

Vesna Bencik , dipl. ing.
 Elektrotehnički institut "Rade Končar",
 Zagreb, Bastijanova biv.
 Miroslav Kozarić , dipl. ing.
 Elektrotehnički fakultet, Zagreb, Unska 3

PRORAČUN PRIRODNE CIRKULACIJE U PRIMARNOM KRUGU
 NUKLEARNE ELEKTRANE PRIMJENOM PROGRAMA ALMOD 3W2

ANALYSIS OF NATURAL CIRCULATION FLOW
 IN THE PRIMARY LOOP OF NUCLEAR POWER PLANT
 BY USING ALMOD 3W2 COMPUTER CODE

SADRŽAJ - Primjenom programa ALMOD 3W2 analiziran je tranzijent obustave rada obje pumpe rashladnog sredstva reaktora NE Krško. Opisane su jednadžbe termohidraulike koje su korištene u programu. Napravljen je proračun prirodne cirkulacije u primarnom krugu NE Krško za slučaj 18 % čepjenja cijevi parogeneratorske.

ABSTRACT - A transient of complete loss of forced reactor coolant flow by applying computer code ALMOD 3W2 was analyzed. The thermal - hydraulic mathematical model is presented. The calculation of natural circulation flow in the primary loop of NPP Krško for 18 % tubes plugging level was performed.

Ključne riječi : prirodna cirkulacija , sigurnosna analiza,
 termohidraulika

Key words : natural circulation , safety analysis ,
 thermal - hydraulic

1. UVOD

Jedan od najvažnijih problema vezanih uz nuklearnu sigurnost odnosi se na zahtjev za permanentnim odvođenjem ostatne topline iz jezgre nakon obustave lancane reakcije. Prirodna cirkulacija je pasivan način odvođenja topline iz jezgre i predstavlja važnu značajku inherentne sigurnosti nuklearne elektrane. Uvjet za postizanje prirodne cirkulacije u primarnom krugu je da se parogeneratori koji predstavljaju ponor topline nalaze na višoj elevaciji od

jezgre koja je izvor topline. U ovom radu je napravljen proračun prirodne cirkulacije u primarnom krugu NE Krsko za tranzijentne obustave rada obje primarne pumpe primjenom programa ALMOD 3W2. U sigurnosnoj analizi korištene su konzervativne pretpostavke za početne uvjete i raspoložive kontrolne sisteme u elektrani.

2. JEDNADŽBE TERMOHIDRAULIKE

U programu ALMOD za primarni fluid se pretpostavlja da je u termohidrauličkoj ravnoteži. U slučaju početka ključanja u primarnom krugu fluid se promatra kao homogena mješavina dviju faza, odnosno kao jednofazni fluid.

Primarni rashladni krug podijeljen je na N sekcija, a svaka od njih predstavlja dio zatvorene strujnice.

Osnovu modela termohidraulike čine jednadžbe očuvanja mase, energije i količine gibanja. Za razliku od originalnog modela u jednadžbi očuvanja energije nisu zanemarene promjene kinetičke, potencijalne i energije disipacije. Konačni sustav jednadžbi očuvanja glasi :

Jednadžba očuvanja mase :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \dot{m}}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

Jednadžba očuvanja energije :

$$\frac{\partial (\rho e)}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} \left[\dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + \phi \right) \right] + q \quad (2)$$

Jednadžba očuvanja količine gibanja :

$$\frac{\partial \dot{m}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\dot{m}^2}{\rho} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} - g \rho \sin \theta - \frac{\lambda}{2d} \frac{\dot{m}^2}{\rho} \quad (3)$$

Oznake :

- d [m] - ekvivalentni promjer
- e [J/kg] - ukupna specifična energija
($e = u + \frac{v^2}{2} + \phi$)
- g [m/s²] - akceleracija uslijed gravitacije
- h [J/kg] - specifična entalpija
- \dot{m} [kg/m²s] - specifični protok
- p [Pa] - tlak

- q [W/m³] - dovedena toplina
 t [s] - vrijeme
 u [J/kg] - specifična unutrašnja energija
 v [m/s] - brzina fluida
 x [m] - prostorna koordinata
 z [m] - koordinata elevacije
 λ - koeficijent trenja
 ρ [kg/m³] - gustoća
 ϕ [J/kg] - potencijalna energija
 θ - kut između sekcije i horizontalne osi

