

Bouwtechnologische aspecten van kernreactoren

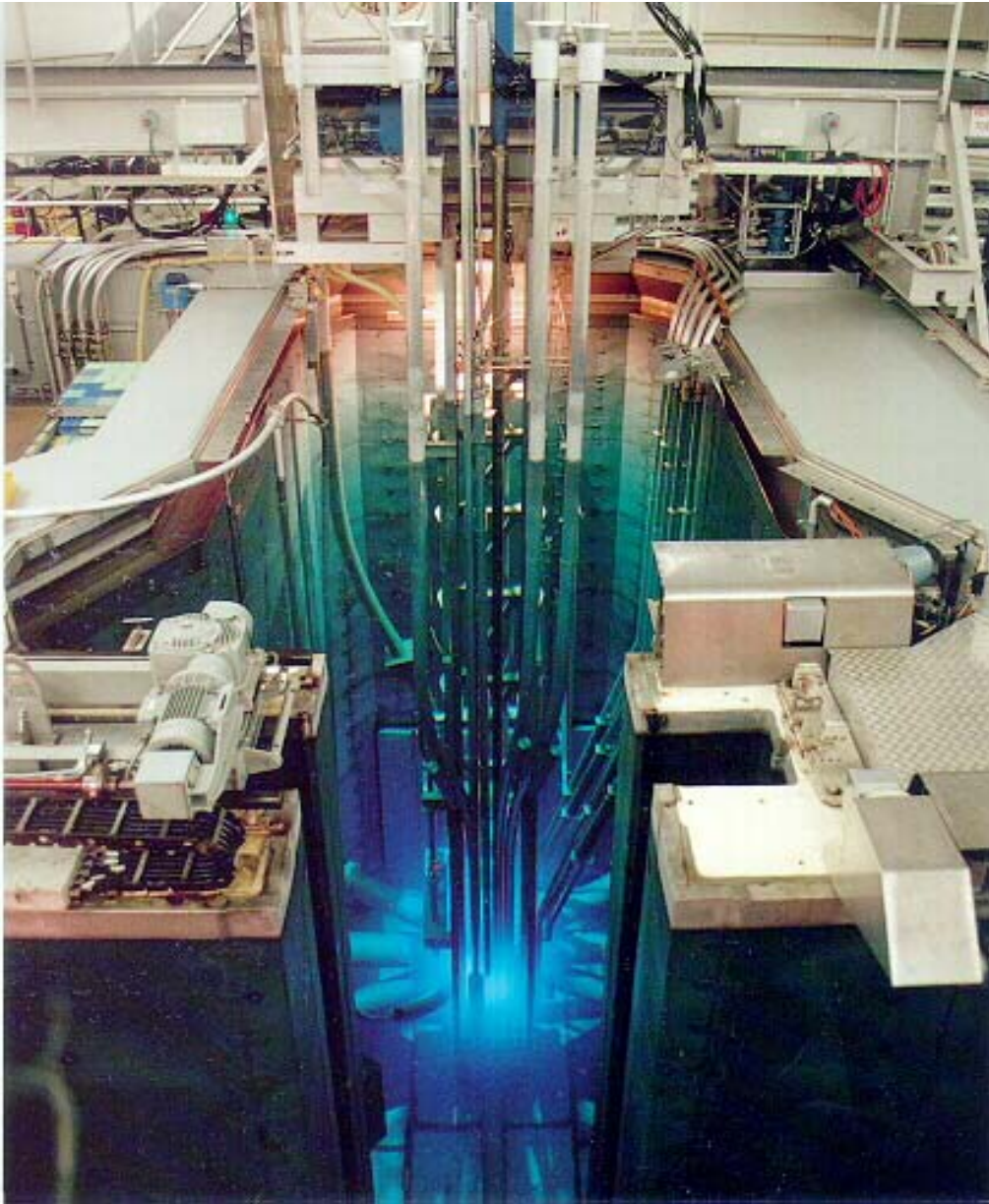
J.L. Kloosterman
Technische Universiteit Delft
Interfacultair Reactor Instituut
Mekelweg 15, 2629 JB Delft
J.L.Kloosterman@iri.tudelft.nl

