraalde persone tevoorskyn kom, maar soms eers na etlike geslagte. Geen nuwe siektetoestande word veroorsaak nie: sowat een kwart van die mensdom kry die een of ander vorm van kanker, en 6% van alle lewend gebore kinders het die een of ander aangebore afwyking.³ Die doelwitte van stralingsbeskerming is dus om somatiese letsels te voorkom of te verminder, en om die verswakking van die bevolking se genetiese samestelling tot 'n minimum te beperk.

Stralingsbeskerming

Alhoewel die mensdom nog altyd aan 'n agtergrond van natuurlike straling blootgestel was, het die aanwending van röntgenstraling en radium 'n besef gebring van die nadelige uitwerking wat ioniserende straling op 'n biologiese sisteem kan hê. Dit het gelei tot die stigting van die Internasionale Kommissie vir Radiologiese Beskerming (ICRP) in 1928 deur die Internasionale Kongres oor Radiologie. Die ICRP, wat dwarsoor die hele wêreld as gesaghebbende liggaam op die gebied van stralingsbeskerming aanvaar word, hersien steeds alle beskikbare inligting oor die uitwerking van ioniserende straling op die menslike liggaam en lewer aanbevelings oor toelaatbare blootstellingsnorme. Hierdie aanbevelings word dan deur die betrokke owerhede regulatories vertolk, ook met advies van die Internasionale Atoomenergie-agentskap.

Die dosisperke maak nie slegs vir medies waarneembare skade oor die kort termyn voorsiening nie, maar is eintlik toegespits op moontlike stogastiese effekte oor die lang termyn in 'n bevolking, bv. 'n verhoging in die voorkoms van kanker of genetiese afwykings. Gevolglik kan oorblootstelling nie normaalweg deur 'n kliniese ondersoek bepaal word nie, maar vereis dit fisiese dosismeting en, gevolglik, gesondheidsfisika.⁴

Verder is hierdie dosisperke, in teenstelling met die drumpelwaardes vir akute effekte van konvensionele gifstowwe, nie op die aanname van 'n drumpelwaarde vir stralingskade gegrond nie—alhoewel die afwesigheid van sodanige drumpel glad nie bewys is nie.⁵ Die filosofie van voordeel teenoor risiko is dus ingevoer, met die dosisperke verteenwoordigend van die maksimum aanvaarbare risiko in vergelyking met die normale risiko's van die lewe, maar met die oorheersende aanbeveling dat die werklike stralings-

blootstelling so laag as doenlik moet wees.

Hierdie dosisperke geld vir stralingswerkers, d.w.s. individue wat beroepsgewyse blootgestel word, maar laer blootstellingsnorme word vir die algemene publiek aanbeveel. Gevolglik moet verantwoordelike instansies die stralingseffekte op die omgewing as gevolg van hulle werksaamhede evalueer en monitor.

Alhoewel die dosisperke vir die verskillende organe die grondliggende ICRP-aanbevelings verteenwoordig, kan afgeleide perke ook bepaal word, soos die maksimum toelaatbare konsentrasie vir elke radio-nuklid in lug en water. Die blootstelling van 'n persoon is nie slegs 'n funksie van die radioaktiewe peile in sy omgewing nie, maar ook van sy persoonlike gebruik daarvan. Derhalwe kan daar by die vrylating van radioaktiewe stowwe in die omgewing, 'n aantal ingewikkelde weë wees waardeur die vrygestelde nuklide uiteindelik die mens kan bestraal. Die ondervinding het egter geleer dat 'n omvattende ondersoek van alle weë gewoonlik nie nodig is nie, aangesien 'n oorweging van die betrokke geval aandui dat bepaalde nuklide en bepaalde weë "krities" is.

