

Vesna Benčik, dipl.ing.

Elektrotehnički institut "Rade Končar", Zagreb, Fallerovo šet. bb

mr Nenad Debrecin, dipl.ing, prof.dr Danilo Feretić, dipl.ing.

Miroslav Kozarić, dipl.ing.

Elektrotehnički fakultet, Zagreb, Unska 3

PRIMJENA PROGRAMA ALMOD 3W2 U ANALIZI NESIMETRIČNIH PRIJELAZNIH  
POJAVA U PRIMARNOM KRUGU NUKLEARNE ELEKTRANE

APPLICATION OF COMPUTER CODE ALMOD 3W2 IN NONSYMMETRIC TRANSIENT  
ANALYSIS IN THE PRIMARY LOOP OF NUCLEAR POWER PLANT

SADRŽAJ - Prikazana je metoda proračuna nesimetričnih tranzijenata u nuklearnoj elektrani primjenom programa ALMOD 3W2. Opisane su matematičke osnove modela generatora pare GEVAP. Analiziran je tranzijent djelomičnog gubitka prisilnog protoka rashladnog sredstva reaktora u NE Krško.

ABSTRACT - In this paper the method to calculate the nonsymmetric transients in the nuclear power plant is presented. ALMOD 3W2 computer code with steam generator model GEVAP is applied to analyze partial loss of forced reactor coolant flow for NPP Krško.

### 1. UVOD

U analizi nesimetričnih prijelaznih pojava u nuklearnoj elektrani potrebno je primijeniti matematički model i kompjutorski program pomoću kojih se može svaka rashladna petlja promatrati zasebno. Naime, u simetričnim modelima pretpostavljeni su identični uvjeti u oba rashladna kruga i za slučaj nesimetričnog tranzijenta, čime se neadekvatno simulira tranzijent.

Originalna njemačka verzija programa ALMOD imala je mogućnost simuliranja samo jednog rashladnog kruga s modelom generatora pare UTSG. U analizi nesimetričnih tranzijenata mogao bi se i u drugoj rashladnoj petlji koristiti UTSG, ali to bi bilo vremenski suviše zahtjevno. U Commissao National de Energia Nuclear u Brazilu razvijen je pojednostavljeni model generatora pare GEVAP.

U slučaju nesimetričnog tranzijenta jedan generator pare modeliran je pomoću modela UTSG, a drugi pomoću modela GEVAP.

U članku je ukratko opisan matematički model generatora pare GEVAP, verificirana je verzija programa ALMOD 3W2 s dvije rashladne petlje na primjeru simetričnog tranzijenta i analiziran nesimetrični tranzijent djelomičnog gubitka prisilnog protoka rashladnog sredstva reaktora (obustava jedne primarne pumpe).

## 2. MATEMATIČKI MODEL GENERATORA PARE GEVAP

Proračun prijelaza topline s primarne na sekundarnu stranu generatora pare opisan je Newtonovom jednačinom. Cjevni snop je zamijenjen jednom U cijevi srednje duljine koja je u aksijalnom smjeru podijeljena na N sekcija.

### 2.1 Proračun stacionarnog stanja

Stacionarni dio proračuna obavlja se pomoću potprograma ESTAC. Entalpija sekcije koja se nalazi iza generatora pare na primarnoj strani određena je s:

$$HWR(N+1) = HWR(1) - \frac{QK1}{G1ES} \quad (1)$$

gdje su:

HWR(1), HWR(N+1) – entalpije sekcija ispred/iza generatora pare  
 QK1 – snaga generatora pare  
 G1ES – protok na primarnoj strani

Nakon proračuna svojstava fluida (specifičnog volumena zasićene vode i zasićene pare, kvalitete pare i derivacije specifičnog volumena po tlaku i entalpiji) za (N+1) sekciju definira se:

$$COEF = \frac{TWR(N+1) - TGV}{TWR(1) - TGV} \quad (2)$$

gdje su

TWR(1), TWR(N+1) - temperature sekcija ispred/iza generatora pare  
 TGV - temperatura zasićenja kod tlaka na sekundarnoj strani u stacionarnom stanju P2S