In een kernreactor worden uraniumatomen gespleten in twee of meer brokstukken (de splijtingsproducten), waarbij warmte en elementaire kerndeeltjes (gammastraling en neutronen) vrijkomen. In een kernenergiecentrale wordt de warmte afgevoerd en gebruikt om elektriciteit mee op te wekken, terwijl in een onderzoekreactor juist de vrijgekomen neutronen worden gebruikt om de fundamentele eigenschappen van materialen te bestuderen. Dit stelt andere eisen aan de bouw van het omhulsel van de reactorkern. Een onderzoekreactor moet juist toegankelijk zijn, zodat de neutronen uit de reactorkern gemakkelijk kunnen worden gebruikt voor onderzoek en bovendien bestralingsmonsters eenvoudig in de reactorkern kunnen worden gebracht. In een kernenergiecentrale daarentegen wil men de geproduceerde warmte zo effectief mogelijk afvoeren, hetgeen meestal met water onder hoge druk (75 of 150 bar) plaatsvindt. In beide typen reactoren moet de reactorkern wel zodanig worden afgeschermd dat de vrijkomende straling geen schade kan berokkenen aan mensen.

Een onderzoekreactor bestaat meestal uit een bassin gemaakt van beton en gevuld met water. Water en beton zijn beide materialen die goed de gammastraling en de neutronen uit de reactorkern tegenhouden. Om toch van de neutronen gebruik te kunnen maken lopen er door het water en de betonwand vacuüm buizen waardoorheen de neutronen naar de experimentele opstellingen "vliegen". Omdat boven de reactorkern alleen water zit, is de kern altijd goed toegankelijk voor het inbrengen van bestralingsmonsters en voor het verwisselen van splijtstofelementen (elk jaar worden de opgebrachte splijtstofelementen vervangen door nieuwe). Om een indruk te geven van afmetingen: de betonwand van de Hoger Onderzoeks Reactor (HOR) in Delft is ongeveer 2,5 meter dik en bestaat uit gewoon beton met dichtheid van 2.5 g/cm^3 en uit barriëtbeton met dichtheid van 3.5 g/cm^3 . De vloer van de reactorhal is ruim een meter dik.

De splijtingsprodukten die bij het kernsplijtingsproces ontstaan zijn in veel gevallen nog radioactief. Dit betekent dat zij ioniserende straling (bijvoorbeeld gammastraling of neutronen) kunnen uitzenden. Om te voorkomen dat in geval van incidenten deze radioactieve stoffen kunnen vrijkomen, staat de reactorkern (het betonnen bassin) in een gasdichte hal die permanent op onderdruk wordt gehouden. Dit betekent dat er niet ongecontroleerd een luchtstroom en dus transport van radioactieve stoffen van binnen naar buiten kan plaatsvinden. Dat is de reden dat je de reactorhal alleen via een luchtsluis kan betreden. De hal is gemaakt van stalen platen en omgeven door isolatiemateriaal en aluminium afdekplaten. Uiteraard moet de reactorhal nog aan diverse andere eisen voldoen. Zo kan de hal een waterniveau van 2,5 meter boven het maaiveld weerstaan en worden er speciale eisen gesteld op het gebied van windbelasting, sneeuwlast, maximale onder- en bovendruk, etc. Op bouwtechnisch gebied moet ook speciale aandacht worden besteed aan de brandveiligheid. Zo lopen de kabelverbindingen van de redundante