Kerngevaar

Stralingsbeskerming is dus as toonaangeër in die moderne gesondheidsbeskerming gevestig, waarin daar eintlik op die moontlike langtermynuitwerking gelet word. Sodanige effekte kan nie eenduidig vir 'n persoon bepaal word nie, maar wel as 'n statistiese risiko, soos in tabel 2 aangetoon. Die normale bedryf van 'n kerninstallasie is dus besonder veilig, met nietige radioaktiewe vrylatings in die omgewing – soos later in meer besonderhede vir die Koebergkernkragstasie aangetoon sal word. Maar wat van die hoogs radioaktiewe afvalprodukte en, nog erger, katastrofiese ongelukke?

Dit is korrek dat die splytingsproses hoogs aktiewe produkte in die uraan lewer, wat egter steeds deeglik in die brandstofelemente verseël bly. Na afdoende verbranding word die elemente, wat nou baie radio-aktief is, in 'n goed afgeskermde huls, bv. van lood, vir berging, vervoer of vir herprosesering (om die oorblywende brandstof te herwin) bewaar. Die volume van die klowingsprodukte as gevolg van kernkragontwikkeling gedurende 'n persoon se leeftyd is maar ongeveer die grootte van sy vuus; in die geval van Brittanje se totale kernkragprogram tot die jaar 2 000 word 'n volume verwag wat slegs 'n Olimpiese swembad sal vul. Gevolglik is daar geen dringende haas om permanente wegruiming te bewerkstellig nie, alhoewel daar ver gevorder is met die omsetting van klowingsprodukte in glas en die daaropvolgende berging ondergronds in 'n stabiele geologiese formasie – 'n bergingstyd van sowat 600 jaar sal die radioaktiwiteit deur verval sodanig laat daal dat dit die gevaar vir die menslike liggaam tot minder as die van uraanerts sal laat verminder, 'n bergingstyd wat goed vergelyk met die tydperk van meer as 4 000 jaar wat Egiptiese grafkelders bewaar gebly het.⁶ (Daar is

selfs nog die moontlikheid om die afval in die son te skiet, of om dit deur kernreaksies in minder skadelike stowwe om te sit.)

TABEL 2
Vergelykbare risiko's
(IAEA-bulletin, Oktober 1980)

(a) Een per miljoen sterf na –		
650 km per vliegtuig		
100 km per motorkar		
$\frac{3}{4}$ sigaret		
1,5 min. bergklim		
20 min. leef na 60 jaar		
voorbehoedpille vir $2\frac{1}{2}$ weke		
$\frac{1}{2}$ bottel wyn		
10 mrem stralingsblootstelling		
– d.w.s. $\frac{1}{2}$ dag dosisperk of 3 jaar naby kernkragstasie		
(b) Lewensduur verminder deur –		
	een werksjaar	35
	(40 jr. oud)	werksjare
diepseevisvangs	31,9 dae	923 dae
steenkoolmynbou	3,6	103
olieraffinadery	2,6	74
spoorweë	2,2	63
bouwerk	2,1	62
nywerheid (gemiddeld)	0,5	13,5
stralingswerk		
– 50 mSv/a (5 rem/a)*	1,3	32
– 5 mSv/a (0,5 rem/a)*	0,1	3

*Hierdie dosistempo's is onderskeidelik die maksimum toelaatbare stralingsdosisse vir stralingswerkers en die publiek. Normaalweg is die blootstelling slegs 'n breukdeel hiervan – vergelyk die natuurlike disistempo van sowat 1,5 mSv/a (0,15 rem/a).

