

INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE 'BORIS KIDRIC' - VINCA  
OOUR Institut za nuklearnu energetiku i tehnicku fiziku - NET

BK-NET-38

H E R B E

DOKUMENTACIJA ZA DOBIJANJE DOZVOLE  
ZA RAD SISTEMA HERBE NA REAKTORU RB

Vinca, oktobar MCMLXXXIX

DOKUMENTACIJA ZA DOBIJANJE DOZVOLE ZA RAD  
SISTEMA HERBE NA REAKTORU RB

Izradili:

OOOR Institut za nuklearnu energetiku i tehnicku fiziku:

- 1 Mr Milan Pešić, dipl.ing.
- 2 Mr Miodrag Milošević, dipl.ing.
- 3 Dr Dušan Stefanović, dipl.ing.
- 5 Mr Nela Zavaljevski, dipl.ing.
- 6 Senada Avdić, dipl.ing.
- 8 Milivoj Arsenović, dipl.arh.
- 9 Nenad Hadžimahmutović, dipl.ing.
- 10 Mr Rodoljub Simović, dipl.ing.
- 11 Nada Marinković, dipl.fiz.
- 12 Mr Velimir Stančić, dipl.ing.

Elektrotehnicki fakultet - Beograd:

- 4 Dr Dragoslav Popović, dipl.ing.
- 7 Mr Predrag Marinković, dipl.ing.

DOKUMENTACIJA ZA DOBIJANJE DOZVOLE ZA RAD  
SISTEMA HERBE NA REAKTORU RB

I. SADRZAJ

1. Uvod . . . . .	1
2. Opis sistema . . . . .	2
3. Nuklearni proračuni . . . . .	9
4. Izvršene izmene na reaktoru RB . . . . .	17
5. Potvrde o statičkoj i dinamičkoj stabilnosti noseće konstrukcije reaktorskog suda . . . . .	18
6. Potvrde o analizi varova na aluminijskim sudovima brze zone . . . . .	19
7. Normalni radni režim HERBE-N . . . . .	20
8. Analiza mogućih uzroka akcidenata . . . . .	21
9. Analiza akcidenata . . . . .	22
9.1. Povećanje nivoa teske vode na kritičnom nivou . . . . .	27
9.2. Akcidentalno punjenje vertikalnog eksperimentalnog kanala sa moderatorom . . . . .	33
9.3. Akcidentalno punjenje spoljasnjeg suda brze zone sa teskom vodom . . . . .	36
10. Dozimetrijska topografija . . . . .	42
11. Dopuna Propisa i uputstava o radu reaktora . . . . .	47
12. Dopuna Pogonskih instrukcija za rad na reaktoru RB . . . . .	48
13. Plan eksperimentalnog rada sa sistemom HERBE - N . . . . .	52
13.1. Program pustanja u rad (izvođenja kritičnog eksperimenta) . . . . .	53
13.2. Program ispitivanja sistema HERBE - N . . . . .	55
14. Zaključak . . . . .	57
15. Reference . . . . .	58
16. Prilozi . . . . .	61

## LISTA SLIKA

- Slika 1. Horizontalni presek brze zone HERBE - N
- Slika 2. Presek aluminijskih sudova brze zone sistema HERBE - N
- Slika 3. Modifikacije na potpornoj ploči koraka 120 mm
- Slika 4. Horizontalni presek jezgra reaktora RB sa HERBE - N
- Slika 5. Neutronske spektre u centru HERBE - N
- Slika 6. Radijalna raspodjela fluksa u sistemu HERBE - N
- Slika 7. Promjena snage i energije sistema HERBE-N pri uključenom punjenju sporo i delimičnom otkazu sigurnosnog sistema koji se aktivira tek premasenjem praga snage postavljenog na 50 W.
- Slika 8. Promjena snage sistema HERBE-N pri akcidentalnom povećanju nivoa teske vode iznad kritičnog nivoa pri uključenom punjenju sporo. Sigurnosni sistem se aktivira premasenjem praga snage od 50 mW (kanali 5 i 6) ili 100 mW (kanal F1).
- Slika 9. Promene snage i energije sistema HERBE - N pri akcidentalnom punjenju vertikalnog eksperimentalnog kanala teskom vodom. Sigurnosni sistem se aktivira tek premasenjem praga snage postavljenog na 50 W.
- Slika 10. Promena snage i energije sistema HERBE-N pri punjenju spoljasnjeg suda brze zone moderatorom za 10 s na snazi od 10 mW. Sigurnosni sistem se aktivira premasenjem praga snage koji je postavljen na kraju opsega skale mernog kanala 6 (50 mW).
- Slika 11. Promena snage sistema HERBE-N pri akcidentalnom punjenju spoljasnjeg suda brze zone moderatorom za 10 s na snazi od 10 mW. Sigurnosni sistem se aktivira premasenjem praga snage od 50 W (bez kasnjenja i sa kasnjenjem od 0.5 s).
- Slika 12. Dozimetrijske merne tačke oko hale reaktora RB

---

---

**LISTA TABELA**

- Tabela 1. Koncentracija nuklida materijalnih zona brze zone sistema HERBE - N (u  $10^{24}$  atoma/cm<sup>3</sup>)
- Tabela 2. Dvogrupni makroskopski efikasni preseki konfiguracije sistema HERBE - N
- Tabela 3. Nuklearne karakteristike sistema HERBE - N
- Tabela 4. Karakteristike zakasnelih neutrona i fotoneutrona sistema HERBE - N
- Tabela 5. Temperaturski koeficijenti reaktivnosti materijalnih zona reaktora RB sa sistemom HERBE - N
- Tabela 6. Relativna prostorna raspodela snage duz radijusa reaktora RB sa sistemom HERBE - N
- Tabela 7. Vreme punjenja T(s) brze zone sistema HERBE - N sa moderatorom, pri kriticnoj visini teske vode od 134 cm i površini dna suda od 0.0125 m<sup>2</sup>
- Tabela 8. Proracunate brzine doza zracenja
- Tabela 9. Procenjene ukupne doze u pretpostavljenim akcidentima

---

---

**LISTA PRILOGA**

Prilog br.	Naziv
1.	Energetske grupe (26 grupa BNAB strukture)
2.	Kondenzovane energetske grupe (program VESNA)
3.	Model za odredjivanje vremena punjenja suda brze zone HERBE - N sa moderatorom

## 1. Uvod

Nastavak dugogodisnjih istrazivanja u oblasti brzih neutrona [23] na reaktoru RB u OOUR Institutu za nuklearnu energetiku i tehnicku fiziku - NET u IBK predstavlja realizacija prve varijante hibridnog (spregnutog) sistema HERBE - N. Sistem ce biti formiran od postojeceg nuklearnog materijala reaktora RB sa ciljem da se u centralnoj zoni reaktora formira spektar neutrona sto je moguće blizi spektru zeljenog reaktora LASTA [1], odnosno podkriticnog sistema MALA LASTA [18, 19, 20].

Sa stanovista modifikacija reaktora RB moze se utvrditi da je konstruktivna izmena na reaktoru RB koja je potrebna za realizaciju sistema HERBE - N mala u odnosu na modifikacije sistema RB koje su uz saglasnost Komiteta za sigurnost IBK izvršene za potrebe realizacije unutrasnjeg konvertora - UNUK-a (SBTS) u toku 1983. godine [21].

Rezim rada reaktora RB sa sistemom HERBE - N ce ostati i dalje kao za reaktor RB u klasicnoj konfiguraciji - kritican sistema malih snaga (do 50 W). Izvršene analize akcidenata pokazuju da je ovakav rad reaktora uz postojeće upravljacke i sigurnosne sisteme u propisima dozvoljenim granicama [2, 3].

Ova 'Dokumentacija' je deo 'Preliminarnog sigurnosnog izvestaja o radu reaktora RB sa sistemom HERBE - N' i kao takva se podnosi Komitetu za sigurnost IBK u cilju dobijanje dozvole za rad reaktora RB u navedenoj posebnoj konfiguraciji.

Izrada kompletnog Preliminarnog sigurnosnog izvestaja za reaktor RB sa sistemom HERBE - N je u toku, prema novom formatu i sadrzaju objavljenom u Sluzbenom listu SFRJ, br. 68 (1988) 1716 [17]. Po izradi ovog sigurnosnog izvestaja on ce biti dostavljen Komitetu za sigurnost IBK na razmatranje.

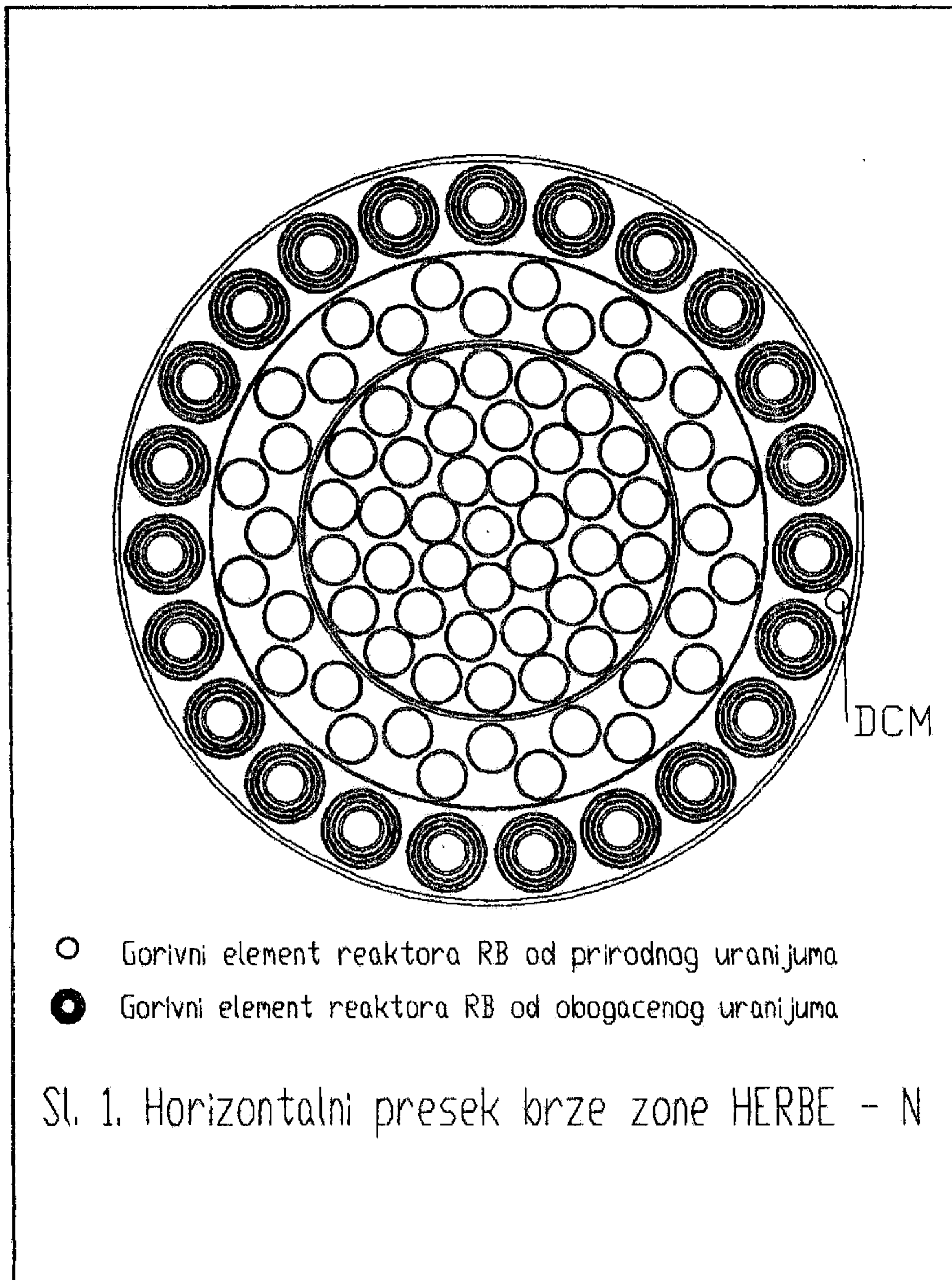
## 2. Opis sistema

U periodu septembar 1987. - juli 1989. izvršene su višestranne analize mogućnosti formiranja hibridnog (spregnutog brzo-termickog) sistema HERBE na reaktoru RB [24]. Rezultati ovih analiza su sumirani u više izveštaja od kojih je najsvetobuhvatniji 'Izveštaj o analizi sistema HERBE', završen jula 1989 [4].

Sistem HERBE - N predstavlja hibridni (spregnuti brzo-termicki) sistem na reaktoru RB čija je brza zona formirana u sudovima ranijeg sistema ONUK (SBTS) isključivo od postojećeg goriva reaktora RB. Termicka zona sistema HERBE - N formirana je od 80% obogaćenog uranijumskog goriva u reaktorskom sudu sa kvadratnom rešetkom dužine stranice 120 mm, moderirana i reflektovana sa teškom vodom.

Brza zona sistema HERBE - N je formirana od brzog jezgra, neutronskeg filtra i konvertora neutrona koji su formirani u posebnim cilindricnim osno koncentričnim sudovima izradjenim od aluminijuma i postavljenim u centar reaktora RB. Horizontalni presek brze zone sistema HERBE - N prikazana je na Slici 1.

Brzo jezgro je formirano u centralnom aluminijumskom sudu unutrašnjeg precnika 200 mm i debljine zida 1 mm. Sud ima zavareno posebno dno debljine 1 mm, visok je 2100 mm i postavlja se u centar reaktora u drugi aluminijumski sud u kome se formira zona neutronskeg filtra. U sudu se nalaze raspoređjeni, neposredno jedan do drugog, gorivni elementi od prirodneg metalnog uranijuma reaktora RB. Gorivni sloj unutar svakog gorivnog elementa ima precnik 25 mm i visinu od 2100 mm, a obložen je aluminijumskom kosuljicom debljine 1 mm. Ukupno 28 ovakvih elemenata imaju ukupnu masu od oko 870 kg.



Oko brzog jezgra se formira zona neutronskeg filtra u posebnom cilindricnom aluminijskom sudu unutrasnjeg precnika 300 mm i debljine zida 1 mm. Visina suda je 2100 mm, posebno aluminijsko dno je zavareno i ima debljinu 1 mm. Sud je osno simetrican sa spoljasnjim i unutrasnjim aluminijskim sudovima brze zone. Zona neutronskeg filtra je prstenastog oblika, unutrasnjeg precnika 101 mm, i spoljasnjeg precnika 150 mm. Cine je dve podzone. Unutrasnja podzona, do brzog jezgra, je formirana od kadmijuma debljine 2 mm i visine 1500 mm, a okruzena je spoljasnjom podzonom filtra od gorivnih elemenata od prirodnog uranijuma reaktora RB. Gorivni elementi su rasporedjeni u dva koncentricna prstena i ima ih ukupno po 16 u svakom prstenu. Ukupna masa neutronskeg filtra je oko 755 kg.

Zona neutronskeg konvertora se formira u posebnu spoljasnju aluminijskom sudu u koji se postavljaju sudovi neutronskeg filtra i sud brze zone. Zonu cine prstenasti sloj od 23 elementa od 80% obogacenoj uranijumskog goriva. Gorivni elementi su formirani u aluminijskim cevima precnika 41/43 mm i visine 2100 mm od po 13 segmenata goriva u cevi. Gorivni segmenti od 80% obogacenoj uranijum dioksida su prstenastog oblika precnika gorivnog sloja od 31/35 mm i oblozeni su sa aluminijskom kosuljicom debljine 1 mm. Duzina svakog gorivnog segmenta iznosi 112.5 mm, a visina gorivnog sloja u njima 95 mm. Spoljasnji precnik zone konvertora je 400 mm, a unutrasnji 302 mm. Ukupna masa zone konvertora je oko 25 kg.

Spoljasnji sud (zone neutronskeg konvertora) ima visinu od 2115 mm, unutrasnji precnik 400 mm i debljinu zida od 3 mm. Dno suda je dvostruko. Unutrasnje dno suda je debljine 6 mm i zavareno za bočne zidove suda tako da obebedjune nepropusnost za tecnost. Spoljasnje dno suda, debljine 15 mm napravljeno je od dva aluminijska kruzna isecka i zavareno je na unutrasnje dno. Precnik spoljasnjeg dna je 410 mm i na njemu je sa donje strane postavljeno 8 aluminijskih nogu precnika 43 mm i visine 10 mm.