Uzimajući u obzir da je

$$h = u + \frac{P}{\rho} \quad (4)$$

i uz (1) jednačba očuvanja energije na kraju glasi :

$$\rho \frac{\partial h}{\partial t} + \dot{m} \frac{\partial h}{\partial x} = q + \frac{\partial p}{\partial t} - \frac{\dot{m}}{\rho} \frac{\partial \dot{m}}{\partial t} + \frac{\dot{m}^2}{\rho^2} \frac{\partial \rho}{\partial t} - \dot{m} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v^2}{2} + \phi \right) \quad (5)$$

Integriranjem jednačbe (3) za sekciju I duljine Δz_1 dobije se pad tlaka Δp_1 .

$$\Delta p_1 = - \Delta z_1 \frac{\partial \dot{m}}{\partial t} + z_{se} (I) \quad (6)$$

Uzimajući u obzir jednačbu kontinuiteta :

$$\dot{m}_1 A_1 = \dot{m}_2 A_2 = \dots = \dot{m}_N A_N \quad (7)$$

gdje su

N - ukupni broj sekcija primarnog kruga

$\dot{m}_1, \dot{m}_2, \dot{m}_N$ - specifični protoci

A_1, A_2, A_N - površine presjeka strujanja

i uz uvjet da je za zatvoreni krug :

$$\sum_{I=1}^N \Delta p_I = 0 \quad (8)$$

konačno se dobije izraz za derivaciju specifičnog protoka prve sekcije :

$$\frac{\partial \dot{m}}{\partial t} = \frac{\sum_{I=1}^N z_{se} (I)}{\sum_{I=1}^N GL (I) \frac{FL(1)}{FL(I)}} \quad (9)$$

Ovdje su : FL(I) - površina presjeka sekcije
GL(I) - duljina strujnice sekcije

3. REZULTATI PRORACUNA

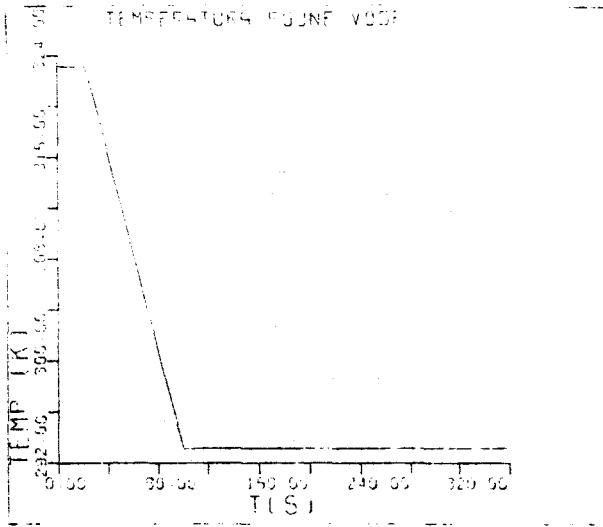
Tranzijent kompletnog gubitka prisilnog protoka rashladnog sredstava reaktora može nastupiti kao rezultat istovremenog gubitka električnog napajanja za obje primarne pumpe. Ako je reaktor na snazi, trenutni učinak gubitka prisilnog protoka je brzi porast temperature rashladnog sredstva, a to može imati kao posljedicu pojavu DNBR - a ako se lancana reakcija u reaktoru odmah ne ugasi. Zaštita u slučaju ovog akcidenta je aktiviranje signala za brzu obustavu reaktora na : a) signal niskog napona na sabirnicama primarnih pumpi, b) signal niskog protoka rashladnog sredstva reaktora i c) signal otvorenog prekidača primarne pumpe.

Proracun je napravljen za 6 min trajanja tranzijenta od trenutka ispada primarnih pumpi. Pretpostavljeno je da se istovremeno sa obustavom primarnih pumpi gubi pojna voda parogeneratora. Pomoćna pojna voda starta 22 s nakon početka tranzijenta. Protok pomoćne pojne vode je 22.08 kg/s. Temperatura pojne vode je pretpostavljena kao na slici 1.

