

IZRAČUNAVANJE TEMPERATURSKOG KOEFICIJENTA FAKTORA  
TERMIČKOG ISKORIŠĆENJA NUKLEARNOG REAKTORA GCR TIP A\*

*Kerim F. Slipičević*

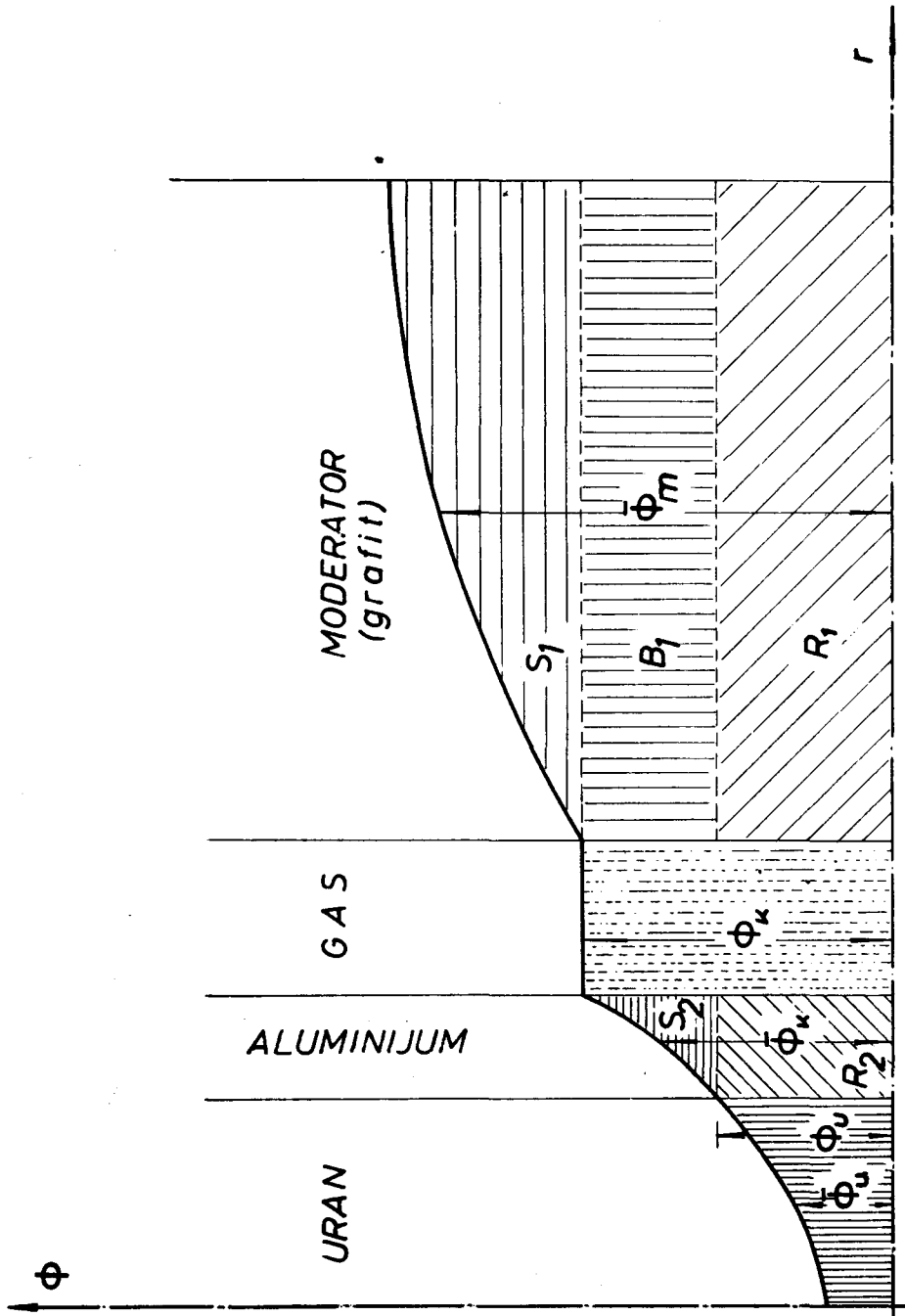
1. Zavisnost efektivnog faktora multiplikacije, odnosno reaktivnosti reaktora od temperature je složena, pa je zbog toga njeno tačno određivanje teško. Poznavanje ove zavisnosti je naročito značajno pri tretiranju uslova stabilnog rada nuklearnog reaktora. Faktor termičkog iskorišćenja, čija je uobičajena oznaka  $f$ , je jedan od parametara preko kojih se određuje kritičnost sistema, te je iz pomenutih razloga značajno poznavanje njegovog temperaturskog koeficijenta. Reaktori GCR tipa na koje se navedeni postupak izračunavanja temperaturskog koeficijenta odnosi, imaju dobro moderisane neutronske spektre u reaktoru, pa se Westcott-ova konvencija za preseke date u obliku  $\hat{\sigma} = \sigma_0 (g + rs)$  može uspešno da primenjuje.

