

IBK-1324



CS05RA024

IBK-1324

T.Boševski, D.Altiparmakov,
i N.Marinković

PRORAČUN ENERGETSKOG SPEKTRA
NEUTRONA U ČELJI EKSPERIMENTALNOG
REAKTORA "RA" U VINČI

INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE „BORIS KIDRIČ“
BEOGRAD-VINČA

IBK-1324

IBK-1324

T.Boševski, D.Altiparmakov,
i N.Marinković

PRORAČUN ENERGETSKOG SPEKTRA
NEUTRONA U ĆELIJI EKSPERIMENTALNOG
REAKTORA "RA" U VINČI

INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE "BORIS KIDRIČ"
VINČA-BEOGRAD

1 9 7 4

1. UVOD

U sistematskom proučavanju neutronske karakteristike eksperimentalnog nuklearnog reaktora RA predviđena su istraživanja i energetske karakteristike neutrona u reaktorskoj ćeliji. Složena geometrija ćelije, devet prostornih cilindričnih zona od tri različita materijala, uzrok je velikih prostorno-energetskih varijacija neutronske fluksa sa značajnim gradijentom promene kako po prostornoj tako i po energetskoj promenljivoj. Tretiranje ovako komplikovanog problema zahteva primenu adekvatne metodologije koja garantuje pouzdanost rezultata i obezbeđuje kontrolu tačnosti rezultata.

Pored osvrta na primenjenu metodologiju u radu detaljnije je obradjen postupak generisanja kondenzovanih grupnih konstanti na osnovu rezultata proračuna ćelije, a za potrebe globalnog proračuna reaktorskog jezgra.

U usvojenoj 26-to grupnoj aproksimaciji za energetske interval od 0 do 10.5 MeV dobijene su vrednosti neutronske karakteristike u 18 prostornih tačaka, tako odabranih da sa visokom tačnošću definišu integralne parametre cele ćelije koji su od primarne važnosti pri definisanju usrednjenih parametara za globalni proračun reaktora.

Po svojoj kompleksnosti, prezentirani rezultati prostorno-energetske raspodele neutronske karakteristike reaktora RA.

2. KARAKTERISTIKE ČELIJE REAKTORA RA

Karakteristično za ćeliju reaktora RA je više-zona cilindrična geometrija. Osnovni geometrijski i nuklearni parametri materijalnih zona ćelije dati su u tabeli 1.

Pored prostorne složenosti (devet prostornih zona), prisustvo više različitih materijala (teška voda kao rashladjivač i moderator, konstrukcioni materijal - aluminijum i gorivo od metalnog urana sa 2%-tnim obogaćenjem izotopom U^{235}), svaka prostorna zona ima različitu radnu temperaturu tako da se problem i sa te strane usložnjava.

Za studiju neutronske uslova pri specijalnim ozračivanjima radioaktivnih izotopa, od interesa je i varijanta gorivnog elementa RA sa odstranjenim moderatorom iz unutrašnjosti goriva, što je takodje još jedna složena varijanta za nuklearni proračun.

3. METODOLOGIJA PRORAČUNA

Za tretiranje kompletnog prostorno-energetski zavisnog problema raspodele neutronske fluksa u ćeliji reaktora RA izabrana je Usavršena metoda verovatnoće prvog sudara, razvijena i detaljnije izložena u referencama /1/ i /2/. Realna, geometrijski kvadratna ćelija iz reaktorske rešetke zamenjena je sa izolovanom Zajc-Vignerovom ćelijom pri čemu se uticaj ostatka reaktorske rešetke izražava preko dobro poznatog graničnog uslova "bele granice", ref. /2/.

Program SPEGTAR u FORTRAN IV kodu, kao finalna realizacija usvojene metodologije, korišćen je za realizaciju proračuna na računskoj mašini CDC-3600. Detaljan opis programa i uputstvo za njegovo korišćenje dati su u ref. /3/ i /4/.

4. PRIPREMA MULTIGRUPNIH KONSTANTI

Pri već odabranoj metodologiji tretiranja transporta neutrona, uz korišćenje verifikovanog mašinskog programa SPEGTAR, rezultati proračuna u mnogome zavise od multigrupnih konstanti pojedinih materijalnih zona ćelije. U ovom radu korišćene su mikro-vrednosti multigrupnih konstanti iz ref. /5/.

Pomoću programa GRCON u FORTRAN IV kodu, ref./6/ izvršena je transportna korekcija mikro vrednosti, a zatim su određeni makro-parametri materijala koji ulaze u sastav ćelije reaktora RA. Određjene su makro-konstante za:

- tešku vodu (D_2O) sa sadržajem 0.25% obične vode (H_2O)
- čistog aluminijuma (Al) i
- metalno uransko gorivo sa 2%-tnim obogaćenjem izotopa U^{235} ($U-2\%U^{235}$).

Pri određivanju multigrupnih makro-konstanti za gorivo nije vršena korekcija za samozaštitu, koja u ovom slučaju zbog veoma male debljine goriva (2mm) nije dovoljno opravdana.

