

Miroslav Kozarić, Danilo Feretić

Elektrotehnički fakultet Zagreb

Zavod za visoki napon i energetiku

Unska 3, 41000 ZAGREB

MODELIRANJE EKSPERIMENTALNOG UREĐAJA NUKLEARNE ELEKTRANE
POMOĆU RAČUNARSKOG PROGRAMA

MODELLING OF NUCLEAR POWER PLANT EXPERIMENTAL FACILITY
WITH COMPUTER CODE

SADRŽAJ - U radu je prikazano modeliranje eksperimentalnog uređaja za simulaciju rada primarnog kruga nuklearne elektrane pomoću računarskog programa RELAP 5/mod1. Proveden je proračun stacionarnog stanja na 0 % snage.

ABSTRACT - This paper presents the experimental coolant loop facility mathematical model evaluation with computer program RELAP 5/mod1. Steady state calculation at 0 % heat power was made.

KLJUČNE RIJEČI - modeliranje, računarski program, eksperimentalni uređaj.

KEY WORDS - modelling, computer code, experimental facility.

1. UVOD

Analizu sigurnosti sistema i komponenata nuklearnih elektrana nenoguće je provesti mjerenjima na samom postrojenju, jer bi namjerno izazivanje kvarova ugrozilo sigurnost postrojenja, pogonskog osoblja i okoline. Zbog toga se provjera njihovog ponašanja u specifičnim uvjetima vrši simulacijom, korištenjem tematičkih modela i eksperimentalnih uređaja.

Danas je ustaljena praksa u svijetu, a i zahtjev regulatornih organa svih zemalja koji posjeduju nuklearnu elektranu, da se provođenje sigurnosnih analiza temelji na korištenju matematičkih modela. Najveći problem njihova korištenja leži u pitanju koliko vjerno matematički model prikazuje realno postrojenje. Radi toga svaki matematički model, da bi se utvrdila njegova primjenljivost, potrebno je da prođe postupak utvrđivanja pouzdanosti (verifikacije) na konkretnim postrojenjima ili na eksperimentalnim uređajima. Verifikacija se u principu provodi usporedbom rezultata mjerenja i rezultata proračuna zadane prijelazne pojave.

Kao prvi korak u postupku verifikacije računarskog programa potrebno je provesti modeliranje odabranog eksperimentalnog uređaja po određenim zahtjevima i kriterijima koji su nužni prilikom svakog modeliranja uređaja ili postrojenja.

Cijeli projekt potpomognut je sredstvima Međunarodne agencije za atomsku energiju iz Beča.

2. EKSPERIMENTALNI UREĐAJ NUKLEARNE ELEKTRANE

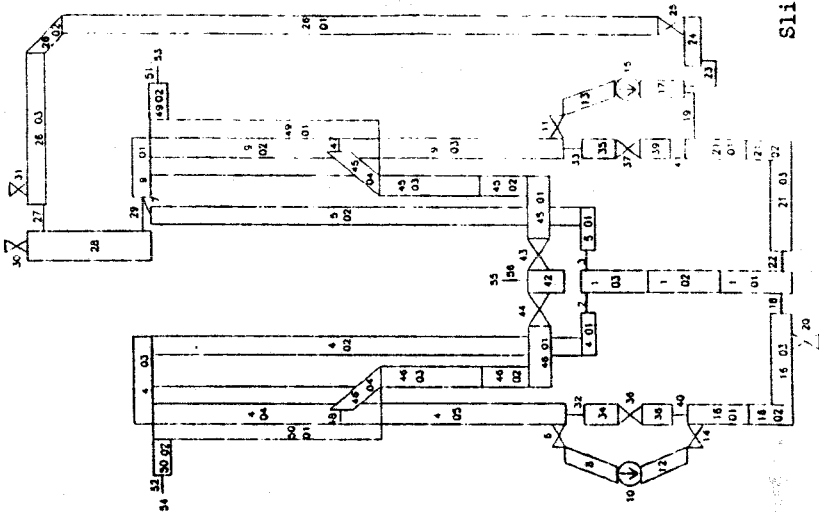
Na Elektrotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu izrađen je uređaj za simulaciju rada primernog kruga nuklearne elektrane koji radi na nižem toplinskom nivou od realnog postrojenja. Uređaj je projektiran u svrhu edukacije studenata i istraživanja u području termo-hidrodinamičkih prijelaznih pojava u rashladnom kanalu i cirkulacionim petljama.

