

M. Šokčić-Kostić, W. Scherer
IBK Vinča, KFA Jülich

MODIFIKACIJE I PRIMENA DSNP-MODULA NA PAROGENERATOR
VISOKOTEMPERATURNE ELEKTRANE THIR-300

MODIFICATIONS AND APPLICATION OF DSNP-MODULES
TO THE THIR-300 STEAMGENERATOR

SADRŽAJ - Sistem programa DSNP (Dinamički simulator nuklearnih elektrana) je primenjen na analizu dinamičkog ponašanja visokotemperaturne elektrane THIR-300. Razvijena su i upoređena tri modela parogeneratorskog različitog nivoa složenosti. Proračun karakteristika pare je koncipiran u obliku tabelarnog pregleda, a ispravljeno je i više grešaka u drugim modulima. U jedan od modela parogeneratorskog je ugrađena mogućnost korišćenja helijuma na primarnoj strani. Rezultat međusobnog poređenja tri modela je da onaj najrazradeniji daje rezultate koji su najbliži realnoj slici. Za proračune koji treba da daju samo pregledne karakteristike može da se sa zadovoljavajućom tačnošću koristi i najjednostavniji model.

ABSTRACT - The DSNP System (Dynamic Simulator for Nuclear Power Plants) is being used for describing of the dynamic behaviour of the THIR-300 high temperature reactor power plant. Three different models of steamgenerators of different degree of sophistication have been examined and compared. The calculation of steam properties was changed to a fast table-lookup mode and several errors in the computational modules are eliminated. In one of the steamgenerator modules the capability of using helium on the primary side was newly implemented. The comparison of the modules showed that the most elaborated module gives detailed results close to the reality. For fast overview calculations the simplest module can be used satisfactorily.

1. UVOD

DSNP (1-4) je kontinualni digitalni simulacioni jezik predviđen za specijalne namene. Razvijen je da bi olakšao pripremu dinamičkih simulacija za veliki broj različitih tipova nuklearnih elektrana. To je korisnički orijentisani jezik koji omogućuje direktni razvoj simulacionih programa na osnovu blok dijagrama i tokova stanja nuklearnih elektrana. Centralni deo ovog jezika su funkcionalni blokovi koji predstavljaju fizičke komponente elektrane. Složenije komponente su predstavljene pomoću nekoliko blokova ili modula. Ovi moduli se nalaze u posebnim bibliotekama u obliku potprograma u DSNP-u, funkcija, blokova naredbi, makro naredbi ili u obliku neke od kombinacija prethodno navedenih mogućnosti. Pored ovih osnovnih modula DSNP ima i druge funkcionalne blokove kao što su integratori, cevi, generatori funkcija, određeni spojevi, kao i pomoćne funkcije koje

predstavljaju karakteristike materijala nuklearne elektrane. Prekompilator ovog jezika analizira segmente DSNP programa, ubacuje potrebne module iz biblioteka, međusobno ih povezuje, traži potrebne grupe podataka i na kraju formira fortranski program sa odgovarajućom bazom podataka. DSNP ima i prilagodljiv i moćan makro procesor koji pored makro naredbi definisanih sistemom, omogućuje i razvoj novih specifičnih naredbi ove vrste.

Pošto je nuklearna elektrana THIR-300 postala kritična, period puštanja u rad je bio praćen intenzivnim aktivnostima u Institut-u für Reaktorentwicklung u KFA Jülich na razvoju složenog numeričkog modela za simulaciju njenog dinamičkog ponašanja. Zbog detaljnog opisa pojedinih komponenti elektrane simulacija tranzijenata je zahtevala mnogo računarskog vremena. Za grublje ocene ponašanja elektrane bilo je potrebno prilagoditi DSNP simulacioni model D.Saphira, Sorec Inst. Israel specijalnim karakteristikama THIR-300. Pri tome je pre svega trebalo modifikovati modele parogeneratorske (6).