Na osnovu rezultata proračuna prostorno-energetske raspodele neutronskog fluksa u ćeliji definišu se prostorno energetske usrednjene višegrupne konstante, potrebne za globalni proračun reaktorskog jezgra. Za prostor gde je numeracija materijalnih zona od centra ka granici ćelije

1,2,...,k,...K

K - ukupni broj materijalnih zona u ćeliji, a numeracija energetskih grupa neutrona u smeru opadanja energije

1,2,...,n,...N

N - ukupni broj energetskih grupa, mogu se izvršiti sledeće transformacije:

- a) Prostorna homogenizacija ćelije za nepromenjenu multigrupnu podelu energetskog intervala
- b) Kondenzacija broja energetskih grupa sa N na I integralnih grupa, tako da svaka integralna grupa i

sadrži n_i energetskih grupa iz prvobitne podele
 c) Prostorna homogenizacija ćelije i kondenzovanje energetskih grupa.

Za sve tri transformacije definišu se nuklearne grupne konstante i to, presek za apsorpciju, rasejanje, totalni presek, presek za fisiju, broj neutrona po fisiji i grupna podela neutrona iz fisije. Presek za apsorpciju definisan je kao zbir preseka za fisiju i preseka za (n,) reakciju.

U daljem tekstu, radi jednostavnijeg pisanja, za integralne veličine neutronskeg fluksa uvode se sledeće oznake:

$$\Phi_k^n = \int_{V_k} \Phi_k^n(\mathbf{r}) dV_k \quad - \text{integralni fluks grupe neutrona } n \text{ u materijalnoj zoni } k$$

$$\Phi_{\text{cel}}^n = \sum_{k=1}^K \Phi_k^n \quad - \text{integralni fluks grupe neutrona } n \text{ u ćeliji}$$

$$NI = \sum_{j=1}^i n_j \quad - \text{prva energetska grupa koja ulazi u sastav integralne grupe } i$$

$$\Phi_k^i = \sum_{n=NI}^{NI+n_i} \Phi_k^n \quad - \text{zbirni integralni fluks grupe neutrona izmedju } NI \text{ i } NI+n_i \text{ u materijalnoj zoni } k$$

$$\Phi_{\text{cel}}^i = \sum_{k=1}^K \Phi_k^i \quad - \text{zbirni integralni fluks grupe neutrona izmedju } NI \text{ i } NI+n_i \text{ u celoj ćeliji}$$

a) Definicioni izrazi za multigrupne nuklearne parametre homogenizovane ćelije

$$\Sigma_{a,cel}^n = \frac{\sum_{k=1}^K \Sigma_{a,k}^n \phi_k^n}{\phi_{cel}^n} \quad \text{presek za apsorpciju ćelije za grupu neutrona } n$$

$$\Sigma_{s,cel}^{n \rightarrow m} = 1 / \frac{\sum_{k=1}^K \frac{1}{\Sigma_{s,k}^{n \rightarrow m}} \phi_k^n}{\phi_{cel}^n} \quad \text{vektor rasejanja ćelije za grupu neutrona } n$$

$$\Sigma_{t,cel}^n = \Sigma_{a,cel}^n + \sum_{m=1}^N \Sigma_{s,cel}^{n \rightarrow m} \quad \text{totalni presek ćelije za grupu neutrona } n$$

$$\Sigma_{f,cel}^n = \frac{\sum_{k=1}^K \Sigma_{f,k}^n \phi_k^n}{n_{cel}} \quad \text{presek za fisiju ćelije za grupu } n$$

$$\nu_{cel}^n = \frac{\sum_{k=1}^K \nu_k \Sigma_{f,k}^n \phi_k^n}{\Sigma_{f,cel}^n \phi_{cel}^n} \quad \text{broj neutrona po fisiji ćelije za grupu } n$$

b) Definicioni izrazi za kondenzovane grupne parametre pojedinih materijalnih zona

$$\Sigma_{a,k}^i = \frac{\sum_{n=NI}^{NI+ni} \Sigma_{a,k}^n \phi_k^n}{\phi_k^i} \quad \text{presek za apsorpciju materijalne zone } k \text{ za neutrone integralne grupe } i$$

$$\Sigma_{s,k}^{i \rightarrow j} = 1 / \frac{\sum_{n=NI}^{NI+ni} \sum_{m=MI}^{MI+mi} \frac{1}{\Sigma_{s,k}^{n \rightarrow m}} \phi_k^n}{\phi_k^i} \text{ vektor rasejanja materijal-}$$

ne zone k za neutrone iz
integralne grupe i

$$\Sigma_{t,k}^i = \Sigma_{a,k}^i + \sum_{j=1}^I \Sigma_{s,k}^{i \rightarrow j}$$

totalni presek materijalne
zone k za neutrone integ-
ralne grupe i

$$\Sigma_{f,k}^i = \frac{\sum_{n=NI}^{NI+ni} \Sigma_{f,k}^n \phi_k^n}{\phi_k^i}$$

presek za fisiju materijal-
ne zone k za neutrone integ-
ralne grupe i

$$v_k^i = \frac{\sum_{n=NI}^{NI+ni} v_k^n \Sigma_{f,k}^n \phi_k^n}{\Sigma_{f,k}^i \phi_k^i}$$

broj neutrona po fisiji ma-
terijalne zone k za neutro-
ne integralne grupe i

$$\omega_k^{i \rightarrow j} = \frac{\sum_{n=NI}^{NI+ni} \sum_{m=MI}^{MI+mi} \omega_k^{n \rightarrow m} v_k^n \Sigma_{f,k}^n \phi_k^n}{v_k^i \Sigma_{f,k}^i \phi_k^i}$$

faktor raspodele fisionih
neutrona iz integralne
grupe i u ostale integral-
ne grupe

c) Definicioni izrazi za kondenzovane grupne parametre cele ćelije

$$\Sigma_{a,cel}^i = \frac{\sum_{k=1}^K \Sigma_{a,k}^i \cdot \phi_k^i}{\phi_{cel}^i}$$

