

D. Beader, G. Peterlin
 Institut "Jozef Stefan",
 Jamova 39, 61000 Ljubljana
 Odsek za reaktorsko tehniko

POVEČANI ODVZEM TOPLOTE ZARADI OKVAR V SISTEMU NAPAJALNE VODE
 EXCESSIVE HEAT REMOVAL DUE TO FEEDWATER SYSTEM MALFUNCTIONS

POVZETEK- Studija obravnava prehodni pojav povečanja odvzema toplote zaradi povečanja pretoka napajalne vode jedrske elektrarne Krško. Nezgode smo simulirali s pomočjo neodvisnega računalniškega programa RELAP5/MOD1. Rezultati analize kažejo povečanje moči reaktorja nad nazivno vrednostjo ter ugasnitev reaktorja, povzročeno z visoko-visokim nivojem v uparjalnikih.

ABSTRACT - Excessive heat removal transient of the Krško Nuclear Power Plant, caused by steam generators feedwater system malfunctions was simulated by RELAP5/MOD1 computer code. The results are increase of power and reactor scram caused by high-high steam generator level.

1. UVOD

Za analizo obnašanja jedrske elektrarne Krško v primeru nezgode povečanja odvzema toplote v uparjalnikih smo uporabili neodvisni računalniški program RELAP5/MOD 1, cikel 18 /1/. Program so razvili v Idaho National Engineering Laboratory v ZDA in je namenjen termohidravličnim analizam lahkovodnih jedrskih elektrarn.

2. PRIPRAVA KONČNEGA MODELA ZA IZRACUN

Osnovna shema razdelitve JE Krško, ki smo jo uporabili za izračun male izlivne nezgode in izgube napajanja, smo ohranili tudi tokaj. Za preračun nezgode smo (na podlagi /2/ ter /4/) v model vključili tudi naslednje regulacijske sisteme: sistem za

regulacijo tlaka v tlačniku, sistem za regulacijo nivoja vode v tlačniku, dušilni obvod pare ter sistem za regulacijo nivoja v uparjalniku. Uporabljenih je 105 volumnov, 139 časovno odvisnih spojev, 47 toplotnih teles, 74 različnih "ustavitov" in regulacij, ki so skupaj s 108 kontrolnimi spremenljivkami omogočali ustrezno modeliranje nezgode.

3. SCENARIJ NEZGODE

Dogodki, ki lahko pripeljejo do nezgode povečanja napajanja uparjalnikov, so odpovedi na naslednjih instrumentacijskih kanalih /o/: kanal pritiska pare s prikazovanjem previsoke vrednosti, kanal pretoka pare s prikazovanjem previsoke vrednosti, kanal napajalne vode uparjalnikov s prikazovanjem prenizke vrednosti, kanal nivoja vode v uparjalniku s prikazovanjem prenizke vrednosti. Vse štiri nastete okvare lahko pripeljejo po skoraj enakem scenariju do zasilnih ustavitov v sistemu, ker se nivo vode v uparjalniku uravnava v odvisnosti od vseh teh parametrov. Predvidevamo naslednji potek dogodkov:

1. Nivo v uparjalniku bo naraščal do nivoja, na katerem se bo ustavil ali pa bo naraščal do zasilne ustavitve zaradi visokega nivoja v uparjalniku.
2. Nivo v uparjalniku bo dosegel 82% NR.
3. Zaradi tega se bodo z ustreznimi zakasnitvami spredili signali za ustavitev turbine reaktorja in črpalk napajalne vode.