'n Kernontploffing* is fisies onmoontlik in 'n kragreaktor. Gevolglik word die risiko wat veroorsaak word deur kernongelukke, in hoofsaak bepaal deur opeenvolgende voorvalle wat lei tot smelting van die reaktorkern, faling van die inperkings en die daaropvolgende vrylating van in die lug vervoerde radioaktiwiteit, wat kan wissel van onbeduidend tot ernstig. Die voorkoms en gevolge van hipotetiese ongelukke is wêreldwyd bestudeer deur teoretiese analyses sowel as deur vernietigende toetsing van verskeie reaktore. Die bekendste waarskynlikheidsstudie van drukwaterreaktore is die Amerikaanse verslag van prof. Rasmussen in 1975, wat opgevolg is met 'n Duitse ondersoek.⁷ Die voorkoms van 'n kernsmelting is beraam op sowat een per 10 000 reaktorjaar; weens die doeltreffende inperkingstelsels word radioaktiewe vrylatings wat tot 'n noodlottige blootstelling lei, beperk tot minder as 1% daarvan. Onlangse werk dui aan dat dit onnodig pessimisties is en dat verskeie fisiese en chemiese wette die versprei-

*Selfs in die geval van Hiroshima en Nagasaki is dit moeilik om enige langtermyn-effekte vas te stel in persone wat meer as 2 km van die ontploffing was; diegene binne 1 km is dood as gevolg van die direkte ploffkrag.

FIGUUR 1. Bedryfsverliese weens arbeidsongeskiktheid as 'n funksie van energiestelsel (uit verwysing 24 verwerk). Die gesondheidsrisiko van vyf konvensionele en vier ontwikkelende energiestelsels word vergelyk met inagnome van die hele siklus (ontginning, materiaalverwerking, konstruksie, bedryf, ens.). Die waardes het betrekking op die netto lewering oor die stelselleef tyd, bv. 'n steenkoolkragstasie van 1 000 MW sou 'n maksimum van 70 000 werkerdae per jaar veroorsaak (oor 30 jaar) – stippellyne dui die onderste grense aan. ('n Sterfte word gelyk gestel aan 'n verlies van 6 000 werkerdae.)

ding van radioaktiwiteit in so 'n mate beperk dat onruiming van die publiek onnodig geag word.⁸

Gedurende die afgelope 40 jaar van uitgebreide aanwending van kernmateriaal is 98 ongelukke aangemeld waarin mense beseer is: 61 was aan die foutiewe gebruik van stralingsapparate te wyte, 23 weens onverseëde radioaktiewe bronne en 14 deur onbeheerde kritikaliteit.* Gevolglik is 16 persone dood en sowat 300 is klinies waarneembaar oorbestraal. Die meeste van hierdie beserings het met die ontwikkeling van kernwapens plaasgevind en geen persoon is al deur 'n ongeluk by 'n kernkragstasie gedood nie. Gevolglik word die aandag in Suid-Afrika op die normale radioaktiewe vrylatings deur kerninstallasies toegespits, ofskoon daar wel 'n gevestigde noodorganisasie bestaan.⁹

KERNTEGNOLOGIE IN SUID-AFRIKA

In Suid-Afrika het die gebruik van radio-isotope,¹⁰ aanvullend by die gevestigde aanwending van radium in die Geneeskunde, met rasse skrede ontwikkel sedert die eerste besending mensgemaakte radio-isotope op 27 Julie 1948 ontvang is, en veral met die inbedryfstelling van die RAK se navorsingsreaktor SAFARI-1 op 18 Maart 1965 te Pelindaba. Aan die einde van 1981 was daar 708 instansies met RAK-magtiging om radionuklide vir nie-mediese doeleindes te gebruik, asook 62 vir mediese aanwending. Sodanige magtiging geskied sedert 1948 kragtens die Wet op Atoomkrag, wat so doeltreffend toegepas is dat slegs drie persone in ongelukke met radioaktiewe bronne (al drie nywerheidsradiografie) beseer is.²

Die produksie van uraan in Suid-Afrika het in 1952 begin, hoofsaaklik as 'n neweproduk van die goudmyne met 'n erts wat slegs 0,015-0,075% uraan bevat. In 1981 is 6 131 ton uraan geproduseer, wat Suid-Afrika, met sowat 15% van die totale Westerse wêreld se produksie, net na die V.S.A. en Kanada plaas. Weens die lae konsentrasies in al die Suid-Afrikaanse ertse, is eksterne straling van min belang. Die gesagtige vervalproduk radon moet deeglik in aanmerking geneem word, maar omvattende metings sedert 1957 het bevestig dat daar in Suid-Afrikaanse myne geen waarneembare gesondheiduitwerking is nie.¹¹ Selfs in uraanverwerkingsaanlegte bied die gekonsentreerde uraan nie 'n drastiese stralingsgevaar nie, maar die chemiese giftigheid moet wel deeglik in aanmerking geneem word.