presek za apsorpciju ćelije za neutrone iz integralne grupe i

$$\Sigma_{s,cel}^{i \rightarrow j} = 1 / \frac{\sum_{k=1}^K \frac{1}{\Sigma_{s,k}^{i \rightarrow j}} \cdot \phi_k^i}{\phi_{cel}^i}$$

vektor rasejanja ćelije za neutrone integralne grupe i

$$\Sigma_{t,cel}^i = \Sigma_{a,cel}^i + \sum_{j=1}^I \Sigma_{s,cel}^{i \rightarrow j}$$

totalni presek ćelije za neutrone integralne grupe i

$$\Sigma_{f,cel}^i = \frac{\sum_{k=1}^K \Sigma_{f,k}^i \cdot \phi_k^i}{\phi_{cel}^i}$$

presek za fisiju ćelije za neutrone integralne grupe i

$$v_{cel}^i = \frac{\sum_{k=1}^K v_k^i \cdot \Sigma_{f,k}^i \cdot \phi_k^i}{\Sigma_{f,cel}^i \cdot \phi_{cel}^i}$$

broj neutrona po fisiji ćelije za neutrone integralne grupe i

$$\omega_{cel}^{i \rightarrow j} = \frac{\sum_{k=1}^K \omega_k^{i \rightarrow j} \cdot v_{cel}^i \cdot \Sigma_{f,k}^i \cdot \phi_k^i}{v_{cel}^i \cdot \Sigma_{f,cel}^i \cdot \phi_{cel}^i}$$

faktor raspodele fisionih neutrona ćelije iz integralne grupe i u ostale integralne grupe

5. DEFINICIJA INTEGRALNIH ENERGETSKIH GRUPA

Prema prirodi prostornog ponašanja neutronskeg fluksa u ćeliji reaktora, energetske grupe neutrona definisane u ref. /5/ mogu se kondenzovati na manji broj pogodniji za makroproračun reaktorskog jezgra. Najprirodnija kompozicija integralne podele neutrona su tri grupe:

1. brza
2. rezonantna
3. termalna.

Ako želimo da makroproračunu damo veću preciznost, tada moramo zadnje dve grupe neutrona da podelimo na još po dva dela tako da definitivno dobijamo sledeće integralne grupe:

1. brza
2. epirezonantna
3. rezonantna
4. epitermalna
5. termalna.

Podeone energije za ovako definisane integralne energetske grupe kao i podeone energije i letargijske širine za polaznu grupnu podelu energetskog intervala date su u tabeli 2.

6. REZULTATI PRORAČUNA

Rezultati proračuna za prostorno-energetsku raspodelu neutronskeg fluksa u ćeliji reaktora RA dati su na slikama od sl.1 do sl.5.

Na sl.1a. i sl.1b. data je prostorna raspodela grupa neutrona od 1. do 11. koje sačinavaju brzu integralnu grupu neutrona. Karakteristično za prostornu raspodelu ove integralne grupe neutrona je jako izražen maksimum u zoni goriva sa velikim prostornim gradijentom opadanja fluksa u smeru unutrašnjeg i spoljašnjeg moderatora.

Na sl.2. data je prostorna raspodela narednih 5+5 grupa neutrona koje sačinavaju epirezonantnu i rezonantnu integralnu grupu. Karakteristika ovih integralnih grupa je pad vrednosti fluksa u gorivu i relativno uniformna raspodela u unutrašnjem i spoljašnjem moderatoru. Kod epirezonantnih neutrona depresija fluksa u gorivu je znatno manja nego kod rezonantnih.

Na sl.3. date su raspodele zadnjih 3+2 grupe neutrona koje sačinavaju epitermalnu i termalnu integralnu grupu neutrona.

Sl.4. ilustruje prostornu raspodelu integralnih grupa neutrona, tako da je uočljiv njihov relativni odnos.

Energetski spektar neutronskeg fluksa u karakterističnim prostornim tačkama ćelije dat je na sl.5. Prostorne tačke $r=0$ - osa ćelije, $r=r_f$ - sredina goriva i $r=r_a$ - granica spoljašnjeg moderatora, odabrane su kao najkarakteristične tačke za prostorno-energetsku raspodelu neutronskeg fluksa u ćeliji reaktora RA.