4. OPIS POTEKA NEZGODE

V stacionarnem obratovanju na polni moči je nivo vode v uparjalniku 66% NR /2/. V prvi sekundi opazovanja pride do okvare, ki v eni sekundi povzroči dodatno odprtje vseh regulacijskih ventilov napajalne vode in naraščanje skupnega pretoka. Predvideli smo povečanje pretoka za 22.5% na obeh uparjalnikih. Novi povprečni pretok napajalne vode je $2 \times 630 \text{ kg/s} = 1260 \text{ kg/s}$ in je konstanten, dokler 11 sekund po dosegu visoko visokega nivoja v uparjalniku varovanje turbine ne zaustavi črpalke napajalne vode /3/. Ker elektrarna obratuje na polni moči in potrebuje le nazivni pretok pare in, ker sistem napajalne vode dovaja 55% več vode, začne nivo v uparjalnikih naraščati. Več vode v uparjalniku povzroči večji odjem toplote in naraščanje moči uparjalnika. Povprečna temperatura primarnega kroga začne rahlo padati, kar poveča reaktivnost in s tem moč reaktorja. Dve in pol sekundi po dosegu visoko visokega nivoja v uparjalniku (82% NR /5/) se sproži zasilna ustavitev turbine, ki po eni sekundi povzroči zasilno ustavitev reaktorja /3/. Enajst sekund po visoko visokem nivoju se zgodi tudi zasilna ustavitev črpalk napajalne vode in pretok napajalne vode se v 5 sekundah ustavi /3/. Istočasno startajo črpalke pomožne napajalne vode in v 40 sekundah dosežejo nazivni pretok ($2 \times 23 \text{ kg/s}$) /3/. Dušilni obvod pare se odpre na podlagi ustreznega programa razbremenitve uparjalnikov pri zasilni ustavitvi reaktorja, kar omogoča znižanje pritiska pare. Odprejo se tudi razbremenilni ventili na uparjalniku, ko pritisk doseže nastavitveno točko in se po razbremenitvi spet zapro.

5. REZULTAT ANALIZE

V prilogi so zbrani najbolj zanimivi rezultati študije. Potek bistvenih dogodkov je naslednji:

- 1. sek. začetek nezgode
- 9. sek. vklop pomožnih grelcev
- 30. sek. izklop pomožnih grelcev
- 44. sek. izklop proporcionalnih grelcev
- 50. sek. vklop prh
- 67. sek. izklop prh
- 71. sek. visoko-visok nivo v uparjalnikih 82% N.R.
- 74. sek. zasilna ustavitev turbine
- 75. sek. zasilna ustavitev reaktorja
- 76. sek. vklop proporcionalnih grelcev
- 77. sek. vklop pomožnih grelcev,
zaprtje polnilnega voda
- 79. sek. odprtje dusilnega obvoda pare
- 82. sek. zasilna ustavitev črpalk napajalne vode
začetek pomočnega napajanja uparjalnikov
- 85. sek. odprtje razremenilnih ventilov uparjalnika
- 88. sek. zaprtje razremenilnih ventilov uparjalnika

80. sek. odprtje razbremenilnih ventilov uparjalnika
108. sek. zaprtje razbremenilnih ventilov uparjalnika

6. ZAKLJUČKI

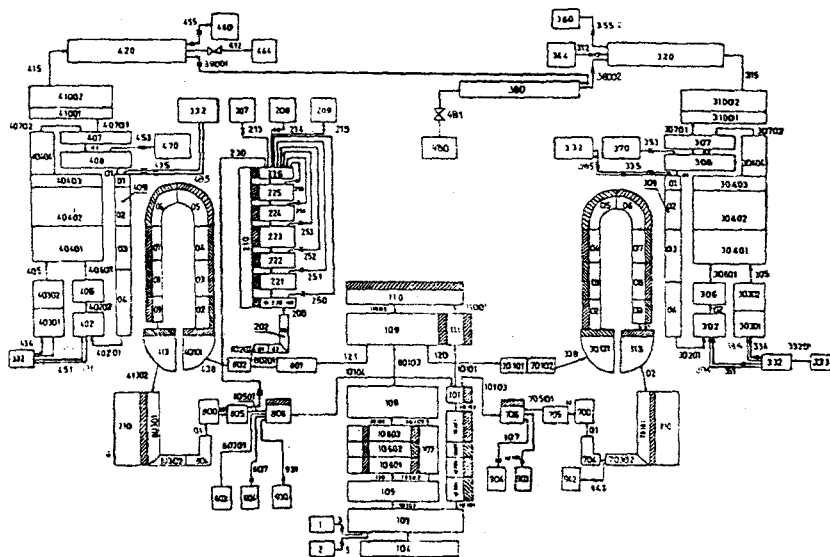
Rezultati analize omogočajo naslednje zaključke:

- Nezgoda nujno pripelje sistem do zasilne ugasnitve, če operater pravočasno in pravilno ne ukrepa.
- Moč reaktorja narašča za priližno 0.6%, kadar je izključena avtomatska regulacija palic. V primerjavi s poglavjem 15.2.10 v KVP /2/ rezultati kažejo, da na nezgodo bistveno vpliva povečanje moči reaktorja zaradi regulacije moči z regulacijskimi palicami. Vpliv ostalih faktorjev na reaktivnost in s tem na moč reaktorja je manjša kot 10% vpliva reaktivnosti, podane z regulacijskimi palicami.
- Parametri sistema se že po 200 sekundah ustalijo in prehodni pojav se zaključi.