By die Nasionale Kernnavorsingsentrum Pelindaba het KERNKOR sy hoëvloednavorsingsreaktor SAFARI-1 reeds meer as 17 jaar in bedryf en is 'n kritieke opstelling, Pelindaba-0, gebou en vir 'n kort tyd bedryf. Die kernaangedrewe skip Otto Hahn het die Suid-Afrikaanse hawens Kaapstad, Port Elizabeth en Durban 13 keer gedurende 1974-78 besoek, met RAK-bystand aan die hawekaptein vir moontlike noodgevalle;⁹ 'n aantal besoeke deur kern-duikbote het ook onder beheer van die S.A. Vloot plaasgevind. Die aanvoeraanleg van die Uraanverrykingskorporasie het ook reeds verstrykte uraan

gelewer wat in April 1981 in brandstofelemente vir SAFARI-1 omgesit is. Dit is dus duidelik, ook wat kernreaktore betref, dat daar reeds wye ervaring in Suid-Afrika oor bedryfsveiligheid, omgewingstudies en noodbeplanning beskikbaar is – alles onder regulatoriese beheer van die Wet op Kerninstallasies (1963) soos deur die RAK se Lisensiëringstak geadministreer.*

KOEBERGKERNKRASTASIE

In Suid-Afrika was die groeitempo van elektrisiteitsverbruik gemiddeld 8,8% per jaar oor die afgelope 30 jaar, d.w.s. 'n verdubbelingstyd van minder as 8 jaar. Aangesien die Elektrisiteitsvoorsieningskommissie sowat 93% van al die elektrisiteit ontwikkel, hou dit in dat sy geïnstalleerde vermoë van 20 000 MW in 1981 tot sowat 35 000 MW in 1990 en tot sowat 70 000 MW teen die jaar 2 000 sal moet toeneem. Alhoewel Suid-Afrika oor groot hoeveelhede steenkool beskik (110 miljard ton waarvan sowat 51 Gt ontginbaar is), is daar ook groot uraanreserwes (356 000 t ontginbaar teen \$130 per kg). Waar daar sowat 3½ Mt steenkool per jaar vir 'n kragstasie van 1 000 MW vereis word, is slegs 120 t/a natuurlike uraan vir 'n soortgelyke kernkragstasie nodig. Aangesien Suid-Afrika se steenkoolvelde hoofsaaklik in die noordooste geleë is (waar daar ook reeds 'n tekort aan verkoelingswater is), het EVKOM in 1974 besluit om die eerste kernkragstasie, Koeberg, aan die Kaapse kus, meer as 1 000 km daarvan, op te rig, maar met seewater as koelmiddel. Daar word tans voorsien dat kernkragstasies ekonomies slegs regverdigbaar is by groot lassentrums aan die kus, wat ver van die binnelandse steenkoolvelde geleë is. Teen die jaar 2 000 sou die kernvermoë sowat 16 000 MW (25% van die totaal) kan bedra, met 'n gevolglike besparing van ongeveer 50 Mt steenkool per jaar vir ander doeleindes.¹²

Die konstruksie van Koeberg^{13, 14} met twee eenhede van 922 MW te Duynfontein aan die Weskus naby Melkbosstrand, wat vir bedryf teen 1983 en 1984 beplan is, het reeds ver gevorder sedert Mei 1976. Die plasing van die kragstasie verteenwoordig 'n kompromis tussen teenstrydige ekonomiese en omgewingsfaktore.¹⁵ Die koste van transmissielyn, huisvesting van konstruksiewerkers en operateurs en die vervoer van grondstowwe en komponente neem aanmerklik toe na gelang van die afstand daarvan van 'n gebied met 'n bestaande infrastruktuur. In die onwaarskynlike geval van 'n radioaktiewe ongeluksvrylating aan die omgewing is dit gewens dat daar nie 'n uitermate hoë bevolkingsdigtheid moet wees nie.

