

ÚJV 2346 • RF

ČESKOSLOVENSKÁ AKADEMIE VĚD
ÚSTAV JADERNÉHO VÝZKUMU

A. MIASNIKOV • J. ROČEK

VÝPOČET KRITICHNOSTI REAKTORU A-1
HETEROGENNÍ METODOU

INFORMAČNÍ STŘEDISKO PRO JADERNOU ENERGII

isje

ÚJV 2346 • RF

A. MIASNIKOV • J. ROČEK

VÝPOČET KRITICHNOSTI REAKTORU A-1
HETEROGENNÍ METODOU

ÚJV 2346-RF

DT 621.039.4.012

Informační středisko Ústavu jaderného výzkumu ČSAV Řež-Praha
Březen 1970

Na základě požadavku HBO-Bobanice v rámci komplexní úlohy C-12/2 "Spuštění elektrárny A 1" a hlavní úlohy "Fyzikální spuštění" byl proveden výpočet kritických výšek stacionárního neutrovaného reaktoru A 1 s různými zaplněními aktivní zóny pomocí programu HECATE 1 založeném na heterogenní metodě /1/.

Byla spočtena serie hodnot k_{eff} v závislosti na výšce reaktoru.

Z výsledného grafu lze odečíst kritické výšky pro jednotlivé varianty. Počítané varianty reaktoru vznikají postupným vytahováním několika grup palivových tyčí z periferní zóny. Na místě palivové tyče zůstává (prázdný) kanál zaplněný CO_2 . Varianty jsou charakterizovány počtem palivových tyčí v periferní zóně. Varianta, při které jsou vytaženy všechny palivové tyče periferní zóny, byla spočtena rovněž pro případ, kdy prázdné kanály jsou nahrazeny moderátorem, abychom ukázali vliv zanedbání prázdných kanálů.

Počítáme reaktor s plnou symetrií. Fyzikální předpoklady viz /1/.

Dále uvádíme přehled spočítaných variant. Označování vytažovaných grup z periferní zóny souřadnicemi viz obr. 1. Každá následující varianta je vytvořena vytažením dalších grup tyčí z předcházející varianty.

Varianta	Počet palivových tyčí v zóně		Vytažené grupy palivových tyčí
	centrální	periferní	
I.	44	104	
II.	44	76	3-12; 7-14; 4-13; 6-14
III.	44	52	6-13; 4-12; 5-13
IV.	44	24	6-12; 4-11; 5-12; 7-13
V.	44	0	6-11; 5-11; 7-12
V.a	44	0	prázdné kanály nahrazeny moderátorem

Grupou elementů (palivových tyčí) nazýváme elementy, které v důsledku geometrického uspořádání a fyzikální symetrie mají stejný průměrný neutronový tok na svém povrchu.

2. Použité konstanty.

Pro heterogenní výpočet reaktoru jsou kromě geometrických údajů zapotřebí fyzikální charakteristiky prostředí (moderátoru) a palivových tyčí nebo prázdných kanálů. Konstanty, potřebné pro heterogenní výpočet byly spočteny programem HEPAR /2/ na základě transportního výpočtu ekvivalentní buňky programem ASPECT /3/. Ekvivalentní buňka byla pro účely výpočtu ASPECTem symetrizována homogenisací palivových oblastí.

Tabulka použitých účinných průřezů v jednotlivých oblastech paliva pro články centrální i periferní zóny je uvedena jako příklad vstupních dat v lit. /2/.

Uvedené makroskopické účinné průřezy pro absorpci Σ_a byly spočteny Westcottovým formalismem s uvažováním odklonu od zákona $1/v$ na základě teplot neutronového plynu spočteného programem ASPECT.

Makroskopické účinné průřezy pro štěpení Σ_f uranu U 235 byly spočteny programem ASPECT středováním energetickým spektrem průběhu σ_f^* v každé palivové oblasti.*

Výsledné hodnoty parametrů, použitých pro vstup programu HECATE 1, jsou uvedeny jako příklad výstupu programu HEPAR v lit. /2/ a zároveň jsou uvedeny v dodatku B (příklad výstupu programu HECATE 1).

3. Numerické výsledky.

Programem HECATE 1 byly spočteny hodnoty k_{eff} pro různé výšky aktivní zóny pro varianty, které jsou specifikovány v kap. 1. Získané závislosti k_{eff} na výšce reaktoru H byly vyneseny v grafu 1.

* Hodnoty Σ_f uváděné v práci /3/ jsme nepoužili, protože zřejmě došlo k záměně počtu jader a oblastí k nim příslušejících. Použili jsme přepočtené hodnoty.