2. MODIFIKACIJA MODULA OTSGM

Ovaj modul simulira parogenerator sa promenljivim brojem nodova. Primarna strana, zid i sekundarna strana su podeljeni na četiri dela sa željenim brojem nodova. Ta četiri dela su: pothlađeni region, region zapreminskog ključanja, region filmskog ključanja i region pregrevanja. Izlazne temperature, entalpije i struje se računaju u modulu. Karakteristike parogeneratorske moraju da budu date definicijom

DFOTSG#3(##,##,##,##,##,##,##,##,##,##,##,##,##)

gde definicioni parametri imaju sledeće značenje (sve jedinice su u SI sistemu):

- #01 identifikator,
- #02 broj cevi parogeneratorske,
- #03 identifikator materijala primarne strane,
- #04 identifikator materijala sekundarne strane,
- #05 odnos koraka i radijusa,
- #06 unutrašnji radijus cevi,
- #07 spoljašnji radijus cevi,
- #08 ukupna dužina parogeneratorske cevi,
- #09 površina primarnog protoka,
- #10 maksimalni broj iteracija,
- #11 identifikator štampanja,
- #12 identifikator materijala zida,

- #13 broj nodova u pothladenom regionu,
- #14 broj nodova u regionu zapreminskog klučanja,
- #15 broj nodova u regionu filmskog klučanja,
- #16 broj nodova u regionu pregrevanja,
- #17 identifikator načina proračuna srednjih vrednosti temperature i entalpije u nodu, u dinamičkom delu,
- #18 identifikator memorije.

Modul je modifikovan u delovima vezanim za proračun termodinamičkih karakteristika: potprogrami WASAT1, WASPT1 i WASHP1 su zamenjeni potprogramom WASPT4. WASAT1 računa temperaturu duž saturacione linije za zadati pritisak vodene pare, WASPT1 Helmholtzove funkcije za vodu u jednoj fazi u zavisnosti od pritiska i temperature, a WASHP1 ove funkcije u zavisnosti od entalpije i pritiska. U potprogramu WASPT4 je pomoću metoda linearne interpolacije formirana tabela za određivanje karakteristika sistema voda-para. Na taj način ako je poznat pritisak i još jedna promenljiva moguće je odrediti nekoliko drugih izlaznih termodinamičkih veličina. Stacionarni proračuni traju 3.2 puta kraće, a dinamički 2.7 puta kraće po uvođenju potprograma WASPT-4. Koeficijent prenosa toplote za primarnu stranu se smatra konstantnim i za vreme stacionarnih i za vreme dinamičkih proračuna. Na sekundarnoj strani se određuju četiri različita koeficijenta prenosa toplote. Pri dinamičkom proračunu se ovi koeficijenti ponovo računaju. Fine korekcije koeficijenata prenosa toplote se obavljaju pomoću ulaznih parametara UAFBPA i UAFBSA. Modul OTSGM je povezan sa tri različita integraciona modula (STIFF1, ZGEAR2 i TRAPZ2), pri čemu se najbolji rezultati dobijaju sa modulom TRAPZ2.

3. MODIFIKACIJA MODULA STGEN SA 19 PARAMETARA

Ovaj modul simulira nešto jednostavniji model parogeneratora. Podeljen je u tri noda: primarni, sekundarni i nod metalnog zida. Sekundarna strana je podeljena u tri aksijalna regiona: region zagrevanja, isparavanja i pregrevanja. Relativna dužina tri dela parogeneratora može da se odredi na osnovu rezultata proračuna složenijih modela. U modulu se računaju srednje i izlazne temperature i entalpije. Proračun strujanja se vrši posebno u delu DSNP-a koji se zove Hidraulična mreža. Pri upotrebi ovog modula njegove karakteristike moraju da budu definisane na sledeći način:

DFSTGN#3 (#, #, #, #, #, #, #, #, #, #, #, #, #, #, #, #, #, #, #)