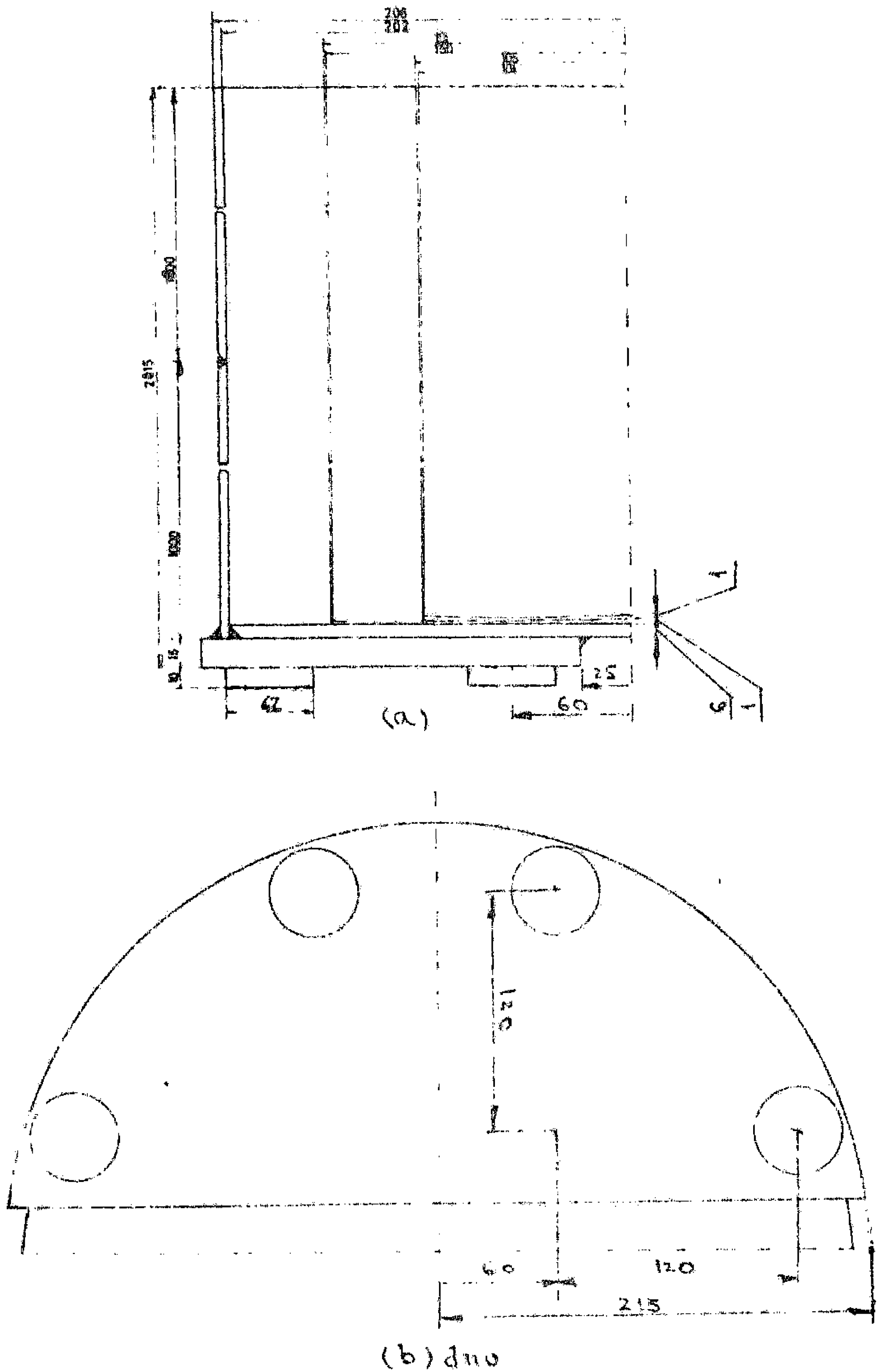
'Noge' se nalaze u temenima kvadratne resetke koraka 120 mm i prilikom postavljanja spoljasnijeg suda u reaktorski sud ulaze u otvore (za gorivne elemente) donje potporne ploce i na taj nacin fiksiraju polozej brze zone sistema HERBE u reaktoru. Pravougaoni otvor sirine 50 mm i visine 15 mm duz precnika spoljasnijeg dna ovog suda obezbedjuje nesmetani protok teske vode izmedju rezervoara i reaktorskog suda.

Poprecni presek aluminijskih sudova brze zone i dna spoljasnijeg suda brze zone je prikazan na Slici 2.

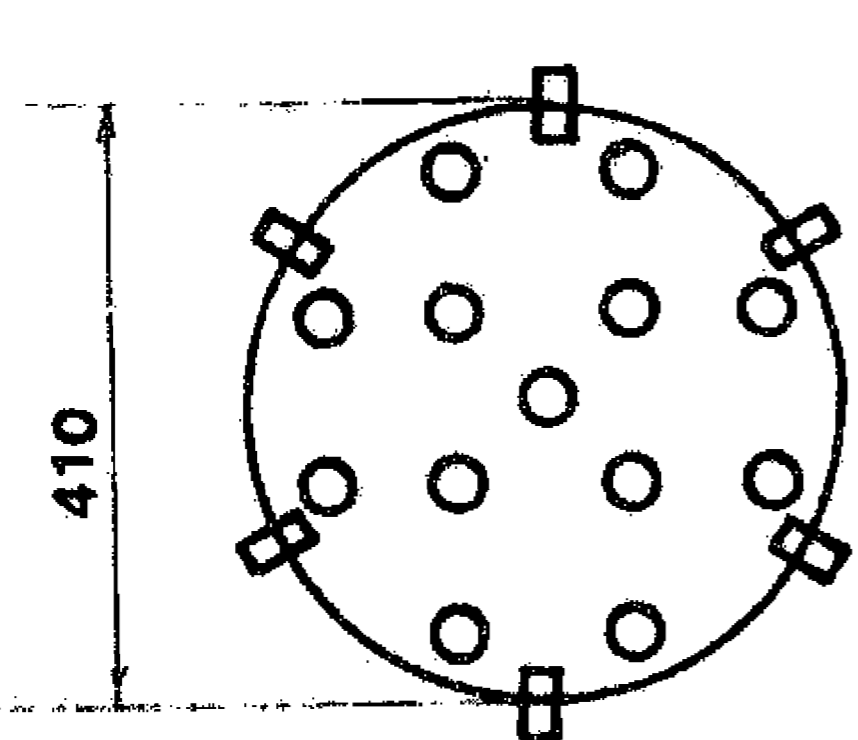
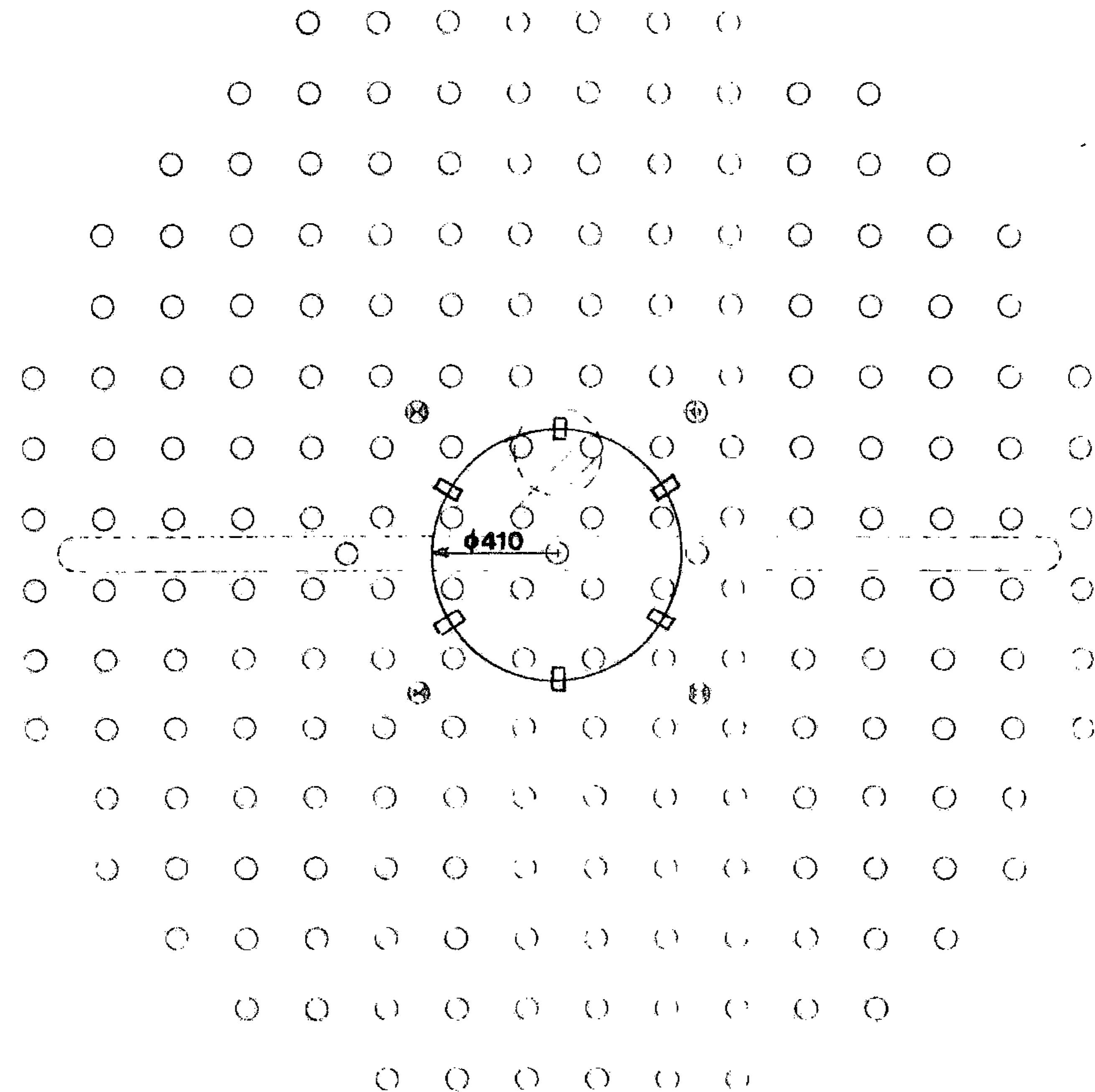
Gornji kraj spoljasnijeg aluminijskog suda brze zone se prilikom postavljanja u reaktorski sud ucvrscuje sa gornjom potpornom plocom koraka resetke 120 mm u cijem centru je nacinjen otvor precnika 415 mm. Slika 3. prikazuje polozej otvora na gornjoj potpornoj ploci (a), detalj isecenog dela sa potporne ploce (b), kao i nacin njegovog ponovnog postavljanja na potpornu ploču (c).

Uloga aluminijskih sudova brze zone je da obezbedi potpunu nepropusnost za teskovodni moderator i time ostvari uslove za stvaranje polja brzog neutronskeg fluksa unutar centralne brzog jezgra.

Termicka zona sistema HERBE - N se formira od 80% obogacenog uranijumskog goriva u kvadratnoj resetci koraka 120 mm u teskovodnom moderatoru. Slika 4. prikazuje horizontalni presek jezgra reaktora sa prikazom dispozicije brze i termicke zone. Brza zona je okruzena sa unutrasnjim radijalnim reflektorom od 70 mm teske vode u koji padaju sigurnosne sipke i kontrolna sipka. Termicko jezgro ima unutrasnju precnik 270 mm i spoljasnji precnik 550 mm i cine ga 52 gorivna elementa sa po 13 segmenata od 80% obogacenog uranijumskog goriva. Spoljasnji radijalni reflektor od teske vode ima debljinu od 450 mm.

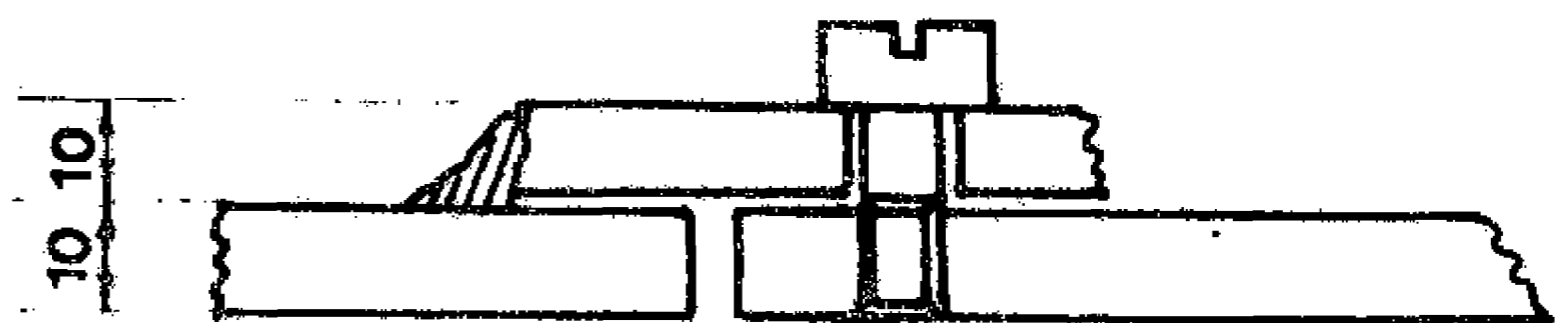


Slika 2. Presek aluminijumskih sudova brze zone sistema HERBE - N



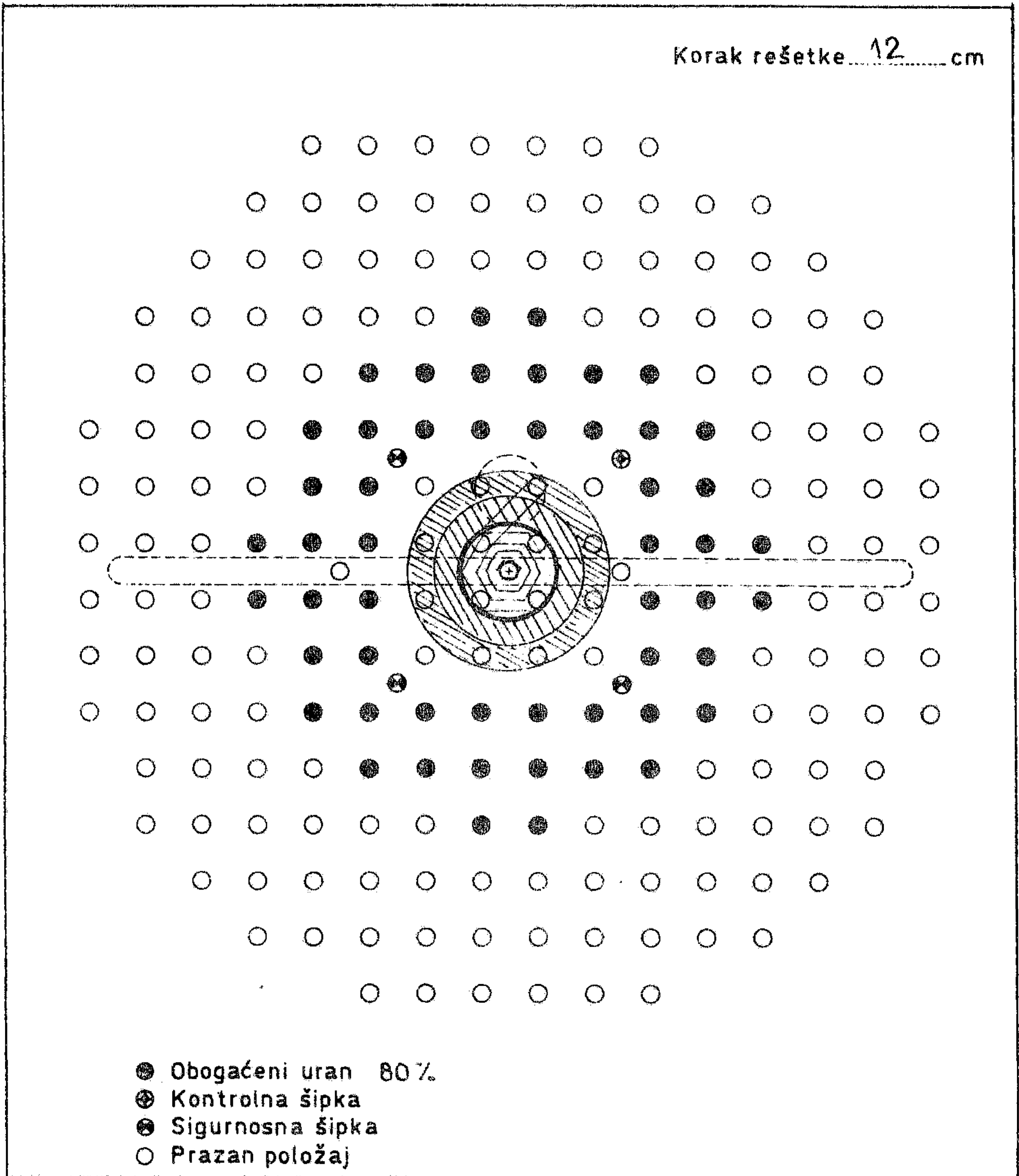
(b)

(a)



(c)

Slika 3. Modifikacije na potpornoj ploči koraka 120 mm



Slika 4. Horizontalni presek jezgra reaktora RB sa HERBE - N

### 3. Nuklearni proračuni

Detaljan opis nuklearnih proračuna prikazan je u već navedenom izveštaju 'Izveštaj o analizi sistema HERBE' [4].

Za proračun celijskih parametara sistema HERBE - N korišćen je provereni program VESNA [5] razvijen u IBK - NET. Program je baziran na metodi verovatnoće transmisije, a proračun celijskih parametara je obavljen u 24 brze energetske grupe BNAB strukture [6] i 20 termičkih energetskih grupa, a potom kondenzovan na manji potreban broj grupa - 'makrogrupe' (npr. 13 za oblik neutronskog spektra ili 4 za izgled prostornih raspodela gustina neutronskog fluksa duž radijusa jezgra sistema HERBE, ili 2 makrogrupe za proračun kritičnosti i koeficijenta reaktivnosti). Program koristi i sopstvenu biblioteku nuklearnih podataka za 31 nuklid elementa.

Podaci za nuklearne i konstrukcione materijale reaktora RB su poznati sa znatnom tačnosću [7, 8] i na osnovu njih su izračunate zapreminske koncentracije nuklida u pojedinim zonama brze zone HERBE - N za slučaj da je gorivo raspoređeno u vazduhu (normalni radni režim) ili u teškoj vodi (akcidentalna situacija u slučaju punjenja sudova brze zone teškom vodom nakon njihovog loma). Koncentracija nuklida materijalnih zona brze zone sistema HERBE - N u oba navedena slučaja je prikazana u Tabeli 1.

U Tabeli 2. su prikazani 2-grupni celijski podaci za sve materijalne zone sistema HERBE - N određeni programom VESNA i korišćeni u globalnim proračunima sa programima GRZ [9], AVERY [10], TRITON [11] i KINI [12]. Načelna sprema celijskih proračuna izrađenih programom VESNA sa globalnim proračunima spregnutih sistema (posebno sa programima AVERY i GRZ) je verifikovana prilikom realizacije spregnutog sistema UNUK (SBTS) na reaktoru RB 1983. godine [22].

