

UDK 621.039.572

Stekleni model tlačnovodnega reaktorja

MARJAN HUDINA — LEOPOLD ŠKERGET

0 UVOD

Poglavitno načelo delovanja tlačnovodnega reaktorja (PWR) je zelo dobro znan, saj so reaktorji te vrste že desetletja uspešno vključeni v energetske sisteme številnih industrijsko bolj ali manj razvitih držav. Postrojenja veljajo v strokovnih krogih kot tehnično izredno varna in zanesljiva. Zaradi velike možnosti posledic pogojnih nezgod in s tem povezanega negativnega vpliva na večino nepoučenega prebivalstva, je treba varnostno tehniko še naprej razvijati. Pomemben del je pri tem treba posvetiti podrobnemu poznavanju termohidravličnih pojavov v primarnem krogu in obnašanju sistema pod vplivom značilnih pogonskih momentov. Za širši krog zainteresiranih je možnost nazornega prikaza teh pojavov in obnašanja postrojenja posebej pomembna.

Demonstracijska naprava SMOTRE (Stekleni model tlačnovodnega reaktorja) je tipičen primer uspešnih prizadevanj na tem področju. Pri tako kompleksni napravi, kakršna je jedrska elektrarna, je nemogoče pri modeliranju slediti vsem za opazovanje različnih pojavov odločujočim zakonom. Po skrbnem preudarku so bile izmere demonstracijske naprave izbrane tako, da se lahko ustrezno (dobro simuliranje resničnih razmer) spremljajo le nekateri izbrani pojavi.

Podrobnejša primerjava razmer oz. pogojev demonstracijske naprave s 1000 MW jedrsko elektrarno je podana v naslednji tabeli:

1 KRATEK OPIS NAPRAVE

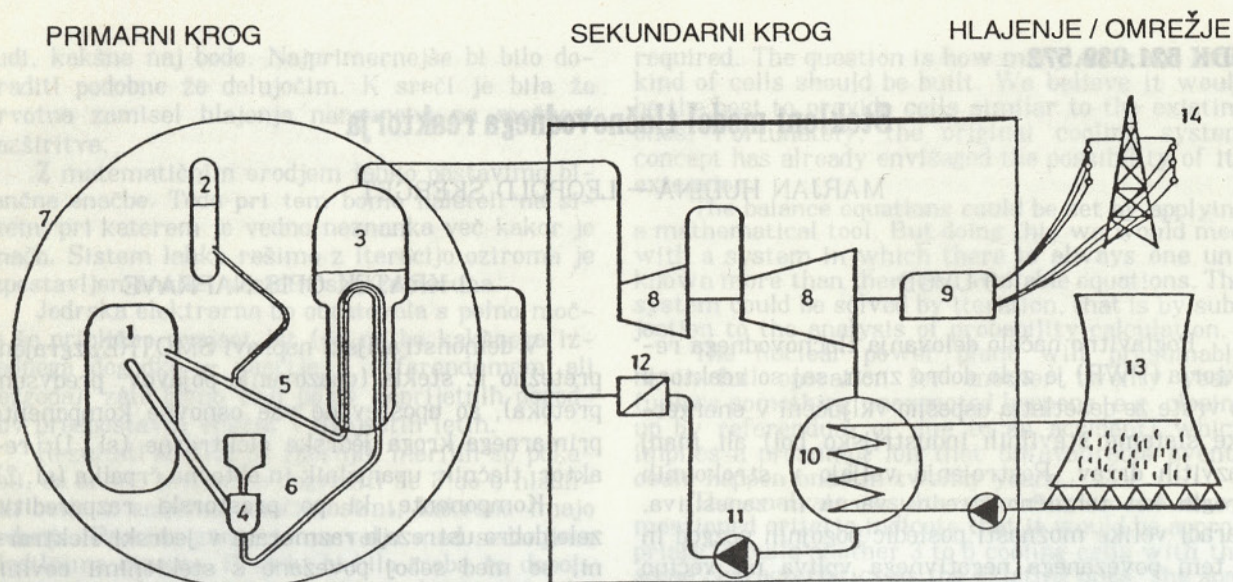
V demonstracijski napravi SMOTRE, zgrajeni pretežno iz stekla (opazovanje pojavov, predvsem pretoka), so upoštewane vse osnovne komponente primarnega kroga jedrske elektrarne (sl. 1): reaktor, tlačnik, uparjalnik in obtočna črpalka (sl. 2).