Kernlisensiëring

Dit is duidelik dat geen ingewikkelde aanleg of tegnologiese installasie ontwerp, gebou en bedryf kan word wat volkome risikovry is nie. Standaarde vir aanvaarbare veiligheid is dan ook deur die RAK-

*J. Horan – persoonlike mededeling

*Waar die RAK en UKOR op 1 Julie 1982 filiale van die Atoomenergiekorporasie geword het, het 'n statutêre Raad vir Kernveiligheid onafhanklik tot stand gekom.

Lisensieringstak opgestel, sodat die risiko wat aan 'n kerninstallasie verbonde is, nie die totale risiko waarvan die Suid-Afrikaanse publiek reeds blootgestel is, wesenlik mag vermeerder nie en gunstig moet vergelyk met die gevare wat met ander groot nywerheids-ondernemings verband hou.¹⁶ Hierdie norme¹⁷ is gekwantifiseer as vrylatingsperke vir radioaktiewe vloeistowwe na die see en gasse na die atmosfeer. As aanduiding van die vereiste veiligheidsgraad kan gemeld word dat die gemiddelde jaarlikse sterfterisiko van die publiek as gevolg van ongeluksvrylatings nie een per honderdmiljoen mag oorskry nie.

Om aan hierdie vereistes te voldoen, moes die Koebergaanleg aan 'n diepgaande betroubaarheidsanalise onderwerp word wat soveel moontlik toerustingfalings in ag neem, sowel as die gevolge van eksterne faktore soos aardbewings, vloede, vliegtuigbotsings, ens. Verder word die ontwerp, konstruksie, inbedryfstelling sowel as personeel en instandhouding van die aanleg aan 'n diepgaande gehalteversekeringsprogram onderwerp om te verseker dat die gewenste standaard bereik word en gedurende die leeftyd daarvan steeds volgehou sal word. Kernkrag kan in beginsel deur die byvoeging van tegnologiese veiligheidsstelsels so veilig gemaak word as wat enigiemand moontlik kan verlang – maar teen 'n koste!

Omgewingsradioaktiwiteit

Duynfontein het 'n lang seefront van 4,4 km en die naaste grensdraad is 1,9 km van die Koeberg-reaktore. Verder sal die verbruikte brandstofelemente wat die hoogsaktiewe splytingsprodukte deeglik inperk, na elders vir herprosesering gestuur word. Gevolglik sal daar geen waarneembare, regstreekse stralingsblootstelling van die publiek wees nie.

Omdat die omgewing natuurlik radioaktief is, is dit nodig om 'n basislyn daar te stel sodat enige toename as gevolg van reaktorvrylatings bepaal kan word. Gevolglik het die RAK 'n omgewingstudie ten behoeve van EVKOM oor die tweejarige tydperk Julie 1979 – Junie 1981 uitgevoer.¹⁸ Dit het die bepaling van 'n groot verskeidenheid radionuklide in lug, water, melk, marine-organismes, ens. behels, sowel as die bepaling van direkte omgewingstraling tot 50 km van Koeberg. In die proses is 'n omgewingslaboratorium gevestig wat sedertdien op 'n vaste grondslag deur EVKOM bedryf word.

