

History: why are we not using the thorium-MSR today?

Although the thorium-MSR development effort showed very promising results, funding was eventually cut in favour of reactors that were better suited for breeding plutonium. The reason for this was the fear of an impending shortage of uranium, which later proved to be unfounded. By then it was too late for the thorium-MSR, as a large developmental gap had been created.

The Molten Salt Reactor Experiment (MSRE)

A test reactor has been in operation in the 1960's at Oak Ridge National Laboratory, which demonstrated many of the theoretical assumptions. All metal parts contacting salt were made of Hastelloy-N, which proved compatible with the fluoride salts.

Nuclear waste burner

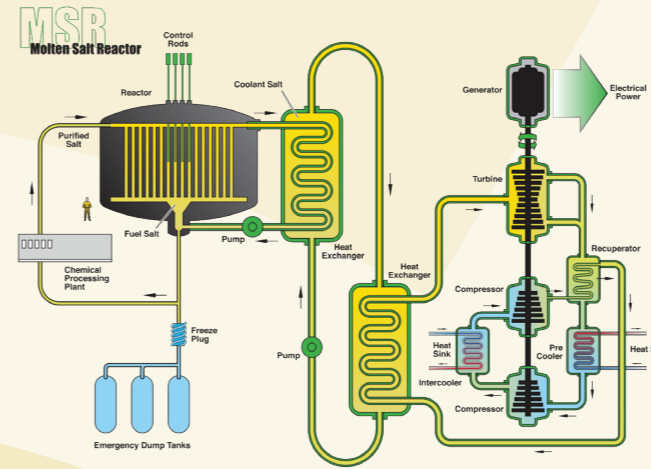
Molten Salt Reactors are not only suitable for running on thorium, but on the long-lived nuclear waste from other reactors as well. This creates an opportunity to reduce current plutonium stockpiles, both from reactor operation and warheads, and turn them into energy.

Challenges

The thorium-MSR is still in the development phase and faces a number of design challenges, although these are expected to have solutions. Important among these are development of the chemical processes and installations, corrosion-, temperature-, and radiation resistant materials, and the licensing procedures.

reactor

The Thorium Molten Salt Reactor is an innovative reactor design that uses liquid-, instead of solid fuel, and thorium instead of uranium. Its radically different design give it very different properties from "traditional" reactors.



In a nutshell, the thorium-MSR design consists of a core and a "blanket". Both hold a different mixture of molten salts and either thorium (blanket) or uranium (core). The uranium in the core serves to generate heat to produce steam for electricity generation, and to turn the thorium in the blanket into that same uranium. The uranium undergoes fission, releasing neutrons that hit the thorium in the blanket and turn it eventually into the same uranium that is in the core. This is uranium is retrieved from the blanket and inserted into the core as new fuel.



Current MSR development

Several start-ups as well as countries in Europe, India, China, and Japan, are currently working on Molten Salt Reactor technology. China is leading the effort, the country intends to devote large amount of funding and manpower to the technology over the coming years.

SAFER

The thorium-MSR is inherently safe. Meltdown and hydrogen explosion, the main risks in light water reactors, are not possible in the thorium-MSR. This is because the reactor structure is at ambient pressure and the fuel salt is in a molten state, and has a high boiling point. The large temperature feedback coefficient and a frozen salt plug at the lowest point of the reactor further protects the reactor against overheating.



MORE

There is 3-4 times more thorium than uranium on the planet. Although there is no shortage of uranium, the thorium-MSR converts all thorium to energy, while existing Light Water Reactors use only 1% of the uranium. New generation-IV reactors would be needed to better use the other part of the uranium as well, but these are not yet available and would by far not have the same safety and sustainability benefits of the "Thorium-MSR".

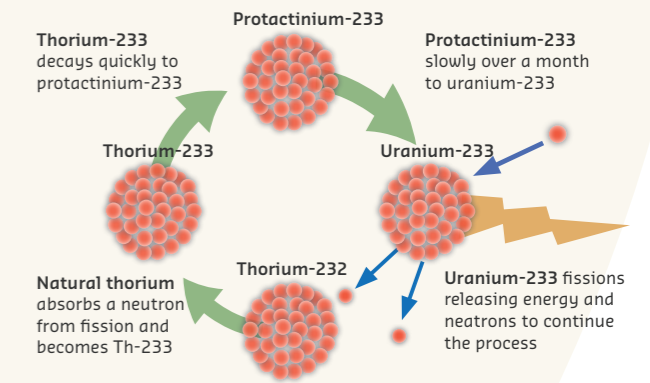
BASICS Thorium

Thorium has 90 protons in its core, which is among the highest of all the elements. It is a silvery white metal with properties somewhat similar to lead. It was discovered by Swedish chemist Jons Jacob Berzelius in 1828 who named it after the Norse god of thunder, Thor. 70 years later Marie Curie and Gerhard C. Schmidt established that thorium was a radioactive element.