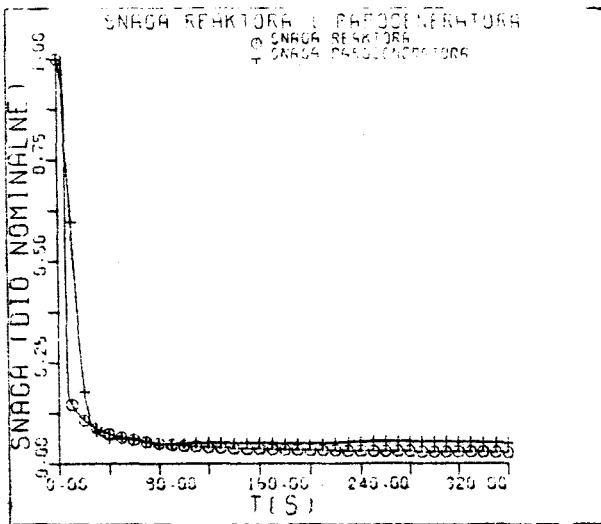
U analizi je pretpostavljeno da nisu operabilni grijaci tlačnika, sprej tlačnika, rasteretni ventili tlačnika i rasteretni ventili parogeneratora. Također se pretpostavlja da kondenzator turbine nije na raspolaganju pa će se na sekundarnoj strani otvoriti sigurnosni ventili parogeneratora. U analizi su pretpostavljene konzervativne vrijednosti temperaturnih koeficijenata reaktivnosti goriva i moderatora. Tranzijent se promatra kao simetričan tako da je analiziran jedan rashladni krug.

Rezultati za ovaj tranzijent prikazani su na slikama 2 do 6.

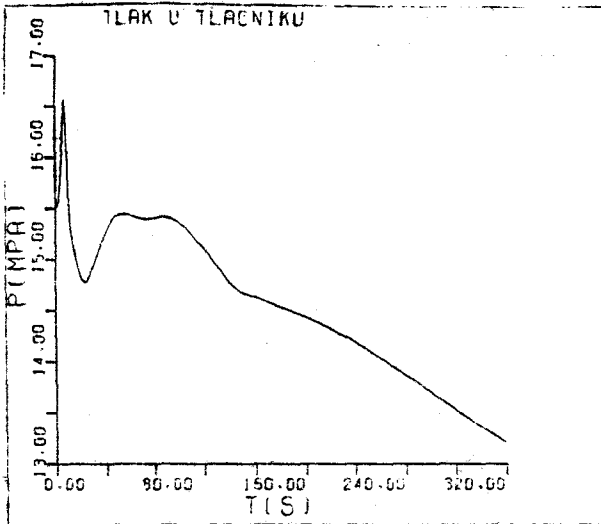
Nakon obustave obe primarne pumpe dolazi do opadanja protoka u primarnom krugu. U $t = 2.3$ s nakon početka tranzijenta generira se signal za gašenje reaktora uslijed niskog protoka rashladnog sredstva reaktora. Snaga reaktora brzo opada i nakon relativno kratkog vremena stabilizira se na vrijednosti koja je određena radioaktivnim raspadom fisijskih produkata. Generirana toplina odvodi se protokom rashladnog sredstva koji je određen vrijednošću protoka prirodne cirkulacije u primarnom krugu.



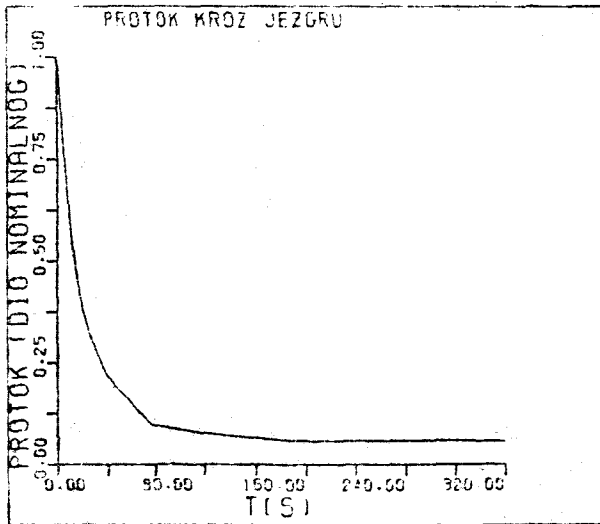
slika 1. Temperatura pojne vode parogeneratora



