

Vibrerende brandstofstaven in nucleaire reactoren - trillend richting kernramp?

De relevantie

Nu de sluiting van de kerncentrales in ons land jaar na jaar uitgesteld wordt, en materiaal uit de jaren '70 en '80 dagdagelijks instaat voor het merendeel van onze elektriciteitsproductie, is de veiligheid van nucleaire installaties meer en meer een prangend vraagstuk.

Het doel

Een eerste zorg in nucleaire elektriciteitsopwekking is de opsluiting van de radioactieve stoffen in de brandstofstaven. Beschadiging van de staven is dus uit den boze. De vloeistof die over de brandstofstaven stroomt om de warmte af te voeren naar de stoomturbine, oefent hierop echter krachten uit. Daardoor kunnen de staven trillen en stuk gaan. Het doel van de thesis is het evalueren van de grootte van deze krachten op de brandstofstaven en hun frequentie (hoeveel keer ze per seconde voorkomen).

De simulatie

De stroming van de vloeistof over de brandstofstaven wordt gesimuleerd met een computerprogramma. Wanneer de gegevens van de nucleaire reactor opgegeven worden, berekent de software de vloeistofdruk aan de oppervlakken van de brandstofstaven. De grootte en frequentie van deze drukken bepalen de krachten op de staven. CFD-simulaties (Computational Fluid Dynamics, of numerieke stromingssimulaties) vragen zeer veel rekentijd, zeker als men zeer kleine vloeistofdeeltjes wil volgen, zoals bij deze thesis het geval is. In eerste aanleg werd aangetoond dat zowel voor een simulatie van een hele nucleaire reactor (289 staven in de Belgische reactoren) als wanneer slechts één brandstofstaaf gesimuleerd wordt, de berekende drukken aan de brandstofstaven gelijk zijn. De simulatie kan dus met een factor 289 verkleind worden, en dit reduceert ook de rekentijd met

eenzelfde factor. Zelfs met deze reductie waren er voor de basissimulatie op 1 brandstofstaaf ruim 10 dagen rekentijd nodig op een computer met 16 processoren!

De interpretatie

De drukken op de wand van de brandstofstaaf worden veroorzaakt door de vloeistof, en meer bepaald door de vortices (draaikolkjes) in de stroming. De totale druk in een punt is de som van de drukken veroorzaakt door de individuele vortices.

Deze totale druk, berekend door de CFD-software, kan terug ontbonden worden in druktermen veroorzaakt door individuele vortices. Zo kan hun invloed op de totale druk bepaald worden.

De resultaten - vortexgrootte

Een eerste vaststelling is dat globaal gezien hoogfrequente druktermen kleiner zijn dan laagfrequente, en dit voor eender welk punt op de brandstofstaaf. Dit komt omdat hoogfrequente druktermen veroorzaakt worden door hoogfrequente vortices, en deze vortices klein en zwak zijn. Voor laagfrequente druktermen geldt het tegenovergestelde. Uit een tweede vaststelling blijkt echter dat de grootste druktermen veroorzaakt wordt door middelgrote vortices die zich concentreren in een vortexstraat: over de lengte van de brandstofstaaf lopen afwisselend vortices met tegengestelde draaizijn. Hierdoor maakt de stroming een zigzaggende beweging over de brandstofstaaf.

De resultaten - stroomsnelheid

Vergelijking tussen simulaties met verschillende stroomsnelheden laat toe deze invloed op de drukken te bepalen. Wanneer de vloeistof tweemaal zo snel over de brandstofstaven stroomt, veroorzaakt ze drukken die achtmaal zo hoog zijn!

Dat de drukken groter zijn bij stijgende stroomsnelheid is op zich geen verrassing: in stromingen met hogere snelheden is de turbulentie (de woeligheid van de stroming) groter, en bevat de stroming meer en sterkere vortices, die grotere drukken veroorzaken.

De resultaten - afstand tussen brandstofstaven

Door vergelijking van simulaties waarbij de afstand tussen opeenvolgende brandstofstaven gevarieerd wordt kan de invloed van deze parameter op de drukken bepaald worden. Wanneer de ruimte tussen de brandstofstaven vergroot, komt er meer ruimte vrij voor de vloeistof om te stromen en wordt de stroming minder gehinderd. Hierdoor vermindert de vortexstraat in sterkte of verdwijnt ze zelfs volledig.

Omdat er door de afwezigheid van de vortexstraat minder en zwakkere middelgrote vortices aanwezig zijn, veroorzaken zij minder grote druktermen en verlaagt de totale druk op de brandstofstaaf.

De conclusie

Uit deze thesis kwamen 3 methoden voort die de drukken op de brandstofstaven in nucleaire reactoren ten gevolge van de vloeistof reduceren. Een eerste bestaat eruit de grootste vortices, die de grootste druktermen veroorzaken, te breken en elimineren door bijvoorbeeld op vaste afstanden obstructies in de stroming te plaatsen. De tweede methode is de stroomsnelheid van de vloeistof verminderen: de totale druk verlaagt volgens een derdemachtsfunctie met de stroomsnelheid. De derde methode elimineert de vortexstraat en middelgrote vortices door de afstand tussen opeenvolgende brandstofstaven te vergroten.

De catch

Echter, uit een energetisch standpunt wil men deze methoden liever niet toepassen: grote vortices, snelle stroming en vortexstraten zijn zeer gegeerd omdat zij de warmteoverdracht

tussen brandstofstaaf en vloeistof verhogen. De afstand tussen de brandstofstaven vergroten betekent dat de reactoren groter worden voor eenzelfde vermogen, wat economisch niet gunstig is.

Indien de nucleaire energiesector wil overleven zal men een grondige afweging moeten maken tussen veiligheid enerzijds, en economie en energie anderzijds.