

Referate

Kernkrag: vandag en môre in die RSA*

W.A. Schumann
Universiteit van Pretoria, Pretoria

UITTREKSEL

Die energie-inhoud van bepaalde materiale en energiereserwes van die wêreld word kortliks bespreek. 'n Oorsig van 'n tipiese kernklowingsbrandstofsiklus word gegee, met klem op bepaalde fundamentele aspekte van uraanverryking en die wegruiming van radioaktiewe afval. Die huidige kernkrag-situasie en moontlike toekomstige tendense van kragvoorsiening in die RSA word behandel. Alternatiewe kragvoorsieningstelsels, inagnemende die moontlikhede wat die „kernkontinuum” van kernklowing-, kernversmelting- en deeltjievernellingstelsels bied, word voorgestel.

ABSTRACT

Nuclear energy: today and tomorrow in the RSA

The energy content of relevant materials and world energy resources are briefly discussed. A short review is given of fundamental aspects of uranium enrichment and the disposal of radio-active material as part of the conventional nuclear fuel cycle.

Alternative energy production systems for the RSA are suggested. These are based on the spectrum of choices presented by the nuclear energy continuum of nuclear fission, fusion and spallation particle accelerator systems.

1.0 INLEIDING

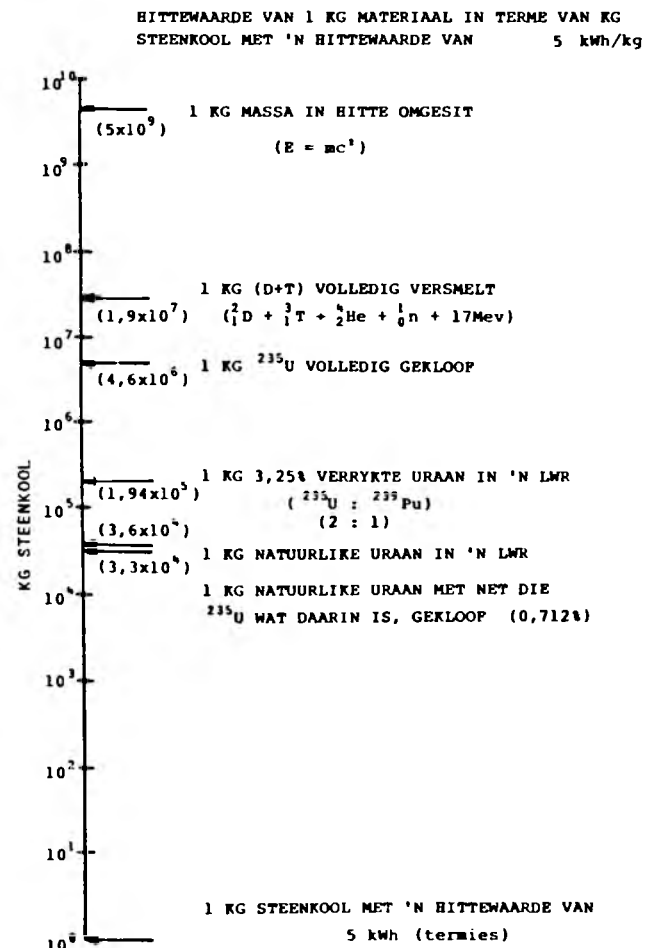
Kernkrag omvat, in die breedste sin van die woord, ook steenkool-, olie-, gas-, wind-, water- en son-energie. Die son is immers 'n groot versmeltings-reaktor (onafgeskerm, L.W., teen wie niemand betoog nie, en wat sommige aanbid), wat 'n stroom straling en energie na ons kant uitstuur. Hy is ook die oorsprong van al die bogenoemde vorms van energie.

Die volgende indeling word ter wille van perspektief gebruik:

- (i) die energie-inhoud van bepaalde materiale;
- (ii) die konvensionele kernbrandstofsiklus met klem op bepaalde aspekte;
- (iii) die huidige kernkrag-situasie in die RSA en 'n moontlike toekomstige behoefte in die lig van tendense;
- (iv) moontlike alternatiewe stelsels vir die toekoms; en
- (v) opleiding om die kernkragkompleksiteit ten volle te verstaan, te benut en uit te bou in, en vir, die RSA.

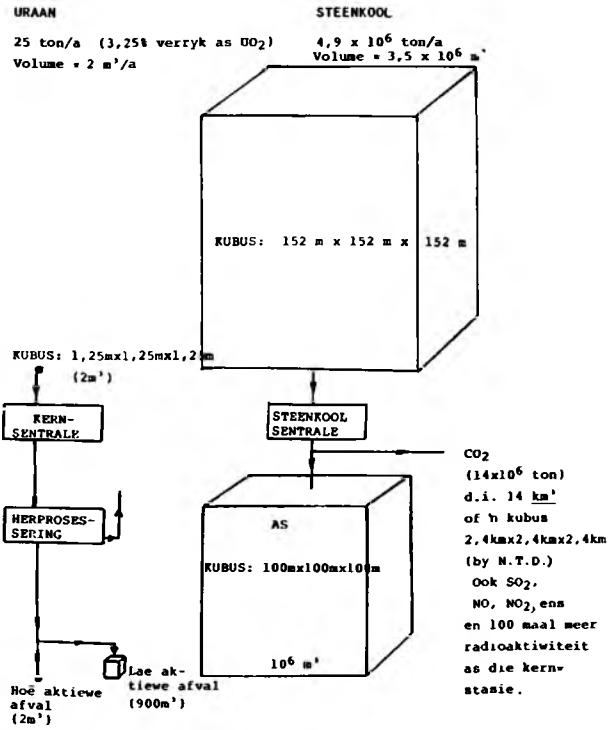
2.0 DIE ENERGIE-INHOUD VAN BEPAALDE MATERIALE

Fig. 1 toon ekwivalente hittewaardes van 1 kg (massa) materiaal in terme van 'n „standaard”-



FIGUUR 1: Ekwivalente hittewaardes.

*Gelewer tydens die jaarvergadering van die Tak Noord-Transvaal, Afdeling Ingenieurswese van die S.A. Akademie vir Wetenskap en Kuns op 5 Junie 1985.



FIGUUR 2: Jaarlikse brandstof vir 'n 1 000 MWe kragentrale (benaderde ekwivalent aan 1 reaktor van Koeberg).

kilogram RSA-steenkool met 'n hittewaarde van 5,0 kWh/kg. Die ekwivalente hoeveelheid *elektriese energie* wat elkeen van die afsonderlike gevalle verteenwoordig, is ruweg 1/3 van die aangetoonde waarde, vanweë termodinamiese ondoeltreffendheid.