#01 identifikator,

#02 ukupan broj parogeneratora korišćenih u simulaciji,

- #03 identifikator fluida na primarnoj strani,
- #04 snaga parogeneratora,
- #05 dužina cevi u parogeneratoru,
- #06 unutrašnji radijus cevi,
- #07 spoljašnji radijus cevi,
- #08 zapremina međucevnog prostora,
- #09 broj cevi u parogeneratoru,
- #10 primarni protok,
- #11 sekundarni protok,
- #12 pritisak na primarnoj strani,
- #13 pritisak na sekundarnoj strani,
- #14 dužina regiona zagrevanja,
- #15 i
- #16 dužina regiona isparavanja,
- #17 dužina regiona pregrevanja,
- #18 vremenska konstanta,
- #19 1-primarna strana u cevi,
2-sekundarna strana u cevi.

I u ovom modulu su modifikovani proračuni termodinamičkih karakteristika. Potprogrami WASAT1, WASPT1 i WASHP2 su kao i u modulu OTSGM zamenjeni potprogramom WASPT4. Dinamički proračuni traju oko 12.9 puta kraće po uvođenju potprograma WASPT4. Koeficijenti prenosa toplote na primarnoj i sekundarnoj strani su funkcije protoka. Ovaj modul je korišten sa integracionim modulima STIEF1 i ZGEAR2.

4. MODIFIKACIJA MODULA STGEN SA 29 PARAMETARA

Ovaj modul simulira parogenerator opšte namene sa šest nodova, a zasnovan je na modelu ključajućeg lonca. Na primarnoj strani ima samo jedan nod. I zid je predstavljen u obliku jednog noda, a sekundarni ključajući deo u obliku dva: noda sa ključajućom vodom i noda pregrevanja. Pored toga je deo u kome je para podeljen u dva noda. Strujanje u ovom poslednjem delu je određeno energetskim balansom u ključajućem. Ulazne i izlazne struje se takođe računaju u programu Hidraulična mreža. Pri korišćenju ovog parogeneratora njegove karakteristike moraju da budu date sledećom definicijom:

```
DEFSIN#3 (#,#,#,#,#,#,#,#,#,#,#,#,#,#,#,#,#,#,#,#,#)
```

- #01 identifikator,
- #02 ukupan broj parogeneratora u simulaciji,

- #03 identifikator fluida na primarnoj strani,
- #04 snaga parogeneratora,
- #05 ukupna dužina cevi parogeneratora,
- #06 unutrašnji radijus cevi,
- #07 spoljašnji radijus cevi,
- #08 zapremina dela u kome su voda i para,
- #09 zapremina izlaznog plenuma,
- #10 masa dela parogeneratora u kome je para,
- #11 broj cevi parogeneratora,
- #12 korelacija prenosa toplote između pare i zida,
- #13 primarni pritisak,
- #14 početni pritisak pare,
- #15 primarni protok,
- #16 sekundarni protok,
- #17 tip parogeneratora,
- #18 ukupni presek parogeneratora,
- #19 presek primarnog protoka,
- #20 visina parogeneratora,
- #21 mod inicijalizacije parogeneratora,
- #22 1-primarna strana u cevi,
- 2-sekundarna strana u cevi,
- #23 odnos koeficijenta prenosa toplote vezanog za protok i ukupnog koeficijenta prenosa toplote na strani voda/para,
- #24 i
- #25 protoci koji napuštaju parogenerator,
- #26 relativni protok,
- #27 i
- #28 ulazne veličine,
- #29 identifikator makro naredbi.

Modul je modifikovan tako da može da koristi helijum (5) kao primarni hladilac. Stari modul je mogao da koristi samo vodu na primarnoj strani. Koeficijenti prenosa toplote na primarnoj i sekundarnoj strani su funkcije protoka. Ovi koeficijenti se ponovo računaju u dinamičkom delu. Modul je povezan sa integracionim modulom ZGEAR2.