Radioaktiewe stortings in die see

Alle vloeibare afval word eers in tenks versamel, ontleed, behandel indien nodig, en dan vrygelaat in die seewater wat as verkoelingsmedium teen 80 m³/s in die oseaan teruggestort word. Die omgewing se vermoë om bykomende radioaktiewe materiaal met veiligheid te aanvaar, is afhanklik van verskeie plaaslike faktore soos dispersietoestande, die gewoontes van die plaaslike bevolking en die akumulasie van pertinente radionuklide deur kritieke organismes. Hierdie faktore is indringend ondersoek deur opnames sowel as ontledings om die konsentrasiefaktore van verskeie elemente in eetbare

marine-organismes te bepaal.¹⁹ So is redelike ramings van die veilige vrylatingstempo's vir die elf belangrike klowingsprodukte en ses aktiveringsprodukte sowel as vir tritium en plutonium gemaak.²⁰ Die bykomende veiligheidsfaktor as gevolg van dispersie en verdunning in die onstuimige see is nie in aanmerking geneem nie, alhoewel sodanige studie reeds ver gevorder is.²¹

Gebaseer op hierdie werk, is 'n regulatoriese perk van $3,7 \times 10^{11}$ Bq (10 curie) per jaar neergelê, wat vergelyk moet word met die mees beperkende raming van $5,55 \times 10^{12}$ Bq/a (150 Ci/a) vir yster-59 en, veral, met die natuurlike radioaktiwiteit (kalium-40) van sowat $3,7 \times 10^{13}$ Bq (1 000 Ci) per jaar wat in meegaande koelwater voorkom!

Vrylatings aan die atmosfeer

Slegs luggedrae radioaktiwiteit met 'n lae stralingsgevaar word gedurende 'n normale reaktorbedryf aan die atmosfeer vrygelaat en enige oormatige vrystelling sal tot onmiddellike afsluiting lei. Hierdie vrylating sal versigtig gemoniteer word en hierbenevens sal daar deur die omgewingstudies bevestig word dat geen beduidende besmetting plaasgevind het nie.

Aan die hand van voorafgaande studies te Pelindaba, is 'n uitgebreide studie van dispersie en kritieke paaie rondom Koeberg uitgevoer, waarvolgens radioaktiewe vrylatings in die atmosfeer tot stralingsblootstelling van die algemene publiek kan lei. In die geval van vrylatings van radioaktiewe afval aan die atmosfeer sal die hoogte en tempo van die vrylating en die heersende weersomstandighede die konsentrasies op verskillende afstande bepaal. Op grond van hierdie lugkonsentrasies kan blootstelling langs 'n verskeidenheid weë plaasvind, o.a.

- (i) Lug – uitwendige bestraling a.g.v. die wolk van radioaktiewe materiaal.
- (ii) Lug – inaseming – inwendige bestraling van longe en/of ander organe a.g.v. opname en metabolisme van radioaktiewe materiaal.
- (iii) Lug – neerslag – uitwendige bestraling a.g.v. radioaktiewe materiaal op grond en plantegroei.
- (iv) Lug – neerslag – opname deur voedselgewasse – inname van voedsel – inwendige bestraling van die spysverteringskanaal en/of ander organe na metabolisme.
- (v) Lug – neerslag – opname deur voedselgewasse – inname deur diere – oordrag na dierweefsel en -organe – inname deur die mens weens die gebruik van melk, vleis, eiers, ens. – inwendige bestraling van spysverteringskanaal en/of ander organe na metabolisme.

Met hierdie agtergrond is die voorbedryfondersoek te Duynfontein deur die RAK ten behoeve van EVKOM aangepak. Die gemiddelde verdunningsfaktore oor die lang termyn op wisselende afstande van 'n skoorsteen met 'n hoogte van 100 m af, is uit mesometeorologiese gegewens bereken wat deur die WNNR se Lugbesoedelingsnavorsingsgroep versamel is. Met die beskikbare gegewens as grondslag, is vrylatingstempo's vir radio-isotope van die edelgasse