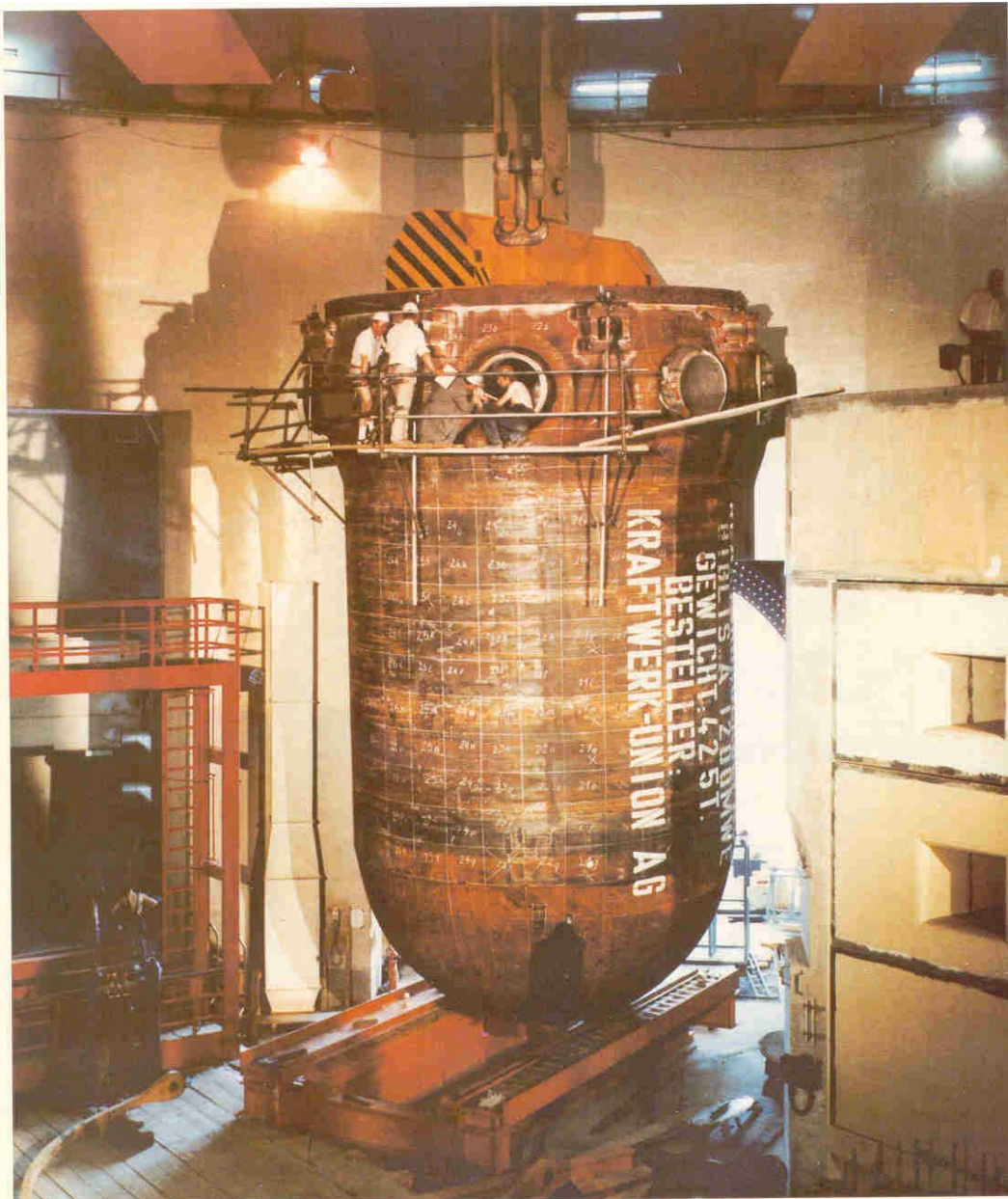
veiligheidsystemen via gescheiden tracés en bevatten alle kabelgoten regelmatig zogenaamde brandbarrières om schoorsteenwerking door de kabelgoten te voorkomen. Zoals gezegd is de reactorkern van een kernenergiecentrale veel minder toegankelijk. De reactorkern wordt meestal gekoeld met water onder hoge druk zodat er een dik drukvat nodig is. Zo heeft bijvoorbeeld de kernenergiecentrale in Borssele een drukvat van 18 cm dik hoogwaardig staal met een hoogte van 10 meter en een diameter van 4 meter. Dit vat staat weer in een zware betonnen bunker die de gammastraling en de neutronen van de reactorkern tegenhoudt. Deze bunker staat vervolgens in een bolvormig stalen insluitsysteem dat op onderdruk wordt gehouden, maar dat tevens bestand is tegen de groots mogelijke overdruk die na een grote storing in dit systeem kan optreden. Tenslotte is deze stalen koepel weer omgeven door een dikke gasdichte wand van gewapend beton. Uiteraard verschillen de bouwtechnologische eisen die aan kernreactoren worden gesteld van land tot land. Zo wordt in Japan altijd speciale aandacht geschonken aan de aardbevingsbestendigheid van kernreactoren en zullen in Nederland altijd de gevolgen van overstromingen moeten worden betrokken in het ontwerp. De verschillende eisen die men aan kernreactoren stelt, betekent ook dat de veiligheid van kernenergiecentrales niet eenvoudig met elkaar vergeleken kunnen worden. Zo had de kernenergiecentrale van Chernobyl geen gasdicht insluitsysteem hetgeen grote gevolgen had na het ongeval in 1986. De centrale in Harrisburg (Three-Miles Island) had één gasdicht insluitsysteem, hetgeen in 1979 voorkómen heeft dat radioactieve stoffen konden ontsnappen naar de omgeving. De kernenergiecentrale in Borssele heeft net als de andere kernenergiecentrales in West-Europa een dubbel insluitsysteem: één van staal en één van gewapend beton. Aan speciale kernreactoren worden meestal nog strengere eisen gesteld. Als de splijtstofstaven uit de reactorkern zijn gehaald moeten ze gedurende enkele jaren 'afkoelen' in een waterbassin bij de reactorkern. Daarna kunnen ze worden afgevoerd naar een opwerkingsfabriek of kunnen ze direct worden opgeslagen in een betonnen bunker bij de COVRA (centrale organisatie voor opslag van radioactief afval) in Vlissingen. De betonnen bunker die daarvoor is gebouwd bestaat uit metersdikke betonnen wanden en is aan de buitenkant oranje geschilderd, hetgeen symboliseert dat het gevaarlijke afval ('rood') op veilige wijze ('groen') is opgeslagen. Elke keer dat het gebouw opnieuw wordt beschilderd, wordt een iets lichtere kleur gebruikt, hetgeen het verval van het radioactieve afval symboliseert. Totdat na enkele honderden jaren het afval nauwelijks meer radioactief is en de bunker geheel wit zal zijn.