Hieruit blyk dat steenkool 'n baie vrylde vorm van kernkrag (lae energiedigtheid), maar desnieteenstaande baie nuttig is. Die effek van 'n lae energiedigtheid van 'n bronmateriaal word in die volgende figuur geïllustreer. Uraan en steenkool word op 'n relatiewe basis vergelyk.

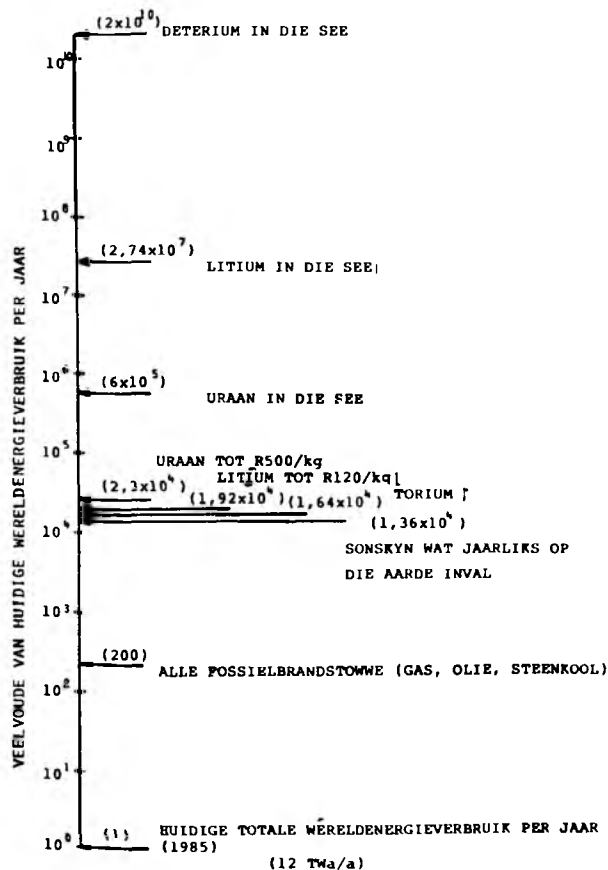
Interessantheidshalwe kyk ons ook na die belangrikste energiereserwes van die wêreld.

Wanneer die figuur bestudeer word, moet daar nie van 'n klaarblyklike natuurwet vergeet word nie: Hoe meer belowend 'n energiebron, hoe meer energie en sofistikasie is nodig om dit te ontsluit.

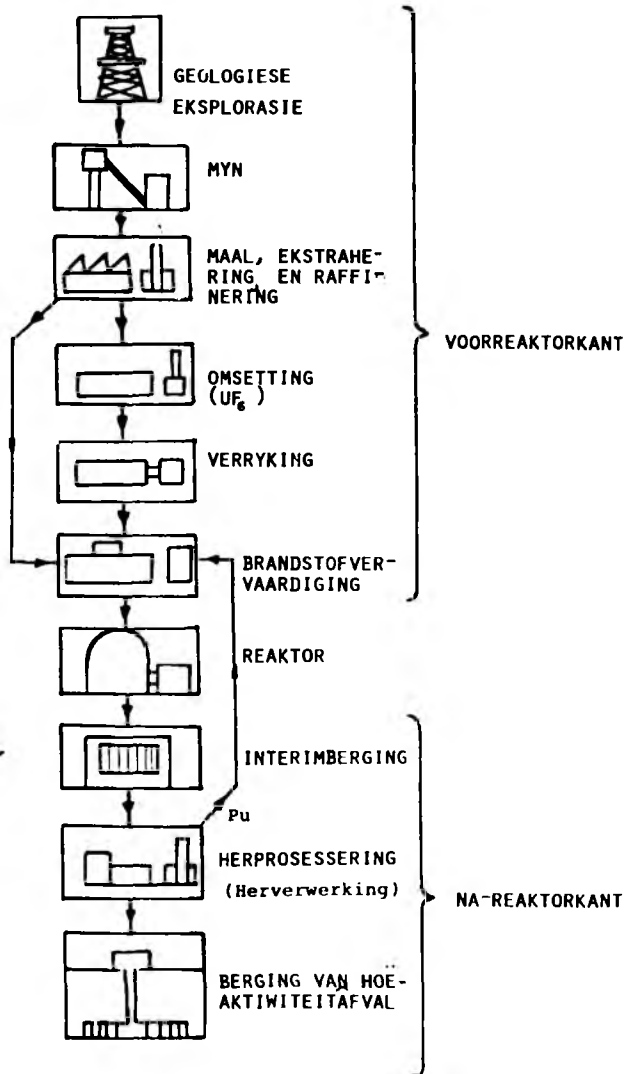
3.0 'N TIPIESE KONVENSIONELE KERNSIKLUS

Energie is 'n geleentheid wat deur ons Skepper aan ons verleen word om orde mee te skep. Kernenergie dus ook.

Die volgende is 'n vereenvoudigde skematiese voorstelling van 'n tipiese kernklowingsiklus of kernbrandstofsiklus:



FIGUUR 3: Wêreldenergieserwes in terme van die huidige (1985) totale wêreldenergieverbruik per jaar (ongeveer 12 TWa/a) (IIASA).



FIGUUR 4: 'n Tipiese kernbrandstofsiklus.

Elkeen van die bostaande blokke verteenwoordig 'n industrie in sy eie reg.

Kommentaar op die invloed van 'n paar skakels in hierdie kernkragketting volg nou:

3.1 Uraanverryking

Dit is moontlik, volgens die diagram, om hierdie stap uit te skakel en slegs *natuurlike* uraan vir kragopwekking te gebruik. Is dit dus sinvol om verryking in die RSA te doen?

'n Standaardantwoord sou moontlik die volgende insluit:

- (i) Die VSA het destyds, as gevolg van die Manhattanprojek, 'n groot oorskot verrykte uraan gehad en dus kernreaktore ontwikkel wat hierdie verrykte materiaal sou kon verbruik. Die res van die wêreld het eenvoudig hulle voorbeeld gevolg.
- (ii) Dit gaan om bedingingsmag, en dit het strategiese waarde.

Dis alles waar, maar waarmee is ons werklik besig as ons uraan verryk?

Uraanverryking is 'n skeidingsproses. Enige skeidingsproses is in sy wese 'n ordeningsproses.