Na sl. 1 je pokazan presek ćelije GCR tipa reaktora sa punim gorivnim elementom. Zona sa uranom je obeležena indeksom 0, zona košuljice indeksom 2, a zona moderatora (grafita) indeksom 1. Na slici je pokazana i „fina“ raspodela fluksa u ćeliji, koja se nalazi rešavanjem difuzione jednačine uz odgovarajuće granične uslove za svaku zonu posebno [1]. U slučaju cilindrične simetrije u ćeliji pomenuta jednačina ima oblik modifikovane Bessel-ove jednačine. Na osnovu njenih rešenja moguće je naći sledeće odnose flukseva, koji su potrebni za izračunavanje faktora termičkog iskorišćenja, a time i njegovog temperaturskog koeficijenta.

$$(1) \quad G = \frac{\Phi_u}{\bar{\Phi}_u}, \quad C = \frac{\Phi_k}{\Phi_u}, \quad B = \frac{\bar{\Phi}_k}{\Phi_u}, \quad S = \frac{\bar{\Phi}_m}{\Phi_k}.$$

Upotrebljene oznake srednjih vrednosti flukseva i flukseva na granicama pojedinih sredina su pokazane na sl. 1. U izrazima ovih parametara [2] otvorena je mogućnost uračunavanja temperaturskih promena preseka, epitermalne frakcije fluksa  $\beta$ , odnosno parametra  $r$  u Westcott-ovom preseku, inverznih difuzionih dužina u gorivu i moderatoru, promene izotopskog sastava sa ozračenjem, kao i uticaj ove promene na finu raspodelu fluksa u ćeliji. Preko njih se, međutim, računa faktor  $f_5$ , koji predstavlja odnos brzine apsorpcije termičkih neutrona u  $U^{235}$ , prema ukupnoj brzini apsorpcije termičkih neutrona u ćeliji.

\* Primljeno za štampu 15. maja 1964.



SI. 1

Uobičajeni način definicije [3] faktora  $f$ , koji uračunava u brzinu apsorpcije u gorivu, pored apsorpcije u  $U^{235}$  i brzinu apsorpcije u  $U^{238}$ , dat je sledećim izrazom:

$$(2) \quad \frac{1}{f} = R_1 + R_2 + S_1 + S_2 + B_1.$$

Značenja pojedinih parametara u gornjem izrazu, koji su simbolički predstavljeni veličinama površina ispod krive fluksa na sl. 1, su sledeća:

$R_1$  — predstavlja broj apsorbovanih termičkih neutrona u moderatoru (grafit) kada bi fluks u njemu bio jednak fluksu na površini gorivnog elementa, po jednom apsorbovanom termičkom neutronu u gorivnom elementu za jedinicu vremena. Naziva se „članom relativne apsorpcije u grafitu“.

$R_2$  — predstavlja broj apsorbovanih termičkih neutrona u košuljici (aluminijum), kada bi fluks u aluminijumu bio jednak fluksu na površini gorivnog elementa, po jednom apsorbovanom termičkom neutronu u gorivu, za jedinicu vremena. Naziva se „članom relativne apsorpcije u aluminijumu“.

$S_1$  — predstavlja broj apsorbovanih termičkih neutrona u moderatoru (grafit) usled povišenog fluksa u njemu u odnosu na fluks na unutrašnjoj površini moderatora u ćeliji, za jedinicu vremena. Naziva se „viškom apsorpcije u grafitu“.

$S_2$  — predstavlja povećanje broja apsorbovanih termičkih neutrona u aluminijumu zbog toga što je fluks u aluminijumu veći od fluksa na površini gorivnog elementa, po jednom apsorbovanom termičkom neutronu u gorivu, za jedinicu vremena. Naziva se „članom sopstvenog blokiranja aluminijuma“.