Thorium MSR and power generation

Nuclear fission, not to be confused with nuclear fusion, is the process at the core of nuclear energy generation. In the fission process atoms are split by neutrons which produces new neutrons, and large amounts of heat, which is used to produce steam. The steam is used to drive the turbines that produce electricity. Essentially, nuclear power plant is a high-tech steam engine connected to an electricity generator.

U-Th Fuel Cycle



Thorium as an energy source

Thorium is an abundantly available nuclear fuel, which can form a sustainable source of energy for tens of thousands of years. Thorium fuel can be processed in Molten Salt Reactors, which are extremely safe due to the intrinsic combination of fuel and coolant in a single medium. Thorium leaves a heritage for the next generations of limited amounts of waste that can be handled on a much smaller time scale and scope than CO2 or uranium waste. Thorium can play an important role in transitioning from dominant use of fossil fuels and become a part of completely sustainable energy production.

CLEANER

In the thorium-MSR, all long-lived nuclides remain in the fuel salt until they are completely destroyed. In the ultimate case only fission products need to be disposed of with a radiotoxicity decreasing sharply to very low levels after 300 years of storage.



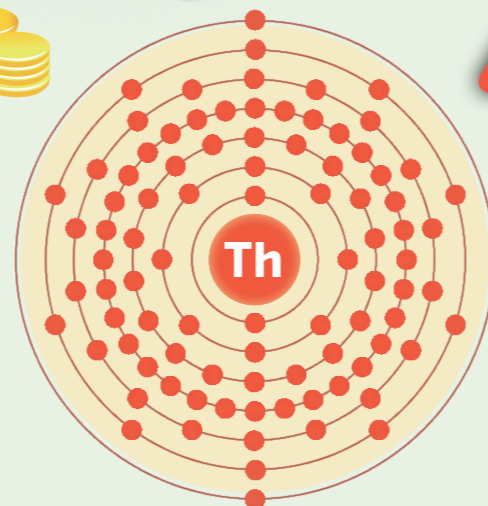
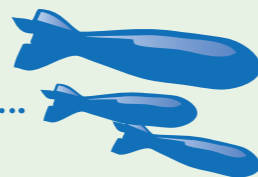
CHEAPER

Thorium-MSR electricity is expected to be cheaper than current reactors. To say for certain, more research has to be done to establish what the final design will look like, and how costly it will turn out to be.



PROLIFERATION

In the MSR, thorium is converted to fissile uranium to sustain the fission chain reaction. The uranium produced is contaminated with decay products emitting highly energetic gamma rays preventing the use of the uranium for other purposes. Nevertheless, like all nuclear reactors, the thorium MSR should be operated under the inspection regime of international bodies.



Thorium Molten Salt Reactor

Thorium MSR

de duurzame kernenergiebron van de toekomst

Thorium MSR staat voor een type kernreactor (Molten Salt Reactor) waarin elektriciteit wordt geproduceerd uit thorium.

Dit type reactor heeft grote voordelen, want hij:

- is veilig: een meltdown, explosie of verspreiding van radioactief materiaal is uitgesloten,

- produceert geen langlevend radioactief afval,

- verbruikt enkel zeer kleine hoeveelheden van het bijna onbeperkt voorkomende thorium,

- kan ook zeer efficiënt bestaand afval van kerncentrales opruimen en omzetten in energie,

- levert energie “on demand”, m.a.w. de kernreactie volgt de energievraag,

- levert elektriciteit die naar verwachting aanmerkelijk goedkoper is dan die van alle op dit moment bestaande bronnen.

De MSR technologie is al 50 jaar geleden bewezen in het beroemde MSRE experiment in Oak Ridge National Laboratory, dat 5 jaar lang gedraaid heeft. Naar verwachting kan met een zeer ambitieus ontwikkelprogramma binnen 10 tot 20 jaar de eerste werkende centrale gerealiseerd zijn.