Tabela 1. Koncentracija nuklida materijalnih zona brze zone sistema HERBE - N (u  $10^{24}$  atoma/cm<sup>3</sup>)

Zona	nuklid	vazduh u zoni	teska voda u zoni
U jezgro	<sup>235</sup> U	1.7073 $10^{-4}$	1.7073 $10^{-4}$
	<sup>238</sup> U	2.3741 $10^{-2}$	2.3741 $10^{-2}$
	H		4.0400 $10^{-4}$
	D		2.5570 $10^{-2}$
	<sup>10</sup> B	8.8287 $10^{-7}$	8.8287 $10^{-7}$
	<sup>11</sup> B	3.8132 $10^{-6}$	3.8132 $10^{-6}$
	N	1.6404 $10^{-5}$	
	O	4.6527 $10^{-6}$	1.2987 $10^{-2}$
	Al	6.2358 $10^{-3}$	6.2358 $10^{-3}$
	Fe	2.6645 $10^{-5}$	2.6645 $10^{-5}$
	Cd	1.5056 $10^{-7}$	1.5056 $10^{-7}$
Cd filter	Cd	4.6344 $10^{-2}$	4.6344 $10^{-2}$
U filter	<sup>235</sup> U	1.3852 $10^{-4}$	1.3852 $10^{-4}$
	<sup>238</sup> U	1.9262 $10^{-2}$	1.9262 $10^{-2}$
	H		5.1386 $10^{-4}$
	D		3.2523 $10^{-2}$
	<sup>10</sup> B	7.9025 $10^{-7}$	7.9025 $10^{-7}$
	<sup>11</sup> B	3.4132 $10^{-6}$	3.4132 $10^{-6}$
	N	2.0865 $10^{-5}$	
	O	5.9178 $10^{-6}$	1.6518 $10^{-2}$
	Al	5.5816 $10^{-3}$	5.5816 $10^{-3}$
	Fe	2.3850 $10^{-5}$	2.3850 $10^{-5}$
	Cd	1.3477 $10^{-7}$	1.3477 $10^{-7}$
U kovertor	<sup>235</sup> U	8.2482 $10^{-5}$	7.6366 $10^{-5}$
	<sup>238</sup> U	2.0620 $10^{-5}$	1.9075 $10^{-5}$
	H		6.9768 $10^{-4}$
	D		4.4158 $10^{-2}$
	<sup>10</sup> B	1.0039 $10^{-6}$	1.0039 $10^{-6}$
	<sup>11</sup> B	4.3360 $10^{-6}$	4.3360 $10^{-6}$
	N	2.8329 $10^{-5}$	
	O	2.1424 $10^{-4}$	2.2589 $10^{-2}$
	Mg	1.2119 $10^{-4}$	1.2119 $10^{-4}$
	Al	1.9100 $10^{-2}$	1.9100 $10^{-2}$
	Fe	3.0298 $10^{-5}$	3.0298 $10^{-5}$
Cd	1.7120 $10^{-7}$	1.7120 $10^{-7}$	

Tabela 2. Dvogrupalni makroskopski efikasni preseki konfiguracije sistema HERBE - N

MAT	GR	SIG-TR	SIG-A	SIG-F	SIG-S(I -> J)	
1	1	2.0824E-01	9.8677E-03	4.8819E-03	1.9836E-01	1.4631E-05
	2	2.6158E-01	3.9490E-02	4.4919E-02	2.2209E-01	
2	1	3.0156E-01	5.8691E-02	0.0000E+00	2.4282E-01	5.1029E-05
	2	7.8126E+01	7.7868E+01	0.0000E+00	2.5828E-01	
3	1	1.7350E-01	1.1172E-02	5.4953E-03	1.6229E-01	3.8519E-05
	2	2.6722E-01	8.6007E-02	1.0703E-01	1.8121E-01	
4	1	4.0220E-02	1.4054E-03	1.8603E-03	3.8758E-02	5.6942E-05
	2	6.7341E-02	3.8481E-02	6.6889E-02	2.8860E-02	
5	1	2.6072E-01	3.2277E-05	0.0000E+00	2.5214E-01	8.5503E-03
	2	3.9229E-01	2.7615E-04	0.0000E+00	3.9201E-01	
6	1	1.7737E-01	1.2609E-02	5.3291E-03	1.6473E-01	3.8897E-05
	2	3.0492E-01	1.2367E-01	1.0698E-01	1.8125E-01	
7	1	2.4849E-01	3.6125E-04	4.3312E-04	2.3780E-01	1.0333E-02
	2	4.0642E-01	5.8002E-03	1.0018E-02	4.0062E-01	

oznake materijala u Tabeli:

m=1 jezgro HERBE - N (prirodni uranijum)

m=2 kadmijum 2 mm

m=3 filter od prirodnog uranijuma

m=4 konvertor od 80% obogacenog  $UO_2$

m=5 teska voda, 1.55%  $H_2O$

m=6 homogenizovani filter (Cd + prirodni uranijum)

m=7 termicko jezgro, korak 12 cm, 80% obogaceni uranijum

U Prilozima 1. i 2. su prikazane energetske grupe BNAB strukture i kondenzacija grupa na manji broj.

Globalni proračuni navedenim programima su pokazali da je kritičan nivo moderatora za navedenu konfiguraciju reaktora RB sa sistemom HERBE - N [4]:

$$H_c = (1340 \pm 20) \text{ mm.}$$

Istovremeno je određena i promena reaktivnosti reaktora RB sa promenom nivoa teške vode oko kritičnog nivoa korišćenjem programa GRZ [4]:

$$d\beta/dH = (211.2 \pm 2.0) \text{ pcm/cm}$$

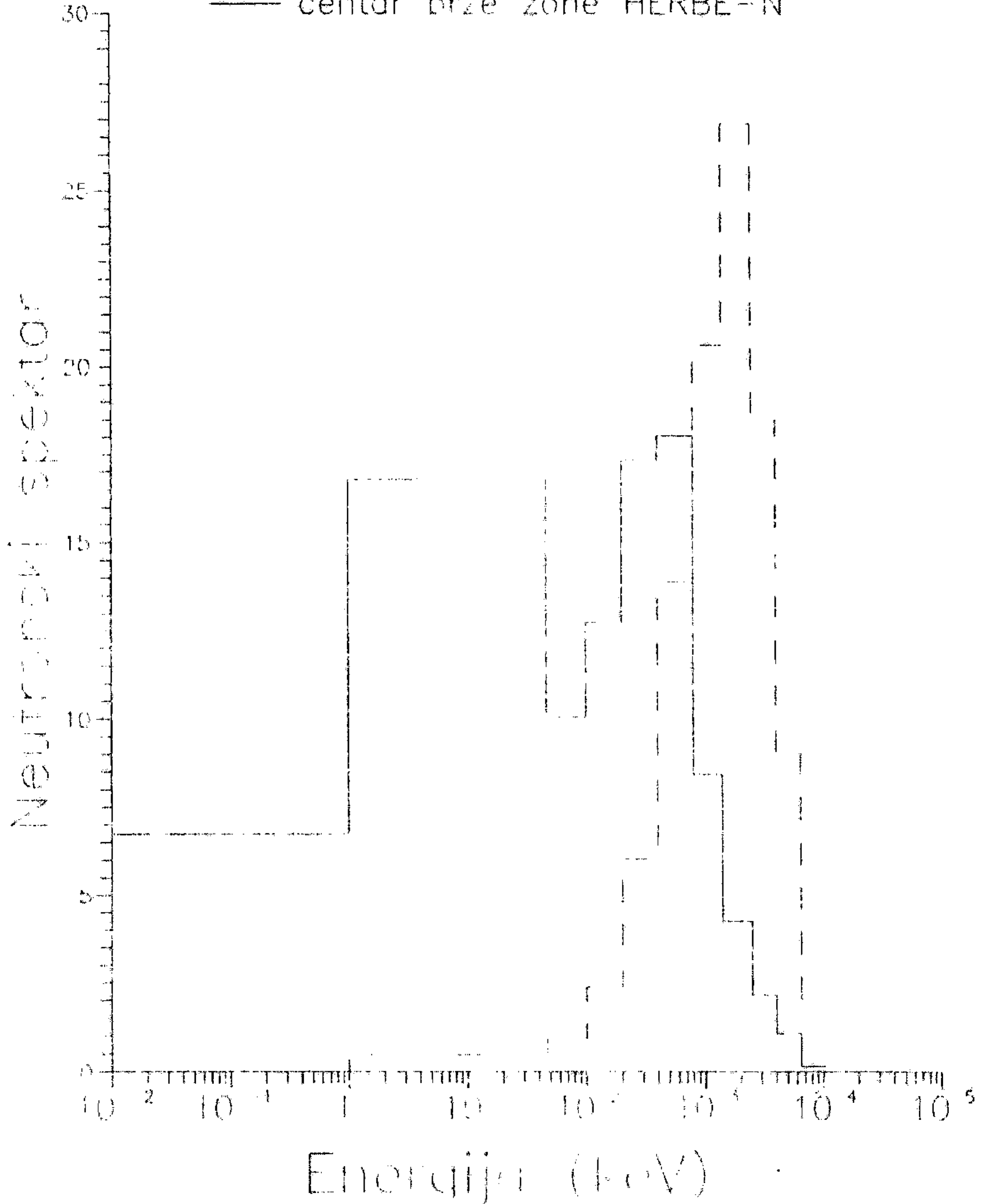
Dostignuti neutronske spektral u centru sistema HERBE - N je prikazan na Slici 5., a na Slici 6. je prikazana prostorna radijalna četverogrupna raspodela neutronskeg fluksa u sistemu.

U Tabeli 3. su prikazani Averyjevi parametri sprege sistema HERBE - N određeni programom AVERY, a u Tabeli 4. kinetički parametri grupa zakasnelih neutrona i fotonutrona određeni programom KIN1.

Sl.5. Neutronska spektar u centru HERBE-N

--- fisioni spektar

— centar brze zone HERBE-N



Sl.6. Radijalna raspodela fluksa u sistemu HERBE-N  
 $g=1$  (0.8 MeV - 10.5 MeV)  $g=2$  (1 keV - 0.8 MeV)  
 $g=3$  (0.465 eV - 1 keV)  $g=4$  (1 meV - 0.465 eV)

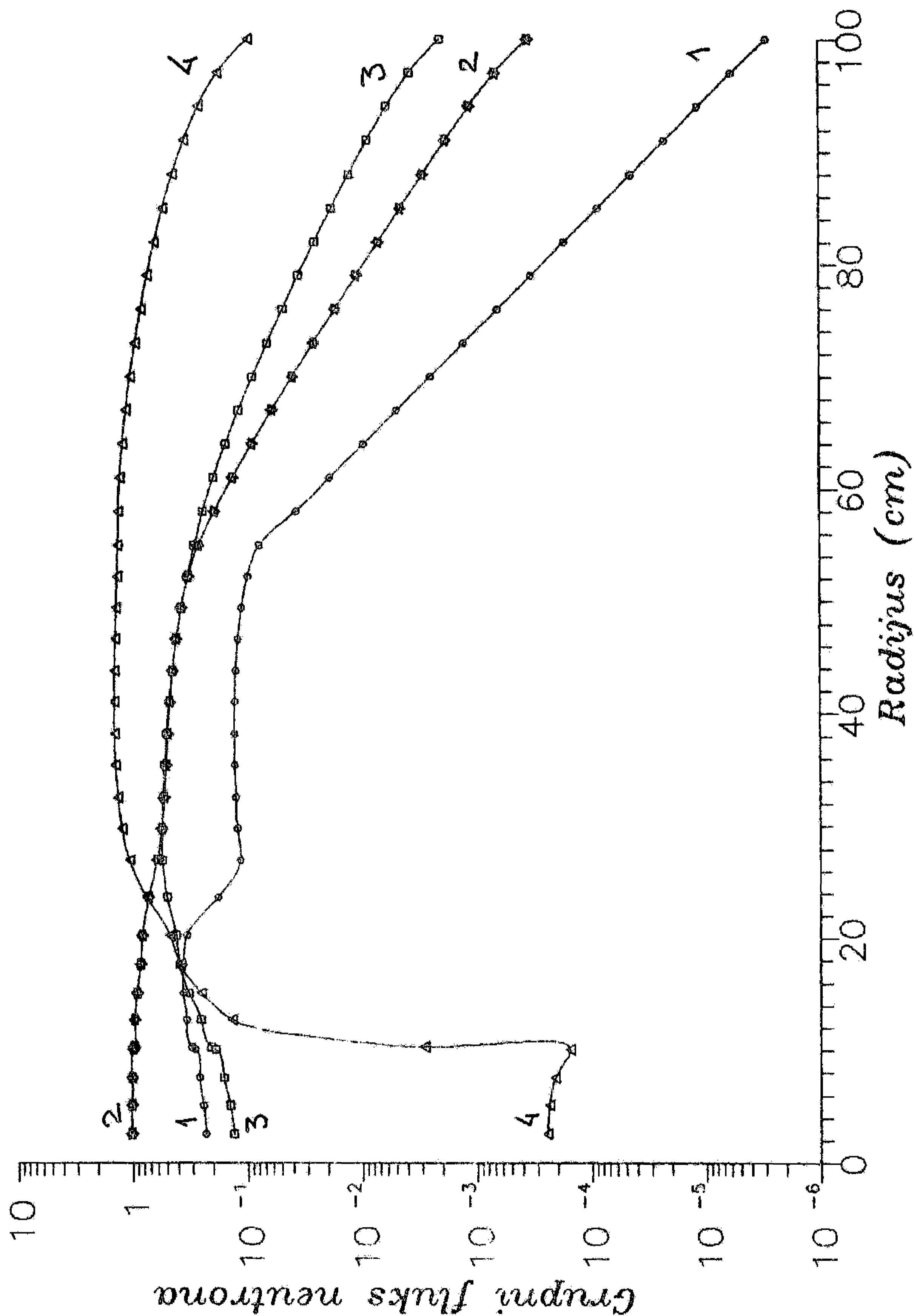


Tabela 3. Nuklearne karakteristike sistema HERBE - N

Parameter	HERBE - N
1. Brza zona	
$k_{BZ}$	0.20425
$k_{11}$	0.36772
$k_{12}$	0.20180
$S_1$ (%)	24.2
$l_{11}$ ( $\mu$ s)	55.171
$l_{12}$ ( $\mu$ s)	96.196
$l_1$ ( $\mu$ s)	81.110
2. Termicka zona	
$k_{TZ}$	0.87630
$k_{22}$	0.83572
$k_{21}$	0.53187
$S_2$ (%)	75.8
$l_{22}$ (ms)	0.6894
$l_{21}$ (ms)	0.5863
$l_2$ (ms)	0.8506
3. Sistem HERBE - N	
$H_c$ ( $k = 1$ )	134.0 $\pm$ 2.0
$l$ (ms)	0.4486
beta (zakasneli)	0.00684
beta (fotoneutroni)	0.00101
dro/dH (pcm/cm)	211.2 $\pm$ 2.0

Tabela 4. Karakteristike zakasnelih neutrona i fotoneutrona sistema HERBE - N

(a) zakasneli neutroni

Grupa	Konstanta raspada ( $s^{-1}$ )	frakcija
1	0.012415	0.00021937
2	0.030547	0.0014725
3	0.1190	0.0013308
4	0.30328	0.0027023
5	1.160	0.00082367
6	3.0740	0.00029846
Ukupna frakcija zakasnelih neutrona:		0.0068472

(b) fotoneutroni

Grupa	Konstanta raspada ( $s^{-1}$ )	frakcija
1	0.000000626	0.00000050299
2	0.00000363	0.0000010362
3	0.0000437	0.000032493
4	0.000114	0.00002354
5	0.000428	0.000020824
6	0.001500	0.000033801
7	0.004810	0.000070419
8	0.01690	0.00020522
9	0.2770	0.00065490
Ukupna frakcija fotoneutrona:		0.0010135

#### 4. Izvršene izmene na reaktoru RB

Izvršene izmene koje se odnose na prepravku potpornih ploča i formiranje brze zone sa navedenim aluminijskim sudovima na reaktoru RB su već detrono od strane Komiteta za sigurnost IBK 1983. godine prilikom izdavanja dozvole za realizaciju sistema UNUK (SSTS) na reaktoru.

Sedasnje izmene koje se odnose samo na novi raspored nuklearnog goriva u brzom i termičkoj zoni sistema HERBE, kao i realizaciju podzone neutronskeg filtra od kalijuma sa dva sloja felije materijala koje ima u skladu sa centralnom unutrasnjom aluminijski sudovima.

Priznajući činjenicu da su izmene koje fizički odobriti mogu u konstrukciji reaktora (pogledaj 5. i 6. član "Dokumentacija", u skladu sa analizom mogućih akidenata prikazanih 8. i 9. "Tekn. odobrenje" u kojima je pokazano da je rad reaktora potpuno siguran sa sistemom HERBE - N pri ispravnom postojanju sigurnosnog sistema reaktora i pri prihvaćanju svih predstavjenih administrativnih i tehničkih resurasa reaktora (pogledaj 7., 10. i 11. "Tekn. odobrenje").

Sigurnosni sistem reaktora je dopunjen pos 1983. godine sa potrebe rada sa sistemom UNUK (SSTS) na detektoru nurenja moderatora koji je stavljen u skladu sa sud brze zone (Z1). Detektor (Slika 1), BCM je postavljen na nekoliko centimetara od spoljasnijeg suda i postavljen elektrone na red sa sigurnosnim kodom detektora "gornjeg nivoa" na spoljnjem reaktorskom sudu. U slučaju nurenja moderatora i u slučaju nurenja spoljasnijeg suda brze zone alternativno BCM i "gornji sud" reaktora. Ova detektor će biti postavljen u skladu sa sistemom HERBE - N "ispitan prema instrukcijama datim u "Instrukcijama za rad na reaktoru RB" [3].