Tabela 1. Osnovni parametri materijalni zona ćelije reaktora RA u Vinči

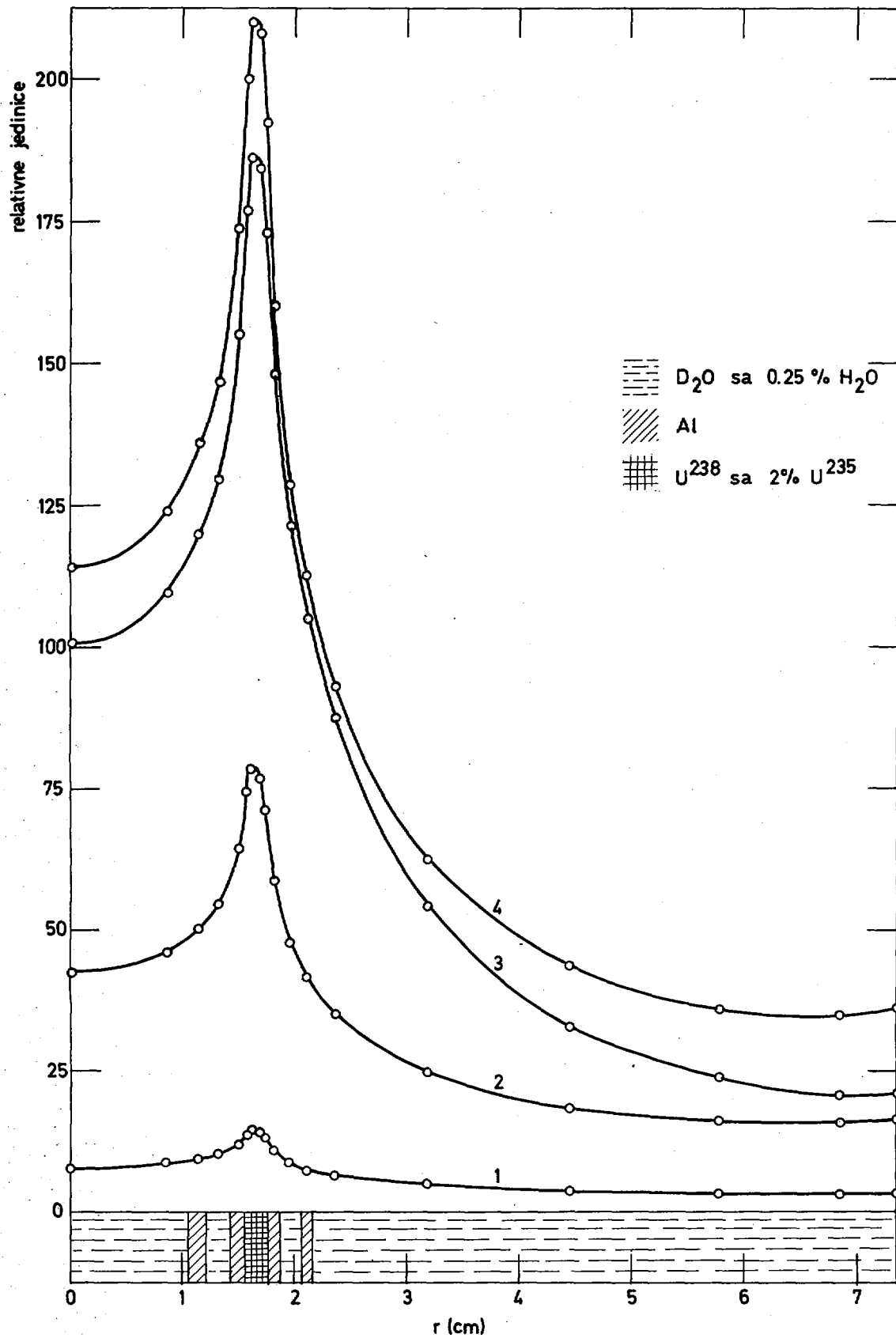
redni broj	materijal	spoljašni radijus (cm)	gustina (g/cm ³)		koncentracija elemenata (10 ²² cm ⁻³)
1	D ₂ O (0.25%H ₂ O)	1.05	1.105	D O H	6.64489 3.33077 0.01665
2	Al	1.20	2.699	Al	6.02933
3	D ₂ O (0.25%H ₂ O)	1.45	1.105	D O H	6.64489 3.33077 0.01665
4	Al	1.55	2.699	Al	6.02933
5	U (2% U ²³⁵)	1.75	18.700	U ²³⁸ U ²³⁵	4.63914 0.09588
6	Al	1.85	2.699	Al	6.02933
7	D ₂ O (0.25%H ₂ O)	2.05	1.105	D O H	6.64489 3.33077 0.01655
8	Al	2.15	2.699	Al	6.02933
9	D ₂ O (0.25%H ₂ O)	7.3344	1.105	D O H	6.64489 3.33077 0.01655

