

M. Ravnik

Institut "Jožef Stefan"
Univerza Edvarda Kardelja v
Ljubljani, Jamova 39, 61111 Ljubljana

IZRAZIN PROJEKTA SREDICE IN UPRAVLJANJE
Z DORIVOM TLAČNOVODNEGA REAKTORJA

REACTOR CORE DESIGN CALCULATIONS AND FUEL
MANAGEMENT IN A PWR

IZVLEČEK: V referatu je podan opis programske opreme in postopkov, ki smo jih na Institutu "Jožef Stefan" razvili za nuklearno projektiranje sredice NE Krško. Podani so pregled razvoja, vsebina, verifikacija in organizacija projektnega postopka, ki je zasnovan tako, da se lahko uporabi tudi za druge JE tlačnovodnega tipa.

ABSTRACT: Computer programs and methods developed at J. Stefan Institute for nuclear core designing of Krško NPP, are treated. Development, scope, verification and organization of core design procedure are presented. The core design procedure is applicable to any NPP of PWR type.

1. Uvod

Razvoj uporabniško orientiranih reaktorskih preračunov se je začel na Institutu Jožef Stefan približno istočasno z začetkom gradnje JE Krško z namenom, da se razvije lastno znanje in računske orodje za projektiranje sredice in upravljanje z gorivom /1/. Skasoma so se z razvojem jugoslovanskega nuklearnega programa izoblikovali tudi drugi in dolgoročnijsi cilji, kot npr.

- razvoj lastnih zmogljivosti za nuklearno projektiranje goriva,
- analiza jedrske varnosti in projektiranja podkritičnih sistemov (skladišča za iztrošeno gorivo, obrati za proizvodnjo jedrskega goriva),
- razširitev zmogljivosti za projektiranje sredice in upravljanje z gorivom za serijo JE.

V nadaljevanju se bomo osredili na opis razvoja in prikaz trenutnega stanja reaktorskih preračunov za potrebe JE Krško z poudarkom na postopkih za projektiranje sredice /2/, /3/.

2. Razvoj postopkov za projektiranje sredice

Razvoj preračunov za projektiranje sredice poteka v naslednjih fazah:

- razvoj programske opreme (računalniški preračuni in procedure),
- preverjanje in kvalifikacije,
- standardizacija projektnih postopkov in vpeljava dejavnosti za zagotovitev kvalitete ter
- rutinska uporaba.

Vloženo delo in dinamika razvoja sta podana v tabeli. I.

Tabela.I.
Vloženo delo v človek letih in dinamika razvoja projektnih preračunov

	razvoj programske opreme	kvalifikacija	standardizacija	rut. uporaba	skupaj
1975	2	-	-	-	2
76	2	-	-	-	2
77	3	1	-	-	3
78	3	1	-	-	4
79	3	1	-	-	4
1980	4	1	-	-	5
81	3	2	-	1	6
82	3	2	.5	2	7.5
83	2	2	.5	3	7.5
84	2	2	.5	3	7.5
85	3	2	1.0	3	8
86	1	1	2.0	4	8
87	1	2	3.	4	10
88	2	2	2.	4	10
89	.1	.5	.5	5	7
1990	.1	.5	.5	5	7

Iz Tabele I je razvidno, da smo doslej vložili približno 65 človek-let, od tega skoraj polovico (29 č.l.) v razvoj metod in programov ter približno četrtino (15 č.l.) v njihovo eksperimentalno preveritev in kvalifikacijo. Prav tudi to (17 č.l.) smo porabili za praktično uporabo doslej razvitih projektnih postopkov, kar predstavlja tudi njihovo končno potrditev.

V standardizacijo postopka smo doslej vložili relativno majhen delež, kar ni smiselno, dokler računski programi in metode niso do kraja razviti in testirani. To nepravilno

dokončati v tekočem in prihodnjem letu, tako da bo l. 1988 projektni postopek primeren za rutinsko uporabo. Po dogovoru z JE Krško in dobaviteljem goriva firma Westinghouse se bo od takrat dalje uporabljala za samostojno izdelavo jedrskega projekta sredice pred vsako menjavo goriva.