5. Potvrde o statičkoj i dinamičkoj stabilnosti noseće konstrukcije reaktorskog suda

Na zahtev OOUR Institut za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku - NET, Inženjerski računarski centar sa Građevinskog fakulteta - Beograd, prihvatio je [13] da izvrši proračun statičke i dinamičke nosivosti i stabilnosti noseće platforme reaktora RB za slučaj opterećenja dna reaktorskog suda sa rasporedom nuklearnog materijala za sistem HERBE - N (sa teskom vodom u sudu i bez nje). Njihov izveštaj će biti prikazan u [30], a preliminarne analize već pokazuju da će reaktorska konstrukcija moći da izdrži predviđena opterećenja.

OOUR NET neće preduzeti nikakve korake u formiranju sistema HERBE - N u sudu reaktora dok ne dobije pozitivan nalaz proračuna navedenih opterećenja sa Građevinskog fakulteta.

Prilikom formiranja rešetke reaktora RB sa sistemom HERBE - N i same brze zone sistema HERBE - N postovace se svi propisi i norme vezane za rad u pogonu reaktora RB [2, 3], odobrene od strane Komiteta za sigurnost IBK kao i norme sigurnosti vezane za rukovanje nuklearnim gorivom na reaktoru RB [14]. Na taj način će se ostvariti potrebni uslovi za bezbedan rad pogonskog osoblja i nuklearnu sigurnost reaktora, a istovremeno će biti izbegnuto značajnije dinamičko opterećenje reaktorskog suda i transportnog kрана u hali reaktora.

## 6. Potvrde o analizi varova na aluminijskim sudovima brze zone

Aluminijski sudovi brze zone sistema HERBE - N su isti koji se koriste za formiranje sistema UNUK (SBTS). Navedeni sudovi su realizovani krajem 1982. i početkom 1983. godine. Oni su neposredno ispitani na nepropusnost vodom, a na preporuku Komiteta za sigurnost IBK izvršena je i analiza kvaliteta varova na njima. Rezultati analize koju je izvršio Zavod za zavarivanje Beograd su dati u [15] i njihov zaključak, na osnovu merenja, je da su varovi kvalitetno izvedeni.

Izvršeno je više prozračivanja sva tri aluminijska suda sistema UNUK (SBTS) na mesta varova. Ispitivanja su izvršena prema standardu JUS C.T3.020.

Zaključak naveden u Izveštaju radiografske kontrole br. 1783/83 Zavoda za zavarivanje utvrđuje da 'homogenost prozračenih zavarenih slojeva zadovoljava'.

Višegodišnje korišćenje ovih sudova u reaktoru RB za potrebe rada sa sistemom UNUK (SBTS) je dokazalo njihovu nepropusnost na tečnost. I pored takvog iskustva, prema 'Pogonskim instrukcijama za rad na reaktoru RB' [3], njihova nepropusnost se uvek posebno proverava van reaktorskog suda neposredno pre postavljanja u reaktor.

## 7. Normalni radni režim HERBE - N

Radni režim reaktora RB sa sistemom HERBE - N će ostati isti kao za sam reaktor RB u klasičnoj termičkoj konfiguraciji. Snaga reaktora se neće menjati van propisima i tehničkim normama dovoljenih granica. Upravljanje reaktorom će biti, kao i do sada, prvenstveno menjanjem nivoa moderatora od strane operatora ('ručno'), a kontrola sipka će se koristiti, kao i do sada, samo za automatsko održavanje snage reaktora u dužem periodu i po posebnim zahtevu eksperimentatora ('automatsko' upravljanje reaktorom).

Kinetičko ponašanje celokupnog sistema HERBE - N je u velikoj meri kao termičkog reaktora i samostojan brzina. To je posledica činjenice da su obe spregnute zone svaka zasebno znatno potkriticne (Tabela 3., faktori  $k_{eff} < k_{72}$ ) i da je, u pored relativno slabe sprege međju njima, ukupno vreme trajanja promptnih neutrona u sistemu ('većine života') mala u odnosu na klasičnom reaktoru RB (Tabele 3. i 4.).

Normalni radni režim reaktora će biti od 10 mW do 50 W prema usvojenim 'Propisima i zahtevima za rad reaktora RB' [2], a ograničen je pre svega ukupnom dozom zračenja u pojedinim merimim doimetrijskim tačkama u sprat reaktora RB i u njegovoj neposrednoj okolini (poglavlje 10. ove 'Dokumentaacije').

### 3. Analiza mogućih uzroka akidenata

Detaljnim uvidom u različite mogućnosti nastanka akidenata na reaktoru RB u toku rada [14, 30], nezavisno od prisustva sistema HERBE - N, zaključeno je da najveću verovatnocu nastanka ima udes ciji je uzrok nekontrolisano (neželjeno) povećanje nivoa teskovodnog moderatora iznad kritičnog nivoa. Nesto manju verovatnocu ima akcident neželjenog izvlačenja kontrolne sipke (ispad iz režima automatskog održavanja snage). Mnogo je manja verovatnoca pucanja vertikalnog eksperimentalnog kanala i njegovo punjenje teskom vodom ali je brzina promene reaktivnosti velika pa zaslužuje posebnu analizu.

U slučaju rada reaktora RB sa sistemom HERBE - N kao potencijalno veoma opasan akcident, u kome se unosi vrlo velika količina reaktivnosti u sistem za vrlo kratko vreme, je pucanje spoljasnjege suda brze zone i punjenje zone neutronskeg konvertora sa teskom vodom. Ovaj udes je analiziran kao maksimalni hipotetički akcident i pored cinjenice da mu je verovatnoca nastanka mala, posebno ako se pretpostavi i delimično koincidentni otkaz pojedinih 'Umanla sigurnosti' u lancu sigurnosti reaktora.

Navedena tri akcidenta (povećanje nivoa teske vode na kritičnom nivou, punjenje vertikalnog eksperimentalnog kanala moderatorom, odnosno punjenje spoljasnjege suda brze zone moderatorom) su analizirana u svim detaljima nastanka i toka, zavrsno od potencijalnih mehanizata delovanja interlock i sigurnosnog sistema reaktora kao i operatera na njemu (poglavlje 9. ove 'Dokumentacije').

## 9. Analiza akcidenata

U svim analizama akcidenata je usvojeno vreme trajanja promptnih neutrona u sistemu dobijeno proračunima programom AVERY (Tabela 3.) od 0.4486 ms. S obzirom na relativno kratko trajanje svih akcidenata, pretpostavljeno je da se menjaju samo koncentracije grupa zakasnelih neutrona, a da se koncentracije grupa fotoneutronske ne menjaju iz ravnoteznog stanja. Podaci o koriscenim konstantama grupa zakasnelih neutrona odredjeni proračunom sistema HERBE - N sa programom KINI u 26 energetskih grupa su prikazani u Tabeli 4.

Dosledno primenjujući konzervativan pristup analizi sigurnosti pretpostavljeno je u svim proračunima da prilikom aktiviranja sigurnosnog sistema u reaktorsko jezgro padaju u toku prve sekunde samo dve sigurnosne sipke sa zajedničkom ukupnom reaktivnošću od  $-3400$  pcm. Iz proračuna sistema HERBE - N trodimenzionalne metode grupne sa programom TRITON koriscenjem podataka iz programa VEGA [14]. Ova sigurnosna sipka ima reaktivnost od po  $-1700$  pcm, dok je sigurnosna sipka koja padne u toku druge sekunde sigurnosna sipka sa reaktivnošću od  $-1800$  pcm.

U realnosti najviše sigurnosne sipke padaju u toku druge sekunde ali jedna sigurnosna sipka padne u toku prve sekunde ali jedna od njih sa po dve sigurnosne sipke da je ukupno vreme potpunog pada ove dve poslednje sigurnosne sipke 2 s od trenutka aktiviranja sigurnosnog sistema. Ukupna reaktivnost svih sigurnosnih sipki reaktora EB u konfiguraciji sa sistemom HERBE - N iznosi  $-7700$  pcm i odredjena je takođe proračunom koriscenjem programa VEGA - TRITON.

U analizi puzanja spoljasnjeje suda brze zone sistema IFRBE - N takodje je zanemareno da u reaktor pored dve sigurnosne sipke pada i prateci nivolet sa visine od 134 cm. Nakon prvih 0.8 s on padne na visinu od 116.6 cm na kojoj se 'zadržava' 1 s, zatim pada za 1 s do visine od 63 cm na kojoj se takodje zadržava 0.8 s. Potom pada u donji položaj na visini od 10 cm od dna za svega 0.8 s. Ukupno vreme pada nivoleta sa visine od 134 cm iznosi 4.4 s.

Vremenska promena reaktivnosti koju unosi sigurnosni sistem u tom slučaju se može opisati složenom funkcionalnom zavisnoscu u kojoj su promene reaktivnosti aproksimirane linearnom funkcijom vremena. U trenutku aktiviranja sigurnosnog sistema u reaktor se brzinom od  $-4675$  pcm/s umanjuje za 0.8 s ukupna reaktivnost od  $-3750$  pcm, u narednih 1 s ona ostaje nepromenjena na toj vrednosti, a potom se brzinom od  $-750$  pcm/s za narednih 1 s smanjuje na vrednost od  $-4500$  pcm. narednih 0.8 s ova vrednost se ne menja, a potom za poslednjih 0.8 s pada na krajnju vrednost koju imaju sve uronjene sipke u sistemu od  $-5700$  pcm sa brzinom promene od  $-1500$  pcm/s. Posle 4.4 s (nakon aktiviranja sigurnosnog sistema) ova spoljasnja reaktivnost sigurnosnih sipki se ne menja.

Analize akidenata su svedene za izmenu snage reaktora u kritična nivou za početne snage od 10 MW (snaga reaktora po poslednjoj kritičnog nivou).

Temperaturski koeficijenti reaktivnosti goriva i moderatora pojedinih zona reaktora potrebni za proračun akidenata programom MACAN [16] su određeni koriscenjem celijskog programa VESNA i globalnog programa CRZ i prikazani su u Tabeli 5. Kao i sto se pretpostavljalo, oni su negativni pa se može očekivati da uticu na smanjenje spoljasnje reaktivnosti sa povećanjem temperature goriva ili moderatora.

Medjutim, vidi se da su temperaturski koeficijenti reaktivnosti za gorivo u brznoj zoni sistema i za gorivo u termickoj zoni veoma mali. Isto tako se vidi da je temperaturski koeficijent moderatora termicke zone reaktora dosta veliki, ali zbog relativno velike mase moderatora u reaktorskom sudu (oko 4600 kg) je toplotni kapacitet teske vode vrlo veliki i ona se sporo greje. Zato temperaturski koeficijent reaktivnosti moderatora (a narocito goriva) slabo deluje na smanjenje spoljasnje reaktivnosti. Jednostavnim proracunom se pokazuje da je potrebna ukupna toplotna energija od cak 19 MJ da bi se kolicini moderatora u reaktorskom sudu ravnomerno povisila temperatura za 1 K.

Iz navedenog se vidi, a analize programom MACAN to i pokazuju, da je jedini siguran način zaustavljanja nekontrolisanog porasta snage ispravna i pravovremena reakcija sigurnosnog sistema reaktora.

Proracunom sa programom KINI odredjena je i prostorna radijalna raspodela ukupne snage u reaktoru RB kada radi sa sistemom HERBE - N. Ona je data kao raspodela po prostornim zonama za program MACAN i prema usvojenom modelu smatra se da se ta relativna raspodela snaga izmedju zona ne menja tokom akcidenta.

Tabela 5. Temperaturni koeficienti reaktivnosti materijalnih zona reaktora RB sa sistemom HERBE - N

Zona + sadržaj	Temperaturni koeficient reaktivnosti $\frac{d\beta}{dT}$ (perim %)
1. Termičko jezgro	
- gorivo:	0,15
2. Cold filter	
- gorivo:	-0,28
3. E. Invertor	
- gorivo:	0,05
4. Termičko jezgro 1:	
- gorivo:	0,07
- unutrasnji moderator:	-0,01
- spoljasnji moderator:	0,19
5. Termičko jezgro 2:	
- gorivo:	0,07
- unutrasnji moderator:	-0,01
- spoljasnji moderator:	0,19
6. Moderator	
- teška voda:	15,9
<b>Ukupni koeficijenti:</b>	
1. brza zona-gorivo:	0,52
2. termička zona	
- gorivo:	-0,10
- moderator:	-17,9

Tabela 6. Relativna prostorna raspodela snage duz radijusa reaktora RB sa sistemom HERBE - N

Zona	1	2	3	4	5	6	7
$\Phi_{sp}$ (cm)	10.1	15.1	29.3	27.0	25.0	55.0	100.0
$\beta$ (%)	2.38	7.28	11.21	0.0	16.51	42.60	0.0

Iz Tabele 6. se vidi da je za potrebe proračuna sa programom MACAN brza zona podijeljena u tri radijalne prostorne zone (1: jezgro, 2: U/cd filter i 3: U/cd asortu), a termicka zona je podijeljena u zonu unutrasnjeg reaktora (4), dve zone termickog reaktora (5: sa unutrasnjim prstenom od 24 goriva elementa i 6: sa spoljasnjim prstenom od 20 gorivih elementa) i zonu spoljasnjeg reflektora. Ovo je utajeno u celu detaljnijeg pracenja promena temperatura goriva i okruzenja od reaktora u pojedinim zonama reaktora.

### 9.1. Povećanje nivoa teske vode na kritičnom nivou

Ovaj tip akcidenta je posledica potpunojarnog akcidenta na reaktoru sa najvećom verovatnošću da se od njegovog nastupa i promene nivoa može više promeniti nivo teske vode do kritičnog nivoa.

Šablon na proračunata vrednost povećanja reaktivnosti pri povećanju nivoa teske vode na kritičnog nivoa (program GRZ) pri radu reaktora sa HERBF - N od 211 pcm/s i brzinu punjenja reaktorskog sudu teskom vodom ('punjenje sporo') od 0,9 cm/min, u kojima se brzina promene reaktivnosti u ovom slučaju:

$$dq/dt = 0,17 \text{ pcm/s}$$

Prema 'Propisima o radu reaktora RB' (2), maksimalna brzina povećanja teske vode ('gornji granica') mora biti postignuta na sistemu na kojoj nivo teske vode na kritičnog nivoa ne može biti više od 600 pcm. U slučaju sistema HERBF - N ta razlika između kritičnog nivoa iznosi nešto manje od 7 cm (2,11 cm).

Vremenski uređaj za preklapanje vrela pumpe pri uključivanom 'punjenja sporo' se treba postići najmanje od 10 s tako da se prema sigurnosnim prepisima ne može reći da se punjenje teske vode može dogoditi neprekidnom ekkluzivno u ovom povećanju reaktivnosti na više od 100 pcm.

Kao najnepovoljnija varijanta udara, koja je pak vrlo malo verovatna, (jer predstavlja slučaj koincidentnih otkaza) je mogućnost da se spoljasnja reaktivnost koja nastiva akcident menja po linearnom zakonu sa brzinom od 3,2 pcm/s sve do maksimalne vrednosti od 600 pcm/s (za oko 2 min) i potom ostaje konstantna na toj vrednosti.

To bi u realnosti odgovaralo punjenju reaktorskog suda teskom vodom u termickoj zoni iznad kritienog nivoa do nivoa 'gornjeg ogranicavaca' koji bi iskljucio punjenje teske vode i ugasio reaktor tek u tom trenutku. Ovaj malo verovatan slucaj akcidenta pretpostavlja da automatski sigurnosni sistem ili operator ne reaguju na promenu snage ili periode reaktora u toku prvih 3 min sta nije realno.

Pretpostavke u takvom akcidentu su da se desio niz koincidentnih otkaza, posle startovanja pumpe teske vode na kritienom nivou (pri početnoj stacionarnoj snazi reaktora od 10 mW).

- otkazao je vremenski uređaj koji posle 30 s (najviše 60 s) zaustavlja pumpu;
- otkazala su sva 3 postavljena praga snage na linearnim mernim kanalima: prag snage od 50 mW na kanalu 5 i 6 kao i prag snage od 100 mW (uz zvučni i svetlosni alarm na 80 mW) na kanalu F1, a kanali su i dalje u normalnom režimu i lanac sigurnosti je zatvoren;
- pretpostavljeno je da su pragovi na logaritamskim mernim kanalima 3, 4 i F2 postavljani toliko visoko da ne reaguju na veliko povećanje snage, a da su periode promene snage toliko duge (iznad 20 s) tako da se ne aktiviraju pragovi periode postavljani na periodometrima;
- pretpostavljeno je da pogonska osoblje (najmanje 4 osobe) u komandnoj sobi reaktora ne prati pokazivanja instrumenata za praćenje nivoa moderatora, promene snage i periode reaktora i da ne reaguje na zvučne i svetlosne informacije sa dozimetrijskog pulta reaktora i ne koristi 'CRVENO DUGME' za bezuslovno zaustavljanje reaktora;
- jedino prag gornjeg ogranicavaca aktivira sigurnosni sistem i gasi reaktor, nesto više od 3 min posle početka akcidenta.

U realnoj konfiguraciji sigurnosnog sistema reaktora RB u sigurnosni sistem je uključen svih 15 sigurnosnih pragova od kojih svaki nezavisno može da aktivira sigurnosni sistem.

Na osnovu prethodne analize, sa pretpostavki o nizu otkaza u sigurnosnom sistemu reaktora, smatra se da je gore navedeni tok akcidenta praktično nemoguć, pa je analiza izvedena za nešto realniju situaciju.