Za svaku sekciju definira se:

$$A_{PTP}(I) = \frac{QK1}{N} \cdot \frac{TWR(N+1) - TGV}{TWR(1) - TGV} \cdot \frac{I}{N} \cdot \ln(\text{COEF}) \quad I = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

Snaga sekcije se dobije iz:

$$P_{TP}(I) = A_{PTP}(I) \cdot \frac{(-QK1)}{\sum_{[i]} A_{PTP}(I)} \quad I = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

Entalpija sekcije određena je sa:

$$H_{WR}(I+1) = H_{WR}(I) + \frac{P_{TP}(I)}{G_{IES}} \quad I = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

Srednja vrijednost entalpije dobije se pomoću izraza:

$$H_{WRM}(I) = \frac{H_{WR}(I) + H_{WR}(I+1)}{2} \quad I = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

Nakon proračuna svojstava fluida: temperature TWRM(I) i specifičnog volumena VWRM(I), definira se:

$$TWR(I+1) = 2 \cdot TWRM(I) - TWR(I) \quad (7)$$

$$VWR(I+1) = 2 \cdot VWRM(I) - VWR(I) \quad (8)$$

$$TPM(I) = \frac{TWRM(I) + TGV}{2} \quad (9)$$

TPM(I) je temperatura stijenske U cijevi.

Koeficijent prijelaza topline sa stijenske cijevi na sekundarni fluid definiran je sa:

$$ZKS(I) = \frac{-PTP(I)}{AITC \cdot (TPM(I) - TGV)} \quad I = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

gdje je AITC površina prijelaza topline.

## 2.2 Proračun nestacionarnog stanja

Nestacionarni dio proračuna obavlja se potprogramom TRANS. Osnova matematičkog modela su jednačbe očuvanja mase i energije.

Jednačba očuvanja mase:

$$\frac{dM_{ev}}{dt} = - WGV \quad (11)$$

Jednačba očuvanja energije:

$$\frac{d(M_{ev} \cdot h_{ev})}{dt} = - WGV \cdot h_{ev} + PTTS + V_{ev} \frac{dp_{ev}}{dt} \quad (12)$$

gdje su

- $M_{ev}$  i  $h_{ev}$  - masa i specifična entalpija fluida
- $V_{ev}$  - volumen fluida
- $WGV$  - promjena protoka
- $p_{ev}$  - tlak na sekundarnoj strani
- $PTTS$  - toplina koja prelazi sa primarne na sekundarnu stranu

Izjave strane jednačbi (13) i (14) mogu se napisati:

$$\frac{dh_{ev}}{dt} = V_{ev} \left( \frac{\partial h_{ev}}{\partial h} \cdot \frac{dh}{dt} + \frac{\partial h_{ev}}{\partial p} \cdot \frac{dp}{dt} \right) \quad (13)$$

$$\frac{d(M_{ev} \cdot h_{ev})}{dt} = h_{ev} \cdot \frac{dM_{ev}}{dt} + M_{ev} \frac{dh_{ev}}{dt} \quad (14)$$

Kao rješenja ovog sistema jednačbi dobiju se derivacija tlaka  $dp_{ev}/dt$  i derivacija specifične entalpije  $dh_{ev}/dt$ .

Novi tlak i entalpija u trenutku  $t + \Delta t$ , gdje je  $\Delta t$  vremenski korak, definirani su sa:

$$p_{ev1} = p_{ev} + \Delta t \cdot \frac{dp_{ev}}{dt} \quad (15)$$

$$h_{ev1} = h_{ev} + \Delta t \cdot \frac{dh_{ev}}{dt} \quad (16)$$

S novim vrijednostima svojstava fluida na tlaku  $p_{0v1}$ , ponovno se ulazi u proračun derivacije tlaka  $dp_{0v1}/dt$  i derivacije specifične entalpije  $dh_{0v1}/dt$ .