Wat is het verschil tussen de bestaande reactoren en de thorium MSR reactor?

In bestaande lichtwaterreactoren(LWR) bestaat de splijtstof uit tabletten van uranium-dioxide omgeven door een gasdichte metalen huls van een zirconium-legering. Deze splijtstofpinnen worden gebundeld tot een splijtstofelement waarvan enkele honderden samen de reactorkern vormen. Elk jaar wordt een kwart van de splijtstofelementen gewisseld, hetgeen betekent dat een splijtstofelement vier jaar lang meegaat. Dit heeft gevolgen voor het ontwerp en de veiligheid. De afvalproducten die bij kernsplijting ontstaan zijn radioactief en produceren warmte, ook als de splijtingsreactie wordt gestopt. Als deze vervalwarmte niet wordt afgevoerd, bijvoorbeeld door grote schade aan het koelsysteem ten gevolge van een aardbeving zoals in Fukushima, kunnen de splijtstofstaven oververhit raken, waardoor de metalen huls oxideert en waterstof vrijkomt. Uiteindelijk kunnen de splijtstofstaven zelfs smelten en kunnen er radioactieve stoffen vrijkomen. Hoewel bij moderne kerncentrales het risico sterk is gereduceerd, blijft er altijd een zeer kleine kans bestaan op een groot ongeval. Daarnaast gebruikt dit type reactor maar 1% van het beschikbare uranium en wordt er bij bestraling van de in de brandstofelementen aanwezige niet-splijtbare uraniumsoort het gevaarlijke plutonium geproduceerd. Dit kan weliswaar worden hergebruikt, maar volledig hergebruik vereist een nieuw type kerncentrale, een zogenoemde snelle natriumgekoelde kweekreactor, die nog niet bestaat en als hij komt nog steeds behept is met een klein risico op een groot ongeval.

De gesmolten zout reactor (MSR) kent deze problemen niet. Omdat de splijtstof wordt opgelost in een gesmolten zout, is er geen temperatuurverschil meer tussen splijtstof en koeling. Daarbij stopt de kernreactie volledig automatisch als de temperatuur te hoog wordt. Er kan dus niets oververhit raken, er kan geen explosief waterstof gevormd worden en er kan geen meltdown optreden.

Ook werkt de reactor onder atmosferische druk waardoor het reactorvat veel eenvoudiger en lichter kan worden uitgevoerd.

Omdat de MSR zo veilig is en niet onder hoge druk staat, kan naar verwachting de resulterende kostprijs van elektriciteit lager zijn dan de toch al zeer lage prijs in de huidige kerncentrales.

Geen langlevend kernafval

Maar de mooiste eigenschap van de MSR is dat alle brandstof verspleten wordt en wordt omgezet in elektriciteit. Dat geldt voor thorium en uranium, maar ook voor bestaand gevaarlijk kernafval dat beetje bij beetje in de reactor kan worden opgestookt.

De resterende splijtingsproducten zijn al binnen 300 jaar minder radioactief geworden dan het uraniumerts dat voor de fabricage van de splijtstofelementen werd gebruikt.

Dit vergemakkelijkt de geologische opberging. En, heel belangrijk, het resterende afval is absoluut ongeschikt voor de productie van kernwapens

Waarom zijn er nog geen thorium MSR centrales?

Hoewel de thorium MSR werd bedacht vlak na de nu gangbare LWR met uranium als brandstof, is de ontwikkeling indertijd gestopt omdat men destijds vreesde voor een fundamenteel tekort aan splijtbaar uranium. Om die reden wilde men snel beginnen met het kweken van plutonium als splijtstof voor nieuwe reactoren.

Omdat de MSR zelf niet erg geschikt is voor het kweken van plutonium werd de voorkeur gegeven aan snelle kweekreactoren met natrium als koelmiddel boven de veel veiligere en duurzamer thorium MSR.

Dit blijkt achteraf een grote vergissing geweest te zijn. De uraniumschaarste was veel minder groot dan gevreesd en de kweekreactoren hebben dan ook geen enkele rol gespeeld in de verdere ontwikkeling van de kernenergie. Maar voor de thorium MSR was het te laat.