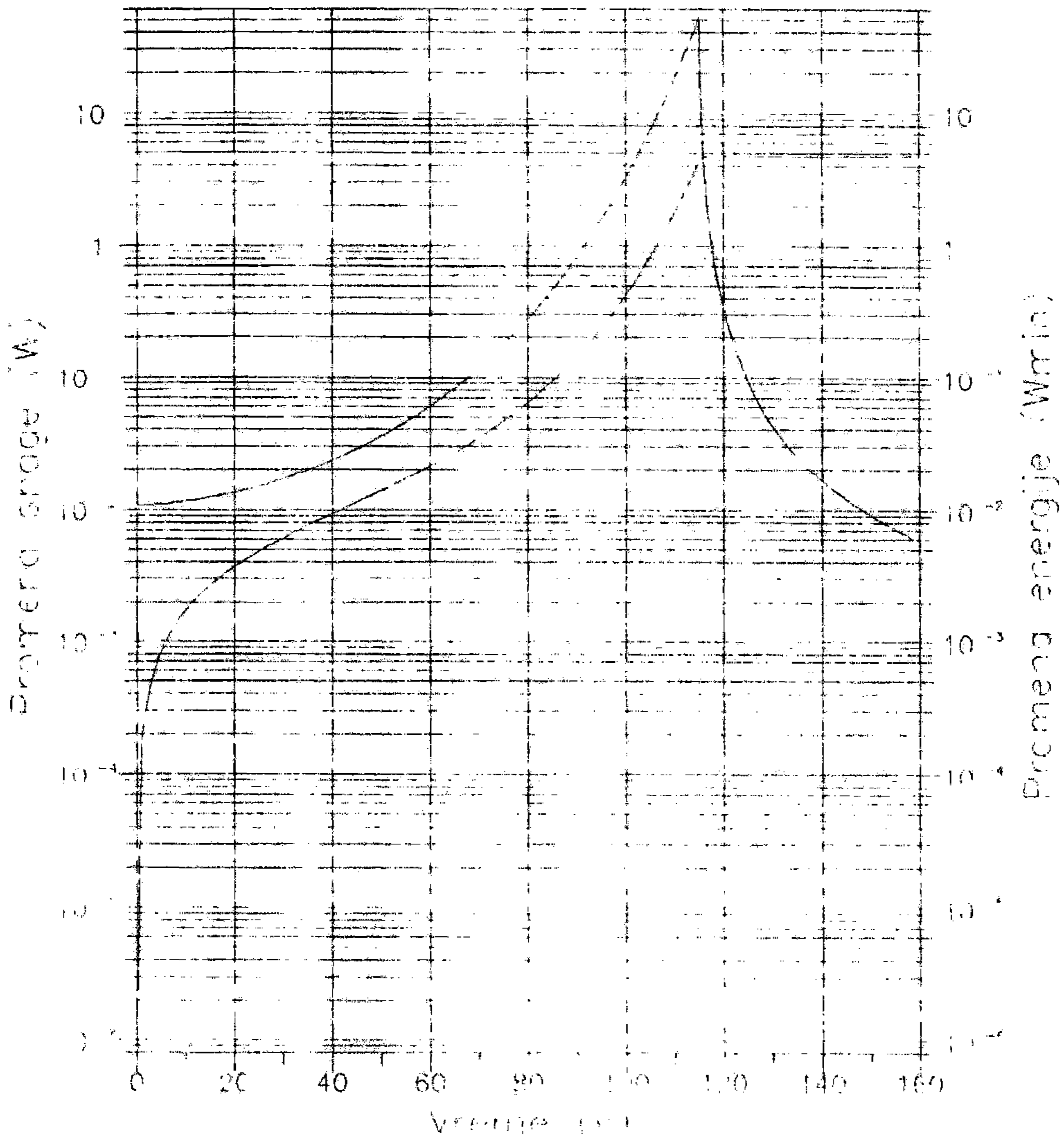
Slika 7. pokazuje povećanje reaktora RB sa sistemom HERBE - N u slučaju povećanja nivoa teske vode iznad kritičnog nivoa pri realnijim pretpostavkama nego u prethodnoj analizi, a prema rezultatima proračuna dobijenim programom MACAN. Punjenje reaktorskog suda teskom vodom počinje pri nivou snage od 10 mW i visi se tako da je brzina povećanja reaktivnosti 2,2 pem/s a traje sve do trenutka dok se ne premas poslednji postavljeni prag snage (50 W na kanalu F2, ili 3 ili 4). Tada se aktivira sigurnosni sistem i dve sigurnosne sipke potiru za 1 s u reaktor i gase ga, uz zaustavljanje punjenja teskom vodom. Sa slike se vidi da reaktor dostiže najveću snagu od oko 54 W nakon 115 s kada snaga počinje da naglo opada zahvaljujući velikoj negativnoj reaktivnosti sigurnosnih sipki.

Ukupno oslobođena energija u toku akcidenta (nakon isteka 160 s) je svega oko 300 J, pa su promene temperatura goriva i moderatora zanemarljive.

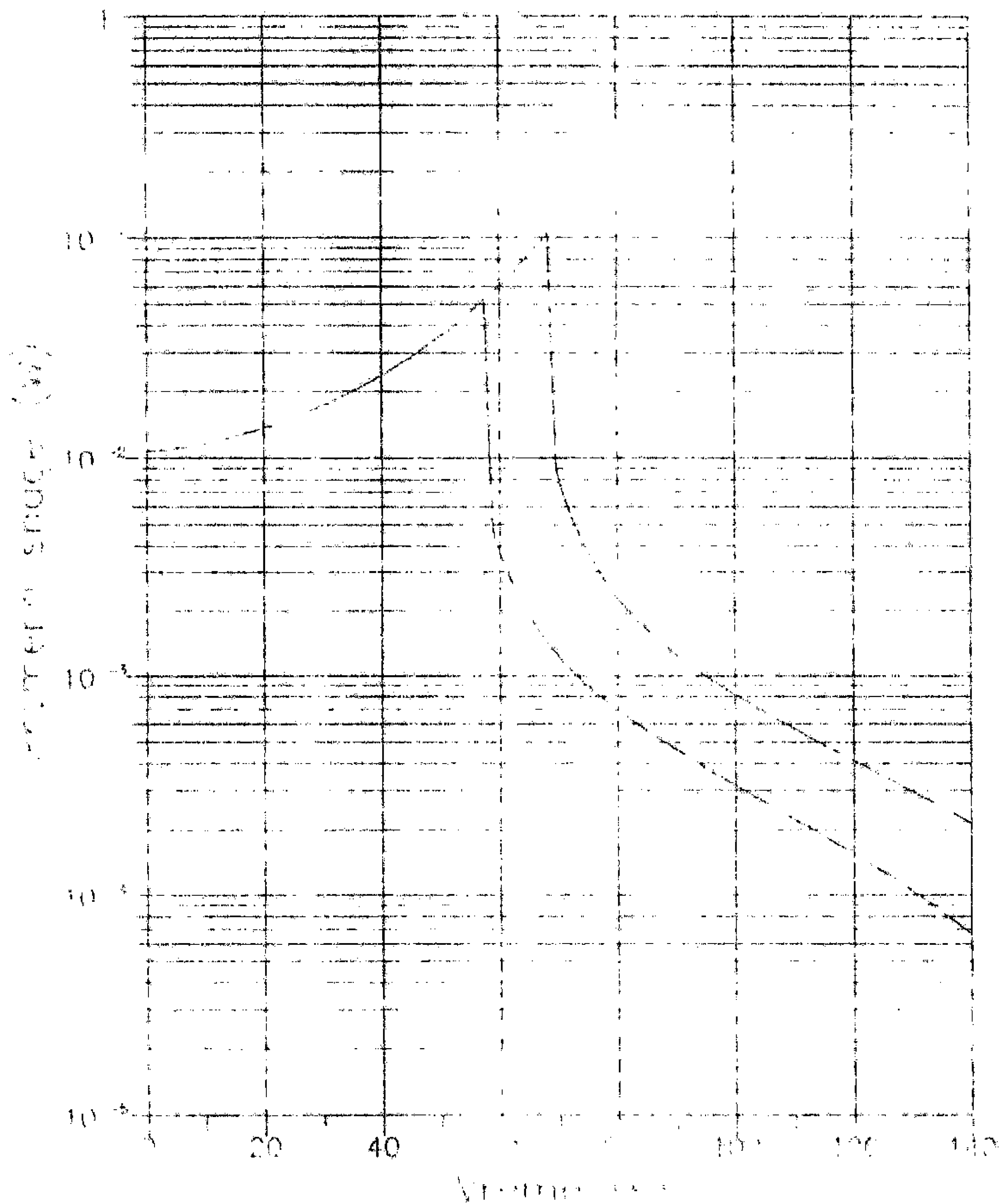
Slika 8. pokazuje povećanje reaktora RB sa sistemom HERBE - N u istoj situaciji ali sa pretpostavljeno realno dejstvo sigurnosnog sistema. Usvojeno je da reaktor kreće u eskurziju sa početne stacionarne snage od 10 mW, a da gasenje reaktora izaziva premasenje praga snage postavljenog na nivou snage od 50 mW (kanal br. 6 ili 5) ili 100 mW (kanal F1).

Kasnjenje sigurnosnog sistema u ukupnom iznosu od oko 0.5 s (kao posledica konaenog vremena odziva strujnih pojačavača i vremena odziva elektromagnetnih releta i mehanickih komponenti u sistemu sigurnosnih sipki) je u ovom slučaju zanemarljivo. Vidi se da sigurnosni sistem reaktora je loše prilagođen reaktoru, a pri tome su oslobodjena energija i zahtevana goriva poznatiji.

S obzirom da je ukupna reaktivnost kontrolne sipke reaktora 140 pcm, pri njenom potpunom oslobađanju (akcidentalnom izvlačenju iz reaktora (brzina od 0.5 cm/s) reaktivnost koja se pojavljuje približno linearno sa najvećom brzinom od 1 pcm/s, što je tri puta manje od slučajnog odijeljenog povećanja nivoa moderatora. Prema tome ispravan reaktivski sigurnosni sistem bi, čak i bez intervencije operatera, lakše osiguravao sigurni obisk u slučaju stage poneta potrebe da se na poslednjem radnom nivou u slučaju obilazaka, dođe do sigurnosnog sistema.



Sl. 7 Promena snage i energije istog na HERBE - N pri ukijucenom punjenju sporo i deonicnom otkazu sigurnosnog sistema koji se aktivira tek premasenjem praga snage postavljjenog na 50 W.



sl. 6. Promena snage sistema (kval. 1) pri akcidentalnom povećanju nivoa teske vertikalnog kretanog nivoa pri uključenom punjenju sporo. Sigurnosni sistem se aktivira premasenjem praga snage od 10 mW (kanali 5 i 6) ili 100 mW (kanal F1).

## 9.2. Akcidentalno punjenje vertikalnog eksperimentalnog kanala sa moderatorom

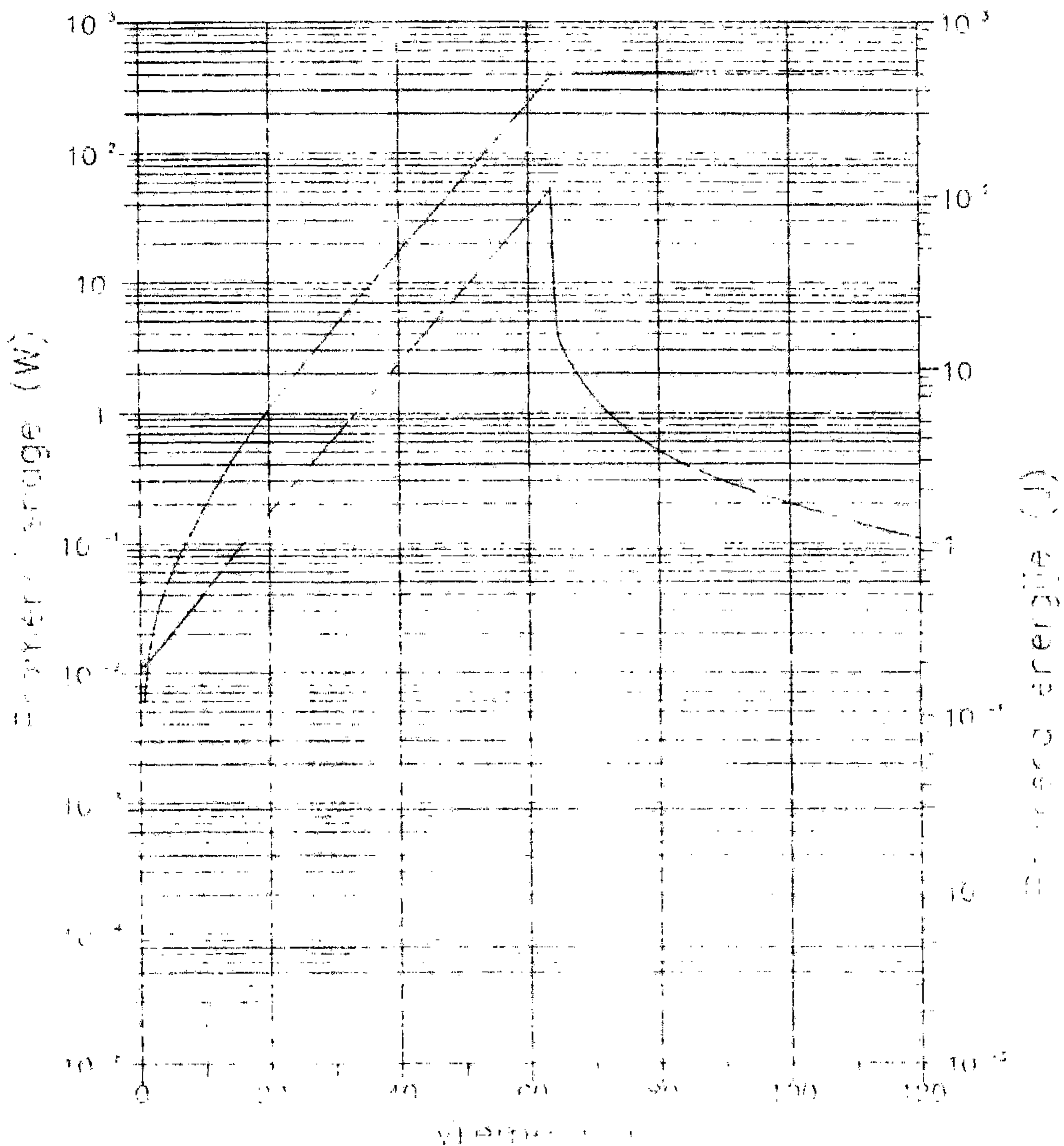
Ovaj akcident se smatra najopasnijim i najozbiljnijim da može doći do toga jer se radi o reaktivnosti sa velikom brzinom. Pretpostavlja se da je u reaktoru sa sistemom HERBE - N u nepredviđenom položaju (12. od centralnog reaktora) postavljen vertikalni eksperimentalni kanal. Veličina radne površine je 54.57 m<sup>2</sup> i ukupna dužina 2300 mm. Kanal je u ovom slučaju dazinom (1340 mm) postavljen u termičkom jezgri sistema HERBE - N sa veličinom reaktivnosti od 310 pcm (u svojoj procjeni programom TRITON).

Kao uzrok akcidenta se pretpostavlja nezgodjeno punjenje kanala koji se nalazi točno pored oskudne vodene. S obzirom na površinu kanala (površina dazina 0.0023 m<sup>2</sup>), koristi se opisani model u Prilogu 3, i računato je da je u ovom slučaju punjenje kanala uslijed 13.4 s a 9.1 s. Izavijeno je da je u ovom slučaju vrlo brzo došlo do punjenja kanala i da se kao i prethodno da je došlo do punjenja kanala uslijed 13.4 s a 9.1 s. Izavijeno je da je u ovom slučaju vrlo brzo došlo do punjenja kanala i da se kao i prethodno da je došlo do punjenja kanala uslijed 13.4 s a 9.1 s. Izavijeno je da je u ovom slučaju vrlo brzo došlo do punjenja kanala i da se kao i prethodno da je došlo do punjenja kanala uslijed 13.4 s a 9.1 s.

Ako se prihvatiti da je u ovom slučaju punjenje kanala uslijed 13.4 s a 9.1 s, tada se može reći da je došlo do punjenja kanala uslijed 13.4 s a 9.1 s. Izavijeno je da je u ovom slučaju vrlo brzo došlo do punjenja kanala i da se kao i prethodno da je došlo do punjenja kanala uslijed 13.4 s a 9.1 s.

U analizi akcidenta je pretpostavljeno da je došlo do otkaza sigurnosnog sistema koji uključuje jedino aktiviranje poslednjeg postavljene snage na 50 W na linearnim kanalima 5 ili 6, odnosno na logaritamskoj kanalu 2. Usvajeno je da je početna stacionarna snaga sistema 10 mW.

Analiza toka akcidenta je izvršena uz pretpostavku da aktiviranjem sigurnosnog sistema u reaktor padaju samo dve sigurnosne sipke sa ukupnom reaktivnošću od  $\approx 3490$  pcm za svega 1 s. Proračun je izvršen programom MACAN, a promena snage i oslobodjena energija su prikazani na Slici 9. Sa slike se vidi da sistem dostize maksimalnu snagu od 54.1 W nakon 63.6 s posle početka akcidenta, a da ga potom sigurnosni sistem brzo i pouzdano gasi ne dozvoljavajući veći razvoj oslobodjene energije od 422 J (nakon 120 s). Kasnjenje odziva sigurnosnog sistema nije analizirano ali je ono reda 0.5 s (301 pa za navedeni slučaj ne utice bitno na maksimalnu snagu i oslobodjenu energiju.



11.6. Promena snage i energije sistema IBK - N pri incidentnom punenju vertikalnog eksperimentalnog kanala teskom vodom. Jedninski sistem se aktivira tek premasenjem prađa snage, izdavljenog na 50 W.