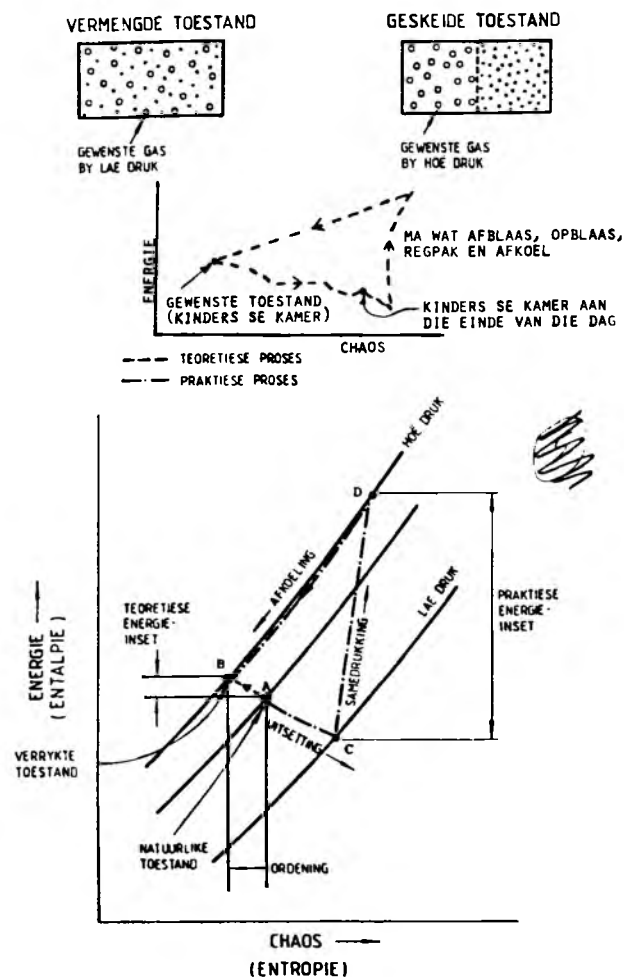
Enige persoon wat al die termodinamika bestudeer het, weet dat as twee gasse van mekaar geskei word, dan verminder die entropie (of chaos) gedurende so 'n proses en raak die stelsels van gasse meer georden.

As ons 'n skeidingsproses uitvoer, kry ons dadelik 'n bonus, want die *potensiaal* waarmee stelsels herangskik, herorden of sinvol geïntegreer kan word, verbeter. Die vryheid van keuse vergroot dus en ook die moontlikheid om verbeterde interaksie tussen verskillende stelsels te bewerk, wat uiteindelik tot 'n *verbeterde ekonomie* lei. Ter illustrasie kan genoem word dat as ons uraan verryk ($2 \cdot 4\%$ vir termiese reaktore en $10 \cdot 40\%$ vir snelwekers) dan verbeter die moontlikhede om reaktore te kan bou, want onmiddellik is daar 'n baie wyer keuse van toepassingsmoontlikhede, konsepte, groottes, materiale wat gebruik kan word en so meer. Selfs 'n gevestigde konsep, soos die Kanadese CANDU-reaktor, wat ontwerp is om met natuurlike uraan te werk, kan kommersieel beter vaar met effens verrykte uraan.

Fig. 1 gee ook 'n illustrasie van die verbeterde potensiaal wat in 'n verrykte kilogram materiaal ingebou kan word.

Die geskeide (verrykte) of gewenste toestand kan slegs as 'n punt op 'n diagram voorgestel word indien ons energiever-skill (entalpie) teenoor entropiever-skill (chaos) sou stip, soos in Fig. 5.

Ons beskou slegs die atome of molekules van die „verrykte” materiaal as behorende tot die stelsel waarvan ons die verandering volg. In die „verrykte” toestand verkeer hierdie materiaal teen hoër druk as in die „natuurlike” toestand. Lyne van konstante druk word op die diagram aangetoon. Die teoretiese skeidingsproses verloop van A na B met 'n klein teoretiese energie-inset. In teenstelling daarmee verloop 'n praktiese proses, byvoorbeeld gasdiffusie, langs die sikluspad ACDBA, waar gas oor 'n diffusiemembraan uitsit, in 'n kompressor saamgepers word en finaal afgekoel word.



FIGUUR 5: 'n Verrykingsiklus.

Uit die diagram blyk dat ons dieper in die chaos in beweeg met 'n praktiese proses en heelwat meer energie verbruik as in die teoretiese geval terwyl die termodinamiese siklus voltooi word. In die praktiese lewe is daar baie termodinamiese prosesse, deur die kleiner figuur op Fig. 5 geïllustreer.

Dit is so dat, deur die blote gebruik van energie, ons bydra tot die chaos (entropie) van die heelal wat buitendien besig is om toe te neem, tensy die fisici ons kan verseker dat neutrino's voldoende massa besit om die hele stelsel 'n sikliese patroon te gee, sodat die oorspronklike toestand weer bereik kan word vanweë gravitasiekragte wat die uitsettende heelal sal stuit en laat terugval. Dit sou in elk geval so lank neem dat ons menslike aktiwiteite geen indruk daarop sou laat nie.

Ordeskepping is inherent deel van die lewe (dink aan die ma en die kinders se kamer) en energie, ook kernenergie, is redelik vrylik beskikbaar om onnodige entropie op 'n lokale skaal te beveg.

3.2 Reaktore

Die belangrikste element in die kernkrag-siklus is die reaktor – die stelsel wat energie transformeer in 'n gewenste vorm, soos elektrisiteit. Reaktore sal later weer bespreek word. Voorlopig net dit:

Sowat 5% van die *elektriese* energie wat opgewek word, moet weer in die kernenergiesiklus teruggeploeg word om dit aan die gang te hou.

3.3 Afvalberging

Die deponering van hoogs aktiewe afval in geologies stabiele gebiede, is iets waarvoor baie mense hulle bekommer. Die laaste stap van die kernsiklus word dus kortliks beskou.

Die aktiniede, hoofsaaklik die transuraan- of kunsmatig geskepte elemente soos Pu, Am en Cm wat in reaktore as gevolg van kernreaksies ontstaan, is hier die grootste sondaars vanweë hulle baie lang vervaltyd of halflewe, en veroorsaak dat 'n bergings-tyd van ongeveer 100 000 jaar nodig is.

In beginsel kan 'n transuraanreaktor, ingevoeg in die kernsiklus, of ook 'n bron van neutrone, hierdie elemente (behalwe Pu wat in die gewone reaktor aangewend word), in gewone klowingsprodukte afbreek. In 'n transuraanreaktor word 'n sogenaamde harde of hoë-energieneutronspektrum gebruik, want normaalweg kloof die aktiniede net by 'n neutron-energie van 1 MeV en hoër. Hierdie stap sou sowat 10% by die elektrisiteitsrekening las.