Er zijn wereldwijd alleen maar reactoren gebouwd met vaste brandstofelementen en de bijbehorende risico’s voor een kernsmeltongeval. Bij de energieproductie ontstonden ook nog eens substantiële volumes langlevend kernafval.

De ontwikkeling resulteerde ook in grote bestaande industriële belangen. De meeste nucleaire bedrijven en instituten staan daarom niet te springen om thorium MSR technologie te omarmen. Dat kan overigens best veranderen, wanneer men begint in te zien dat er ook enorme kansen liggen voor degene die als eerste de sprong maakt. Zo gaat het uiteindelijk met alle disruptieve technologieën.

Waarom is er zo’n aandacht voor thorium MSR?

Tot voor kort leek de verkeerde keuze voor kweekreactoren niet meer terug te draaien vanwege de achterstand van de MSR op de LWR. Maar het ongeval in Fukushima heeft geleid tot een tijdelijke terugval in de renaissance van kernenergie gebaseerd op de LWR en tot een toenemende belangstelling voor kernenergie gebaseerd op thorium in de MSR.

Deze ontwikkeling wordt ondersteund door een groeiende aandacht voor kernenergie, mede door de toenemende aandacht voor een snelle reductie van de CO2 uitstoot. Ook al omdat blijkt dat de bekende duurzame bronnen niet in staat zijn om het aandeel van met fossiele brandstof opgewekte energie in de totale behoefte snel substantieel terug te dringen.

Zeer vooraanstaande klimaatwetenschappers zijn ondanks hun aanvankelijke bedenkingen overstag gegaan, en zijn voorstander geworden van een groot aandeel van kernenergie in de energievoorziening.

De bekendste namen zijn Patrick Moore, een van de oprichters van Greenpeace, en James Hansen (voormalig NASA Goddard Institute), een van de meest uitgesproken voorstanders van een zeer ingrijpend klimaatbeleid en spraakmakend activist tegen fossiele energie.

Zij gaan ervan uit dat de door velen als doorslaggevend gevoelde aspecten van besmettingsgevaar bij kernongelukken en de opslag van langdurig radioactief afval zo goed mogelijk moeten en kunnen en zullen worden opgelost.

Deze problemen spelen echter niet bij thorium MSR technologie, waardoor deze recent een snelle opmars maakt in de rij van duurzame energie technologieën.

Welke hordes moeten nog genomen worden?

Een aantal nucleaire start-ups kan waarschijnlijk op korte termijn kleine gesmolten zout reactoren leveren, maar die hebben een laag vermogen , en zeker niet alle voordelen van de thorium MSR volgens het Liquid Fluoride Thorium Reactor (LFTR) concept, de zuiverste vorm van thorium MSR technologie. Voor de LFTR is nog wel een aantal jaren van onderzoek naar en ontwikkeling van de benodigde chemische processen en installaties nodig. Dat geldt ook voor corrosie-, temperatuur- en stralingsbestendige materialen en voor de wetenschappelijke basis ten behoeve van het vergunningverleningstraject.

De benodigde tijd voor deze ontwikkelingen houdt natuurlijk zeer sterk verband met de beschikbare financiering. Met een aanpak als bij het Manhattan project (onbeperkte middelen) kan de technologie binnen tien jaar zover zijn dat daarna een commerciële centrale ontwikkeld kan worden.

Een nieuwe generatie kernwetenschappers

De jongste ontwikkelingen op thorium MSR gebied worden gekenmerkt en mede veroorzaakt door een groot enthousiasme en idealisme van de jongste generatie kernwetenschappers en ingenieurs. Ze zijn zeer gemotiveerd om een bijdrage te leveren aan een schone en veilige energievoorziening en denken in volledig nieuwe concepten. Zoals zestig jaar geleden in een mum van tijd allerlei nucleaire technieken werden ontwikkeld voor zeer verschillende toepassingen, zo schieten nu de (thorium) MSR start ups als paddenstoelen uit de grond, met name in de VS, Canada, Engeland, Scandinavië en Duitsland.

China, Japan en India

Maar alleen in Azië wordt vooralsnog daadwerkelijk krachtig in MSR technologie geïnvesteerd. De stijgende energiebehoefte en de met fossiele brandstoffen opgewekte energieproductie en de daarmee samenhangende luchtvervuiling zijn zo groot, dat men in ieder geval zeer sterk inzet op kernenergie. Tegen de 100 kerncentrales zijn al in aanbouw, en voor minstens zo veel zijn de locaties al vastgesteld.

