



Achtergrondinformatie

Thoriumreactor

In de discussie over de transitie naar een CO₂-vrije energievoorziening wordt vaak ook kernenergie genoemd. In de huidige kerncentrales wordt de uranium-isotoop U-235 als splijtstof gebruikt. Daar zitten nogal wat problemen aan: de kettingreactie van kernsplijtingen kan 'uit de hand lopen', en de splijtingsproducten zijn sterk en lang radioactief. Het kernsplijtingsafval moet daardoor langdurig veilig worden opgeslagen – en een definitieve oplossing daarvoor is er nog niet. Een veel vriendelijker vorm van kernenergie zou het gebruik van de thoriumisotoop Th-232 kunnen zijn. Dat thorium is weliswaar geen splijtstof, maar in een thoriumreactor is daar wel een splijtstof van te maken.

Kernsplijting in een thoriumreactor

De thoriumreactor gebruikt de thoriumisotoop Th-232, maar de energie wordt geleverd door de splijting van de uraniumisotoop U-233. Om de reactor op te starten, wordt naast het aanwezige Th-232 een klein beetje U-235 ingebracht. Bij dat U-235 kan spontane kernsplijting optreden, waarbij neutronen vrijkomen. Die neutronen veroorzaken een omzetting van het aanwezige Th-232 in de thoriumisotoop Th-233. Die thoriumisotoop vervalt vrij snel tot de protactiniumisotoop Pa-233 en vervolgens tot de splijtstof U-233.

1 Splijtstofproductie

Geef de productie van de splijtstof U-233 uit Th-232 weer in de vorm van een reeks kernreactievergelijkingen.

Bij het invangen van een neutron splijt het U-233, waarbij naast de twee splijtingsproducten niet alleen een behoorlijke hoeveelheid energie vrijkomt, maar ook enkele neutronen die voor de productie van nieuw U-233 en voor nieuwe splijtingsreacties kunnen zorgen. Alleen neutronen die door een moderator vertraagd zijn, kunnen een splijting veroorzaken. Niet elk ingevangen neutron zorgt voor een splijting. De kans op splijting is bij U-233 echter veel groter dan bij U-235. Bij herhaald invangen van een neutron door U-233 zullen steeds weer splijtbare nucliden ontstaan. Hierdoor wordt uiteindelijk alle thorium verbruikt, in tegenstelling tot wat gebeurt bij verrijkt uranium, dat voor 95% uit niet-splijtbaar U-238 bestaat en na invangen van een neutron plutonium oplevert.

Kernsplijting en kernreactor

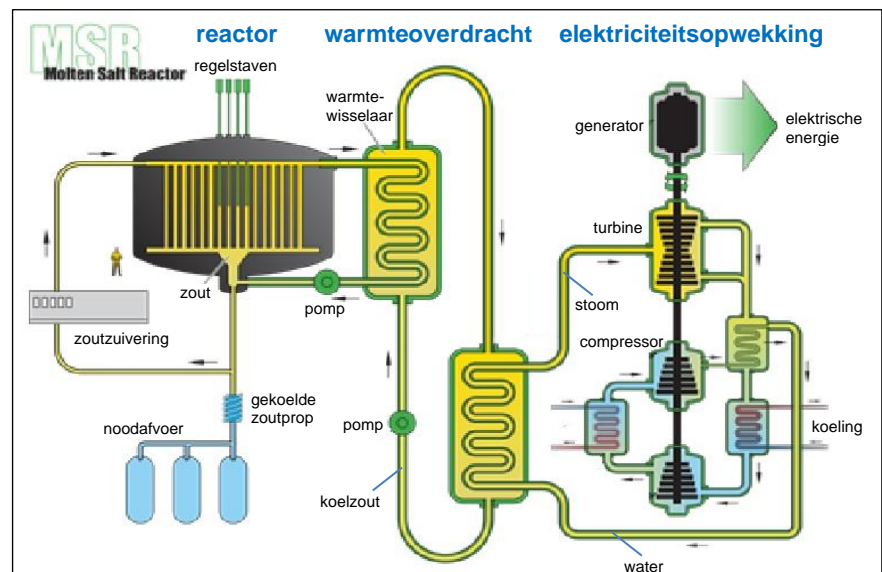
De links hieronder geven (met dubbelklik op het document-icoon) zo nodig informatie over kernsplijting en over de werking van een kernreactor met U-235 als splijtstof.



kernsplijting.pdf



kerncentrale.pdf



Figuur 1 – Schematische weergave van een gesmolten-zoutreactor.