3. Razvoj programske opreme

Obseg jedrskega projekta sredice je naslednji:

- izračun porazdelitve moči in izgorovanja za normalne obratovalne pogoje (kritična borova koncentracija, x-y porazdelitev moči, izotopski inventar),
- preveritev zmoglosti obratovanja (normalno obratovanje v režimu konstantne obremenitve in spremljanje bremena),
- izračun parametrov reaktivnosti (moderatorski, Dopplerjev, izotermični, močnostni in borov koeficient reaktivnosti),
- kontrola reaktivnosti (vrednost kontrolnih palic, rezerva zaustavitve) in
- zažonski parametri (kritične koncentracije bora, podatki o zakasnelih nevtronih),

Projekt sredice se izdela na podlagi določene sheme polnitve. Po dogovoru o sodelovanju na razvoju projektnih preračunov se JE Krško določevanje sheme polnitve razvija Institut Rudjer Boškovic. Taka delitev bo ostala tudi v fazi rutinskega dela.

Iz vsebine jedrskega projekta sredice izhajajo minimalne zahteve za računalniške programe in računske postopke:

- večgrupni stacionarni difuzijski preračun reaktorja v x-y geometriji brez simetrije, po gorivnih palicah,
- večgrupni difuzijski preračuni v 2 geometriji z možnostjo simulacije nestacionarnih stanj ksenona,
- izračun porazdelitve temperature hladila in goriva ter povratni vpliv na reaktivnost,
- natančen izračun efektivnih presekov močnih absorberjev (kontrolne palice, gorljivi strupi).

Za novejši tip goriva (npr. VANTAGE-3), ki so močno aksialno heterogeni (aksialni zastori, gorljivi absorberji delne dolžine), 2-D aproksimacija ne zadostuje pri preračunih lokalnih koničnih faktorjev in se zahteva popoln 3-D račun.

Računalniški programi, ki jih uporabljamo pri projektnih računih sredice, so naštetih v tabeli II:

Tabela 11.
Računalniški programi za projektiranje sredice na Institutu
Jožef Stefan

Ime	Opis	Opomba
WEMS-D4	večgrupni 1-nasp.prenačun den.celice in supercelice	prilagojen za uporabo pri PWR
FRQVER	2-g, x, y, kvadranti,	se nadomešča z nadaljnimi programom
AXIAL	2-g, Z, odzivne matrice	
CONAX	2-g, x-y-z, prostorska sinteza fluksa	se nadomešča z nadaljnimi programom
-	2-g, x-y-z, nadaljna metoda	razvit, v fazi testiranja
CTEMP	n-z, preračun temperature v gor. celici in hladilu	preprost model, samo za računanje povratnih efektov
BIFPACK	2-g, z, robni elementi, ke tranzienti,	vključuje tudi kinetiko

Računalniški programi so gradniki organizacijsko
višjih računskih procedur za izračun posameznih ali skupin
parametrov iz obsega jedrskega projekta sredice. Za izračun
različnih količin se uporabljajo različne procedure. V njih je
definirano:

- kateri programi se uporabljajo,
- algoritem povezave programov,
- vhodni podatki in korekcijski faktorji,
- povezava z drugimi procedurami.

Večina procedur je avtomatiziranih v obliki programskih
paketov. Za njihov razvoj porabimo približno tretjino časa, ki
ga namenjamo razvoju programske opreme. Tolikšen je približno
tudi njihov delež v celotni programske opreme za projektiranje
sredice.

4. Preverjanje in kvalifikacija projektnega postopka

Primerjanje projektnega postopka z vrednostmi na tri ravni je:

- preverjanje računalniških programov,
- preverjanje računskih procedur in primerjanje rezultatov z eksperimentalnimi.

Računalniški programi preverjajo po običajnih postopkih in kvalifikacijah programov (primerjava z "benchmark" primeri in kvaliteta denarnih programov). Pri drugih programih pa se mora podrobno preveriti fizikalni model in računске metode, ki jih uporabljajo ter definirano optimalni način uporabe za naše namene. Pri najpomembnejših programih opravimo tudi analizo občutljivosti na napake (npr. pri programu WIMS).

Računske procedure preverjamo na testnih problemih, ki so predpostavljena širka realnih in za katere označimo rešitev.