Komponente, ki po prostorski razporeditvi zelo dobro ustrezajo razmeram v jedrski elektrarni, so med seboj povezane s steklenimi cevmi, premera 70 mm. V primerjavi z jedrsko elektrarno so višinske razmere primarnega kroga in tudi premer cevi 10-krat zmanjšani. Obtočna črpalka (s konstantnim pretokom) črpa vodo v reaktor, kjer se voda ogreva (37 električno grelih palic s 30 kW skupne največje moči). Vroči del kroga s priključkom tlačnika vodi v uparjalnik (cevi $\cap$ z 10-krat manjšo višino), kjer voda po predaji energije steče nazaj v črpalko. Tlačnik je opremljen z električnim grelnikom in vodno prho, kar omogoča vzdrževanje konstantnega tlaka (maksimalno 1,5 bar) v sistemu.

Sekundarni krog je sestavljen iz uparjalnika, dušilnega ventila, ki nadomešča turbino (simuliranje padca tlaka skozi turbino), kondenzatorja, zbirnega tanka za kondenzat (oz. za napajalno vodo) in napajalne črpalke. Količina v uparjalniku prevzete toplote se lahko regulira s spreminjanjem gladine vode (višine omočenja cevi $\cap$).

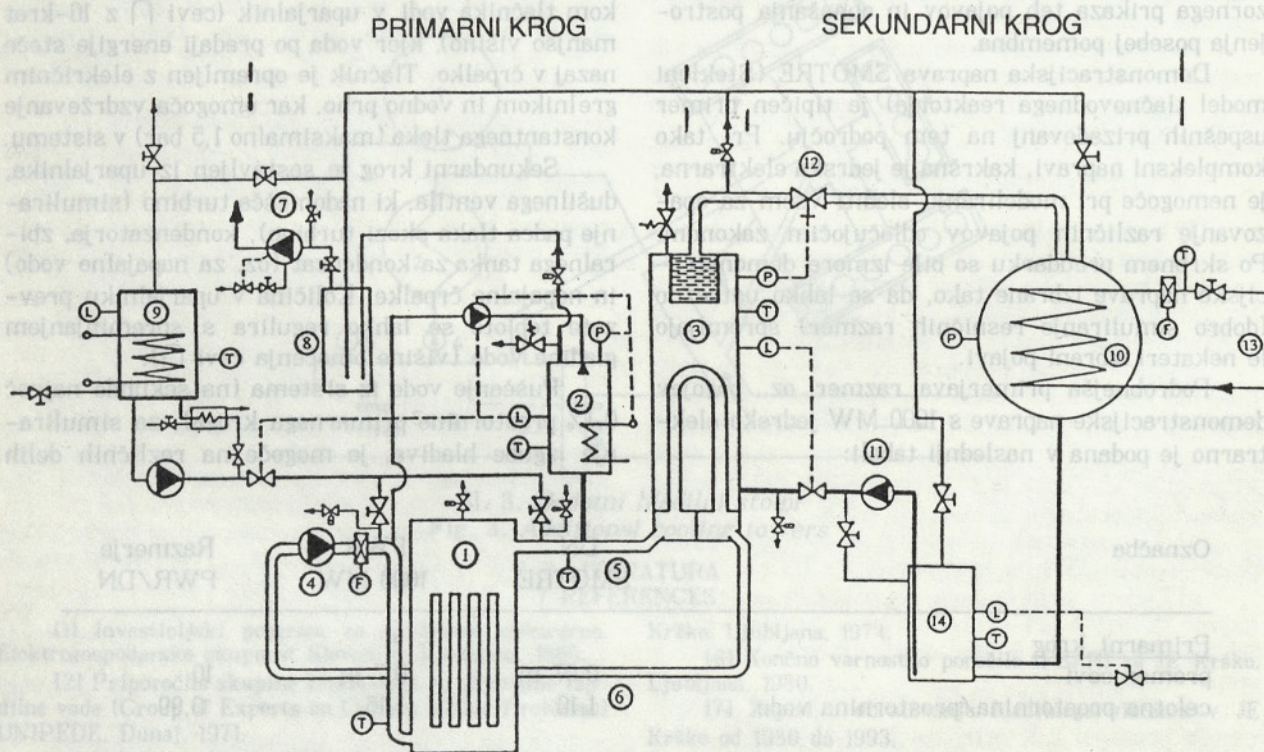
Pušcanje vode iz sistema (na sekundo največ 0,1% prostornine primarnega kroga), za simuliranje izgube hladiva, je mogoče na različnih delih