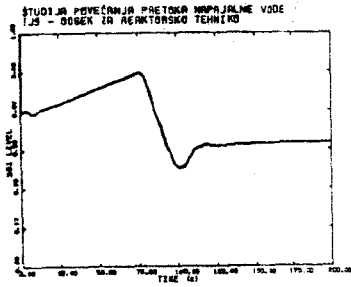
LITERATURA

1. V. Ransom, R. Wagner, J. Trap, K. Carlson, D. Kiser, H. Kuo, H. Chow, R. Nelson, S. James
RELAP5/MONTE CODE MANUAL
EG&G Idaho, Inc. LA (November 1980)
2. FINAL SAFETY ANALYSIS REPORT FOR NUCLEAR POWER PLANT KRŠKO
Westinghouse Electric Corporation
M. Hvalby, A. Mijević, L. Fabjan, M. Gregorič, D. Horvat, B. Istenič, U. Miklavžič, S. Petelin, J. Susnik
B. Šarler, M. Zeljko
TECHNICAL SPECIFICATION FOR KRŠKO NUCLEAR POWER PLANT
ICE-EP-31. (Janj 1983)
3. PRECAUTIONS, LIMITATIONS AND SETPOINTS FOR NUCLEAR STEAM
SUPPLY SYSTEM, Revision 4
Westinghouse Electric Corporation (August 1982)

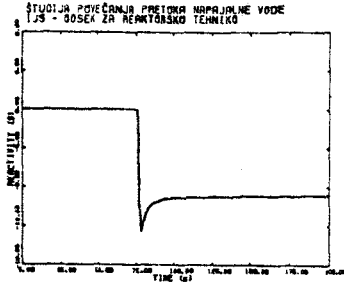
- 15/ J.L. Little, J.R. Easter:
 SETPOINT STUDY FOR THE KRSKO NUCLEAR POWER PLANT
 WCAP-3403 Westinghouse Electric Corporation (May 1981)
- 16/ A. Jerele, M. Novšak:
 ABNORMAL OPERATING PROCEDURE PMP 3.6.15 (Rev. 2) Operation
 with a failed Instrument Channel
- 17/ G. Petarlin, D. Beader, S. Petelin, M. Zeljko, I Kordiš,
 D. Korošec, D. Stojanovski
 ANALIZA PREHODNIH POJAVOV IN NEZGOD NE KRSKO S PROGRAMOM
 RELAP5/MOD1
 IJS-DP-3986 (Oktober 1985)



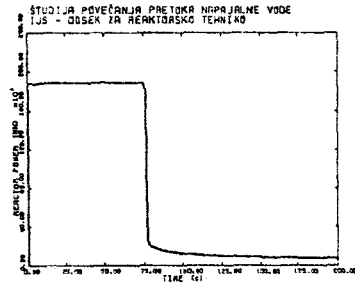
SI. 1: Razčlenitev jedrske elektrarne Krško na diskretne
 volume za analizo s programom RELAP5/MOD1