Tabela 2. Višegrupna podela celokupnog energetskeg intervala

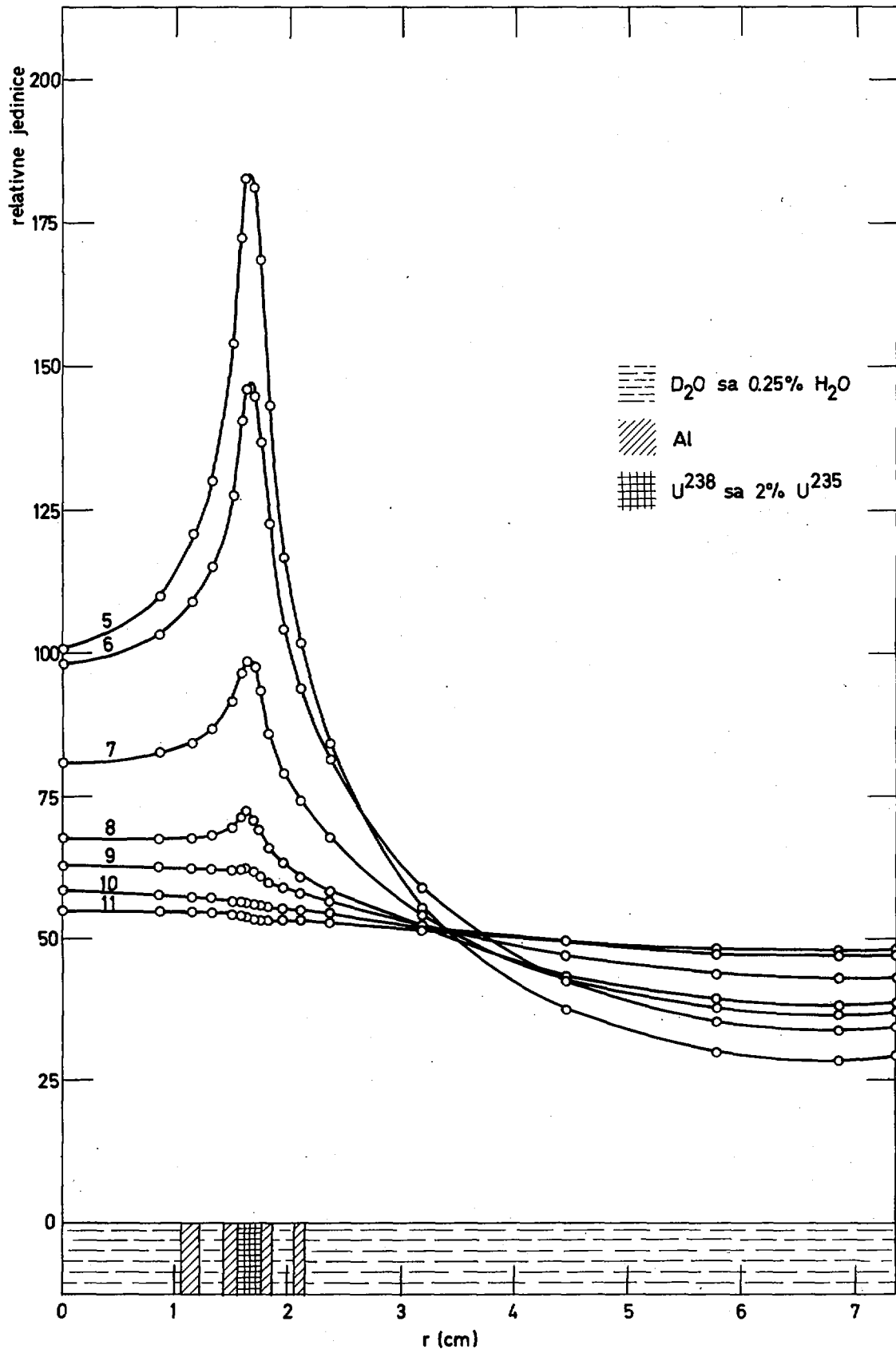
Integralne energetske grupe	Granične energije	Granične ltagije	Bondarenkove energetske grupe	Letaroijske širine
I BRZA	(6.5-0.01)Mev	(0.0-6.96)	1. 10.5-6.5 Mev	0.48
			2. 6.5-4.0 "	0.48
			3. 4.0-2.5 "	0.48
			4. 2.5-1.4 "	0.57
			5. 1.4-0.8 "	0.57
			6. 0.8-0.4 "	0.69
			7. 0.4-0.2 "	0.69
			8. 0.2-0.1 "	0.69
			9. 100-46.5 Kev	0.77
			10. 46.5-21.5 "	0.77
			11. 21.5-10.0 "	0.77
II EPIREZONANTNA	(10.-0.215)Kev	(6.96-10.81)	12. 10.0-4.65 Kev	0.77
			13. 4.65-2.15 "	0.77
			14. 2.15-1.00 "	0.77
			15. 1000.-465. eV	0.77
			16. 465.-215. "	0.77
III REZONANTNA	(2.15.-4.65)eV	(10.81-14.66)	17. 215.-100. eV	0.77
			18. 100.-46.5 "	0.77
			19. 46.5-21.5 "	0.77
			20. 21.5-10.0 "	0.77
			21. 10.0-4.65 "	0.77
IV EPI TERMALNA	(4.65-0.465)eV	(14.66-16.97)	22. 4.65-2.15 eV	0.77
			23. 2.15-1.00 "	0.77
			24. 1.00-0.465 "	0.77
V TERMALNA	(0.465-0.0)eV	(16.97-∞)	25. 0.465-0.215 eV	0.77
			26. 0.215-0.0 "	∞