Eksperimentalni uređaj, prikazan na slici 1, sastoji se od modela rashladnog kanala s jednim gorivnim elementom, od dva rashladna cirkulaciona kruga i tlačnika s cjevovodom za tuširanje. U svakom rashladnom krugu nalazi se izmjenjivač topline, cirkulaciona pumpa i mjerni elementi protoka i temperature. Uređaj je projektiran da odgovara sličnosti proizvedene nominalne linearne snage u rashladnom kanalu nuklearne elektrane Krško.

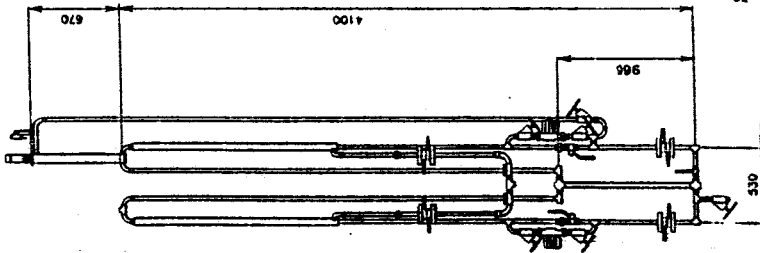
Model gorivnog elementa napaja se izmjeničnom strujom i proizvodi toplinsku snagu do 40 kW. Uređaj radi pod tlakom od 10 bara.

Detaljniji opis i podaci o eksperimentalnom uređaju mogu se pronaći u literaturi [1].

Slika 2.



Slika 1.



3. MODELIRANJE EKSPERIMENTALNOG UREĐAJA RAČUNARSKIM PROGRAMOM

Na Elektrotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu je 1982. godine osnovana grupa za sigurnosne analize nuklearnih elektrana. U grupi danas radi 8 inženjera. Instalirani su i koriste se razni računarski programi koji se i u svijetu primjenjuju za sigurnosne analize nuklearnih elektrana.

Modeliranje eksperimentalnog uređaja provedeno je računarskim programom RELAP 5/mod1. Program je razvijen u Idaho National Engineering Laboratory (INEL) za potrebe Nuclear Regulatory Comision (NRC) iz SAD-a. Program je razvijen u svrhu ispitivanja termodinamičkih i hidrodinamičkih prilika u sistemu PWR nuklearnih reaktora za vrijeme projektnih kvarova. Programom je moguće pratiti sve faze kvara od početnih pogonskih uvjeta u trenutku pojave kvara preko praćenja poremećaja do smirivanja i ostvarivanja novog stacionarnog stanja.

Modeliranje eksperimentalnog uređaja računarskim programom podliježe određenim zahtjevima i ciljevima, već prema tome kakva se pojava, odnosno događaj želi promatrati.

Važan kriterij za uspješno modeliranje je pravilan odabir i dimenzioniranje kontrolnih volumena koji zamjenjuju određene diskretne volumene u realnom postrojenju. Kontrolni volumen predstavlja modelirani integritet određenog realnog volumena u kojem djeluju zakoni očuvanja mase, količine gibanja i energije s ciljem proračunavanja veličina stanja materije za određeni diskretni trenutak. Pri određivanju broja kontrolnih volumena postavlja se nekoliko kriterija: traženi broj zanimljivih točaka na uređaju u kojima želimo promatrati veličine stanja, brzina izvođenja proračuna (veći broj kontrolnih volumena - dulje vrijeme proračuna), veličina kontrolnog volumena (vrijeme integracije za kontrolni volumen mora biti kraće od vremena boravka medija u kontrolnom volumenu).

Modeliranje eksperimentalnog uređaja izvedeno je prema slici 2, s 58 kontrolnih volumena.

Kontrolni volumeni spojeni su s 30 spojeva od kojih su 18 jednostruki, 3 vremenski ovisni i 11 ventilski spojevi. Ventilskim spojevima modelirani su svi ventili na uređaju i njima je moguće provesti simulacije raznih događaja i ovako moguće: zatvaranje protoka, ispuštanje medija, povećanje otpora strujanja, otvaranje protoka i skretanje medija.