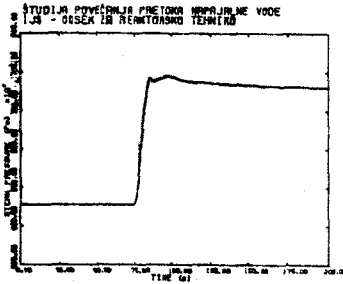
Sl. 2: Nivo v uparjalniku



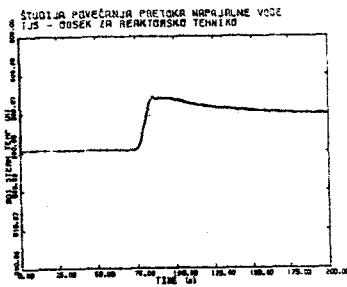
Sl. 3: Reaktivnost



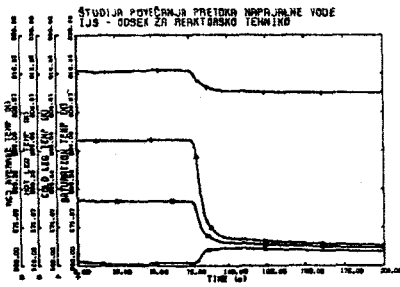
Sl. 4: Moč reaktorja

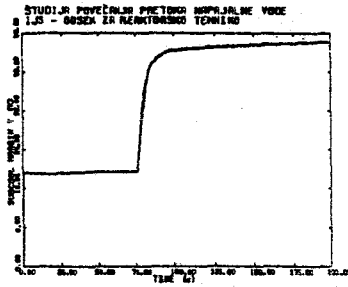


Sl. 5: Tlak pare

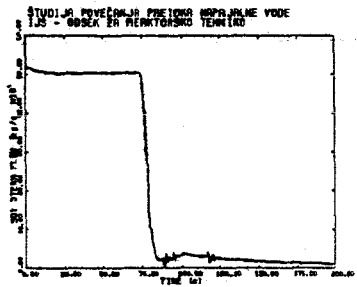


Sl. 6: Temperatura pare

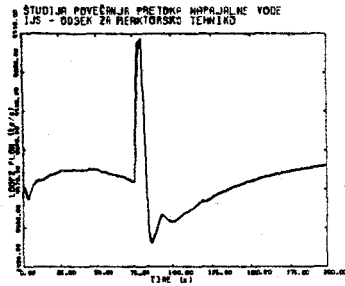
Sl. 7: Temperatura hladne veje
Temperatura vroče veje
Povprečna temperatura hladila
Temperatura nasičenja v reaktorju