Konačne vrijednosti tlaka i specifične entalpije s kojima se ulazi u proračun za slijedeći vremenski korak, određene su sa:

$$p_{0v} = p_{0v} + \Delta t \cdot \frac{\frac{dp_{0v}}{dt} + \frac{dp_{0v1}}{dt}}{2} \quad (17)$$

$$h_{0v} = h_{0v} + \Delta t \cdot \frac{\frac{dh_{0v}}{dt} + \frac{dh_{0v1}}{dt}}{2} \quad (18)$$

### 3. PRIKAZ REZULTATA

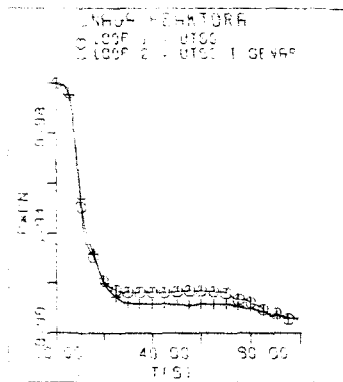
Za verifikaciju programa ALMOD 3W2 s dvije rashladne petlje analiziran je tranzijent smanjenja snage turbine. Pretpostavljeno je skokovito smanjenje snage sa 100% na 90%. Rezultati su prikazani na slikama 1,2,3 i 4. Tranzijent je analiziran za dva slučaja: verziju s jednom rashladnom petljom (LOOP = 1) s modelom generatora pare UTSG i verziju s dva rashladna kruga (LOOP = 2) u kojoj je jedan generator pare modeliran s modelom UTSG, a drugi s modelom GEVAP. Budući da je tranzijent simetričan, rezultati za oba rashladna kruga moraju biti identični.

Odstupanje rezultata	Postotak
-snaga reaktora	0.6%
-tlak u tlačniku	0.13%
-srednja temperatura u drugoj rashladnoj petlji	0.13%

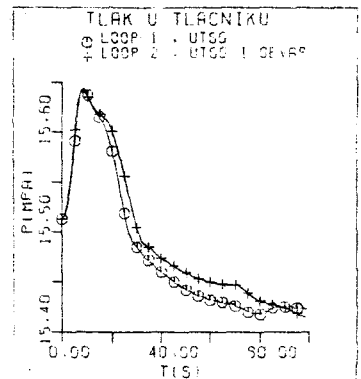
Dobiveni rezultati pokazuju da se verzija programa ALMOD 3W2 s dvije petlje može uspješno primjeniti u analizi prijelaznih pojava.

Primjenom programa ALMOD 3W2 s dvije petlje analiziran je nesimetrični tranzijent djelomičnog gubitka prisilnog protoka rashladnog sredstva reaktora (obustava rada jedne primarne pumpe). Do ovog akcidenta može doći zbog kvara na pumpi ili na sistemu napajanja pumpe. Ako je u trenutku nastanka akcidenta reaktor na snazi, posljedica gubitka protoka rashladnog sredstva bit će brzi porast temperature rashladnog sredstva. Ukoliko se ne obustavi reaktor može doći do pojave pre niskog DNB omjera i oštećenja gorivih elemenata.

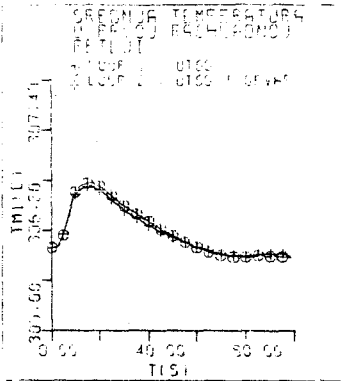
Zaštita u slučaju ovog akcidenta je aktiviranje signala za obustavu reaktora zbog malog protoka rashladnog sredstva reaktora. Rezultati za ovaj tranzijent su prikazani na slikama 5, 6, 7 i 8.