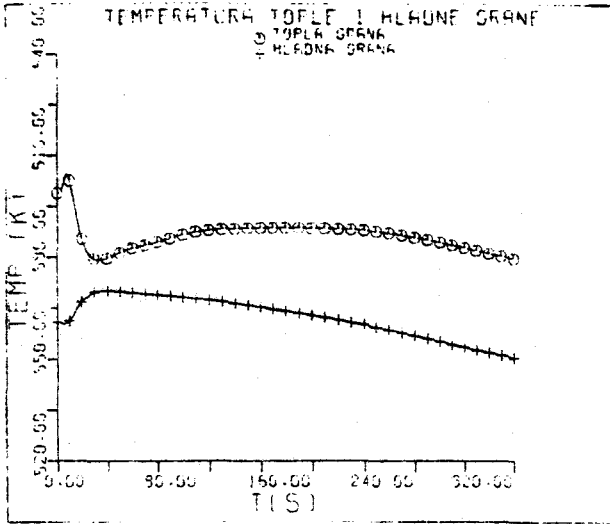
slika 2. Snaga reaktora i snaga parogeneratora



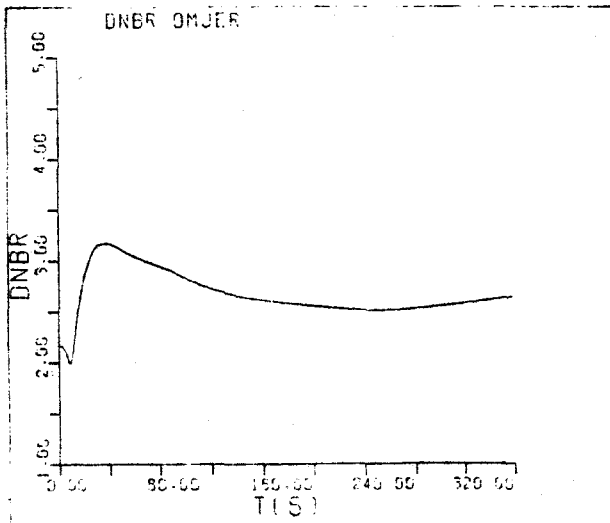
slika 3. Tlak u tlacniku



slika 4. Protok kroz jezgru



slika 5. Temperatura tople i hladne grane



slika 6. DNBR omjer.

4. ZAKLJUČAK

U radu su predstavljeni rezultati analize tranzijenta kompletnog gubitka prisilnog protoka rashladnog sredstva reaktora NE Krško za slučaj 18 % cepljenja cijevi parogeneratora. Opisane su jednadžbe termohidraulike koje su koristene u programu ALMOD 3W2.

Analiza je pokazala da u slučaju obustave rada obje primarne pumpe ni jedan od parametara važnih za sigurnost ne dostiže kritične vrijednosti. Može se zaključiti da uspostavljena prirodna cirkulacija u primarnom krugu NE Krško i za 18 % cepljenja omogućuje uspješno odvođenje ostatne topline.

5. LITERATURA

1. W. Frisch, K. - D. Schmidt : " A PWR Plant Model for the Analysis of Large Amplitude Transients ", GRS
2. L. Dominguez, C. Camargo, A. Madeira, L. Gouvea : " ALMOD 3W2 MANUAL, A Modified Version of the German Code ALMOD 3.2 for the Analysis of Transients in PWR 's from Westinghouse Type ", CNEN, 1986.
3. V. Bencik, N. Debrecin, D. Feretic, M. Kozaric : " Primjena programa ALMOD 3W2 u analizi nesimetričnih prijelaznih pojava u primarnom krugu nuklearne elektrane ", XXXII jugoslavenska konferencija ETAN - a, Sarajevo 1988.
4. V. Bencik, D. Feretic, N. Debrecin : " Primjena programa ALMOD u analizi prijelaznih pojava sa reverzibilnim protokom u primarnom krugu nuklearne elektrane ", XXXIII jugoslavenska konferencija ETAN - a, Novi Sad 1989.
5. D. Feretic i dr. : " Analiza sigurnosti i pouzdanosti sistema i komponenata nuklearne elektrane ", Studija NEK, Zagreb 1986.