REFERENCE

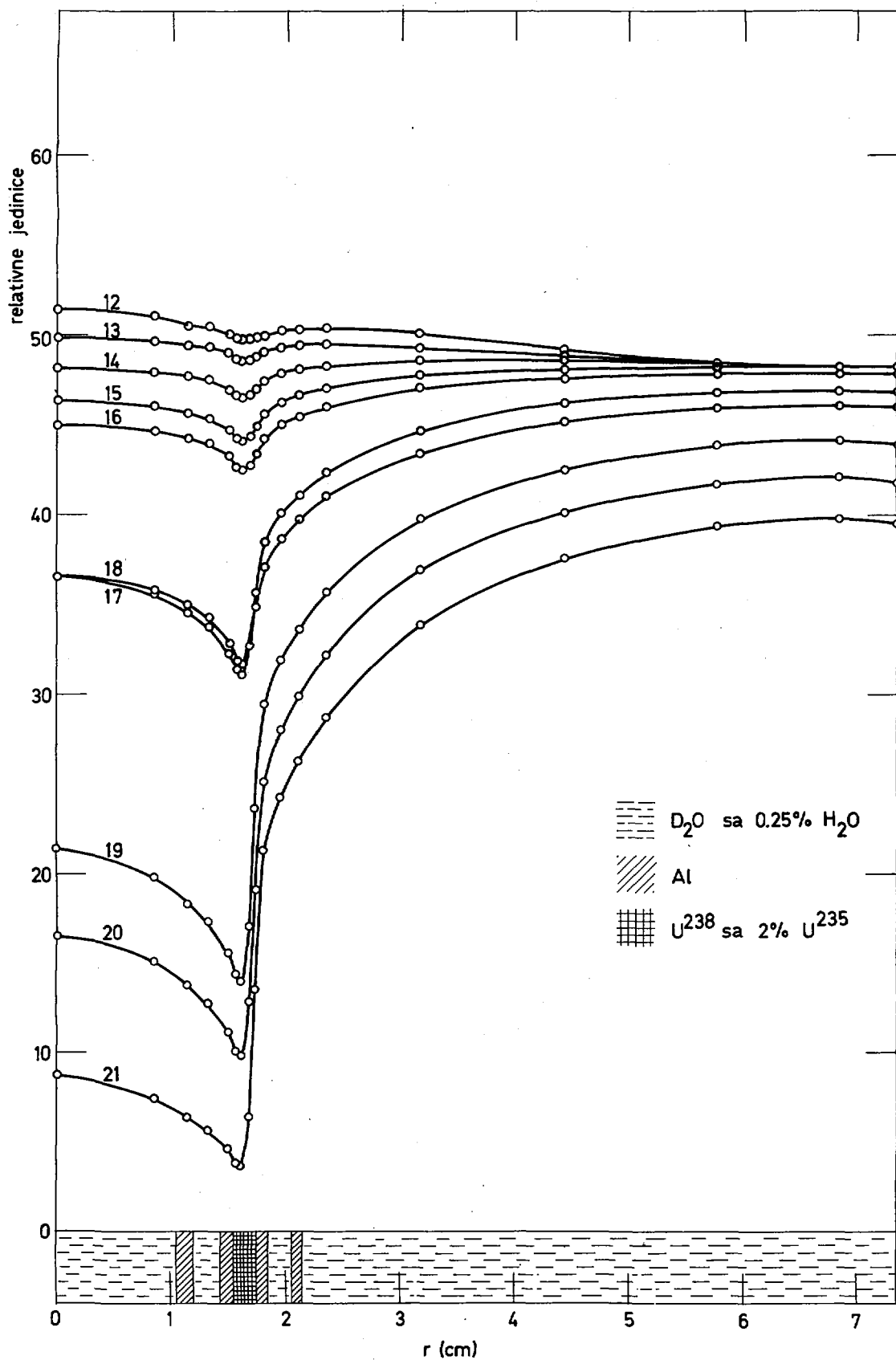
- /1/ T.Boševski, J.Pop-Jordanov:
The Solution of Integral Transport Equation in Space and Energy Points with Polynomial Interpolation, Seminar on Numerical Reactor Calculations, IAEA-SM-154/62, Vienna,1972.
- /2/ T.Boševski :
Usavršena metoda za tretiranje problema transporta neutrona diskretnim predstavljanjem prostora i energije, Doktorska disertacija, IEK-1042, Vinča, Beograd,1971.
- /3/ T.Boševski,D.Altiparmakov:
Program "SPEGTAR" za prosromo-multigrupni proračun transporta neutrona u energetskeim nuklearnim reaktorima, XVIII Jugoslovenska konferencija ETAN-a, Ulcinj,3-6.juna 1974.
- /4/ D.Altiparmakov, T.Boševski:
Mogućnost Programa "SPEGTAR" i uputstvo za korišćenje, IEK-1267, Vinča Beograd,1974.
- /5/ I.I. Bondarenko:
Group Constants for Nuclear Reactor Calculations, Library of Congress Catalog Card Number 64-23252, (1964) 29.
- /6/ N.Marinković:
Program "GRCON" za izračunavanje grupnih makroskopskih preseka reaktor-skih materijala, IEK-1298, Binča, Beograd, 1974.



