

Optimering av kärnbränsleledesigner med en simplex-algoritm

En kokvattenreaktor är en typ av kärnkraftverk där energi frigörs genom fission i uranstavar arrangerade i bränsleknippen. Genom reaktorn strömmar vatten vilket genom den intensiva värmeutvecklingen från uranstavarna kokar, den bildade vattenångan driver sedan via ångturbiner elektriska generatorer. Att bestämma en nukleär design, d.v.s. en distribution av urananrikningar och brännbar absorptor¹, för ett bränsleknippe är en svår uppgift då det finns närmast oändliga² mängder möjliga designer. Att konstruera den bästa designen är därför vanligtvis en itererande manuell process byggd på kvalificerade gissningar. Detta examensarbete fokuserade på att automatisera denna designprocess med hjälp av simplex-metoden och undersöka vilka prestandaförbättringar detta kunde åstadkomma.

Examensarbetet har behandlat optimering av bränsleknippesdesigner i kokvattenreaktorer. Arbetet har framskridit genom att färdigställa ett ramverk av program för optimering och med detta skapa nukleära designer efter olika typer av kravprofiler samt jämföra dessa med tidigare producerade bränslen som tagits fram manuellt av ingenjörer efter samma kravprofil. I flera tester skapade det utvecklade programmet bättre optimeringar än de manuella designer som tidigare använts.

Resultaten av arbetet har framförallt rört metoden för optimering och många insikter har nåtts inom området, bl.a. att vissa reaktorparametrar inte bör evalueras av optimeringsprogrammet utan snarare bör närmas "bakvägen", via kända optimala fördelningar av andra parametrar. Under arbetet har simplexmetoden använts: en matematisk optimeringsmetod som under antaganden om linjär växelverkan mellan variabler kan optimera stora mängder designvariabler mot en målvariabel. Simplexmetoden används sedan länge inom logistik och ekonomisk planering.

Optimalt konstruerade bränsleknippen är en förutsättning för att en kokvattenreaktor ska kunna drivas säkert och lönsamt. Syftet med detta examensarbete var att undersöka hur designprocessen för bränsleknippen kunde förbättras och accelereras med hjälp av simplexoptymering. Med en optimal optimeringsmetod kan ett bränsleknippe tas fram snabbt för varje given kravprofil med en försäkran om att resultatet blir bästa möjliga. Att på kortare tid generera goda bränsleledesigner är ett konkurrensmässigt övertag för ett företag som säljer kärnbränsle, att dessutom kunna konstruera bränsle med bättre säkerhetsegenskaper genom att placera anrikningar bättre ger konkreta fördelar utan att göra bränslet dyrare. Då ett enda bränsleknippe, 400x15x15 cm stort, rymmer lika mycket energi som 13 miljoner liter bensin finns även potentiella miljövinster att göra genom optimering av energiuttaget ur bränslet.

Resultaten från examensarbetet har kommit till användning genom att de data som tagits fram, angående prestanda och metoder, nu utnyttjas i vidareutveckling av optimeringsverktyg. Därutöver tillkom många vetenskaper om problem och återvändsgränder som framtida utveckling kan dra nytta utav och undvika.

Genom examensarbetet skaffade jag mig nya kunskaper inom optimering och arbete inom kärnkraftsindustrin, det var även mycket givande att skapa verktyg som med matematiska metoder kunde lösa ett så mångfacetterat problem som detta, där hänsyn måste tas till många samspelande faktorer. En viktig personlig lärdom var även vetenskapen att metoder och principer från olika vetenskaper kan komma till helt ny användning i helt andra discipliner och att en bra ingenjör förutom tillämpbara specialkunskaper även måste ha ett starkt helhetsperspektiv för att kunna skapa bra nya lösningar.

¹ Vanligen kallad BA, en tillsats av gadolinium som absorberar neutroner innan den förbrukas. BA-effekten motverkar den annars avtagande effektutvecklingen från uranet och möjliggör en stabilare reaktordrift.

² I storleksordningen 10^{55} möjliga nukleära designer.