afgelei (kritieke pad: eksterne wolkblootstelling), ¹³¹I (nie inaseming nie, maar die weg: atmosfeer – neerslag – weiding – koei – melk – mens), ¹³⁷Cs (nie inname deur melk nie, maar uitwendige blootstelling weens versamelde neerslag op grond), ¹⁰⁶Ru, ¹²⁵Sb en ¹⁴⁴Ce (grondneerslag) en tritium (inaseming).²² Sedertdien is hierdie ondersoek uitgebrei om die werklike atmosferiese dispersie en verdunning te meet, met inagneming van die ingewikkelde weersomstandighede wat soms voorkom.²³ 'n Eksperimentele dispersietegniek wat suksesvol te Pelindaba en Richardsbaai aangewend is, is gebruik. Windvelde is verkry met 'n uitgebreide netwerk van 10 telemetriese weerstasies en dit is gebruik om die beraamde pluimtrajekte te verbeter. Sodoende behoort EVKOM se opdragte nagekom te kan word, t.w. (i) die bepaling van veilige kontinue radioaktiewe vrylatings, en (ii) die voorspelling van die pluimtrajek tydens 'n ongeluksvrylating.

SLOT

Geen nywerheidsaanleg kan volkome veilig gemaak word nie, en kernenergie moet dan ook nie in afsondering gesien word nie. Daar vind dus ook ongelukke by die wêreld se kernreaktore plaas, soos die sensasionele voorval in 1979 te Three Mile Island, in die V.S.A. – alhoewel feitlik alles moontlik verkeerd geloop het, word daar geraam dat die totale radioaktiewe vrylating moontlik een vervroegde dood weens kanker kan veroorsaak, bykomend tot die 325 000 natuurlike kankersterftes wat in die betrokke bevolking van twee miljoen verwag word! Inhaber²⁴ het dan ook die totale arbeidsongeskiktheid, insluitend ongelukke, as gevolg van verskillende metodes van elektrisiteitsontwikkeling geraam, soos in fig. 1 aangedui, en tot die gevolgtrekking gekom dat slegs natuurlike gas veiliger as kernenergie is – 'n gevolgtrekking wat, alhoewel die absolute syfers bevraagteken kan word, deur etlike ander navorsers bevestig is.

Die tegniek wat vir die ongeluks- of veiligheidsanalise van kerninstallasies ontwikkel is, word in 'n toenemende mate vir die kwantifisering van die gevare van ander ingewikkelde stelsels soos in die chemiese en lugvaartnywerhede gebruik. Die studie van die ontwerp van 'n kerninstallasie, die voorafgaande ondersoek van die omgewing se vermoë, en die daaropvolgende bepaling van die kritieke weë van die radioaktiewe uitvloeiels dien as 'n voorbeeld vir die konvensionele nywerheid, waar die omgewingsaspekte meesal nagelaat word totdat die aanleg in bedryf is, 'n tydstop wanneer die beperking van vrylatings slegs teen groot moeite en koste bewerkstellig kan word.¹⁵

Dit is dus duidelik dat Suid-Afrika die oprigting van kernkragstasies om langs die kus in die steeds toenemende vraag na elektrisiteit te voorsien, met vertroue tegemoet kan gaan in die wete dat daar

deeglik na die meegaande kernveiligheid omgesien word.