Maar Fukushima heeft ook daar grote invloed gehad op het energiebeleid, zodat er nu naarstig wordt gezocht naar een principieel veiliger technologie.

Het ziet ernaar uit dat de drie Aziatische energie-reuzen overwegen om over te schakelen op thorium MSR, zo gauw die commercieel beschikbaar komt, en ze lijken ook bereid om dat moment te versnellen met grote investeringen in MSR-onderzoek.

Thorium MSR in Nederland

Sinds een aantal jaren wordt op de TU Delft gewerkt aan MSR technologie. Zeer onlangs werd het nieuwe Europese MSR project SAMOFAR goedgekeurd dat onder leiding van TU Delft zal worden uitgevoerd.

Ook zal in 2015 door NRG in Petten in samenwerking met JRC-ITU in Karlsruhe – en als onderdeel van het EZ programma voor

een CO2 arme energievoorziening - een eerste bestraling in de Hoge Flux Reactor worden uitgevoerd voor onderzoek naar het gedrag van fluoridezout tijdens bestraling. Op basis van de bevindingen zal een vervolg gedefinieerd worden gericht op onderzoek naar materialen die bestand zijn tegen gesmolten zouten onder invloed van straling en hoge temperatuur.

Helaas is het budget voor al dit onderzoek dermate beperkt dat dit het beschikbaar komen van thorium MSR centrales slechts marginaal zal versnellen.

Wat nodig is, is een zeer ambitieus plan om binnen tien jaar tot een oplossing te komen voor de resterende problemen. Juist omdat het onderzoek nog zeer versnipperd plaatsvindt en centralisatie van kennis en disciplines grote voordelen biedt, ligt hier een buitenkans voor Nederland. Centralisatie van kennis binnen één instituut zou Nederland een fundamentele voorsprong geven op het gebied van deze technologie, die waarschijnlijk wereldwijd een enorme opmars zal gaan maken.

Door veel deskundigen wordt erop gewezen dat de inspanningen om tot een duurzame energievoorziening te komen op dit moment volledig gericht zijn op het verlenen van exploitatiesubsidie, wat juist averechts werkt op de noodzakelijke innovatie, omdat daardoor slechts marginaal geïnvesteerd wordt in energieonderzoek. Voor de realisatie van de thorium MSR is slechts een fractie nodig van de in het energieakkoord opgenomen exploitatiesubsidies.

Thorium MSR Institute Delft - TMID

Het werk binnen het TMID zou alle Nederlandse stakeholders verbinden en het volgende moeten behelzen:

- Het opleiden en aantrekken van getalenteerde studenten, promovendi, en postdocs en van gerenommeerde wetenschappers op de relevante deelgebieden van de chemie, materiaalkunde, werktuigbouwkunde, natuurkunde en kerntechnologie.

- Het ontwikkelen en testen (i.s.m. andere partners waaronder NRG in Petten) van materialen voor gebruik met gesmolten zouten onder invloed van straling en hoge temperatuur.

- Het ontwikkelen van scheidingsprocessen en procesapparatuur om het zout in goede conditie te houden, alle ongewenste stoffen eruit te verwijderen en de gewenste stoffen toe te voeren.

- Het ontwikkelen van een wetenschappelijke basis voor goede regelgeving en het opleiden van deskundigen om deze regelgeving internationaal op te stellen en toe te passen.

- Het faciliteren van spin-offs en start-ups op de gebieden van MSR technologie, om te komen tot een bloeiende economische bedrijvigheid met maximale kruisbestuiving tussen onderzoek en toepassing.

- Het ontwerpen van een testreactor.

Voor TMID zou over 10 jaar in totaal ca € 1 miljard moeten worden uitgetrokken.

Dr. Jan Leen Kloosterman (TU Delft)
Prof. Dr. Jilt Sietsma (TU Delft)
Prof. Dr. Rudy Konings
Ir. Theo Wolters
Ir. Coen Groen
Lucas M. Pool MSc
Jorrit Swaneveld MBA MA

Links

www.thmsr.nl
www.linkedin.com/groups/Thorium-MSR-8234076
www.nslash.nl/TMID/thoriumMSR.htm”oriumMSR.htm