De thoriumreactor is een *gesmolten-zoutreactor*, zoals schematisch weergegeven in figuur 1. In de reactor wordt gesmolten fluorzout van zo'n 750°C in een buizen-

stelsel rondgepompt. In het zout zit het thorium opgelost. Het zout stroomt in het reactorvat door grafiet, dat als *moderator* dienst doet om de vrijkomende neutronen voldoende te vertragen. Het reactorvat is bovendien voorzien van *regelstaven* waarmee een teveel aan neutronen afgevangen kan worden, zodat het splijttingsproces onder controle blijft.

Op een andere plaats in het gesmolten-zoutcircuit wordt de geproduceerde warmte door een warmtewisselaar afgestaan aan een tweede circuit met koelzout, dat zijn warmte weer afstaat aan een derde circuit waarin een stoomturbine en een generator zorgen voor het opwekken van elektrische energie.

In het reactorcircuit met gesmolten zout zit een *zoutzuiveringsinstallatie* waarin continu de splijttingsproducten uit het zout worden verwijderd en nieuw thorium aan het zout wordt toegevoegd.

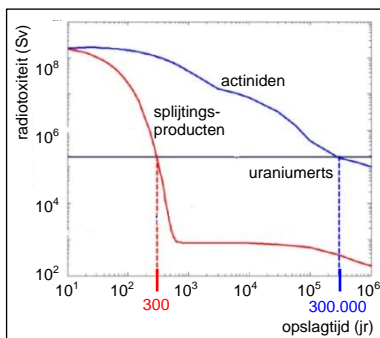
Aan het reactorcircuit met gesmolten zout zit een *noodafvoer* gekoppeld. De toegang daarvan is afgesloten met een gestolde prop zout doordat de leiding op die plaats elektrisch gekoeld wordt. Als er iets mis gaat in de reactor, dan valt de elektriciteit direct uit, houdt de koeling op en smelt dus de zoutprop. Daardoor stroomt de gehele inhoud van het circuit in de noodafvoer: een handige, automatische beveiliging waardoor een oververhitting van de splijtstof en een *meltdown* van de reactor uitgesloten is.

2 Uranium- en thoriumreactor

Geef een overzicht van de overeenkomsten en verschillen tussen een uranium- en een thoriumreactor op de volgende punten: de splijtstof, de moderator, de regelstaven en het koelmiddel.

3 Noodstop thoriumreactor

Als in de thoriumreactor het gesmolten zout in de noodafvoer stroomt, zullen de splijttingsreacties van het U-233 vanzelf stoppen. Leg uit waarom.



Figuur 2 – Radiotoxiteit van de splijttingsproducten (rode lijn) en van de door neutronenabsorptie in een uraniumreactor gevormde actiniden zoals Pu en Am (blauwe lijn) in de loop van de tijd, vergeleken met uraniumerts (grijze lijn). Bij de thoriumreactor zitten geen actiniden in het radioactief afval, zodat de opslag-tijd veel korter is.

Voordelen

De thoriumreactor heeft een aantal voordelen boven een kernreactor met U-235 als splijtstof.

- Een meltdown van de reactor, zoals bij de rampen in Tsjernobyl en Fukushima, is uitgesloten door de automatische beveiliging met de gekoelde zoutprop.
- Het reactorvat staat niet onder hoge druk, wat de reactor een stuk veiliger maakt. Doordat het zout uitzet bij opwarming, zal de kettingreactie vanzelf stoppen als het zout te heet wordt.
- Er wordt geen plutonium als bijproduct geproduceerd dat gebruikt kan worden voor de productie van kernwapens.
- Er wordt relatief weinig radioactief afval geproduceerd, dat bovendien zoals weergegeven in figuur 2 niet meer dan 300 jaar radiotoxisch is, in tegenstelling tot de 300.000 jaar bij een uraniumreactor.
- De 'brandstof' thorium is ruim beschikbaar, hoeft niet verrijkt te worden en wordt – in tegenstelling tot uranium, waarvan slechts 1% gespleten wordt – volledig opgebruikt. De voorraad aan winbaar thorium in de aardkorst is overigens – net als de voorraad fossiele brandstoffen – eindig. Het is moeilijk te voorspellen voor hoelang de thoriumreserves voldoende zullen zijn om centrales te laten draaien.
- Naast thorium kunnen ook andere stoffen als 'brandstof' gebruikt worden, zelfs het afval van bestaande uraniumreactoren – en dat zou dan een oplossing voor het eerder genoemde afvalprobleem kunnen zijn.
- De reactor levert geen CO₂-uitstoot. Het is overigens wel de vraag of dat ook kan gaan gelden voor de bouw van de centrale en voor de winning van thorium in de mijnbouw. Helemaal zonder CO₂-uitstoot is de thoriumreactor dus (nog) niet – maar dat geldt ook voor uraniumreactoren en alle andere vormen van energievoorziening, ook die uit zon, wind en biomassa.