Klowingsbrokke moet vir 'n periode van 300 tot 1 000 jaar geberg word. Die grootste sondaarlemente in hierdie geval is ^{90}Sr , ^{137}Cs en ^{85}Kr , wat ook, in beginsel, met 'n groot neutronvloed ($10^{17}/\text{cm}^2/\text{s}$) geëlimineer kan word. Die gebruik van 'n sogenaamde *versplinterings-deeltjiever sneller* (spallation accelerator) – dit is 'n protonversneller met 'n hoë-neutronvloed van hoë energie uitset) is hier klaarblyklik die antwoord. Die ontwikkeling en gebruik van so 'n stelsel sal natuurlik nog 'n koste-etiket aan kernelektrisiteit heg – moontlik soveel dat berging tog (omdat klein hoeveelhede aktiewe materiaal altyd daar sal wees) die aantreklikste alternatief bly.

'n Interessante moontlikheid wat die versplinteringsversneller in beginsel bied is dat daar, nadat sy neutronvloed tot die regte energievlak deur middel van remstowwe ingestel is, 'n *herverryking* van uitgebrande brandstofelemente gedoen kan word. Herverryking kan selfs herhaal word mits die integriteit van die brandstofelement voldoende is. So kan die radio-aktiewe afvalprobleem tot 'n nietigheid reduseer word, en finale wegruiming in die ruimte deur vuurpyle kan dan miskien ook 'n praktiese moontlikheid word.

4.0 DIE HUIDIGE KERNKRAGSITUASIE IN DIE RSA EN DIE MOONTLIKE BEHOEFTE IN DIE LIG VAN TENDENSE

'n Lang relaas oor die prestasies en mylpale in Suid-Afrika wat gelei het tot die huidige kernkrag-opset in die land, is nie nodig nie. Ons noem net die volgende:

Sedert die totstandkoming van die Raad op Atoomkrag in 1948, 37 jaar gelede, met dr. A.J.A. Roux as eerste voorsitter, is verskeie projekte behorende tot die kernbrandstofsiklus suksesvol aangedurf. Ons dink onder meer aan:

- (i) die myn, ekstrahering en raffinering van uraan;
- (ii) die daarstelling van Safari, die navorsings-reaktor;

- (iii) die bou van 'n uraanverrykingsloodsaanleg en tans ook die produksieaanleg, gebaseer op 'n unieke verrykingsproses ('n veredelde werwelbuis) en 'n unieke kaskadeskakelingstegniek (helikon);
- (iv) die inbedryfstelling van Koeberg;
- (v) kernfisiese, kernchemiese, isotoopaanwendings-, kernmediese, kernmetallurgiese en kerngeniëringnavorsing en -ontwikkeling en prestasies op hierdie gebiede; en
- (vi) kernbeveiliging en -lisensiëring.

Dit is duidelik dat die RSA se voete reeds goed deur die kernkragbedryf benat is. Al hierdie aktiwiteite het veroorsaak dat die Suid-Afrikaanse industrie 'n goeie basisopvoeding in sofistikasie ontvang het.

Oor moontlike toekomstige ontwikkelings maak ons eers die volgende algemene opmerkings:

- (i) Volgens die wet van toekomsprojeksies:

„Die enigste sekerheid van 'n toekomsprojeksie is dat dit verkeerd sal wees.” Dis natuurlik omdat 'n toekomsprojeksie hoofsaaklik op aannames en nie op feite berus nie en Heisenberg se onsekerheidsbeginsel ook hier van toepassing is.

- (ii) Die nut van 'n toekomsprojeksie is om tendense aan te dui en perspektief veral ten opsigte van beplanning te gee.

Die wel en wee van kernkrag in Suid-Afrika is sterk aan steenkool gekoppel. Ten spyte van die feit dat kernkrag tans in hierdie land duurder as steenkoolkrag is, moet ons vra watter premie daar op die gebruik van kernkrag bestaan.

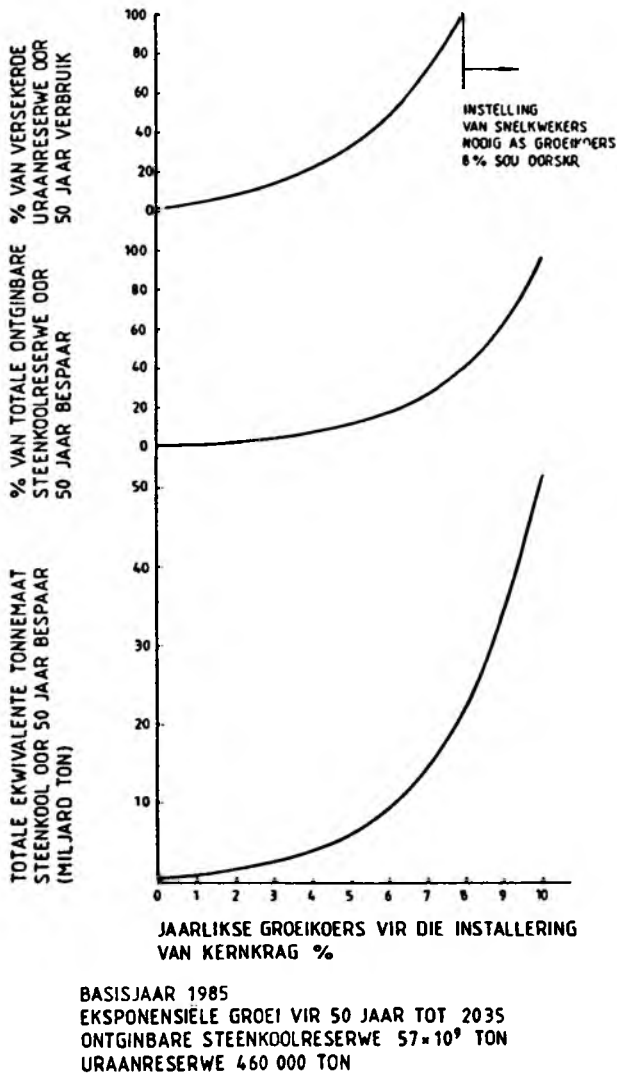
Kom ons beskou die volgende aspekte, aannemende dat 'n deeglike studie uiteindelik nodig sal wees om werklike kort- en langtermynvoordele te evalueer:

- (i) Uraan word tans teen 'n tempo van ongeveer 6 000 t/a uitgevoer en verdien valuta, afhange van die wisselkoers, byvoorbeeld van die orde MR500 tot MR1 000/a. As dieselfde hoeveelheid uraan in termiese klowingsreaktore (huidige tegnologie waar slegs sowat 1% van die uraan nuttig gebruik word) aangewend sou word, kan 180×10^6 tot 270×10^6 ton steenkool jaarliks bespaar word. As ons hierdie steenkool sou uitvoer, kan dit van die orde MR5 000 tot MR10 000, dit wil sê 'n *faktor 10 maal meer*, vir die land verdien.