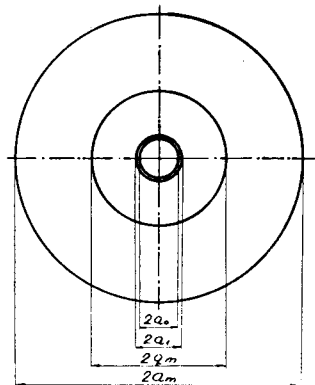
$B_1$  — predstavlja broj termičkih neutrona apsorbovanih u moderatoru (grafit) usled povišenog neutronskog fluksa u njemu, u odnosu na fluks na površini gorivnog elementa, po jednom apsorbovanom termičkom neutronu u gorivu, za jedinicu vremena. Naziva se „članom blokiranja grafita od strane aluminijuma“.

2. Da bi se iskoristila prednost finijeg uračunavanja uticaja temperature na pojedine veličine preko kojih se određuje „fina“ raspodela fluksa u ćeliji [2], odnosno faktor  $f_5$ , a da bi se zadržalo računanje na uobičajeni način definisanog faktora  $f$ , autor je sledećim jednostavnim algebarskim transformacijama odredio vezu između parametara  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $B_1$ , i  $G$ ,  $C$ ,  $B$ ,  $S$ :

$$(3) \quad \begin{aligned} R_1 &= \frac{N_1 \hat{\sigma}_1 V_1 \Phi_u}{N_0 \hat{\sigma}_0 V_0 \bar{\Phi}_u} = \frac{N_1 \hat{\sigma}_1 V_1}{N_0 \hat{\sigma}_0 V_0} G, & R_2 &= \frac{N_2 \hat{\sigma}_2 V_2 \Phi_u}{N_0 \hat{\sigma}_0 V_0 \bar{\Phi}_u} = \frac{N_2 \hat{\sigma}_2 V_2}{N_0 \hat{\sigma}_0 V_0} G, \\ S_1 &= \frac{N_1 \hat{\sigma}_1 V_1 (\bar{\Phi}_m - \Phi_k)}{N_0 \hat{\sigma}_0 V_0 \bar{\Phi}_u} = \frac{N_1 \hat{\sigma}_1 V_1}{N_0 \hat{\sigma}_0 V_0} \left[ \frac{\Phi_u}{\bar{\Phi}_u} \cdot \frac{\bar{\Phi}_m}{\Phi_u} - \frac{\Phi_k \Phi_u}{\bar{\Phi}_u} \right] \\ &= \frac{N_1 \hat{\sigma}_1 V_1 \Phi_u}{N_0 \hat{\sigma}_0 V_0 \bar{\Phi}_u} \left[ \frac{\bar{\Phi}_m \Phi_k}{\Phi_k \bar{\Phi}_u} - \frac{\Phi_k}{\bar{\Phi}_u} \right] = \frac{N_1 \hat{\sigma}_1 V_1}{N_0 \hat{\sigma}_0 V_0} GC(S-1), \\ S_2 &= \frac{N_2 \hat{\sigma}_2 V_2 (\bar{\Phi}_k - \bar{\Phi}_u)}{N_0 \hat{\sigma}_0 V_0 \Phi_u} = \frac{N_2 \hat{\sigma}_2 V_2}{N_0 \hat{\sigma}_0 V_0} \left[ \frac{\bar{\Phi}_k}{\Phi_u} \cdot \frac{\Phi_u}{\bar{\Phi}_u} - \frac{\Phi_u}{\bar{\Phi}_u} \right] = \frac{N_2 \hat{\sigma}_2 V_2}{N_0 \hat{\sigma}_0 V_0} G(B-1), \\ B_1 &= \frac{N_1 \hat{\sigma}_1 V_1 (\Phi_k - \Phi_u)}{N_0 \hat{\sigma}_0 V_0 \bar{\Phi}_u} = \frac{N_1 \hat{\sigma}_1 V_1}{N_0 \hat{\sigma}_0 V_0} \left[ \frac{\Phi_u}{\bar{\Phi}_u} \cdot \frac{\Phi_k}{\Phi_u} - \frac{\Phi_u}{\bar{\Phi}_u} \right] = \frac{N_1 \hat{\sigma}_1 V_1}{N_0 \hat{\sigma}_0 V_0} G(C-1). \end{aligned}$$

Kao i ranije, indeksi 0, 1 i 2 se odnose, respektivno, na gorivo, moderator i košuljicu.  $N$  je atomska gustina dotičnog materijala,  $\hat{\sigma}$  je njegov Westcott-ov presek, a  $V$  odgovarajuća zapremina.