U model je ugrađeno 13 toplinskih struktura koji služe kao ponori ili generatori topline svojim toplinskim kapacitetom.

Model sadrži toplinske podatke od 8 različitih materijala uključenih u eksperimentalni uređaj.

Generiranje topline modelirano je u rashladnom kanalu gorivnom šipkom i u tlačniku grijачina tlačnika.

Ulazni podaci pripremljeni su za simulaciju stacionarnog stanja s 0 % generirane toplinske snage, tlaka 1 bar i temperature okoline od 290 K. Stacionarno stanje promatrano je u vremenu od 500 sekundi. Proračun je proveden na računalu microVax II.

4. DOBIVENI REZULTATI

Promatrano je ponašanje stacionarnog stanja u vremenu 500 sekundi u kojem vremenu se očekuje i trajanje nekog odabranog simuliranog poremećaja. Računarski program proračunava stacionarno stanje prema zadanim ulaznim podacima stacionarnog stanja. Upravo razlike između zadanog i proračunskog stacionarnog stanja govore da li je i koliko uspješno modeliran eksperimentalni uređaj.

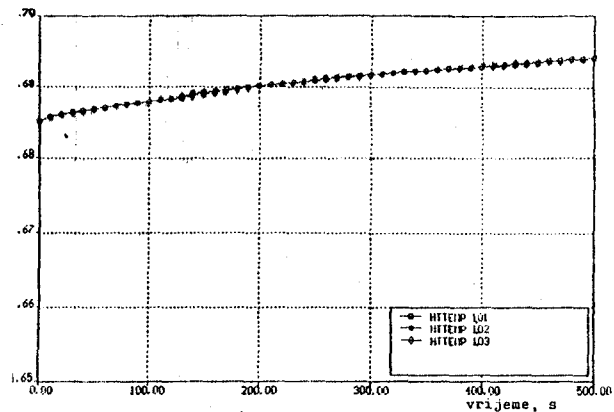
Rezultati proračuna stacionarnog stanja eksperimentalnog uređaja računarskim programom prikazani su na slikama 3, 4, 5, 6.

Slika 3 - temperatura površine gorivne šipke za tri različite elevacije, (kontrolni volumeni 1-01, 1-02, 1-03).

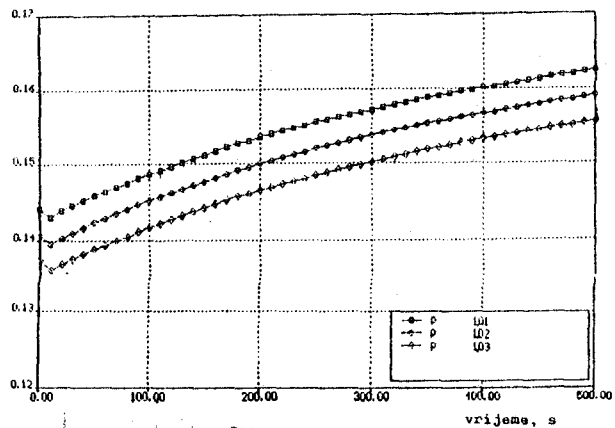
Vidljiv je zanemariv porast temperature od 0.1°C u ukupnom vremenu promatranja koji se može pripisati greškama u iteraciji. Sve tri temperature površine gorivne šipke poklapaju se u istim točkama što odgovara očekivanju.

Slika 4 - tlak u rashladnom kanalu za tri različite elevacije.

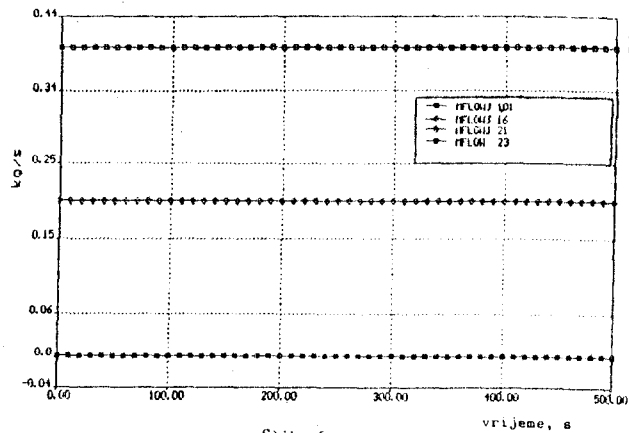
Tlak u rashladnom kanalu mijenja se isto u svim elevacijama za 0.183 bara u vremenu trajanja promatranja. Tlak se mijenja kontinuirano bez skokovitih promjena što govori da su početni uvjeti zadani s nižim vrijednostima. Za slijedeću analizu potrebno je u ulaznim podacima za početne vrijednosti tlaka upisati proračunate vrijednosti.