Ons moet natuurlik die effek van duurder binelandse krag, wat hierdie voordeel weer deels sou ophef, nie uit die oog verloor nie.

Maar, meer ernstig: steenkool is 'n uiters waardevolle stof wat ons lievers vir ander doeleindes sou wou aanwend as om dit bloot te verbrand.

Gegee dus die huidige amptelike skatting van herwinbare steenkoolreserwes (57×10^9 ton in die RSA) en dat beide reaktore 1 en 2 van Koeberg A hierdie jaar (1985) in bedryf sal wees, sal die volgende besparing teen verskillende kernkrag-installeringsgroei-koerse oor die volgende 50 jaar verkry kan word:

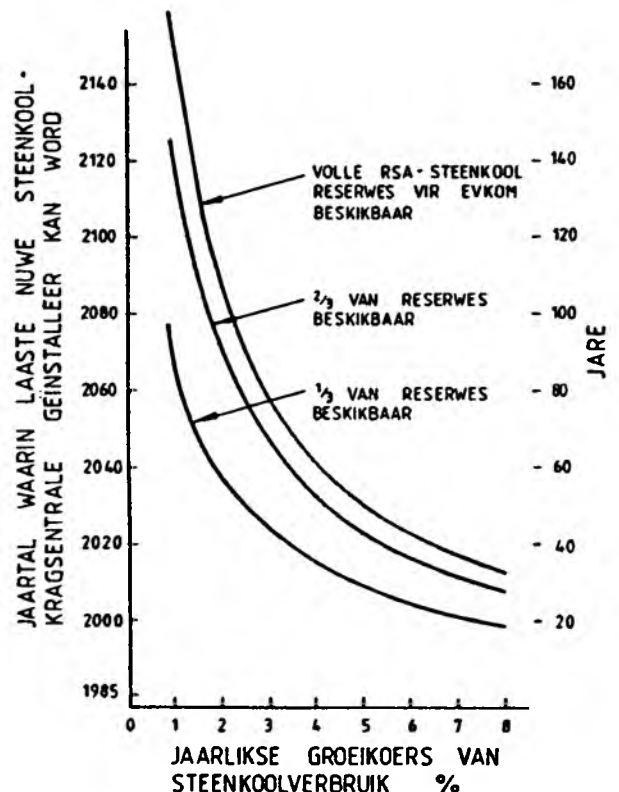


FIGUUR 6: Effek van infasering van kernkrag.

In die proses word die uraanreserwe (aangeneem dat niks uitgevoer word nie) verbruik soos in die figuur aangedui. As die groeikoers redelik groot sou wees, sal die instelling van verbeterde tegnologie, bv. snelkwekers, redelik gou ooreweeg moet word.

- (ii) Met kernkrag het ons 'n groter *vryheid* ten opsigte van die *geografiese plasing* van kragstasies omdat brandstofvervoerkoste minimaal is.
- (iii) *Water word bespaar*, want seewater kan vir verkoeling gebruik word.
- (iv) *Atmosferiese besoedeling* sal uitgeskakel word, en die omgewingsimpak in verband met die wegruiming en berging afval sal, in vergelyking met dié van steenkool, baie klein wees. Besoedeling het vandag, veral in die noordelike halfmond, 'n bron van bekommernis en 'n groot ekonomiese faktor geword.
- (v) 'n Groot *verlaging* van *totale risiko* kan verkry word. Gesaghebbendes beraam dat die totale risiko (byvoorbeeld in terme van ongevalle per GWh(e) opgewek) vir publiek en beroepslui, oor die *totale aksieveld* (insluitende myn, verwerking, daarstelling, bedryf, afvalwegruiming) van die energiestelsel bereken, *slegs 1/10 van die risiko van steenkoolkrag bedra*.

Gegronde op 'n baie eenvoudige model, probeer ons die vraag beantwoord oor wanneer EVKOM die laaste steenkoolstasie in die RSA gaan installeer. Die herwinbare reserwes en huidige verbruikstempo van 55×10^6 t/a deur EVKOM dien as uitgangspunt. Hieruit is dit byvoorbeeld duidelik dat, met 'n jaarlikse groeikoers van 5% in steenkoolverbruik en tweederdes van die herwinbare steenkoolreserwe tot EVKOM se beskikking, die laaste steenkoolkragstasie oor 40 jaar geïnstalleer sal word.



- AANNAMES**
- I - JAARLIKSE STEENKOLVERBRUIK VAN EVKOM IN 1983 IS 55×10^6 TON PER JAAR
 - II - TOTALE BESKIKBARE STEENKOLRESERWES IN DIE RSA IS 57×10^9 TON
 - III - GEMIDDELTE KRAGSTASIELEEFTYD IS 35 JAAR
 - IV - EVKOM VOORSIEN 50% EKSTRA RESERWE VIR ELKE KRAGSTASIE

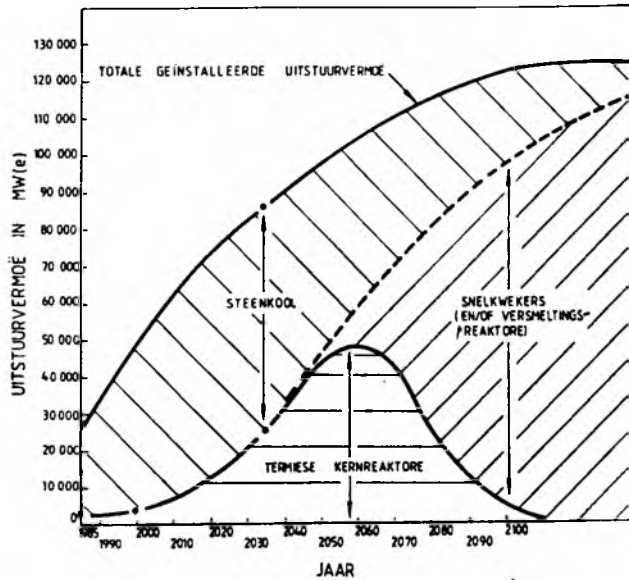
FIGUUR 7: Oorblywende tydperk vir installering van steenkoolkragentrales.