3. Za ilustraciju navedenog postupka izračunat je temperaturski koeficijent faktora  $f$  za ćeliju reaktora Calder Hall, čiji su oblik i dimenzije date na sl. 2.



$$\begin{aligned} a_0 &= 14605 \text{ cm} & a_m &= 5.0165 \text{ cm} \\ a_1 &= 2.029 \text{ cm} & a_2 &= 11.20638 \text{ cm} \\ & \text{sl. 2} \end{aligned}$$

Najpre su izračunati parametri  $G$ ,  $C$ ,  $B$ ,  $S$  na raznim temperaturama, a zatim su preko navedenih konverzionih obrazaca izračunati parametri  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $B_1$ . Preko jednačine (2) je metodom razlika određen temperaturski koeficijent veličine  $f$ ,  $(1/f)$  ( $df/dt$ ). Rezultati toga računanja su dati u tabeli. Radi poređenja izračunat je temperaturski koeficijent faktora termičkog iskorišćenja na način koji je predložen u [1], uz poboljšanje da presek goriva nema „ $1/v$ “ zavisnost. Njegovo odstupanje od „ $1/v$ “ zavisnosti uračunavano je preko korekcionog faktora iz BNL-235. Vrednosti ovako dobijenog temperaturskog koeficijenta su navedene u poslednjoj vrsti tabele. Vidi se da su one za oko 100% veće.

S obzirom na uračunati veliki broj efekata temperature, ovim postupkom dobijeni rezultati su po tačnosti jednaki rezultatima koje daje [2], te time predstavljaju najbolje vrednosti koje difuziona teorija može da pruži u primeni na GCR-tip reaktora.

#### LITERATURA

- [1] Alvin M. Weinberg and Eugen P. Wigner: *The Physical Theory of Neutron Chain Reactors* (prevod na ruski) II, Moskva 1961.
- [2] *The Design of Gas-Cooled Graphite-Moderated Reactors*, Edited by D. R. Poulter London, Toronto, New York Oxford University Press, 1963.
- [3] E. A. Gugenheim, M. H. L. Pryce: *A Quantitative Study of Uranium-Graphite Lattices* A. E. R. E. R/P 922, 1952.

#### Summary

#### CALCULATION OF THE TEMPERATURE COEFFICIENT OF THERMAL UTILISATION FACTOR FOR GCR TYPE REACTORS

*Kerim F. Slipičević*

A mode of calculating the temperature coefficient of the thermal utilisation factor is presented by which more exact expressions for flux structure in the cell are used [2]. However, the usually defined thermal utilisation factor is maintained. Actually, relations in which flux ratios from reference [2] are related to the „relative absorption terms“ from reference [2] are given

To illustrate this method the temperature coefficient of the thermal utilisation factor for the cell of Calder Hall reactor is calculated. The results show that the numerical values obtained in this way are about 50% lower than those obtained according to reference [1].

$T$ (°K)	300	350	400	450	500	550	600
$G$	1,17549	1,16213	1,15129	1,14222	1,13468	1,12820	1,12255
$B$	1,05590	1,05208	1,04886	1,04610	1,04380	1,04191	1,04012
$S$	1,06849	1,06452	1,06137	1,05824	1,05632	1,05411	1,05234
$C$	1,09990	1,09248	1,08641	1,08134	1,07716	1,07352	1,07037
$R_1 \cdot 10^3$	64,787665	64,481055	64,265929	64,159193	63,983017	63,881786	63,779865
$R_2 \cdot 10^3$	7,2551978	7,2207258	7,1967911	7,1848494	7,1653453	7,153729	7,1423399
$B_1 \cdot 10^3$	6,4781502	5,9628835	5,5535388	5,2190070	4,9366584	4,6966461	4,4883577
$S \cdot 10^3$	4,4411862	4,1751448	3,9555679	3,7706369	3,6023333	3,4496260	3,3165266
$S_2 \cdot 10^3$	3,6216276	3,3578478	3,1400316	2,9577360	2,8024570	2,6766447	2,5575706
$(1/f) \frac{df}{dT}$ $\cdot 10^5$	2,562	1,992	1,513	1,272	1,147	1,071	1,038
$(1/f) \frac{df}{dT}$ $\cdot 10^5$	5,02	4,07	3,39	2,88	2,49	2,18	1,93