5. PRIMENA MODULA

Rezultati dobijeni za tri različita tranzijenta (linijska promena primarnog, sekundarnog i oba toka od 25% za tri minuta) je data u Tabeli 1.

Tabela 1. Uporedni rezultati za tri modela parogeneratora (SI sistem)

Velicina	Lin.pr.prim.str. WPRIM			Lin.pr.sek.str. WSEC			Lin.pr.obe str. WPRIM, WSEC		
	OTSGM	STGEN19	STGEN29	OTSGM	STGEN19	STGEN29	OTSGM	STGEN19	STGEN29
Pr.ul.temp.	685	685	685	685	685	685	685	685	685
Pr.izl.temp.	220.63	151.17	126.53	304.83	333.26	350.79	244.15	244.29	248.59
Sek.ul.temp.	180.17	180.00	180.00	180.17	180.00	180.00	180.17	180.00	180.00
Sek.izl.temp.	406.04	485.04	508.52	681.27	630.95	577.59	568.60	568.51	553.88
Pr. snaga	$5.3 \cdot 10^8$	$6.1 \cdot 10^8$	$6.4 \cdot 10^8$	$5.8 \cdot 10^8$	$5.4 \cdot 10^8$	$5.1 \cdot 10^8$	$5.1 \cdot 10^8$	$5.1 \cdot 10^8$	$5.0 \cdot 10^8$
Sek. snaga	$5.3 \cdot 10^8$	$6.1 \cdot 10^8$	$6.4 \cdot 10^8$	$5.8 \cdot 10^8$	$5.4 \cdot 10^8$	$5.1 \cdot 10^8$	$5.1 \cdot 10^8$	$5.1 \cdot 10^8$	$5.0 \cdot 10^8$
Pr. struja	221.41	221.41	221.41	296	296	296	221.41	221.41	221.41
Sek. struja	253	253	253	189.24	189.24	189.24	189.24	189.24	189.24

6. ZAKLJUČAK

Pri simulaciji visokotemperaturnih reaktora je najstabilniji i najbrži modul SIGEN sa 19 parametara. Složeniji modul OTSGM daje dobre rezultate, ali ne može da se koristi sa integracionim modulom ZGEAR2 i zbog toga ima duže računsko vreme. Treba ga koristiti u velikim simulacionim programima gde je potrebno detaljno poznavati ponašanje parogeneratorsa. Treći model SIGEN sa 29 parametara treba koristiti pri simulacijama gde je dovoljno imati tačno definisane karakteristike samo za izlazna strujanja, dok ulazna sekundarna struja mora da bude definisana izvan modula.

Predstavljeni moduli parogeneratorsa su adaptirani tako da kao i ceo DSNP program treba da se koriste za davanje preglednih odgovora o ponašanju kompleksnih sistema, pre nego za detaljnu analizu specifičnih komponenti.

7. LITERATURA

- (1) D.Saphier, Dynamic Simulator for Nuclear Power Plants, Volume 1-4, Revision 4.2., Georgia Institute of Technology, Atlanta, Decembar 1985.
- (2) D.Saphier, Dynamic Simulator for Nuclear Power Plants, Volume 5-9, Revision 4.2, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Decembar 1985.
- (3) D.Saphier, Transient Analysis of the Pebble-Bed HTGR with the DSNP Simulation Language, Final Report, Volume 1, Soreq Nuclear Research Centre, Yavne, Israel, April 1984.
- (4) D.Saphier, DSNP Models used in the Pebble-Bed HTGR Dynamic Simulation, Final Report, Volume 2, Soreq Nuclear Research Centre, Yavne Israel, April 1984.
- (5) A.Banerjea et al, Thermodynamische Stoffwerte von Helium im Bereich von 20 C bis 1500 C und 1 bar bis 10 bar, JUL-1562, Decembar 1978.
- (6) M.Šokčić-Kostić, W.Scherer, Modifications and Application of DSNP-Modules to the THIR-300 Steamgenerator, Interner Bericht, KFA-IRE, 1988.