Die volgende is 'n dergelike prentjie, miskien effens meer realisties, in 'n ander vorm en op die volgende bykomende aannames gebaseer:

- (i) Die RSA-bevolking groei tot 80×10^6 oor die volgende 40 tot 60 jaar, waarna dit konstant bly.
- (ii) 'n Verdubbeling van elektrisiteitsverbruik per kop van die huidige ongeveer 4 tot 8 MWh/a vind plaas – dit is te sê as dit ekonomies baie goed sou gaan. (8 MWh/a is ekwivalent aan 12 voltlydse slawe.)
- (iii) Die uraanreserwes van die RSA is 460 000 ton teen ontginningskoste van minder as R250/kg en ruweg ekwivalent aan 3 000 reaktorjare met die huidige tegnologie. (1 Reaktorjaar = 1 000 MW(e) reaktor vir 1 jaar bedryf.)

Gestel ons beskou 'n tydstrekk van 100 jaar. Bogenoemde aannames beteken ruweg 'n verryfvoeding van die huidige geïnstalleerde kragopwekkingsvermoë van 25 GW(e) tot 125 GW(e), of 'n gemiddelde groeiakoers van 1,6% oor die volgende 100 jaar.

- (iv) Ons gebruik $\frac{2}{3}$ van die herwinbare RSA-steenkoolreserwes, wat ekwivalent is aan ongeveer 7 000 reaktorjare.



Tydskaal vir 100% lasfaktor
Ander lasfaktore: Tydskaal verander met 1/lasfaktor

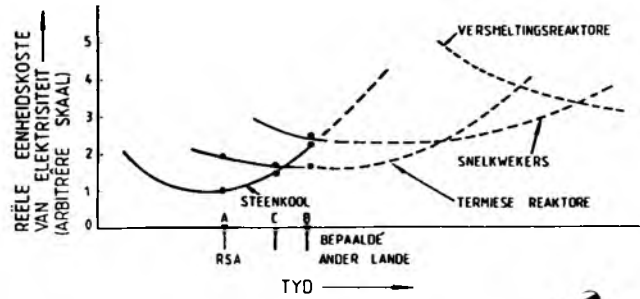
FIGUUR 8: Gepostuleerde kragopwekkingsscenario vir die RSA.

Die betekenis van die figuur is daarin geleë dat:

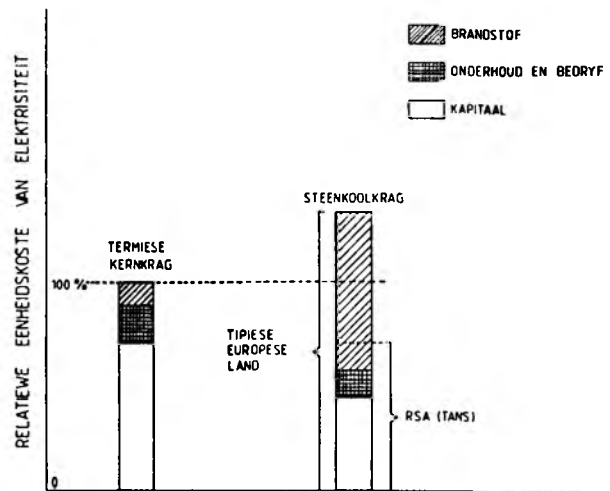
- (i) die volgende kernreaktor net voor of teen die jaar 2000 geïnstalleer sal moet word;
- (ii) oor die volgende 100 jaar 'n totaal van 100 reaktore (termiese en kwekerreaktore van 1 000 MW(e) elk met 'n leeftyd van 35 jaar per reaktor) gevestig moet word; 'n gemiddeld van ongeveer 30 sal in bedryf wees; en
- (iii) 'n gemiddelde verrykingsvermoë van 1 500 tot 3 000 tSW/a sal oor dieselfde tydperk nodig wees.

5.0 ALTERNATIEWE STELSLS VIR DIE TOEKOMS

Die volgende figuur gee 'n skematiese beeld van die verloop en waarskynlike verloop van die reële eenheidskoste van elektrisiteit per tyd vir die verskillende wyses waarop elektrisiteit opgewek kan word. Die aantal geskikte steenkoolvelde vir die oprigting van skaghoofstasies raak in die RSA beperk en sodra steenkool vervoer moet word, styg die koste en sal die RSA van punt A geleidelik oorbeweeg na byvoorbeeld punt B. Punt C is 'n voorstelling van die toestand naby Kaapstad.



RELATIEWE EENHEIDSKOSTE VAN ELEKTRISITEIT



FIGUUR 9: Elektrisiteitskostetendense vir verskillende kragopwekkingsstelsels.

Die figuur illustreer ook die basiese rede waarom steenkoolkrag in 'n tipiese Europese land duurder as termiese kernkrag is, nl. as gevolg van die steenkoolpryse wat grootliks onderling verskil.

Ons het 'n sekere stadium met die ontwikkeling van kernkrag in hierdie land bereik, en dit is dus goed om deur die tydvenster te loer en nou weer die vraag te vra: **Kernkrag quo vadis?**

Ons wil graag 'n paar alternatiewe roetes voorhou, ook in die lig van ontwikkelinge op kerngebied, en voorstelle van wêreldeskundiges gee, waarvan party dromers en ander realiste is. Voor ons daarby kom, net die volgende oor algemene tendense op kerngebied:

'n Wetenskap is aan die ontwikkel wat ons die *neutronika* sal noem. Dit kom daarop neer dat neutrone nodig is vir die instelling van 'n sinvolle langtermynkernkragstelsel, en dat bronne van neutrone op die mees koste-effektiewe wyse aangewend sal moet word. Daar word allerweë besef dat stelsels, wat tradisioneel beskou is as sonder verband, met sinvolle interaksie eintlik 'n *kernkontinuum* vorm. Ons praat van *klowing*-, *versmelting*- en *deeltjiever-snellingstelsels*.