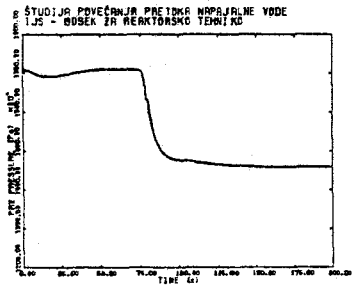
S1. 8: Podhlajenost primarnega hladila



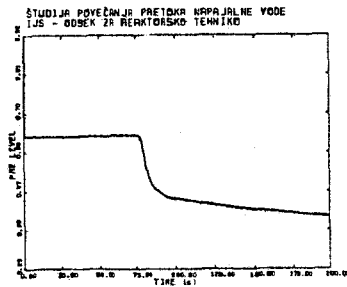
S1. 9: Pretok pare iz uparjalnika



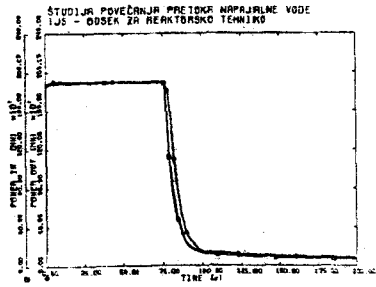
S1. 10: Pretok primarnega hladila



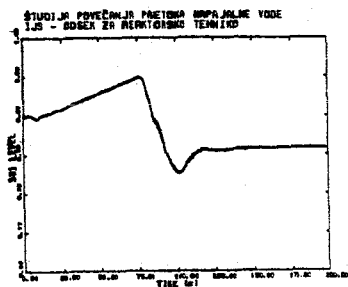
S1. 11: Tlak v primarnem sistemu



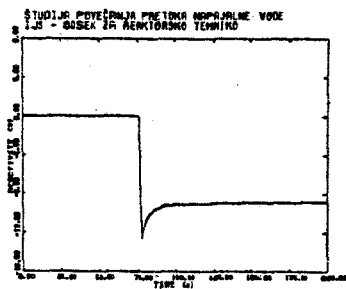
S1. 12: Nivo vode v tlačniku



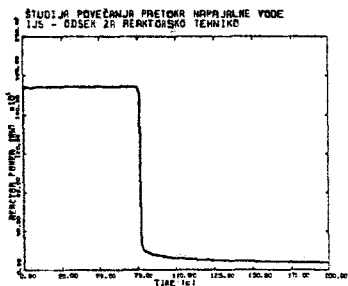
S1. 13: Porazdelitev moči v sistemu



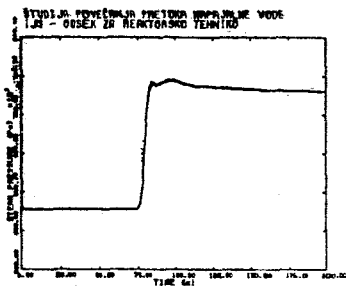
Sl. 2: Nivo v uparjalniku



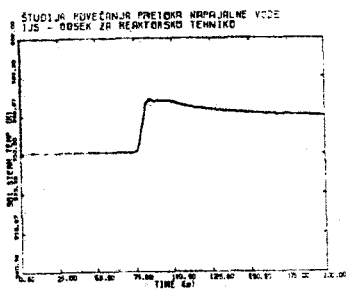
Sl. 3: Reaktivnost



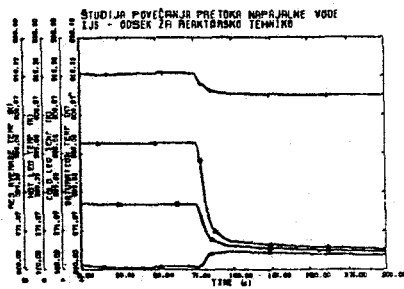
Sl. 4: Moč reaktorja

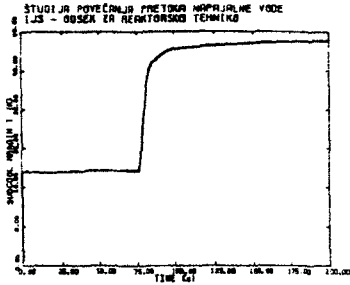


Sl. 5: Tlak pare

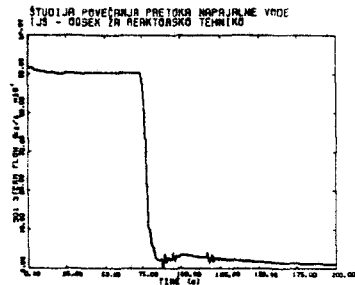


Sl. 6: Temperatura pare

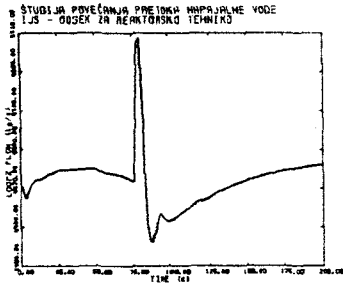
Sl. 7: Temperatura hladne veje
Temperatura vroče veje
Povprečna temperatura hladila
Temperatura nasitjenja v reaktorju



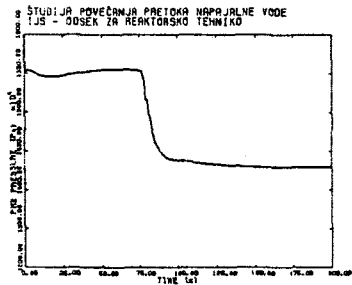
S1. 8: Podhlajenost primarnega hladila



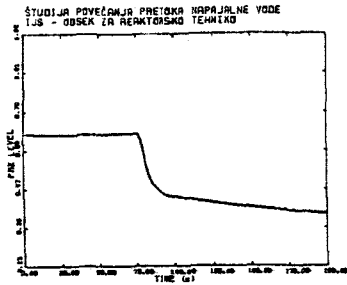
S1. 9: Pretok pare iz uparjalnika



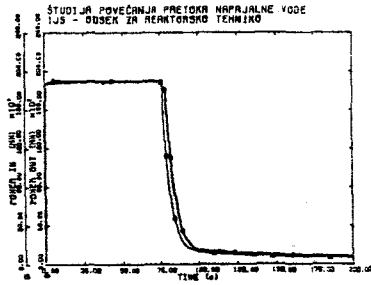
S1. 10: Pretok primarnega hladila



S1. 11: Tlak v primarnem sistemu



S1. 12: Niivo vode v tlačniku



S1. 13: Porazdelitev moči v sistemu