

M.Kozarić, D.Feretić, N.Dabrečin, N.Čavlina, D.Mirković

Elektrotehnički fakultet Zagreb
Zavod za visoki napon i energetiku
Unska 3, 41000 ZAGREB

EKSPERIMENTALNI MODEL RASHLADNOG KRUGA REAKTORA

EXPERIMENTAL MODEL OF REACTOR COOLANT LOOP

SADRŽAJ - U radu je prikazan opis eksperimentalnog modela za simulaciju rada primarnog kruga nuklearne elektrane. Modelom je moguće provesti analizu termodinamičkih i hidrodinamičkih prijelaznih pojava u rashladnom kanalu. Prijelazne pojave uzrokovane su poremećajima proizvodnje i prijenosa topline, kao i promjenama protoka u rashladnim krugovima.

ABSTRACT - In this paper experimental coolant loop is presented. Model is capable to simulate the operation of primary coolant loop of nuclear power plant. Thermohydraulic transients are initiated by power excursions or coolant flow changes.

1. UVOD

Prema današnjim zahtjevima regulatornih organa svaka elektroprivreda, vlasnik nuklearne elektrane, mora raspolagati dokazima za sigurno ponašanje postrojenja u svim uvjetima rada.

Ispitivanje ponašanja elektrane u nenormalnim uvjetima ili kvarovima nije moguće provesti na samom postrojenju, jer bi takvo ispitivanje bilo skupo i nesigurno po okolinu i postrojenje. Zbog toga se provjera njihovog ponašanja u specifičnim uvjetima vrši simulacijom, korištenjem matematičkih modela i eksperimentalnih uređaja.

Matematički model za simulaciju rada nuklearnog postrojenja sastoji se od jednadžbi održanja, termohidrodinamičkih korelacija i podataka materijala te geometrijskih podataka. Svaki matematički model, da bi se utvrdila njegova primjenljivost morao je proći verifikaciju na konkretnim postrojenjima ili na eksperimentalnim uređajima. Verifikacija se u principu provodi usporedbom rezultata mjerenja i rezultata proračuna zadane prijelazne pojave.

Danas u svijetu postoji tek nekoliko eksperimentalnih postrojenja koja rade na nominalnom toplinskom nivou realnih postrojenja (High - Pressure Loops). Nekoliko najpoznatijih su: LOFT, Semiscale, ROSA, BETTIS. Takva postrojenja su vrlo značajna jer omogućuju ispitivanje realnih postrojenja u nenormalnim pogonskim uvjetima, kao i verifikaciju računarskih programa kojima se kasnije jeftinije provode sigurnosne analize rada nuklearnog postrojenja.

Zbog izrazito visokih cijena tih postrojenja ona su nedostupna većini elektroprivrednih organizacija.

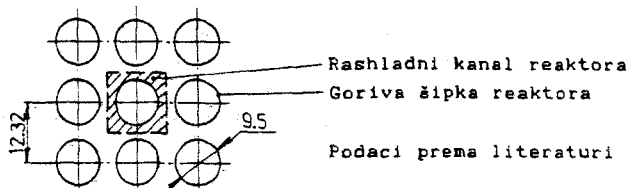
Mnogi laboratoriji u svijetu imaju ili grade jednostavne eksperimentalne uređaje koji rade na nižem toplinskom nivou (Low - Pressure Loops). Upotreba takvih uređaja je razumljivo ograničena ali je i dostupnija zbog nižih troškova.

Na Elektrotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu privodi se kraju montaža uređaja za simulaciju rada primarnog kruga nuklearne elektrane, s težištem na proučavanju pojava u rashladnom kanalu reaktora tipa PWR.

2. OSNOVNI POJMOVI I PRETPOSTAVKE VEZANE UZ MODEL

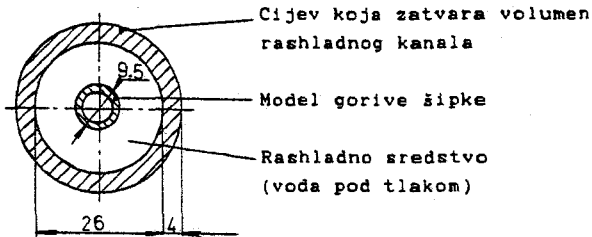
Rashladnim kanalom reaktora podrazumijeva se zamišljeni kanal u reaktoru, kroz koji protječe pripadna količina rashladnog sredstva (voda pod tlakom), koja odvodi proizvedenu toplinu s gorive šipke. Goriva šipka obično se nalazi u centru rashladnog kanala.

Slika 1.



Rashladni kanal na modelu simuliran je izvedbom - cijev u cijevi.

Slika 2.



Model gorive šipke izveden je iz čelične cijevi ϕ 9,5/ ϕ 5,75 (SA 276, typ 304 ASME) zagrijavane električnom energijom preko transformatora.




Za rashladno sredstvo odabrana je po mogućnosti što čišća, destilirana, neutralizirana voda. Cilj je da se spriječi stvaranje kamenca, korozija armature te provođenje električne struje.