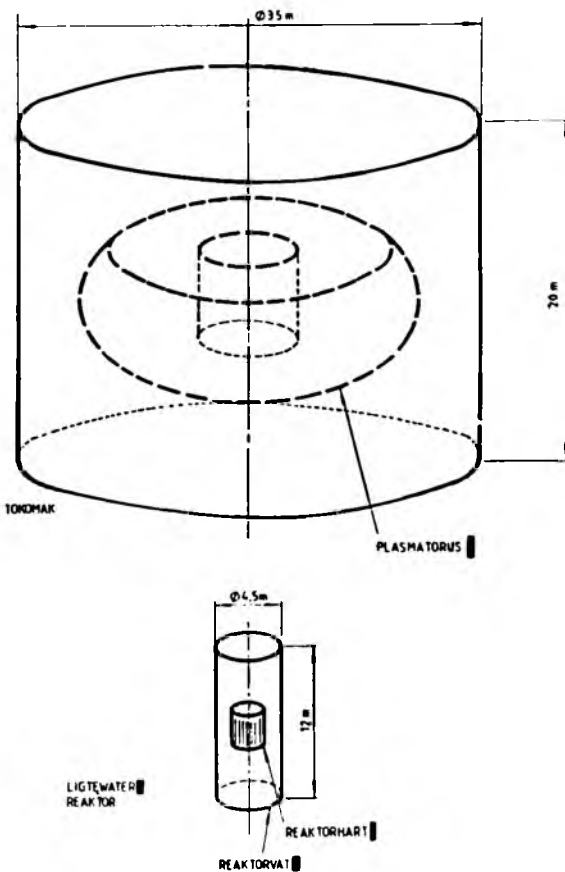
Wat bied die kernkontinuum?

- (i) Bepaalde tipes *klowingsreaktore*, byvoorbeeld die *termiese ligewater- en hoëtemperatuur gas-verkoelde tipes*, is relatief koste-effektief, is prakties, het 'n lae brandstofinventaris, maar

gebruik die potensiële brandstof baie oneffektief – in die orde 1% tot 2% van wat beskikbaar is. *Kwekerreaktore*, daarenteen, kan volle benutting (100%) van die brandstof lewer, maar is gesofistikeerd, baie kapitaalintensief en het 'n hoë brandstofinventaris. 'n *Tipiese kweker* is in staat om, deur die omsetting van kwekermateriaal (byvoorbeeld ²³⁸U) as gevolg van die invang van neutrone, genoeg brandstof te kweek om homself en 2/3 van 'n gewone termiese reaktorstelsel met dieselfde drywing en laer eenheids-elektrisiteitskoste by ewewig aan die gang te hou. (15→25 jaar verdubbelingstyd.)

- (ii) In kontras met die vorige sou 'n enkel *versmeltingsreaktor* (wat natuurlik nog ontwikkel sal moet word), sowat 25 gewone klowingsreaktore, elk met dieselfde vermoë, van brandstof kon voorsien. 'n Versmeltingskweker, ten spyte van 'n enorme kapitaalkoste, sou dus *in totale verband* 'n ekonomiese moontlikheid wees. Die kwekingsproses kan in sy wese ook as 'n verrykingsproses beskou word.

Die rede waarom versmeltingsreaktore op sigself waarskynlik nie as kommersiële elektriese en hitteopwekkers gebruik sal word nie (tensy baie spesiale materiale ontwikkel sou kon word), word in die volgende figuur getoon.



KRAGLEWERING: 1000 Mw(e) IN ELKE GEVAL.
VERHOUDING VAN KRAGDIGTHEDE $\frac{LWR}{T} \approx 100:1$

FIGUUR 10: Vergelyking van versmelting en klowing.

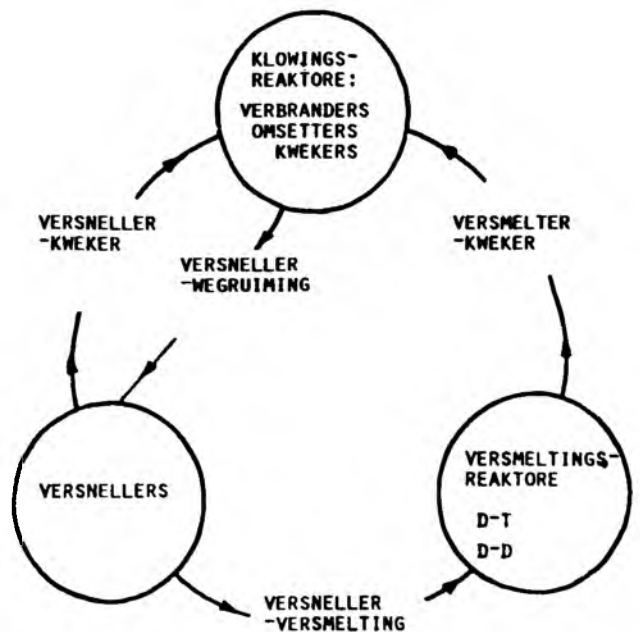
Vanweë

- (a) die beperkte maksimum hittevloed wat die eerste wand van byvoorbeeld 'n tokamak kan hanteer as gevolg van die skade van α -deeltjies en termiese spanningsbeperkings (materiaalbeperkings),
- (b) plasmafisiese beperkings (maksimum bereikbare magnetiese druk) en neutronaktivering;
- (c) die gevolglike laer ingenieurs-kragdigtheid byvoorbeeld:

$$\frac{\text{tokomak}}{\text{ligte waterreaktor}} = \frac{1}{100}$$
- (d) en groter kompleksiteit en die laer verwagte lasfaktor, sal veral die kapitaalkoste van 10 tot 20 maal meer as vir 'n klowingstelsel wees. Met vergelykbare bedryfskoste sal versmeltingskrag dus heelwat duurder as klowingskrag wees.
- (iii) Die *versnellertegnologie*, ook baie duur, is in beginsel nog 'n ryk bron van neutrone. 'n Enkel hoë-energieproton (1 tot 10 GeV) kan van die orde 20 to 200 neutrone uit lood en 100 tot 1 000 neutrone uit natuurlike uraan in 'n versplinteringsversneller lossaan. Hierdie neutrone kan dus vir brandstofkweking en, soos reeds genoem, die herverryking van transuraanelemente, ens., gebruik word. Teoreties is byvoorbeeld slegs 1/10 kg waterstof per jaar nodig om (nadat dit deur ionisasie in protone verander is, en dan in die versplinteringsversneller na neutrone wat in 'n kweekstof bv. ²³⁸U ingevang word), 'n 1 000 MW(e) reaktor aan die gang hou.

'n Ander moontlikheid is om deur middel van ioonversnelling versmeltingsreaksies teweeg te bring.

Die bostaande is slegs 'n paar voorbeelde van wat die kernkontinuum bied. Diagrammaties kan dit soos volg voorgestel word.



FIGUUR 11: Die kernkontinuum (die veld van die Neutronika).

Watter stelsels kan ons as moontlikhede vir die RSA oorweeg?

Dit sou waarskynlik lonend wees om, gegee die primêre steenkool- en uraanreserwes in die RSA, die kernkontinuum en die behoefte aan hitte, motorbrandstof en elektrisiteit aan verbruikerskant, studies oor die optimalisering van aanwending oor die lang termyn baie goed te koördineer. Faktore soos die uit-skakeling van besoedeling en die voorkoms van die volgende oliekrise, as gevolg van bronuitputting, vroeg in die volgende eeu moet nie uit die oog verloor word nie.