### 9.3. Akcidentalno punjenje spoljasnjeg suda brze zone sa teskom vodom

Konstruktivno su predvidjene sve zastitne mere od nezelenog punjenja brze zone sistema HERBE - N sa teskom vodom iz reaktorskog suda u toku rada reaktora RB. Izradjena su tri posebna, na dnu zatvorena, aluminijska suda (poglavlje 2. 'Dokumentacija') koji zajedno sa nuklearnim gorivom formiraju HERBE - N brzu zonu. Svaki od njih je posebno testiran na nepropusnost (cicnosti (hermeticnost) i kvalitet varova (poglavlje 6. 'Dokumentacije').

Pored toga u spoljasnji sud brze zone sistema HERBE se postavlja detektor curenja moderatora DCM (Slika 1.) sa aktivnim krajem na visini od oko 10 mm od dna suda. Detektor se vezuje u sigurnosno kolo 'gornjeg ogranicavaca' nivoa moderatora [14] i u slucaju curenja moderatora u spoljasnji sud brze zone HERBE - N on prvi aktivira sigurnosni sistem reaktora RB i zaustavlja (gasi) reaktor.

I pored ovoga je u analizama sigurnosti pretpostavljen mali verovatan slucaj da ipak moze doci do nezelenog punjenja spoljasnjeg suda sistema HERBE - N sa teskom vodom u toku rada reaktora, a da je otvor nastao na varu neposredno iznad dna suda ( $h = 0.0$  m) ili na visini drugog vara ( $h = 1.0$  m). Pretpostavljeno je da je visina moderatora u reaktorskom sudu jednaka kriticnoj visini za sistem od 1340 mm, a da je otkazao sigurnosni prag koji postavlja DCM (detektorja curenja moderatora).

U analizama je usvojeno da je otvor na spoljasnjem sudu brze zone nastao u sirini od  $D(w)$  duz celog obita spoljasnjeg suda tako da mu je ukupna površina  $w 2\pi RspD(w)$ . Nekoliko vremena punjenja moderatorom spoljasnjeg suda sistema HERBE - N je izracunato prema konzervativnim principima sluzeci se relacijama iz Priloga 3. i prikazano je u Tabeli 7.

U sigurnosnim analizama ovog uzroka akcidenta je pretpostavljeno da ne može doći istovremeno do pucanja sva tri aluminijska suda brze zone i njihovom praktično istovremenom brzom punjenju sa teskom vodom. Slučaj koji se analizira je također vrlo drastičan, jer je mnogo verovatnije da može doći do manje napukline na varu suda nego do njegovog trenutnog loma po celoj dužini vara u visini od 1 mm. Ovaj akcident je pretpostavljen kao maksimalno mogući na sistemu HERBE - N.

Konzervativan prilaz analizi sigurnosti pretpostavlja da se prilikom punjenja spoljasnjeg suda brze zone nivo teskovodnog moderatora u termickoj zoni ne menja, iako on opada (za 18 mm) i time smanjuje ukupnu spoljashnju reaktivnost (za oko 400 pcm, vrednost odredjena proračunom sa programom GRZ).

Tabela 7. Vreme punjenja T(s) brze zone sistema HERBE - N sa moderatorom, pri kritičnoj visini teske vode od 134 cm i površini dna suda od 0,0125 m<sup>2</sup>

Visina otvora h (m)	Širina otvora D(w) (mm)	Vreme punjenja T (s)
0.0	1.0	10.62
	10.0	1.06
1.0	1.0	13.11
	10.0	1.31

Iz Tabele 7. se vidi da praktično bez obzira na mesto nastanka loma spoljasnjeg suda brze zone vreme punjenja moderatorom iznosi nešto više od 1 s za širinu otvora od 10 mm, dok za mali otvor širine 1 mm vreme punjenja se kreće od 10 s do 13 s. Za analizu je usvojen realniji slučaj u kome je pretpostavljeno da se spoljashnji sud brze zone napuni za 10 s.

Reaktivnost koja se unese pri tome u sistem, uz pretpostavku da se nivo moderatora ne smanji u termickoj zoni, je odredjena proračunom sa programom CRZ i iznosi - 4880 pcm. Usvojeno je da se ta spoljasnja reaktivnost unese sa brzinom od 500 pcm/s a sistem po linearnom zakonu za 10 s i da se dalje ne povecava.

Polazna pretpostavka je da reaktor radi na snazi od 10 mW kada se desic lom spoljasnjeg suda brze zone, a analizirane su dve mogucnosti delovanja sigurnosnog sistema po njegovom aktiviranju: bez kasnjenja i sa kasnjenjem od 0.5 s. Aktiviranje sigurnosnog sistema je izazvano premasenjem praga snage od 50 W (kanal 5 ili 6).

U realnosti aktiviranje sigurnosnog sistema treba da izazove signal DCM odmah po dodiru sa vodom u spoljasnjem sudu brze zone (za manje od 1 s od trenutka loma) ili pragovi snage od 50 mW postavljeni na kanalima 5 ili 6, odnosno prag snage od 100 mW postavljen na kanalu F1.

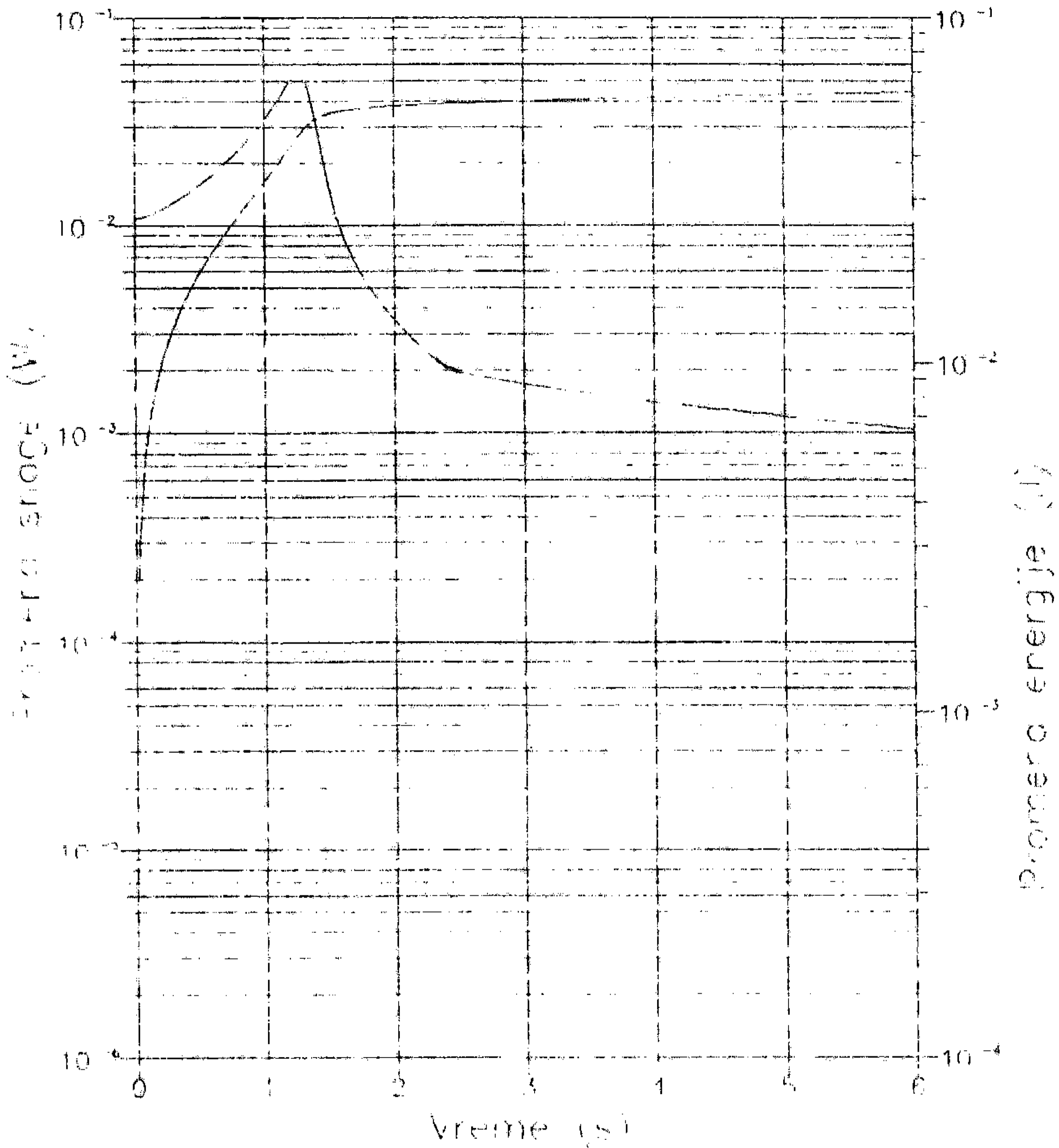
Rezultati proračuna sa programom MACAN za navedene slucajeve akcidenta punjenja suda brze zone sa moderatorom su prikazani na Slikama 10. i 11. U svim slucajevima je vidljivo da sigurnosni sistem reaktora RB brzo i pouzdano gasi reaktor uz cinjenicu da se pri tome ne razvija znacajnija toplotna energija dovoljna da zagreje gorivo reaktora, niti da osteti komponente reaktorskog sistema (gorivo i losaljicu pre svega).

Sa Slike 10. se vidi da pri potpuno ispravnom sigurnosnom sistemu reaktora aktiviranje sigurnosnih sipki se vrši premasenjem praga snage vec na 50 mW (linearni merni kanal br.6 ili 5). Maksimalna snaga od 56 mW se dostize vec nakon 1.26 s, a razvijena energija je zanemarljiva (posle 6 s) i nema zagrevanja komponenti sistema.

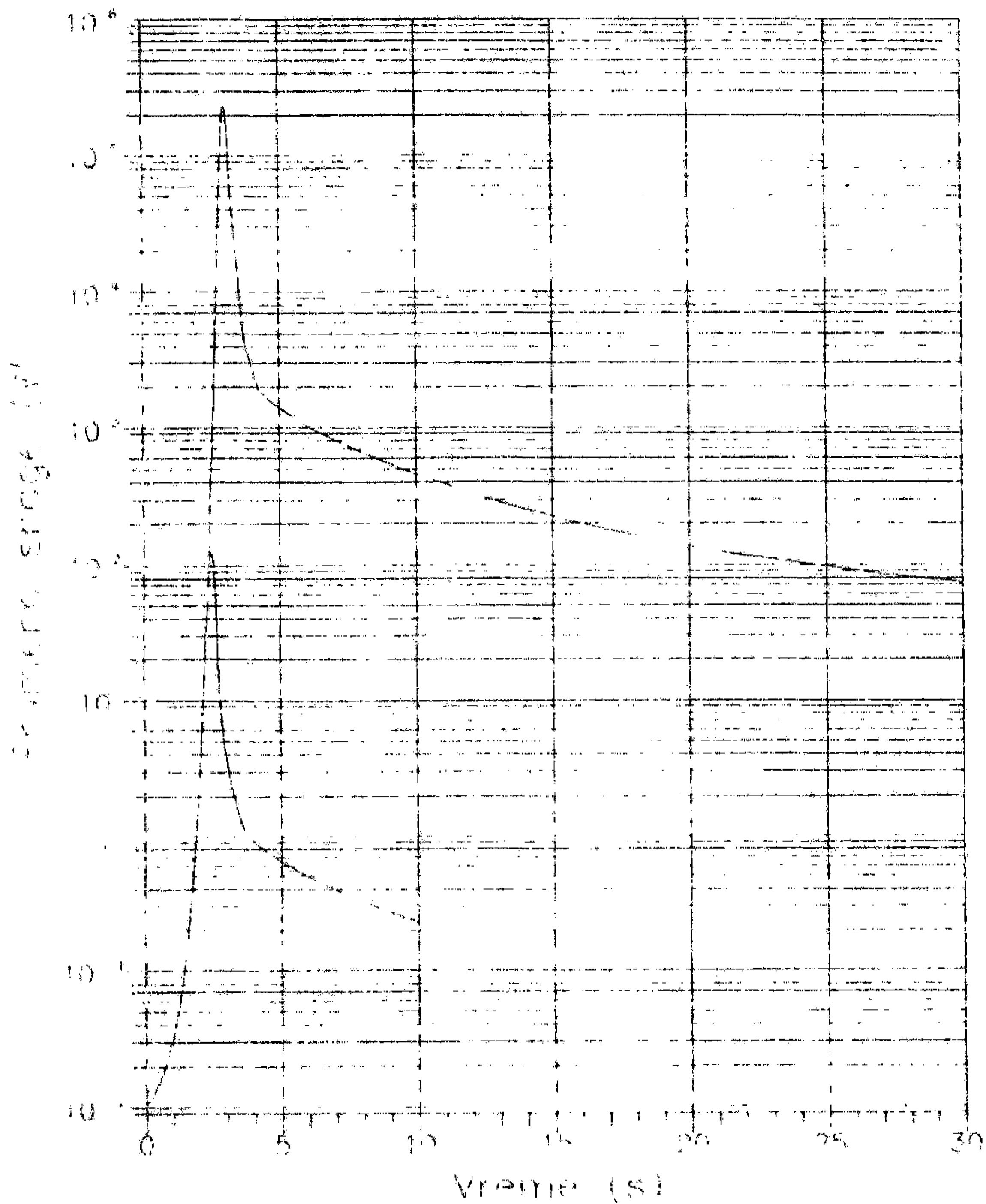
Na slici 11. je prikazan slučaj velikog otkaza sigurnosnog sistema reaktora RB tako da je pretpostavljeno da gaseenje reaktora izaziva premasenje snage od 50 W (otkazi kao u slučaju analize dati u poglavlju 9.1. ove 'Dokumentacije'). Razvijajući konervativan princip analize smatra se da u reaktoru padaju samo dve sigurnosne sipke za 1 s (bez kasnjenja ili sa pretpostavljenim kasnjenjem od 0.5 s).

U slučaju da nema kasnjenja sigurnosnog sistema vidi se da snaga dostize maksimum od 120 W vec nakon 2.43 s od pocetka akcidenta, ali posle dejstva sigurnosnog sistema ona pada na svega 100 mW vec nakon 10 s. Ukupna energija razvijena u sistemu do tog trenutka je svega 41 J. Pri stvarnom 'gasenju' reaktora brzina padanja snage bi bila znatno veća s obzirom na dodatnu reaktivnost koju unosi pad treće sigurnosne sipke ('prateći nivoer').

Pri pretpostavljenom kasnjenju sigurnosnog sistema od 0.5 s sistem HERBE - N dostize visoki maksimum snage od 230 kW vec nakon 3.1 s, a potom opada usled dejstva sigurnosnog sistema (dve sipke). Realno taj pad snage je brzi i na nizi nivo. U ovom analitičkom slučaju oslobođena energija u sistemu nakon 30 s dostize vrednost od svega 79 kJ pa su promene temperatura goriva i moderatora ispod 1 K.



10) Promena snage i energije sistema HERBE-N pri punjenju spoljašnjeg suda brzo terne moderatorom za 10 s na snazi od 10 mW. Sigurnosni sistem se aktivira premasenjem praga snage koji je postavljen na kraju opsega sigurnog kanala  $\phi$  (50 mW).



Sl. 11. Promena snage sistema HERBE - N pri akcidentalnom punjenju spoljasnijeg sada iz zone moderatorom za 10 s na snazi od 10 mW. Sigurnosni sistemi se aktivira premasenjem praga snage od 50 W (bez kasnjenja i sa kasnjenjem od 0.5 s).

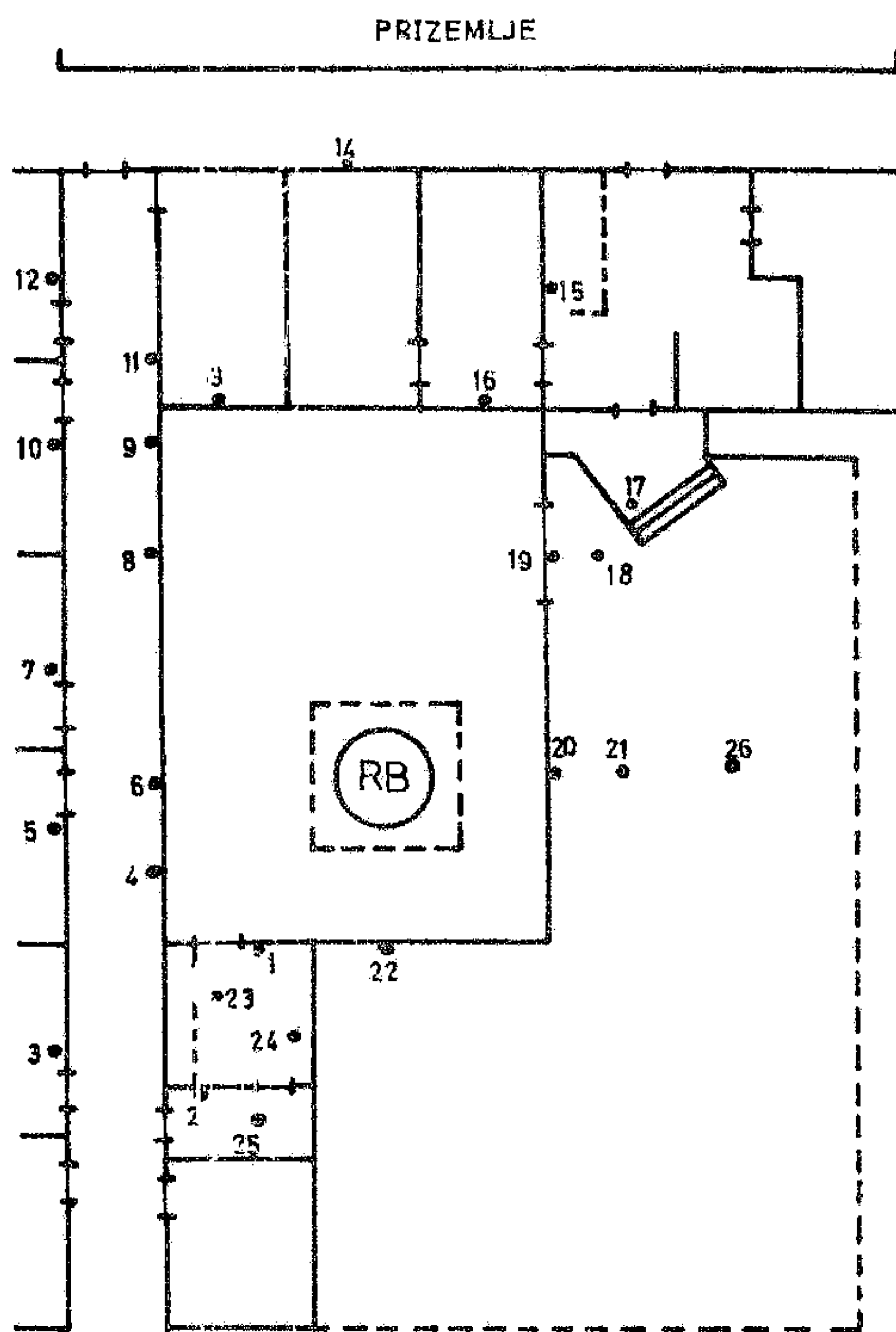
## 10. Dozimetrijska topografija

Propisima o radu reaktora RB predviđeno je da reaktor u normalnom režimu rada radi na snagama od 10 mW do 50 W. Doze neutronske i gama zračenja u hali reaktora se mere i kontrolisu preko stacionarnog dozimetrijskog sistema (neutronske dozimetar RBDN i gama kanali JP-1 /'hala'/ i G-3). U komandnoj sobi reaktora doze gama zračenja se mere sa gama kanalima G-1 i JP-1 /'komandna soba'/, dok se u severnom hodniku to čini sa kanalima JP-3 /'severni hodnik'/ i G-2.