Označba	DN SMOTRE	PWR 1000 MW	Razmerje PWR/DN
<u>Primarni krog</u>			
premer cevi	0,07 m	0,7 m	10
celotna prostornina/prostornina vode	1,16	1,15	0,99
<u>Reaktor</u>			
specifična moč (pri 4% zaostale toplote)	405 kW/m ³	414 kW/m ³	1,02
prostornina reaktorja/prostornina vode	0,27	0,37	1,37
<u>Tlačnik</u>			
prostornina tlačnika/celotna prostornina	0,233	0,168	0,72
<u>Uparjalnik</u>			
notranji premer cevi $\cap$	0,02 m	0,02 m	1
višina cevi $\cap$	1 m	10 m	10



Sl. 1. Najpomembnejše komponente jedrske elektrarne PWR

- 1 - tlačna posoda z reaktorsko sredico, 2 - tlačnik, 3 - uparjalnik, 4 - obtočna črpalka, 5 - vroči del kroga, 6 - hladni del kroga, 7 - varnostna zgradba (tesni hram), 8 - parna turbina, 9 - generator, 10 - kondezator, 11 - napajalna črpalka, 12 - predgredek, 13 - hladilni stolp, 14 - električni daljnovod



Sl. 2. Shema demonstracijske naprave SMOTRE

- 1 - tlačna posoda z reaktorsko posodo, 2 - tlačnik, 3 - uparjalnik, 4 - obtočna črpalka, 5 - vroči del kroga, 6 - hladni del kroga, 7 - vakuumška črpalka, 8 - vakuumška posoda, 9 - tank za demineralizirano vodo, 10 - kondenzator, 11 - napajalna črpalka, 12 - dušilni ventil, 13 - hlajenje kondenzatorja, 14 - tank napajalne vode, P - merjenje tlaka, L - merjenje gladine vode, T - merjenje temperature, F - merjenje pretoka

primarnega (iz vročega in hladnega dela ter tlačnika) in sekundarnega kroga (iz parnega in napajalnega cevovoda).

K napravi spadajo tudi naslednji pomožni sistemi oziroma komponente: priprava primarnega hladiva (demineralizirane vode), vakuumski sistem

(za odplinjanje vode pred polnjenjem in dosego večje tlačne razlike pri puščanju vode iz naprave) in komandni pult. Prek komandnega pulta je mogoče nazorno in pregledno voditi pogon (podobno kakor pri resnični jedrski elektrarni) ter demonstrirati različne termohidravlične pojave. Na pultu je mogoče opazovati temperature, tlake in gladino vode v različnih delih naprave, pretok primarnega hladiva, nastavitve ventilov (tudi za puščanje vode) in toplotno moč reaktorja (gretje »sredice«).

2 MOŽNOSTI DEMONSTRACIJE REAKTORSKEGA POGONA IN POJAVOV

Čeprav obstajajo velike razlike med demonstracijsko napravo in jedrsko elektrarno (predvsem v tlaku, temperaturi, moči in toplotni kapaciteti reaktorja, pa tudi v izmerah) je mogoče z napravo simulirati tako normalni pogon, kakor tudi različne razmere, značilne za primer odvajanja preostale (zaostale) toplote. Opazovanje pojavov in obnašanje sistema je izredno nazorno predvsem zaradi prozornih sten naprave. Hkrati pa lahko spremljamo spremembe tudi na komandnem pultu.