Radi vjernijeg ponašanja modela u odnosu na original željela se ostvariti odgovarajuća sličnost s radom primarnog kruga nuklearne elektrane tipa PWR. Kao osnova za proračun odabrana je nuklearna elektrana Krško.

Osnovne pretpostavke s kojima se krenulo u proračun modela su:

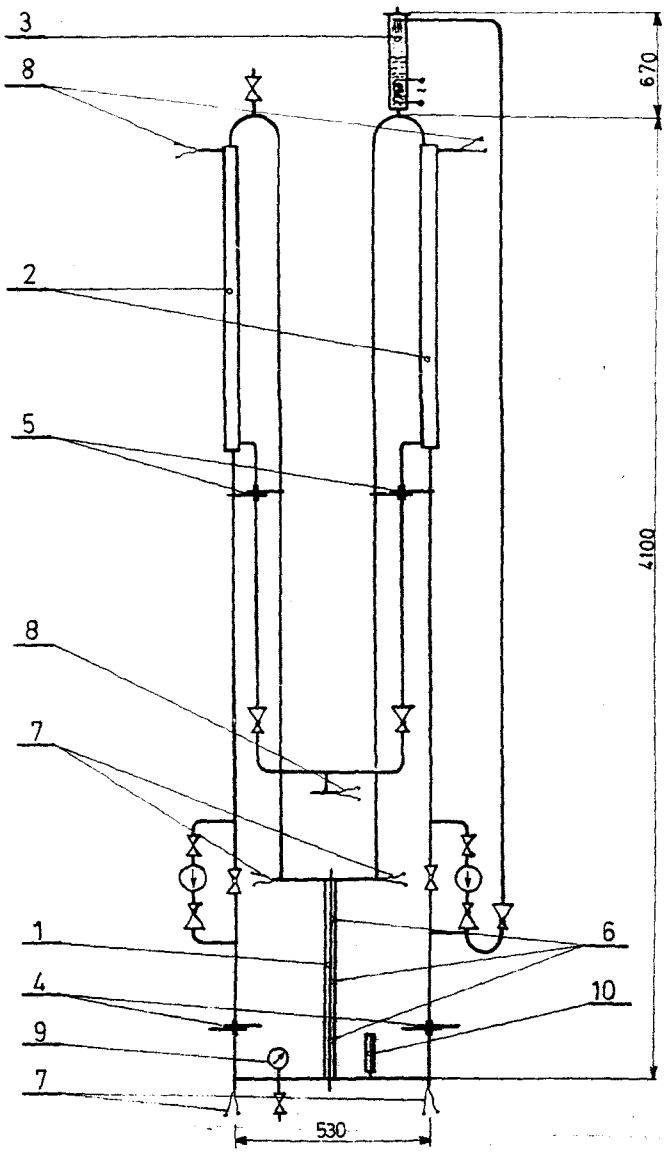
- a) jednakost proizvedene linearne snage u rashladnom kanalu modela i originala,
- b) jednakost prirasta temperature rashladnog sredstva po metru duljine u rashladnom kanalu,
- c) proporcionalna sličnost volumenskih odnosa u petlji, prema volumenu rashladnog kanala, modela i originala.

3. SKICA MODELA I OPIS DIJELOVA (Slika 3)

1. - rashladni kanal s modelom gorive šipke.
 2. - protustrujni izmjenjivač topline.
 3. - tlačnik.
-  - zaporni ventil.
 - regulacioni ventil.
 - cirkulaciona pumpa.

IX.192

Slika 3. (nije u mjerilu)



4. DIMENZIONIRANJE MODELA RASHLADNOG KANALA I ODABIR TOPLINSKOG NIVOA RADA

U reaktoru se razlikuju tri načina prijelaza topline, prema generiranoj linearnoj snazi:

- a) pothladeno stanje (temperatura površine gorivih šipki manja je od temperature zasićenja rashladne vode),
- b) granično stanje (temperatura površine gorive šipke jednaka je temperaturi zasićenja rashladne vode),
- c) lokalno mjehuričasto ključanje (temperatura površine gorive šipke veća je od temperature zasićenja rashladne vode te se na stijenci gorive šipke stvaraju mjehurići, koji se kondenziraju čim dođu u tok rashladne vode koja je pothladena).

Važno je napomenuti da je stanje rashladne vode u nuklearnom reaktoru tipa PWR uvijek pothladeno, kako ne bi došlo do nedovoljnog hlađenja nuklearnog goriva smanjenjem koeficijenta prijelaza topline.

Toplinsko stanje, temperatura i tlak rashladne vode, odabrani su prema jednakosti graničnog toplinskog toka originala i modela radi postizavanja fizikalne sličnosti područja rada.

$$Q_{gr}(\text{orig.}) = Q_{gr}(\text{mod.})$$

Kod graničnog toplinskog toka nastupa granično stanje prijelaza topline (početak stvaranja mjehurića na gorivoj šipci).