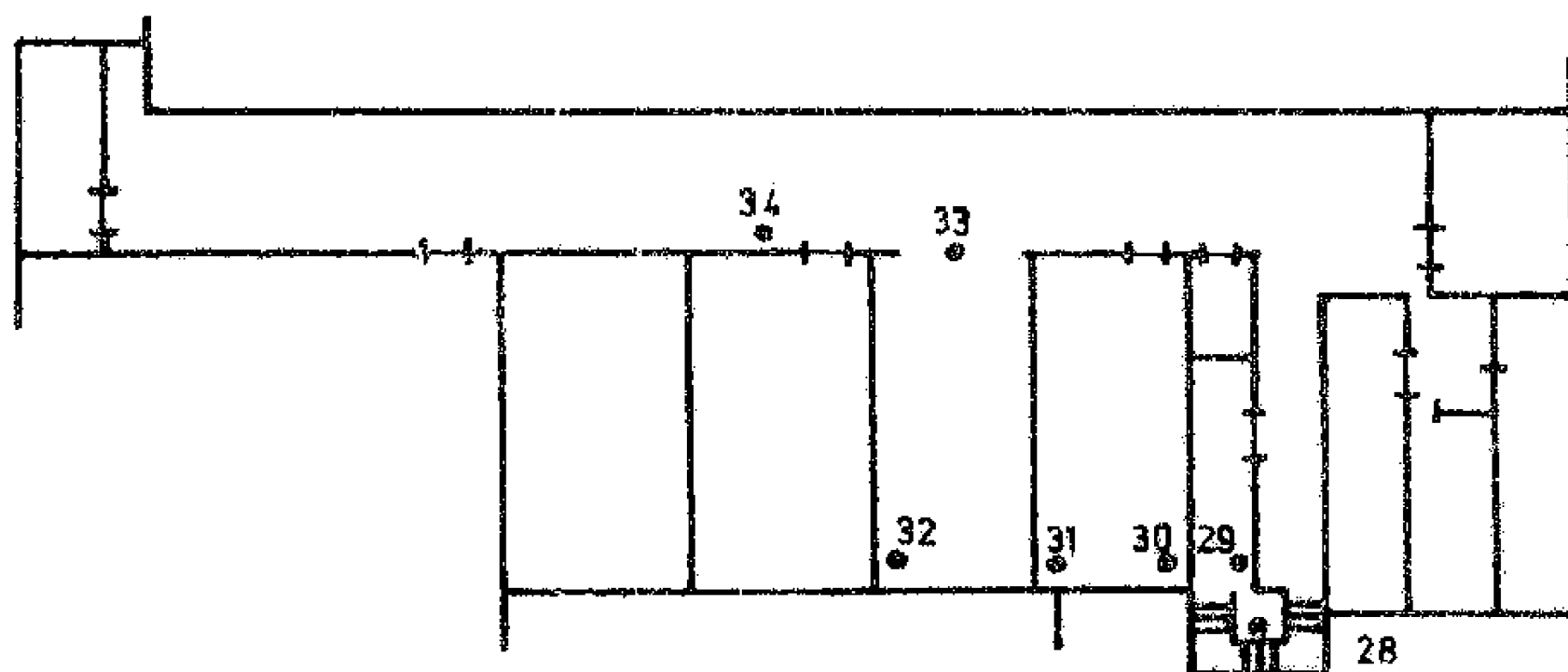
Pored stacionarnih dozimetrijskih kanala doze neutronske i gama zračenja se mere prema potrebi u prostorijama i hodnicima zgrade i u njenoj neposrednoj blizini (Slika 12., u tzv. 'mernim dozimetrijskim tačkama') sa prenosnim neutronske dozimetrima OOUR 'NET' (dva) ili OOUR 'Zastita' (jedan) i prenosnim gama dozimetrima OOUR 'NET' (dva) ili OOUR 'Zastita' (najmanje jedan).

Prema dosadašnjem radu reaktora RB u čisto termičkoj konfiguraciji (klasičan termički RB reaktor) i u konfiguraciji sa prethodnim verzijama spregnutog bizo-termičkog sistema (UNUK, odnosno SBTS) i evidenciji merenja brzina doza zračenja, pri radu reaktora na snagama između 0.5 W do 1 W (zavisno od konfiguracije) se ne prelaze postavljena propisima dozvoljena granica od 25  $\mu\text{Sv/h}$  ukupne brzine doze u mernoj tački br. 6 u severnom hodniku zgrade, što se slaže sa do sada prihvaćenim normama o radu reaktora.

Rad na većim snagama do 50 W dozvoljen je uz preduzimanje posebnih mera zaštite definisanim Propisima i uputstvima za rad reaktora RB [2], a iznad 50 W samo prema posebnim dozvolama izdatim, za svaki pojedinačan slučaj, od strane direktora IBK uz pribavljeno mišljenje Komiteta za sigurnost IBK, i uz preduzimanje odgovarajućih mera upozorenja i zaštite za radnike u zgradi reaktora odnosno njenoj neposrednoj okolini.



I SPRAT



1-34 MERNE TAČKE

Slika 12. Dozimetrijske merne tačke oko hale reaktora RB

Prilikom rada reaktora RB sa sistemom HERBE - N ocenjeno je na osnovu tridesetogodisnjeg iskustva u radu reaktora RB, da ce neutronske i gama doze zračenja biti reda velicine onih koje se postizu prilikom rada sa UNUK-om (SBTS). To su potvrdili i matematički proračuni za sistem HERBE - N ostvareni programima WIMS D-4 [26], SABINE [27], ANISN [28], VAMPIR [31] i TRITON [11].

U Tabeli 8. date su brzine doza gama i neutronske zračenja u komandnoj sobi reaktora RB i dozimetrijskoj mernoj tacki na 6. izračunate sa navedenim programima za različite snage reaktora. Pretpostavljen je stacionarni temperaturni režim rada reaktora (sobna temperatura) koji odgovara 'nultoj snazi' reaktora te su izračunate brzine doza zračenja direktno proporcionalne snazi reaktora.

Tabela 8. Programi za brzinu doze zračenja

Snaga reaktora (W)	Tacka 6 (svećena tacka)		Komandna soba	
	gama ( $\mu\text{Sv/h}$ )	neutroni ( $\mu\text{Sv/h}$ )	gama ( $\mu\text{Sv/h}$ )	neutroni ( $\mu\text{Sv/h}$ )
0.11	0.332	0.245	0.0063	0.0001
1.0	3.02	2.151	0.683	0.01
10.0	30.2	21.51	6.83	0.102
50.0	151.0	107.55	34.15	0.508
1000.0	3020.0	2151.0	683.0	10.16

Na osnovu analize akcidentata na reaktoru RB sa sistemom HERBE - N (poglavlje 9. ove 'Dokumentacije'), i prema oslobodjenoj energiji u tim akcidentima mogu se proceniti i dozimetrijske posledice akcidenta na osoblje pogona, članove eksperimentalnih ekipa ili radnike u zgradi reaktora, kao i na blizu okolinu reaktora.

Analiza pokazuje da su promene snage brze i relativno malog intenziteta pa se oslobadja srazmerno mala energija tako da su ukupne apsorbirane doze neutronske i gama zračenja u toku akcidenta ispod granica dozvoljenih za profesionalno osoblje i istovremeno je generisana toplota nedovoljna da osteti komponente reaktorskog sistema.

S obzirom na oslobodjenu energiju dolazi do povećanja nivoa zračenja gama i neutrona u kritičnim tačkama zgrade reaktora RB. Ekstrapolacijom merenih i procenatih doza zračenja u dozimetrijskoj tački br. 6 i komandnoj sobi reaktora, sa 1 Wb na oslobodjenu energiju, procenjuje se na navedenim mestima ukupne kvivalentne doze neutronske i gama zračenja.

Tabela 9. Procenjene ukupne doze u pretpostavljenim akcidentima

Akcident	Komandna soba		Tačka br. 6	
	gama	neutronska	gama	neutronska
	(μSv)		(μSv)	
Pauziranje suđa brze zone HERBE (davanje 0.5 s) (t <sub>0</sub> ) = 70 s	15	0.5	1750	540

Iz Tabele 9. vidi se da osoblje reaktora u komandnoj sobi u navedenom akcidentu ne bi primilo ukupnu dozu veću od 20 μSv, dok bi radnici u zgradi reaktora, koji bi se zadržali za vreme trajanja akkurzije snage (70 s) u svođenom hodniku u blizini merne tačke br. 6, primili dvostruku nedeljnu dozu zračenja za profesionalno osoblje.

Prema dosadashnjim merenjima doza zracenja procena je da bi ukupne doze zracenja u eksperimentalnoj sobi br. 15 zgrade (na mestu racunarskog sistema VAX, odnosno na radnim mestima eksperimentatora) bile oko 5 puta nize od neutrona i oko 10 puta nize od gama zracenja.

Na novoizgradjenom spratu zgrade, dozimetrijska situacija se prati u nekoliko dozimetrijskih mernih tacaka (Slika 12.) od trenutka pocetka izgradnje. Ocenjeno je da bi doza zracenja u tacici br. 32 u svetlaniku (najbliza lali reaktoru) bila 20  $\mu$ Sv od neutrona i 10  $\mu$ Sv od gama zraka, dok bi doze zracenja u hodniku sprata (merna tacica br. 33) bile znatno nize.

## 11. Dopuna Propisa i uputstva o radu reaktora

Postojeći 'Propisi i uputstva za rad reaktora RB' [2] su izradjeni početkom 1977. godine (IBK-1449) i odobreni od strane Komiteta za sigurnost IBK.

Rad reaktora RB sa sistemom HERBE - N nije ni u kakvoj suprotnosti sa navedenim postojećim Propisima pa nema potrebe za njihovom izmenom ili dopunom u tom smislu. Jedino se predvidja da će revizija istih biti utadjena u toku naredne godine sa ciljem da se u njih unesu novonastale promene u organizaciji OOUR i IBK i istovremeno usaglase sa novim propisima i zakonima iz oblasti jedinstvenog praćenja i nuklearne energetike.

## 12. Dopuna Pogonskih instrukcija za rad na reaktoru RB

'Pogonske instrukcije za rad na reaktoru RB' su izmenjene u roku 1985. godine po odobrenju Komiteta za sigurnost IBK a u njih je uoči postupak rada reaktora RB sa unutrašnjim konvertorom (UNUK) u poglavlju 4.2. Navedene poglavlje 'Pogonskih instrukcija za rad na reaktoru RB' ce biti dopunjeno sa opisom instrukcija za rad reaktora RB sa sistemom HERBE - N (nova tacka 4.6.) koje su prikazane u nastavku ovog poglavlje 'Dokumentacije'.

\*\*\*\*\* Dopuna Pogonskih instrukcija za rad na reaktoru RB \*\*\*\*\*

### 4.6. Postupak rada reaktora RB sa sistemom HERBE - N

#### 4.6.1. Pravila sudova sistema HERBE - N pre postavljanja u reaktor

Pre postavljanje sudova sistema HERBE - N u konfiguraciju reaktora sa brojem 120 reaktora reaktora RB, potrebno je izvršiti proveru koja ce sadržati sledeće tačke:

1. proveriti se vršila kontrola komiteta za rad na reaktoru sudu sistema HERBE - N. Provera se vrši preko kabineta za rad spoljnjem sudu i vrši se u skladu sa procedurom propisanom u pravilima.

2. vrši se ispitivanje aspekata šteta detektora i rešenja modulatora DCM u spoljnjem sudu. Pravila, prema proceduri opisanoj u pogonskim instrukcijama, poglavlje 4.2.1., isključivanjem da izvrši rešenje modulatora pre postavljanje sudova sistema HERBE - N u reaktor, da rezultat provere upisati u 'Dnevnik pogona reaktora RB'.

Rad reaktora sa sistemom HERBE - N u slučaju neispravnog DCM nije dozvoljen.

Ukoliko reaktor sa sistemom HERBE - N dođe vreme ne radi, pre povratnog puštanja u rad mora se izvršiti navedena provera DCM.

- Speljasnji sud se mora očistiti alkoholom od nečistoća pre postavljanja u reaktorski sud.

#### 4.6.2. Postupak formiranja sistema HERBE - N u reaktorskom sudu

Promena rešetke jezgra reaktora RB se vrši na način opisan u tački 4.1. 'Pogonakih instrukcija za rad na reaktoru RB'. Prilikom postavljanja konfiguracije HERBE - N neophodno je pridržavati se sledećeg redosleda operacija:

1. Uklanjaju gorivnih elemenata i potpornih ploča prethodnog jezgra reaktora pokupiti sa dna reaktorskog suda zaostalu tešku vodu i očistiti reaktorski sud alkoholom.
2. Postaviti donje potporne ploče sa korakom 120 mm na dno reaktorskog suda.
3. Postaviti gornju "napadnu" potpornu ploču sa korakom 120 mm i formirati jezgro HERBE - N u reaktorski sud.
4. Nakon toga u reaktorski sud postavlja se sljedeći materijal: jezgro HERBE - N, jezgro reaktora, gornji "napadni" potporni ploču postaviti ga na predviđeno mesto, donje potporne ploče, dno reaktorskog suda. Prilikom postavljanja materijala treba biti u pravom istak "napad" u reaktorski sud, a reaktor treba provetriti i otvoriti za gornje "napadne" potporne ploče prema rešetke.
5. Postaviti "zastu sud" gornju potpornu ploču koraka rešetke 120 mm i reaktor se zatvara i vrši se operaciji kraj postavljanja suda HERBE - N.
6. Očistiti pomoću čistilne tečnosti reaktorske rešetke gorivnim elementima prema sastavak rešetke, prema načinu i prema postupku opisanom u poglavlju "Postupak formiranja za rad na reaktoru RB".

- Postaviti veći unutrašnji aluminijski sud brze zone sistema HERBF - N duž centralne ose spoljasnog suda. Postaviti gorivne elemente od 80% obogaćenog uranijumdioksida (u Al kanalima prečnika 41/43 mm) u prstenastu zonu između dva aluminijska suda i na taj način formirati zonu neutronskeg konvertora.
- Obložiti centralni unutrašnji aluminijski sud brze zone sistema HERBE - N sa spoljasnje strane sa dva sloja kadmijske folije u ukupnoj debljini do 2 mm i do visine od 1500 mm od dna suda. Obloženi sud postaviti duž centralne ose unutrašnjeg suda brze zone sistema HERBE - N u reaktorskom sudu.

U pomoć krama prenositi gorivne elemente od prirodnog uranijuma u sveske za skladištenje i u njima puniti prstenastu zonu između dva unutrašnja suda brze zone. Prvo formirati unutrašnji prstenast gorivnih elemenata, a potom spoljasnji. Nije dozvoljeno prenositi kramom više od 4 gorivna elementa od prirodnog uranijuma istovremeno. Rukovanje kramom i postavljanje gorivnih elemenata vršiti prema postrojenjima i propisima.

- Po formiranju zone neutronskeg filtra pristupiti formiranju centralne zone (brze zone) od gorivnih elemenata od prirodnog uranijuma. Elemente slagati u prstenastim slojevima od periferije prema centru. Gorivne elemente prenositi kramom (ne više od 6 elemenata istovremeno).

Po formiranju brze zone u centralnom unutrašnjem sudu brze zone, postaviti detektor zračenja u spoljasnji sud brze zone. Odati zračenje provesti i vaditi podle postavljanja reaktorskog poklopa na svaki način (pravac sever-jug).

po postavljanju reaktorskoj poklopcu na svoje mesto povezati sve elektricne kontakte uređaja i detektora na njemu uključujući i vezu DCM na kontaktu 'gornjeg ogranicavaca') i izvršiti proveru njihove funkcionalne ispravnosti. Rezultate ispitivanja upisati u 'Dnevnik pogona reaktora RB'. Sve demontirane delove odložiti na predvidjena mesta.

- Vremenski ogranicavac 'punjenja sporo' postaviti na 30 s.