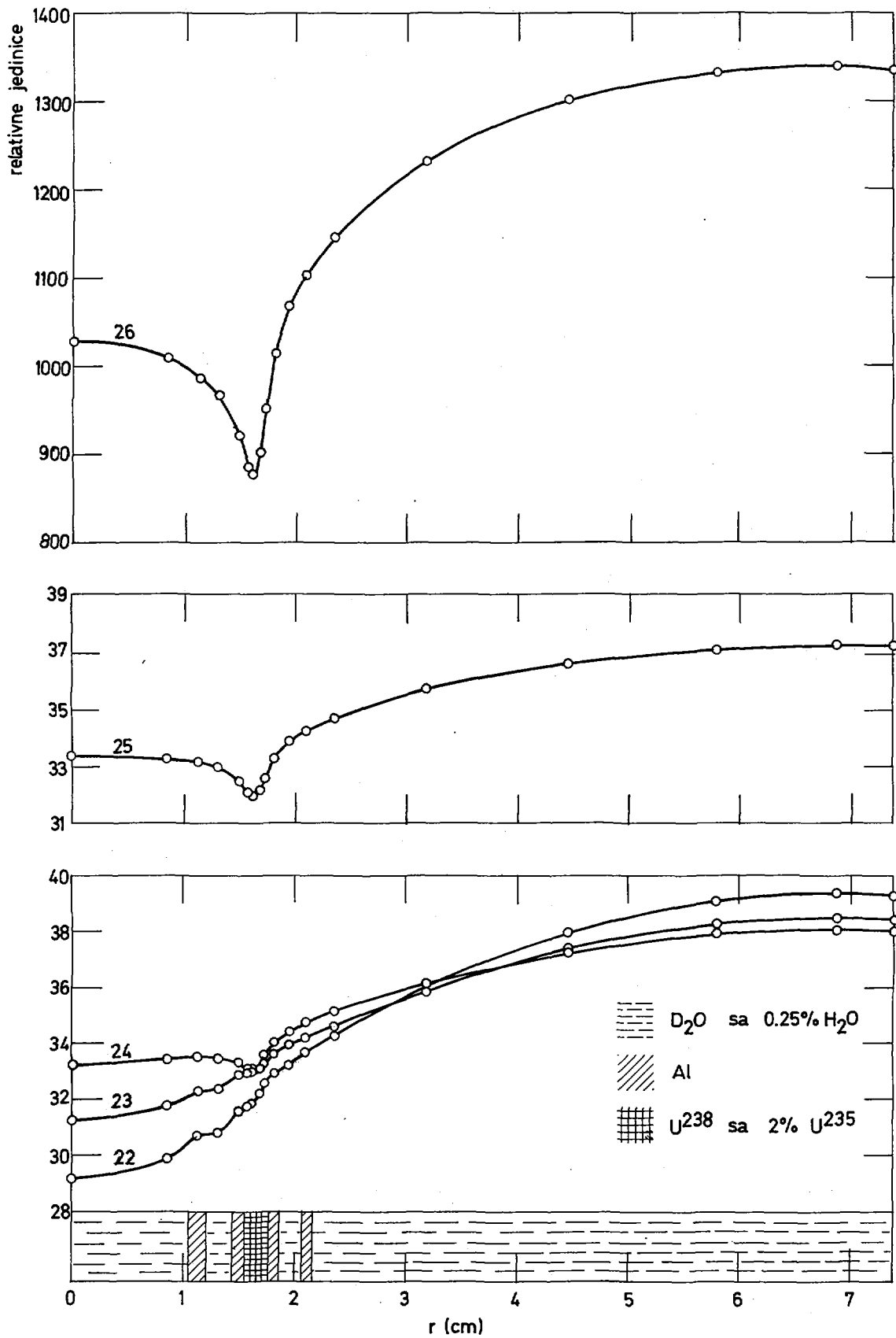
sl. 1a. PROSTORNA RASPODELA GRUPA BRZIH NEUTRONA U ČELIJI REAKTORA RA



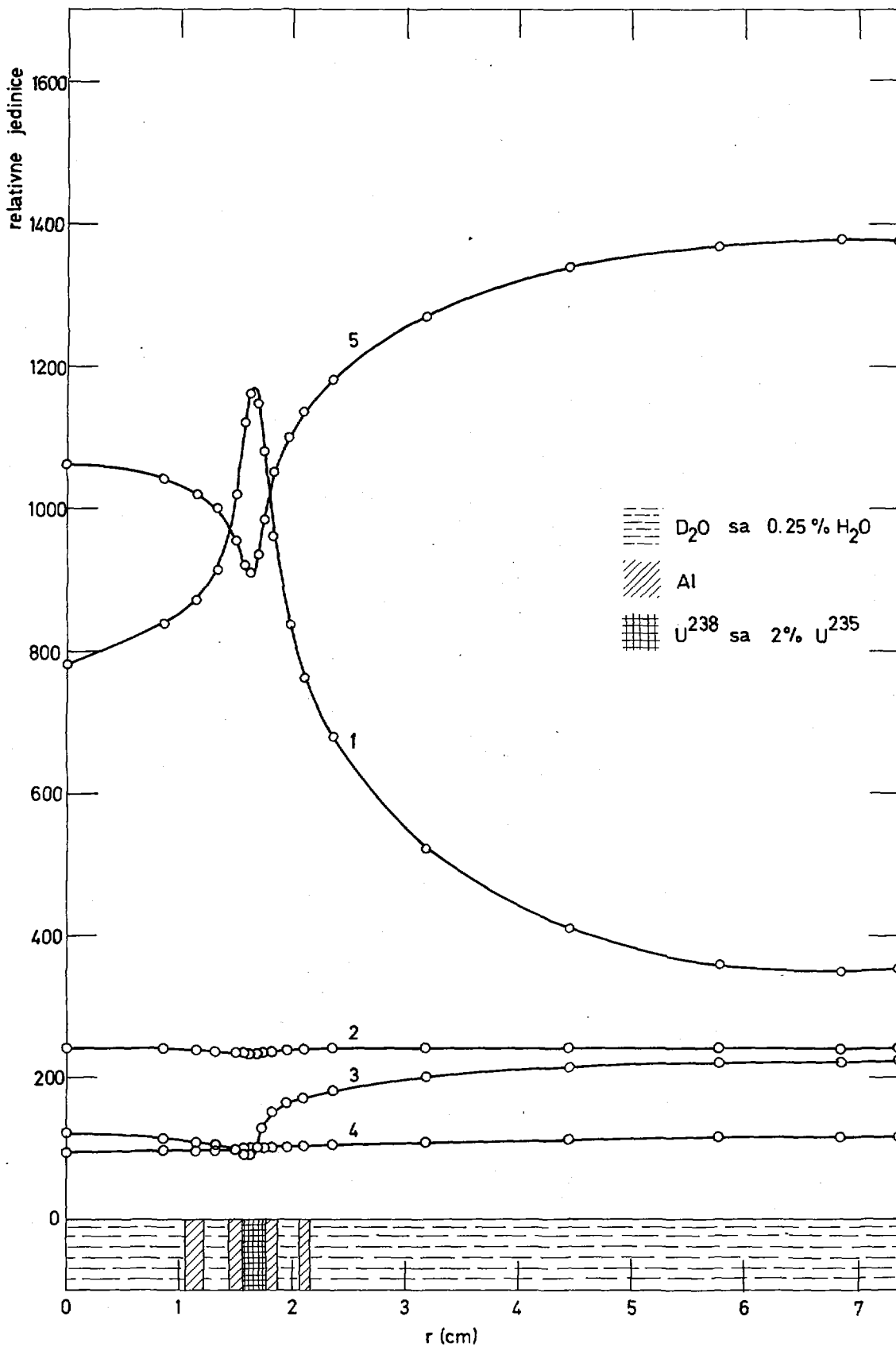
sl. 1b. PROSTORNA RASPODELA GRUPA BRZIH NEUTRONA U ČELIJI REAKTORA RA