Končna preveritev projektnega postopka je primerjava rezultatov z izmerjenimi. Najpomembnejše količine, ki smo jih doslej primerjali so podane v Tabeli III, skupaj z odstopanji.

Tabela III.

Razlika med izmerjenimi in izračunanimi vrednostmi za najpomembnejše količine.

količina	odstopanje			
	povprečno		maksimalno	
	absolutno	relativno (%)	absolutno	relativno (%)
Koncentracija bora,				
H ₂ P, BOL	25 ppm	1.5	45 ppm	3.0
H ₂ P, BOL	20 ppm	2.0	40 ppm	3.5
daljina ciklusa	200 MWd/TU	2.0	400 MWd/TU	4.0
povprečna relativna moč na gorivni element,	04.	4.0	.15	20
maksimalni radialni konični faktor	.02	1.5	.03	2.0
maksimalni totalni konični faktor	.02	1.0	.03	1.5
vrednost posamičnih kontrolnih grup, borov ekvivalent	5 ppm	4.0	10 ppm	10.0
reaktivnostna vrednost	20 pcm	2.0	180 pcm	8.0
Koeficient reaktivnosti moderatorja, H ₂ P, BOL	2pcm/°C	25.0	3.5pcm/°C	25.0

Vrednosti, ki se ne verzijo, primerjamo s projektnimi računi dobavitelja goriva. V splošnem velja podobno ujevanje kot z izmerjenimi količinami.

5. Standardizacija projektnih postopkov in zagotovitev kvalitete

Standardizacija projektnega postopka obsega

- zamrznitev preverjenih računalniških programov in procedur,
- izdelavo programskih priročnikov in
- pripravo priročnika za projektiranje.

Zamrznitev računalniških programov in procedur pomeni, da se za projektiranje uporabljajo vedno isti podrobno verificirani programi in postopki. Izboljšave, ki so rezultati razvoja, se ne vnašajo v zamrznjeno verzijo, dokler ne pridejo vse tri nivoje verifikacije.

Programski priročniki in priročnik za projektiranje zagotavljajo enoličnost projektnega postopka, ki je osnovni pogoj za ohranjanje kvalitete. Projektni priročnik poleg navodil za izvajanje del vsebuje tudi navodila za vodenje dokumentacije, shranjevanje podatkov in vmesnih rezultatov ter definira odgovornost posameznih projektantov. Naštete dejavnosti so osnovni elementi postopkov za zagotovitev kvalitete.

Sledeč praksi pri nuklearnem projektiranju v tujini, bosta v rutinski fazi najpomembnejše parametre projektiranja sredice vzporedno računali dve neodvisni skupini po istem verificiranem postopku. Če se boše ujemale, bodo šli še v postopek evaluacije, ki obsega primerjavo z rezultati iz prejšnjih gorivnih ciklov in razpoložljivimi meritvami.

6. Zaključek

Programska oprema in postopki za izdelavo jedrskega projekta sredice JE Krško so vsebinsko povsem razviti. Vendar pa jih v sedanji obliki lahko rutinsko uporabljajo samo izkušeni strokovnjaki, ki so sodelovali pri njihovem razvoju. Naš namen je, da programska oprema in vse projektni postopek orientirano uporabniško in ga optimiziramo glede na porabo računalniškega časa. S tem želimo dosegati, da bi ga uporabljali tudi drugi, predvsem strokovnjaki na jedrski elektrarni. Načrtujemo, da boga približno v petih letih celotni projekt sredice lahko opravili na jedrski elektrarni Krško sami, Inštitut pa bo opravljal samo neodvisno verifikacijo ključnih parametrov in skrbel za razvoj. Programska oprema in projektni postopki so zasnovani tako, da se lahko uporabijo po ustrezni verifikaciji tudi za projektiranje drugih tlačnovodnih reaktorjev.

7. Literature

- /1/ M.Ravnik, M.Najzer, Reactor Calculations as a Part of Power Development Efforts, ICNTY-III, Madrid 1985, Trans. 233-235
- /2/ M.Ravnik, et al., Design calculations of the low leakage core, IAEA TECDOC-344, 126-134
- /3/ M.Ravnik, PWR Core design calculations, Workshop on applications in nucl. data and react.ph., ICTP Trieste 1984, Procc. 157-187.