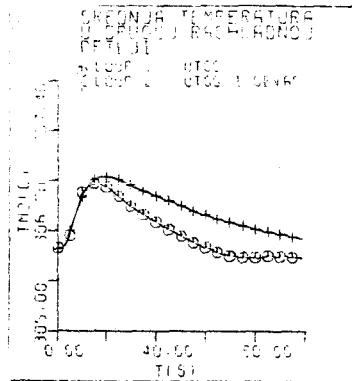
Slika 1.



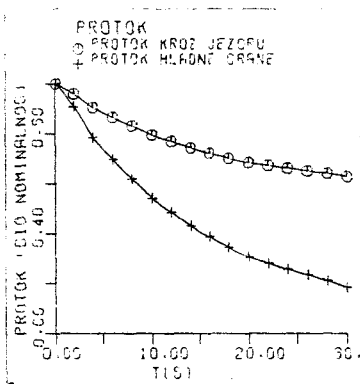
Slika 2.



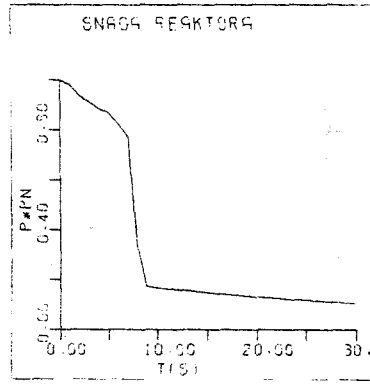
Slika 3.



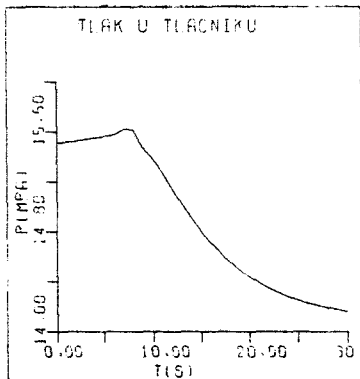
Slika 4.



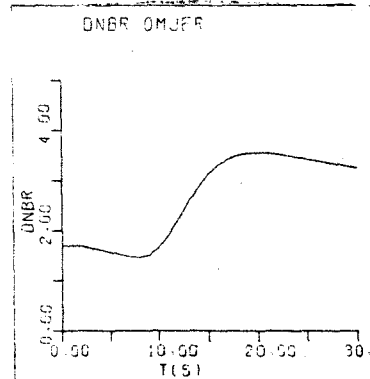
Slika 5.



Slika 6.



Slika 7.



Slika 8.

Pretpostavljeno je da akcident nastupa u  $t = 0.1$  s. U  $t = 4.0$  s došlo je do generiranja DTD signalu koji štiti jezgru od preniskog DNB omjera. Rezultati za ovaj tranzijent su pokazali dobro slaganje sa FSAR NE Krško.

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je opisana metoda proračuna nesimetričnih prijelaznih pojava primjenom programa ALMOD 3W2. Verzija programa sa dvije rashladne petlje verificirana je za simetrični tranzijent smanjenja snage turbine. Program je primjenjen u analizi nesimetričnog tranzijenta djelomičnog gubitka prisilnog protoka rashladnog sredstva reaktora.

Dobiveni rezultati za oba slučaja su dokazali uspješnu primjenljivost modela generatora pare GEVAP i verzije programa ALMOD 3W2 s dva rashladna kruga.

U daljnjem će se radu analizirati nesimetrični tranzijenti na sekundarnoj strani (akcident loma jednog parovoda). Napraviti će se potrebne izmjene u matematičkom modelu i programu potrebne za analizu ovog tranzijenta.

#### LITERATURA

1. L. Domínguez, 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.
2. V. Benčiki: "Analiza sigurnosti opreme i sistema u NE - Matematički model ponašanja komponenta primarnog kruga", ETI "Rade Končar", E-3666, 1986.
3. D. Feretić i dr.: "Analiza sigurnosti i pouzdanosti sistema i komponenta nuklearne elektrane", Studija NEK, Zagreb 1987.
4. FSAR NE Krško