V razmerah normalnega pogona (enofazni tok s prisilnim kroženjem) je mogoče dobro simuliranje:

- regulacije tlaka v primarnem krogu,
- reakcije naprave na spremembe obremenitve.

Za simuliranje odvajanja toplote po zaustavitvi reaktorja se lahko upoštevajo naslednje izhodne razmere (motnje): izpad obtočne črpalke primarnega kroga, izguba hladiva iz primarnega kroga in motnja v toplotnem ponoru (nezadostno odvajanje toplote v sekundarnem krogu npr. zaradi izpada napajalne črpalke).

Pri izpadu obtočne črpalke primarnega kroga je mogoče prikazati (simulirati):

- prehod iz prisilnega v naravno kroženje,
- naravno kroženje z enofaznim tokom (samo pri majhnih močeh reaktorja),
- naravno kroženje z dvofaznim tokom (pri večjih močeh reaktorja),
- spreminjanje gladine v tlačniku pri naravnem kroženju in dvofaznem toku.

V primeru puščanja vode iz primarnega kroga se zmanjša gladina vode v tlačniku in je treba odklopiti gretje v tlačniku. Tlak v primarnem krogu začne zaradi tega padati. V sistemu se pojavijo prvi parni mehurčki in s tem začetek dvofaznega toka. V teh razmerah se lahko simulira:

- dvofazni tok v primarnem krogu (zaradi povečanja tlačnih izgub pri dvofaznem toku, se zmanjšuje pretok in povečuje delež pare),
- naravno kroženje z dvofaznim tokom (motnje vodijo do odklopa obtočne črpalke),

— ustavitev naravnega kroženja pri veliki izgubi hladiva. Hlajenje reaktorske sredice se v tem primeru doseže s pretakanjem pare v uparjalnik (kjer para kondenzira) in vračanjem vode (kondenzata) iz uparjalnika nazaj v reaktor (zaradi višinske razlike),

Zaradi motenj odvajanje toplote v sekundarnem krogu (normalno zaradi zmanjšanja gladine vode v uparjalniku) se poveča tlak pare in nastajajo mehurčki v reaktorju. Simulira se lahko (podobno kakor v primeru puščanja vode):

- dvofazni tok v primarnem krogu,
- naravno kroženje z dvofaznim tokom (motnje vodijo do odklopa obtočne črpalke),
- spreminjanje gladine v tlačniku (posebej zanimivo je pri tem simuliranje nezgode v Harisburgu »Three miles island«: z odprtjem izhodnega ventila iz tlačnika narašča gladina vode v tlačniku).

3 SKLEPNE PRIPOMBE

Z opisano demonstracijsko napravo SMOTRE je mogoče prikazati oziroma simulirati nekatere tipične termohidravlične pojave v jedrskih elektrarnah z reaktorjem tlačnovodnega tipa. Posebej zanimivo je hkratno spremljanje obnašanja naprave na komandnem pultu poleg neposrednega opazovanja pojavov skozi steklene stene naprave. Po mnenju mednarodno priznanih strokovnjakov na tem področju je rezultate opazovanja mogoče prenesti na razmere v jedrski elektrarni. Naprava se, poleg za znanstvene, lahko uporabi tudi v izobraževalne namene, tako pri univerzitetnem študiju kakor pri dodatnem šolanju operativnega osebja jedrskih elektrarn.

Preden je bila opisana naprava SMOTRE vgrajena v laboratoriju za prenosne pojave v toplotni tehniki na Tehniški fakulteti v Mariboru, Oddelku za strojništvo, je delovala na Paul Scherrer Institutu (PSI) v Švici [1].

4 LITERATURA

[1] Mülli, R.: »GLAMOUR: Ein Glasmodell eines Druckwasser-Reaktors«, EIR-Bericht Nr. 571. Würenlingen, Juli 1985

Avtorjev naslov: prof. dr. Marjan Hudina, dipl. inž.
Paul Scherrer Institut,
CH-5232 Villigen PSI,
prof. dr. Leopold Škerget, dipl. inž.
Tehniška fakulteta — Strojništvo
Univerze v Mariboru,
62000 Maribor, Smetanova 17

Prejeto: 19.8.1994

Sprejeto: 28.9.1994