Ontwikkeling

Al in de jaren vijftig en zestig van de vorige eeuw werden de mogelijkheden van een gesmolten-zoutreactor onderzocht. In het Amerikaanse Oak Ridge in Tennessee werd een eerste demonstratiecentrale gebouwd, maar die werd na vijf jaar onderzoek alweer gesloten. Het was de tijd van de Koude Oorlog en de uraniumchemie, waarmee plutonium voor kernwapens te maken was, was veel

Onderzoek

In Nederland wordt onderzoek naar de thoriumreactor gedaan bij de vakgroep Reactor Physics and Nuclear Materials (RPNM) van de TU Delft. Deze universiteit coördineert ook SAMOSAFER, een Europees samenwerkingsverband van veertien landen op het gebied van de gesmolten-zoutreactor.

Uitwerkingen

De link hieronder geeft (met dubbelklik op het document-icoon) de uitwerkingen van de vragen, waarmee je de antwoorden kunt controleren.



uitwerkingen
Th-reactor.pdf

bekender dan de thoriumchemie.

Het zal nog zo'n dertig jaar aan ontwikkeltijd kosten voordat er thoriumreactoren op grote schaal gebouwd kunnen worden. Het duurt bijvoorbeeld nog jaren om geschikte materialen te vinden die bestand zijn tegen het corrosieve fluorzout, de hoge temperatuur en de sterke radioactieve straling in de thoriumreactor. Ook is nog onderzoek nodig naar de chemie om het zout te zuiveren en de samenstelling van het zout te controleren. En als daar oplossingen voor gevonden zijn, dan kost de bouw van een thoriumreactor veel tijd en geld – vergelijkbaar met de bouwtijd en kosten van een uraniumreactor: zo'n acht jaar en iets in de orde van acht miljard euro. En ook het radioactief afval van de thoriumreactor zal moeten worden opgeslagen, al gaat het dan om minder afval voor een kortere tijd dan het afval van uraniumreactoren.

Klimaatverandering

Door het probleem van klimaatverandering zijn we op zoek naar andere vormen van energieopwekking, zonder het gebruik van fossiele brandstoffen en de bijbehorende CO₂-uitstoot. Zon, wind en biomassa zijn mogelijke alternatieven, maar het is de vraag of we het daarmee helemaal gaan redden. Voor zo'n energievoorziening is bovendien een enorm grote opslagcapaciteit nodig om de perioden met te weinig zon en wind te overbruggen. Voor de verre toekomst zijn thoriumreactoren dan mogelijk een oplossing – als ze blijken te werken zoals verwacht.

4 Energietoekomst

Over het antwoord op de vraag of we het in de toekomst gaan redden met zond, wind en biomassa voor onze energievoorziening bestaan nog grote onzekerheden.

- Leg uit waarom kernenergie nodig zou kunnen zijn als aanvulling op zon, wind en biomassa.
- Geef minstens twee andere mogelijkheden dan kernenergie als aanvulling op zon, wind en biomassa.

Bronnen

- Coen van der Kamp (2020). Thorium, de energiebron van de toekomst? (1). *NVOX 45(2)*, 96-97.
- Coen van der Kamp (2020). Thorium, de energiebron van de toekomst? (2). *NVOX 45(3)*, 154-155.
- Jan Leen Kloosterman (2015). Een paradigmaverschuiving in reactorveiligheid: de gesmolten-zoutreactor. *NTvN 81(2)*, 48-51.
- Jan Leen Kloosterman (2018). Energie uit thorium gesmolten-zoutreactoren. Verslag WND-conferentie 2018: *Energie in transitie*.