4.1. PODACI O RASHLADNOM KANALU REAKTORA NE KRSKO, LIT. [2]

p	= 15,2	MPa	- radni tlak,
T _{sr}	= 580,95	K	- srednja temperatura vode u jezgri,
T _{ul}	= 561,75	K	- ulazna temperatura rashladne vode u reaktor,
ΔT _{sr}	= 38,4	K	- srednji prirast temperature vode u jezgri,
Pl _{sr}	= 17,55	kW/m	- srednja specifična linearna snaga,
Pl _{max}	= 43,95	kW/m	- maksimalna linearna snaga u pogonu,
l	= 3,658	m	- visina rashladnog kanala,
muk	= 8940	kg/s	- ukupni maseni protok kroz jezgru reaktora,
n	= 30976		- broj šipki u reaktoru.

4.2. PRORAČUN GRANIČNOG TOPLINSKOG TOKA, LIT. [3]

$$Q_{gr} = \frac{\Delta h \cdot \text{dekv} \cdot m}{4 \cdot l \cdot \text{Ar.k}} = 901,3 \text{ kW/m}$$

- $\Delta h = 340 \text{ kJ/kg}$ - razlika entalpija rashladne vode stanja zasićenja i ulaznog stanja.
 $\text{dekv} = 0,010843 \text{ m}$ - ekvivalentni promjer rashladnog kanala.
 $m = 0,289 \text{ kg/s}$ - maseni protok kroz rashladni kanal.
 $l = 3,658 \text{ m}$ - visina rashladnog kanala.
 $\text{Ar.k} = 0,09E-5 \text{ m}$ - površina presjeka rashladnog kanala (sl.1.)

Ostvarena linearna snaga kod graničnog toplinskog toka:

$$Pl_{gr} = Q_{gr} \cdot d = 901,3 \cdot 0,0095 = 28,315 \text{ kW/m.}$$

Vidljivo je da granični toplinski tok nastaje između srednje i maksimalne pogonske linearne snage u reaktoru.

4.3. PODACI O MODELU RASHLADNOG KANALA REAKTORA

$l = 1 \text{ m}$ - visina rashladnog kanala.

Visina je odabrana prema maksimalnoj linearnoj snazi modela od 43,96 kW/m koja se u pogonu još mora postići da bi zadovoljila sličnost s originalom. Visina rashladnog kanala je uvjetovana raspoloživom snagom transformatora od 50 kW.

$\text{Ar.k} = 4,123E-4 \text{ m}$ - površina presjeka rashladnog kanala (sl.2).

$\text{dekv} = 0,01354 \text{ m}$ - ekvivalentni promjer rashladnog kanala.

$p = 1,0 \text{ MPa}$ - radni tlak modela.

$\Delta T = 10,5 \text{ K}$ - srednji prirast temperature rashladnog sredstva dabran prema zahtjevu sličnosti.

$T_{er} = 393,15 \text{ K}$ - srednja temperatura rashladne vode, dobivena iz zahtjeva jednakosti graničnih toplinskih tokova.

$m = 0,394 \text{ kg/s}$ - maseni protok.

5. MJERENJA NA MODELU

S obzirom na korištenje eksperimentalnog modela prvenstveno u istraživačke svrhe mjerenju je posvećena posebna pažnja.

Svi signali o mjernim veličinama dobivaju se u centar za prikupljanje, obradu i prezentaciju podataka. Predviđena računska obrada izlaznih signala uvjetuje dobavu signala o mjernim veličinama u standardni strujni signal 4-20 mA. Računalom će se tako moći pratiti promjena snage ili protoka u ovisnosti o temperaturi rashladne vode ili površinske temperature gorive ipke. Prednost računске obrade podataka je i u mogućnosti izračunavanja i praćenja dinamičkih promjena na modelu, kao i neposrednih proračuna veličina npr. koeficijenta prijelaza topline u ovisnosti o visini rashladnog kanala.

5.1. MJERNA MJESTA I MJERNE VELIČINE (Slika.3)

4. - protok primarne vode (mjerna prigušnica s pretvaračem diferencijalnog tlaka).
5. - protok sekundarne vode (mjerna prigušnica s pretvaračem diferencijalnog tlaka).
6. - temperatura površine gorive žipke, (termoelement s naponskim pretvaračem).
7. - temperatura primarne vode (termoelement s naponskim pretvaračem).
8. - temperatura sekundarne vode (termoelement s naponskim pretvaračem).
9. - pokazni manometar s priključkom za pretvarač tlaka.
10. - pokazni termometar.

6. ZAKLJUČAK

Na Elektrotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu radi istraživanja pojava u rashladnom kanalu reaktora, kao i mogućnosti verifikacije računarskih programa za simulaciju rada nuklearnih postrojenja, izgrađen je eksperimentalni model rashladnog kruga reaktora. Zbog manjih materijalnih mogućnosti izgrađen je model za rad na nižem toplinskom nivou (Low-Pressure Loops).

7. LITERATURA

- [1] - Miroslav Kozarić, "Laboratorijski model rashladnog kanala reaktora", Diplomski rad, FSB Zagreb, 1986.
- [2] - Final Safety Analysis Report, NE Krško, 1986.
- [3] - D. Butterworth, G.F. Hewitt, Two Phase Flow and Heat Transfer, Oxford University Press, 1977.