Kom ons ondersoek twee moontlikhede:

5.1 Die huidige stelsel

Daar is 'n baie sterk saak vir die uitbouing van die huidige ligewater- of kookwater termiese reaktore, soos Koeberg. Hulle is bewese stelsels, redelik standaard en daar is kompetisie in dié mark. Daar is ook die moontlikheid om die omsettingsverhouding van hierdie reaktore deur spektrumverharding te verbeter, maar desnieteenstaande sal hulle opgevolg moet word met snelkwekers, of anders sal brandstof vir hulle gebruik in versmeltings- of versnellerkwekers gekweek moet word. Een probleem is dat die bedryfstemperatuur van die ligewaterreaktore relatief laag is (tipies 350°C), sodat elektrisiteitsopwekking teen 'n termodinamiese benutting van sowat 30% geskied. Ook kan die hitte, vanweë die lae temperatuur, nie juis vir chemiese prosessering gebruik word nie. Uitskothitte kan nuttig vir ontsouting of vir woningsverwarming gebruik word as 'n reaktor binne 'n stad geplaas sou kon word. Hierdie reaktore sou, in klein formaat, ook nuttig vir skeepsaandrywing gebruik kon word.

5.2 'n Saamgestelde stelsel

In plaas van om, soos in die huidige konvensionele steenkoolsentrale, die steenkool eers te verbrand en daarna besoedelingsprodukte uit die afgas te probeer verwyder, sou dit moontlik wees om steenkool vooraf te vergas en om so die meeste van die besoedelingstowwe soos swaël, swaarmetale, as en partikels doeltreffend te verwyder. Die gas ('n samestelling van CO en H₂), per pyplyn getransporeer, kan direk, en gerieflik vir enige behoefte-kombinasie van hitte, elektrisiteitsopwekking, omsetting in motorbrandstof en vir ander chemiese toepassings gebruik word. Hierdie stelsel is uiters plooibaar en die totale vrystelling van CO₂ is heelwat minder as in die konvensionele stelsel waar parallelle kompeterende energiestrome bestaan. Later mag 'n waterstofgebaseerde stelsel ook oorweeg word, waar water direk met behulp van die hoëtemperatuurhitte gedissosieer word. Dit sou veral aantreklik wees as die verdigtingsprobleem ten opsigte van die gebruik van waterstof as motorbrandstof opgelos sou kon word.

Hoëtemperatuurproshitte vir vergassing en ander toepassings kan deur kernreaktore voorsien word, of andersins kan kernkrag ook direk vir elektrisiteitsopwekking gebruik word. 'n Saamgestelde stelsel van

steeenkool en kernkrag word dus gevorm wat in alle energiebehoefte voorsien.

Die termiese kernreaktor wat uiters geskik is vir gebruik in die bogenoemde saamgestelde stelsel, is die hoëtemperatuur gasverkoelde reaktor (>1 000°C). Die termodinamiese doeltreffendheid van hierdie reaktore is 45% en hoër ten opsigte van elektrisiteitsopwekking. Verder is hulle besonder eenvoudige, stabiele en veilige stelsels met 'n baie klein brandstof-inventaris. Vanweë hulle aard, kan hulle maklik proshitte vir vergassing en ander ingenieurstoepassings voorsien. Deur die gebruik van torium, wat redelik volop in die RSA voorkom, kan hulle in „amperkwekers” met hoë omsettingsverhouding omskep word. Die aanvulling van brandstof kan ook deur versnellers of versmeltingskwekers gedoen word. Die infasering van snelkwekers sou nie 'n besondere voordeel bied nie, want die bedryfstemperatuur (750°C) van snelkwekers is laer as dié van die gasverkoelde reaktore, en hulle kan ook nie vir vergassing gebruik word nie.

Die lasfaktor van gasverkoelde reaktore kan in 'n saamgestelde stelsel baie hoog gemaak word (>90%) as gas geberg kan word. Hierdie reaktore is nog nie op volle kommersiële skaal gedemonstreer nie, maar dit behoort binne die afsienbare toekoms te geskied, gereed vir toepassing in die volgende eeu.

As ons die bou van reaktore in die RSA sou oorweeg, is daar 'n baie sterk saak vir kleiner stelsels, want

- (i) massavervaardigingsbeginsels kan dan op talle komponente toegepas word;
- (ii) kragstasiebeplanning word vereenvoudig;
- (iii) 'n konstante produksie kan oor 'n langer tyd gehandhaaf word;
- (iv) beter standaardisasie van komponente en o.a. veiligheidsontledings kan gedoen word;
- (v) 'n minimum tyd vir die vestiging kan veral rente gedurende oprigting bespaar;
- (vi) die soortlike kapitaalkoste van kleiner stelsels is nie noodwendig meer as dié van groter stelsels nie. Ten spyte van die voordeel van skaal, vergroot die kompleksiteit van groter stelsels en daarmee saam veral kostes vir beveiliging (veiligheidsmaatreëls is tipies verantwoordelik vir sowat 50% van die kapitaalkoste van 'n groter kernsentrale);
- (vii) plooibaarheid en toepassings op plekke waar dit nooit voorheen oorweeg sou word nie, byvoorbeeld nader aan of binne stede (daar is heelwat navorsingsreaktore binne Amerikaanse en Kanadese stede en selfs verhitingsreaktore in Russiese stede); en
- (viii) die beskikbaarheid van kragentrales wat uit kleiner eenhede opgebou is, is beter as masiewe stelsels waar die uitval van 'n enkel reaktor (byvoorbeeld) groot probleme kan veroorsaak.

6.0 OPLEIDING

Ten slotte iets oor opleiding.

Ons het aan u 'n bepaalde beeld voorgedra. Ons

soek nou die kerningenieurs en kernwetenskaplikes in hierdie land om daardie potensiaal te ontsluit.

In dié verband kan ons melding maak van die versindheid wat by die Universiteit van Pretoria aan die dag gelê is om voorsiening te maak vir die opleiding van kerningenieurs vanaf 1985. Ons moet die Atoom-energiekorporasie ook bedank vir hulle aandeel hieraan. Ons glo dis 'n poging wat verder uitgebou moet

word, want daar is reeds 'n groot behoefte aan opgeleide kundiges by UKOR, KERNAKOR en EVKOM.

7.0 VERWYSINGS

- (1) Bauer G.S. & McDonald, A. (1983). *Nuclear technologies in a sustainable energy system*.
- (2) Jülich, F.R.G. (April 1984). International Symposium on Risks and Benefits of Energy Systems.