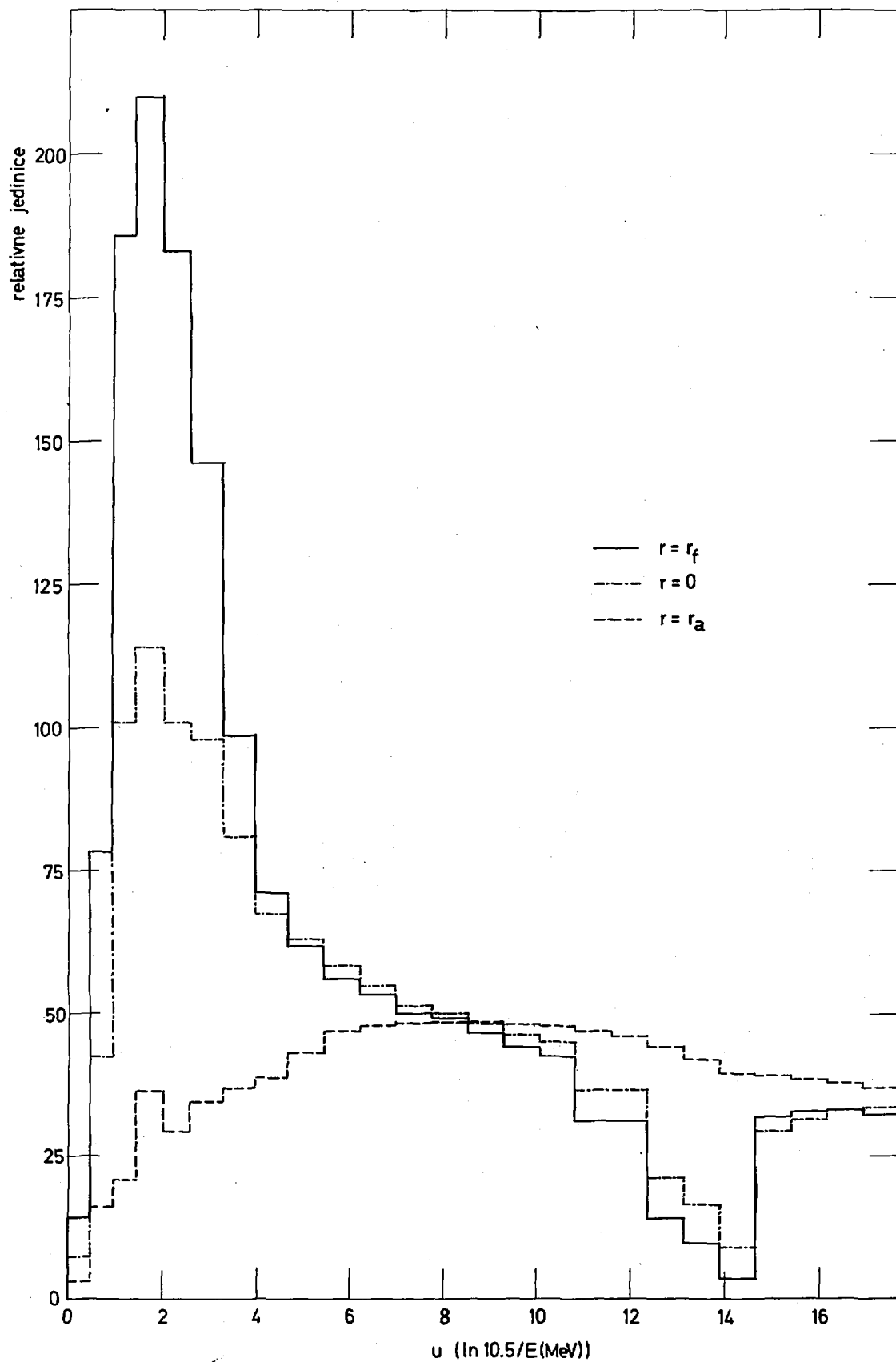
sl. 2. PROSTORNA RASPODELA GRUPA REZONANTNIH NEUTRONA U ČELIJI REAKTORA RA



sl. 3. PROSTORNA RASPODELA GRUPA EPITERMALNIH I TERMALNIH NEUTRONA U CELJI REAKTORA RA



sl. 4. PROSTORNA RASPODELA INTEGRALNIH GRUPA NEUTRONA U ČELIJI REAKTORA RA



sl. 5. ENERGETSKI SPEKTAR NEUTRONA U KARAKTERISTIČNIM
 PROSTORNIM TAČKAMA ČELIJE REAKTORA RA

Izdavač:
Institut za nuklearne nauke „Boris Kidrič“
Poštanski fah 522
Beograd - Vinča