#### 4.6.3. Postupak za rad reaktora RB sa sistemom HERBE - N

Sve postupke za rad reaktora RB sa sistemom HERBE - N izvršiti prema postojećim pogonskim instrukcijama za rad na reaktoru RB [3] i prema propisima i uputstvima za rad na reaktoru RB [2]. Ništa potrebno nikakve dodatne instrukcije jer se ne odstupa od onih predvidjenih procedure rada.

#### 4.6.4. Postupak za vadjenje sistema HERBE - N iz reaktorskoj sudu

Vadjenje iz reaktorskoj sudu (gornja) i sudova brzo iz sistema HERBE - N se mora izvršiti prema propisima i uputstvima za rad na reaktoru RB, tacka 4.1 'Pogon i izljudenje reaktora iz reaktorskoj sudu RB', dok se detaljnija priloga za vadjenje je prikazana u dodatnim dokumentima navedenog u tacki 4.6.2 ovih 'Dopuna'.

\*\*\*\*\* Dopuna Popunskih Instrukcija za rad na reaktoru RB. \*\*\*\*\*

### 13. Program eksperimentalnog rada sa sistemom HERBE - N

Program eksperimentalnog rada sa sistemom HERBE - N obuhvata dve faze:

Program pustanja u rad (izvodjenja kritičnog eksperimenta), i  
Program ispitivanja (probnoog rada).

U ovoj 'Dokumentaciji' je detaljno prikazan u tacki 13.1. samo Program pustanja u rad (izvodjenje kritičnog eksperimenta), dok je Program probnog rada (ispitivanja) naveden samo okvirno u tacki 13.2.

U pripremi je potpuniji opis svih predvidjenih eksperimentalnih ispitivanja na sistemu HERBE - N koja se planiraju za izvodjenje u narednoj godini. Cilj tih eksperimenata je eksperimentalno utvrdjivanje nuklearnih karakteristika sistema HERBE - N radi verifikacije rezultata proracuna dobijenih u ranijim analizama, navedenima pre svega u materijalu pod nazivom 'Izvestaj o analizi sistema HERBE' [4].

13.1. Program pustanja u rad (izvođenja kritičnog eksperimenta)

Ovaj Program se izvodi isključivo navedenim redosledom pri čemu je uslov za realizaciju pojedine tačke Programa da su sve prethodne tačke Programa izvršene. Sve navedene aktivnosti u Programu se u toku izvođenja upisuju u Dnevnik pogona reaktora RB, a za potpunost i ispravnost izvršenja odgovara sef pogona reaktora RB.

Broj	Aktivnost
1.	Isprazniti gorivo iz reaktorskog suda i smestiti ga u soske. Postaviti aluminijumski spoljasnji sud sistema HERBE - N u reaktorski sud prema instrukcijama datim u tački 4.6. dopune Pogonskih instrukcija za rad na reaktoru RB (tačka 12. sve 'Dokumentacije'). Postaviti 'duge' sigurnosne sipke na peklopu reaktorskog suda i regulisati njihov hod kao i hod pratelog nivoera i kontrolne sipke (na nižem položaju) prema Pogonskim instrukcijama za rad na reaktoru RB.
2.	Postaviti detektor nivoa materijala (DCM) u sud brze zone sistema HERBE - N, postaviti peklopu reaktorskog suda na svoje mesto i povezati sve električne kontakte. U reaktorskom sudu i brzom zoni nema goriva.
3.	Pod uslovima navedenim pod 2. ispitati brzinu punjenja 'brze' i 'spore' reaktorskog suda sa teskom vodom kao i proveriti ispravnost rada DCM njegovim neposrednim uranjanjem u tesku vodu u brzoj zoni sistema HERBE - N. Uveriti se da teska voda ne curi u spoljasnji aluminijumski sud sistema HERBE - N. Usaglasiti pokazivanja pratelog nivoera i pratelog ograničavaoca nivoa ('apsolutnog' nivoera). Pri kraju praznjenja teske vode iz reaktorskog suda ispitati brzinu praznjenja 'spore' i 'brze'.

Broj	Aktivnost
4.	Formirati gorivne zone termickog jezgra i brze zone sistema HERBE - N prema instrukcijama datim u tacki 4.6. Dopune Pogonskih instrukcija za rad na reaktoru RB (poglavlje 12. ove 'Dokumentacije'). Zatvoriti poklopac reaktorskog suda i izvorsiti kompletnu proveru kontrolno-komandnog i sigurnosnog sistema reaktora RB. Samo pri potpuno ispravnom kontrolno-komandnom sistemu i sigurnosnom sistemu se moze pristupiti eksperimentu priblizavanja kritienom nivou.
5.	Eksperiment priblizavanja kritienom nivou vrsiti veoma pazljivo na uobicajeni nacin opisan u 'Propisima i uputstvima za rad na reaktoru RB' koristeći impulsne proporcionalne brojace na kanalima A i B prema popunjenom obrascu RB 6 i zahtevu za eksperiment (obrazac RB-4).
6.	O rezultatima rada izvestiti direktora OOUR NET i rukovodilca projekta realizacije sistema HERBE - N.

### 13.2. Program ispitivanja sistema HERBE - N

Realizacijom kritičnog sistema HERBE - N sa brzom zonom od prirodnog uranijuma reaktora RB, koji istina nema potpuna svojstva neutronske - fizicki jako spregnutog hibridnog (brzo - termickog) sistema, ostvaruju se uslovi za dalji razvoj i primenu eksperimentalnih metoda razvijenih na reaktoru RB u poslednjih nekoliko godina. Ova faza razvoja HERBE ostvaruje uslove za dalji rad na perturbacionim eksperimentima, sto je neophodno za dalji razvoj metodologije proračuna vezane za projektovanje reaktora na brze neutrone.

U ovoj 'Dokumentaciji' su navedeni samo osnovni eksperimenti koje se predviđaju za izvođenje na realizovanom sistemu HERBE - N u cilju ispitivanja njegovih nuklearnih karakteristika. Ti eksperimenti će biti detaljno razrađeni u narednoj fazi rada i obuhvatice:

1. Ispitivanje promene reaktivnosti sistema sa promenom nivoa teske vode u termickom jezgri
2. Odredjivanje reaktivnosti pojedinih sipki i pratećeg nivomera
3. Kalibracija reaktivnosti kontrolne sipke u funkciji dubine njenog uranjanja u tesku vodu
4. Odredjivanje rasporeda neutronskog i gama zračenja u zgradi reaktora RB i neposredno izvan nje
5. Odredjivanje prostornih rasporeda neutrona
6. Odredjivanje spektra neutrona u centru brzog jezgra sistema HERBE - N
7. Odredjivanje vremena trajanja promptnih neutrona Fejmannovom metodom
8. Merenje temperatur katalifera i jedna reaktivnosti
9. Gama spektrometrija
10. Merenje brzina neutronskih interakcija

11. Primenu determinističkih metoda za određivanje reaktivnosti (inverzna metoda, inverzna multiplikacija, asimptotska perioda, rod-drop, source-jack)
12. Merenja sa reaktorskim oscilatorom
13. Primenu statističkih metoda za merenje reaktivnosti, suma i prenosnih funkcija
14. Alfa/beta spektrometriju uzoraka
15. Merenje Dopplerovog efekta goriva
16. Koriscenje fleksibilnosti sistema za potrebe simulacije razlicitih spektara brzih neutrona

#### 14. Zaključak

Rad reaktora RB sa sistemom HERBE - N je potpuno siguran pri ispravnom postojećem kontrolno - komandnom i sigurnosnom sistemu reaktora. Nema potrebe za dodatnim sigurnosnim sipkama u brzom jezgru ili izmenama na postojećem sigurnosnom sistemu.

Analiza akidenata izvedena na konzervativan način pokazuje da postojeći sigurnosni sistem može brzo i pouzdano da ugasi reaktor pri pretpostavljenim akcidentima koji imaju najveću verovatnoću nastanka ili unose najviše reaktivnosti u sistem za najkraće vreme (poglavlje 9. 'Dokumentacije').

Sprovedjenjem administrativnih i tehničkih mera kontrole ispravnosti svih uređaja reaktora i pridržavanjem svih postojećih [2, 3] i dopunskih (poglavlje 11. 'Dokumentacije') instrukcija za rad reaktora sa sistemom HERBE - N obezbedice se uslovi za siguran rad reaktora u konfiguraciji HERBE - N kao i bezbednost osoblja radnika reaktora ili eksperimentatora.

15. Reference

1. M.Milosevic, D.Stefanovic, M.Pesic, D.Popovic, D.Nikolic, D.Antic, N.Zavaljevski, 'Osnovne karakteristike brzog reaktora nulte snage LASTA', Materijali sa XXXI jugoslovenske konferencije FTAN-a, Beograd (1987), Vol. IX, pp. 3-11.
2. 'Propisi i uputstva za rad reaktora RB', IBK-1449, Vinca 1977, Odobrio Komitet za sigurnost IBK 1977. godine.
3. 'Pogonske instrukcije za rad na reaktoru RB', IBK-1448 rev.1., Vinca 1985, Odobrio Komitet za sigurnost IBK decembra 1985. godine.
4. M.Pesic, N.Zavaljevski, P.Marinkovic, M.Milosevic, D.Stefanovic, D.Popovic, S.Avdic, N.Hadzimahmutovic, M.Arsenovic, 'Uvodni radovi o sistemu HERBE', Vinca, 1989.
5. M.Milosevic, 'Program VESNA za proračun ćelije lakovodnih i teskovodnih reaktora', projektanta OOUR NET, IBK - NET - 21, Vinca, 1989.
6. L.P. Abagjan, N.O. Babasjan, M.N. Nikolajev, A.M. Cibulja, 'Спроект конструктора, расчета реакторов и защиты', 2. издание, Москва, под редакцией М.Н.Николаева, Москва, Энергоатомиздат, 1991.
7. M.Pesic, O.S. Stokic, N.Kocic, 'Nuklearni podaci za materijale reaktora RB', IBK-1429, Vinca, 1977.
8. M.Pesic, O.S. Stokic, 'Referentni podaci za nuklearni reaktor RB', dokumentacija reaktora RB, Vinca 1980.
9. M.Milosevic, 1987, 'Avogadrova konstanta i reaktorski kompjuterski programi za OOUR NET', projektanta OOUR NET, Vinca 1986.
10. M.Milosevic, M.Pesic, 'AVERY - avogadrovi transportni kompjuterski programi za reaktor RB', jugoslovenski naučni list 'AVERY', projektanta OOUR NET, Vinca, 1991.



22. M. Pesic, 'Coupled Fast - Thermal System at the RB Nuclear Reactor', Kernenergie, Bd. 30, Hf. 4, Berlin (1987), pp. 142 - 147.
23. M. Pesic, P. Strugar, H. Markovic, D. Stefanovic, 'Fast Neutron Fields at the RB Nuclear Reactor', Proc. of the Inter. Conf. on Fast Neutron Physics, Dubrovnik, Yugoslavia, May 26-31, (1986) pp. 253-256.
24. M. Pesic, P. Marinkovic, D. Stefanovic, D. Popovic, M. Milosevic, 'HERBE - Preliminarna koncepcija rešenja hibridnog sistema na reaktoru RB', Vinca, septembar 1988.
25. R.R. Chugajev, 'Gidravlika', izdanje 4., Energoizdat, Lenjingrad 1982.
26. Halsall, M.J., 'A Summary of WIMS/D-4 Input Options', AEEW - M 1227, 1989.
27. Bouti C, Housden R. Van, 'SABINE-3, An Improved Version of the Shielding Code SABINE', EUR 5159, 1974.
28. LANLBN - OBNL, 'Multi Group One Dimensional DSN Transport Code with Anisotropic Scattering', ORNL 254, 1967.
29. M. Milosevic, 'Program VEGA - za proračun kasete termickih reaktora', programoteka OKUR NET, IBK - NET - 22, Vinca septembar 1989.
30. M. Pesic i dr., 'Preliminarna sigurnosni izvestaj reaktora RB sa sistemom HERBE - N', Vinca, u form. izvide, rok: kraj 1989.
31. M. Zinjarevic, V. Petrovic, 'VMPFB - dvogrupo dvodimenzionalni difuzioni kod za proračun izotopnja goriva, Uputstvo za korišćenje', Vinca 1987.

16. Prilozi16.1. Prilog 1. Energetske grupe (26 grupa RNAB strukture)

broj	E-grupa	E <sub>1</sub> (MeV)	delta E	W	spektar
0	14,0 MeV	10,5 MeV	3,5 MeV	0,28768	fisioni
1	10,5 MeV	6,5 MeV	3,5 MeV	0,47957	fisioni
2	6,5 MeV	4,0 MeV	2,5 MeV	0,48551	fisioni
3	4,0 MeV	2,5 MeV	1,5 MeV	0,47000	fisioni
4	2,5 MeV	1,4 MeV	1,1 MeV	0,57982	fermi
5	1,4 MeV	0,8 MeV	0,6 MeV	0,55962	fermi
6	0,8 MeV	0,4 MeV	0,4 MeV	0,69315	fermi
7	0,4 MeV	0,2 MeV	0,2 MeV	0,69315	fermi
8	0,2 MeV	0,1 MeV	0,1 MeV	0,69315	fermi
9	0,1 MeV	36,7 keV	52,5 keV	0,70572	fermi
10	16,5 keV	21,7 keV	27,0 keV	0,77140	fermi
11	21,7 keV	19,9 keV	11,7 keV	0,70546	fermi
12	19,9 keV	1,15 keV	5,25 keV	0,70572	fermi
13	1,65 keV	2,15 keV	2,50 keV	0,77140	fermi
14	2,15 keV	1,9 keV	1,15 keV	0,70546	fermi
15	1,9 keV	467,0 eV	5,25 keV	0,70572	fermi
16	467,0 eV	17,0 eV	2,02 keV	0,77140	fermi
17	17,0 eV	100,0 eV	11,0 eV	0,70546	fermi
18	100,0 eV	46,5 eV	5,25 eV	0,70572	fermi
19	46,5 eV	21,5 eV	2,0 eV	0,77140	fermi
20	21,5 eV	19,9 eV	1,15 eV	0,70546	fermi
21	19,9 eV	1,15 eV	5,25 eV	0,70572	fermi
22	1,65 eV	2,15 eV	2,50 eV	0,77140	fermi
23	2,15 eV	1,9 eV	1,15 eV	0,70546	fermi
24	1,9 eV	0,465 eV	0,525 eV	0,70572	fermi
25	0,465 eV	0,215 eV	0,250 eV	0,77140	fermi
T	0,0253 eV				maxwell

16.2. Prilog 2. Kondenzovane energetske grupe (program VESNA)

## 16.2.1. 13-grupni program

broj E-gore	E-dole	delt. E	ln	spektar	
0	14.0 MeV	10.5 MeV	3.5 MeV	0.38768	fisioni
1	10.5 MeV	6.5 MeV	3.5 MeV	0.47957	fisioni
2	6.5 MeV	4.0 MeV	2.5 MeV	0.48551	fisioni
3	4.0 MeV	2.5 MeV	1.5 MeV	0.47000	fisioni
4	2.5 MeV	1.4 MeV	1.1 MeV	0.57982	fermi
5	1.4 MeV	0.8 MeV	0.6 MeV	0.55962	fermi
6	0.8 MeV	0.4 MeV	0.4 MeV	0.69315	fermi
7	0.4 MeV	0.2 MeV	0.2 MeV	0.69315	fermi
8	0.2 MeV	0.1 MeV	0.1 MeV	0.69315	fermi
9	0.1 MeV	46.5 keV	52.5 keV	0.76572	fermi
10	46.5 keV	1.0 keV	45.5 keV	3.83945	fermi
11	1.0 keV	10.0 eV	990.0 eV	4.60517	fermi
12	10.0 eV	0.465 eV	9.535 eV	3.06820	fermi
13	0.465 eV	1.0 meV	465.0 meV (20 grupa)		maxwell

## 16.2.2. 4-grupni program

broj E-gore	E-dole	Spektar
1	10.5 MeV	0.8 MeV fisioni
2	0.8 MeV	1.0 keV fermi
3	1.0 keV	0.465 eV fermi
4	1.0 meV	0.465 eV maxwell

### 16.3. Prilog 3. Model za određivanje vremena punjanja suda brze zone HERBE - N sa moderatorom

Model koji se koristi u ovoj analizi pretpostavlja da se nivo teške vode u reaktorskom sudu ne mijenja prilikom prodiranja moderatora u spoljasnji sud brze zone sistema HERBE - N. Ova pretpostavka je zasnovana na činjenici da se visina moderatora smanjuje za manje od 1 %.

Ako je površina otvora  $w$ , nastalog na visini  $h$  od dna suda kroz koji ulazi teška voda u sud brze zone takva da je njen prečnik  $D(w)$  mnogo manji od nivoa moderatora iznad nje,  $H-h$ , u sudu reaktora, vreme  $T$  za koje se se sud brze zone, površine dna  $\Omega$ , napuni do razlike nivoa  $z$  date je sa [25]:

$$T(z) = \frac{2 \Omega}{\mu w \sqrt{2g}} (\sqrt{H-h} - \sqrt{z}) + \frac{\Omega h}{\mu w \sqrt{2g(H-h)}}.$$

Za male otvore, karakterisane odnosom  $D(w)/H < 0.2$ , je  $\mu = 0.62$  [25], dok je  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ .

Potpuno punjenje suda brze zone HERBE - N moderatorom od nivoa  $z=0$  izjednačavanjem nivoa ( $z=0$ ), pa je tada

$$T = \frac{\Omega (2H-h)}{\mu w \sqrt{2g(H-h)}}.$$

Relacija za vreme punjenja suda brze zone sistema HERBE - N moderatorom iz termičke zone pokazuje da će to vreme biti kraće za manju površinu dna suda i za veći otvor kroz koji prodire voda.

Analizom sastava konvertorske zone sistema HERBE - N može se utvrditi da je površina dna spoljasnjeg suda nad kojom se može formirati sloj teške vode  $\Omega = 0.0125 \text{ m}^2$ .