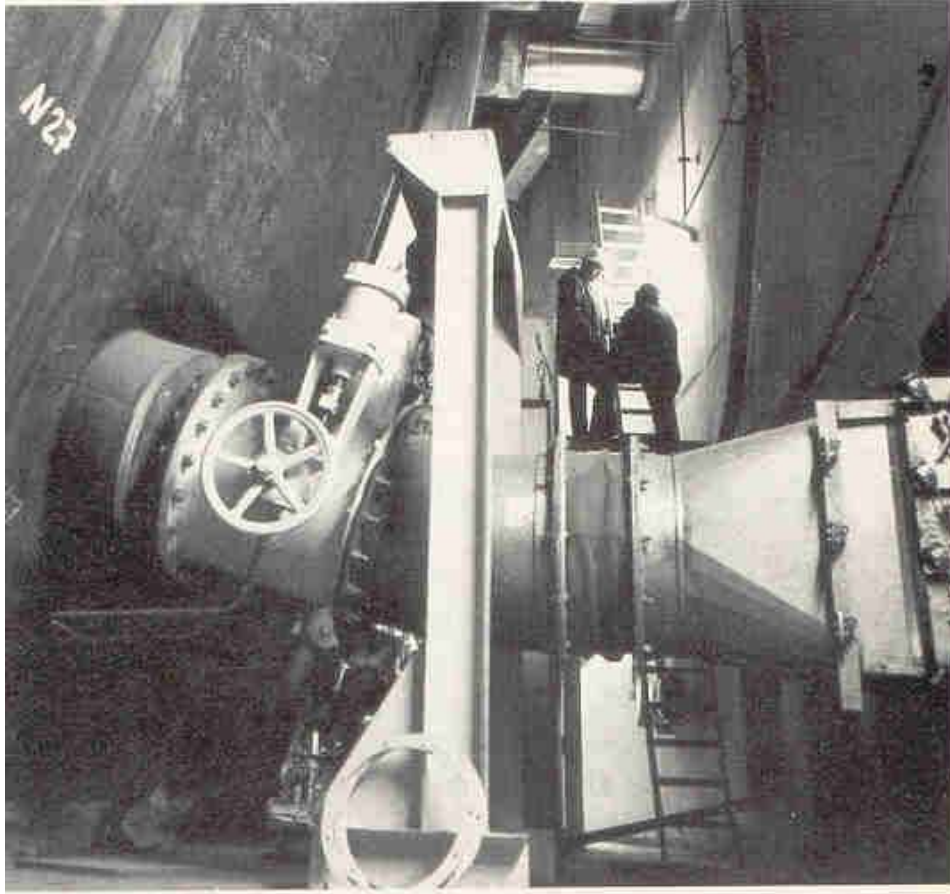
Bovenaanzicht van het waterbassin met de reactorkern van de Hoger Onderwijs Reactor in Delft. Links en rechts van de reactorkern zijn de bestralingsbuizen te zien waardoor de neutronen naar de experimentele opstellingen worden geleid.



Bovenaanzicht van de Kernenergie Centrale Borssele.



Drukvat van een kernenergiecentrale.



Ruimte tussen het eerste en tweede insluitsysteem van een moderne kernenergiecentrale.