VERWYSINGS

1. Van As, D. (1975). *Stralingsblootstelling as gevolg van radio-aktiwiteit in die omgewing van kerninstallasies*, Ph.D-proefschrift, Universiteit van Stellenbosch.
2. Basson, J.K., Hanekom, A.P., Coetzee, F.C. & Lloyd, D.C. (1981). Health physics evaluation of an accident involving acute overexposure to a radiography source, *Verslag van die Raad op Atoomkrag*, PEL-279.
3. Gericke, G.S. (1982). More en etiese dilemmas in mensgenetika, *S. Afr. Tydskr. Natuurwetenskap en Tegniek*, 1, 25-30.
4. Basson, J.K. (1979). Die rol van die gesondheidsfisikus in die bekamping van luggedrae radioaktiwiteit, *Tydskrif vir Skoon Lug*, 5, 41-46.
5. Webster, E.W. (1981). On the question of cancer induction by small X-ray doses. *Am. J. Radiol.*, 137, 647-666.
6. Eisenbud, M. (1981). The status of radioactive waste management: needs for reassessment, *Health Physics*, 40, 429-437.
7. Bayer, A. & Heuser, F.W. (1981). Basic aspects and results of the German risk study, *Nuclear Safety*, 22, 695-709.
8. Levenson, M. & Rahn, F. (1981). Realistic risk estimates, *IAEA-bulletin*, 23(4), 37-39.
9. Basson, J.K. & Kruger, J. (1980). National nuclear emergency organisation, *Internasionale Konferensie oor Rampgeneeskunde* (Balkema, Kaapstad), pp. 55-62.
10. Basson, J.K. (1979). Kerntegniek in die Suid-Afrikaanse nywerheid *Die Professionele Ingenieur*, 6(4), 11-15.
11. Basson, J.K., Wyndham, C.H., Keeley, W.H., Barnard, C.P.S., Heyns, A.J.A., Munro, A.H. & Webster, I. (1971). A biostatistical investigation of lung cancer incidence in South African gold/uranium mines, *Vierde Internasionale Konferensie oor die Vredesgebruik van Atoomenergie* (Verenigde Volke, New York), p. 659.
12. De Villiers, J.W.L. (1982). The nuclear option, *Leadership SA*, 1, 17-23.
13. Regan, J. & Walmsley, J. (1975). Design and aspects of the nuclear reactors for Koeberg power station, *Trans. S. Afr. Inst. Electrical Engineers*, Januarie, p. 2.
14. Colley, J.R. (1975). South Africa's nuclear power programme, *S. Afr. Mechanical Engineer*, 25, 203.
15. Basson, J.K., Winkler, B.C. & Walmsley, J. (1979). Assessment of environmental hazards from the Koeberg nuclear power station, *Simposium oor die Vorming van ons Omgewing* (W.N.N.R., Pretoria).
16. Tattersall, J.O., Simpson, D.M. & Reynolds, R.A. (1971). A discussion of nuclear plant safety with reference to other hazards experienced by the community, *Vierde Internasionale Konferensie oor die Vredesgebruik van Atoomenergie* (Verenigde Volke, New York), p. 671.
17. Winkler, B.C. & Simpson, D.M. (1973). Dose limits associated with nuclear installations, *Streekskonferensie oor Stralingsbeskerming* (IRPA, Jerusalem), p. 590.
18. De Jesus, A.S.M. & Goodwin, B.L. (1979). Koeberg, a pre-operational radioactivity survey of its environment, *Internasionale Konferensie oor Lugbesoedeling* (W.N.N.R., Pretoria).
19. Van As, D., Fourie, H.O. & Vleggaar, Contance M. (1975). Trace element concentrations in marine organisms from the Cape West Coast, *South African Journal of Science* 71, 151.
20. Basson, J.K. & Van As, D. (1976). Pre-operational investigation of safe radioactive releases from the nuclear power station site, Duynfontein. *Progress in Nuclear Energy Series* (Pergamon Press, Oxford en New York) 5, 64-75.
21. Bain, C.A.R. (1976). Coastal water movement studies at a nuclear station site, *Eerste Interdisiplinêre Konferensie oor See- en Varswatervnavorsing in Suidelike Afrika* (W.N.N.R., Pretoria).
22. Basson, J.K. & Van As, D. (1976). Determination of safe releases to the atmosphere from the nuclear power site, Duynfontein, *Internasionale Konferensie oor Lugbesoedeling* (W.N.N.R., Pretoria).
23. Norden, C.E. & Basson, J.K. (1979). Investigation of atmospheric dispersion around the coastal nuclear power station, Koeberg, *Internasionale Konferensie oor Lugbesoedeling* (W.N.N.R., Pretoria).
24. Inhaber, H. (1979). Risk with energy from conventional and nonconventional sources, *Science*, 203, 718-723.