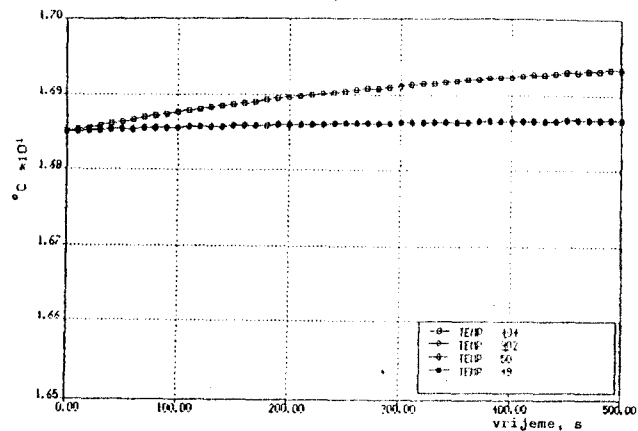
Slika 3.



Slika 4.



Slika 5.



Slika 6.

Slika 5 - maseni protoci u rashladnom kanalu oba cirkulaciona kruga i cjevovodu za tuširanje tlačnika.

Vrijednosti masenih protoka ostaju nepromijenjeni i dokaz je da je modeliranje u tom pogledu uspješno učinjeno.

Slika 6 - temperatura vode u izmjenjivačima topline s primarne i sekundarne strane.

Temperatura vode u obje grane primarne strane pokazuje porast od 0.083°C što čini grešku od $\approx 0.5\%$. Temperatura vode u obje grane sekundarne strane pokazuje porast od 0.016°C što čini grešku od $\approx 0.1\%$. Prirasti temperatura mogu se pripisati iterativnim problemima proračuna, međutim oni su toliko mali u promatranom vremenu da je njihov utjecaj zanemariv.

S. ZAKLJUČAK

Za prvi korak prihvaćanja računarskog modela eksperimentalnog uređaja važno je uočiti da ne postoji nesuvislo ponašanje računarskog modela. Da li je modeliranje uspješno izvedeno pokazuje odgovarajuća sličnost izlaznih varijabli s ulaznim veličinama. Proračun pokazuje očekivanu stabilnost osnovnih veličina po kontrolnim volumenima: padova tlaka, temperatura i tlakova, masenih protoka, generirane toplinske snage.

Računarski program RELAP 5/mod1 sa svojim matematičkim modelom proračunava stacionarno stanje prema organiziranim ulaznim podacima. Iz slika 3, 4 i 6 vidljivo je stacioniranje ulaznih veličina oko referentnog stanja koje sam program proračunava. Za kasniju analizu poremećajnih stanja potrebno je da se usklade proračunati podaci stacionarnog stanja s ulaznim podacima za proračun.

Za potpunu provjeru računarskog programa potrebno je prvo provjeriti stabilnost promatranih veličina stanja u stacionarnim uvjetima na određenoj nazivnoj snazi s koje se želi simulirati poremećaj. Druga faza provjere je analiza dobivenih podataka proračuna prijelazne pojave i usporedba s podacima mjerenja na eksperimentalnom uređaju za simulirani isti poremećaj.

LITERATURA

- [1] - M.Kozarić, D.Feretić, N.Debrecin, N.Čavlina, D.Mirković,
"Eksperimentalni model rashladnog kruga reaktora",
XXXI ETAN, knjiga IX, str. 189-198, Beograd, 1987.
- [2] - Final Safety Analysis Report, NE Krško, 1980.
- [3] - U.S Nuclear Regulatory Commission,
"RELAP 5/mod1 Code Manual", NUREG/CR-1826,
Washington, D.C. 20555, March 1982.