Uvádíme tabulku hodnot k_{eff} v závislosti na H pro varianty I. - V.a.

Varianta H/cm	I.	II.	III.	IV.	V.	V.a
160	0.973 734	0.967 380	0.958 485	0.942 575	0.917 501	0.924 507
170	0.986 894	0.980 455	0.971 421	0.955 264	0.929 897	0.937 543
180	0.998 143	0.991 640	0.982 495	0.966 137	0.940 531	0.948 781
190	1.007 824	1.001 273	0.992 040	0.975 517	0.949 714	0.958 533
200	1.016 209	1.009 622	1.000 318	0.983 659	0.957 693	0.967 044
215	1.026 840	1.020 195	1.010 810	0.993 988	0.967 827	0.977 912
230	1.035 554	1.028 907	1.019 461	1.002 515	0.976 202	0.986 947
250	1.044 977	1.038 312	1.028 811	1.011 740	0.985 274	0.996 796
270	1.052 482	1.045 810	1.036 270	1.019 109	0.992 530	1.004 723
300	1.061 159	1.054 485	1.044 910	1.027 653	1.000 954	—

Z grafu 1 byly odečteny kritické výšky H_{krit} jednotlivých variant.

Kritičnost variant při získaných kritických výškách byla ověřována novým přepočítáním programem HECATE 1. Maximální odchylka od kritického stavu ($k_{eff}-1 = 1.95 \times 10^{-4}$ pro variantu I) odpovídá odchylce od kritické výšky menší než 0,25 cm. (Rozumí se odchylka od kritické výšky, která odpovídá dané metodě a použitým konstantám.)

Uvádíme tabulku krit. výšek H_{krit} a odpovídajících efektivních koeficientů rozmnožení k_{eff} pro danou variantu.

Varianta	I.	II.	III.	IV.	V.	V.a
H_{krit}	182	188.5	199.5	225.5	296	257.5
k_{eff}	1.000 195	0.999 916	0.999 931	1.000 121	0.999 969	0.999 965
$ k_{eff}-1 $	1.95×10^{-4}	8.4×10^{-5}	6.9×10^{-5}	1.21×10^{-4}	3.1×10^{-5}	3.5×10^{-5}

Výsledkem výpočtu prováděného programem HECATE 1 jsou rovněž střední hodnoty neutronového toku na povrchu bloků. Jsou uvedeny pro jednotlivé varianty (výsledky pro $k_{eff} \neq 1$) v následující tabulce.

Grupa tyčů	Polární souřadnice		V a r i a n t a					
	r	φ	I.	II.	III.	IV.	V.	V.a
7-08	18.349	0.785	0.954	0.982	1.036	1.128	1.244	1.014
7-09	41.031	0.322	0.917	0.937	0.979	1.047	1.121	0.926
6-09	55.048	0.785	0.882	0.894	0.924	0.968	1.004	0.842
7-10	66.160	0.197	0.847	0.853	0.872	0.894	0.901	0.769
6-10	75.657	0.540	0.818	0.816	0.823	0.824	0.812	0.710
7-11	91.747	0.142	0.755	0.740	0.729	0.697	0.656	0.599
5-10	91.747	0.785	0.755	0.741	0.725	0.693	0.651	0.599
6-11	98.815	0.405	0.756	0.737	0.713	0.671	0.903	0.878
5-11	111.615	0.620	0.693	0.660	0.616	0.560	0.724	0.742
7-12	117.494	0.111	0.660	0.618	0.580	0.513	0.649	0.676
6-12	123.092	0.322	0.630	0.586	0.540	0.688	0.590	0.633
4-11	128.446	0.785	0.593	0.547	0.493	0.613	0.519	0.570
5-12	133.586	0.507	0.561	0.512	0.457	0.564	0.465	0.522
7-13	143.314	0.091	0.499	0.442	0.394	0.465	0.375	0.427
6-13	147.938	0.266	0.467	0.411	0.527	0.422	0.333	0.392
4-12	147.938	0.661	0.463	0.415	0.511	0.416	0.329	0.389
5-13	156.778	0.427	0.409	0.355	0.436	0.338	0.265	0.321
3-12	165.145	0.785	0.353	0.438	0.357	0.271	0.213	0.262
7-14	169.173	0.077	0.327	0.399	0.335	0.245	0.192	0.240
4-13	169.173	0.567	0.326	0.402	0.325	0.242	0.191	0.237
6-14	173.108	0.227	0.303	0.367	0.305	0.220	0.172	0.216

Střední hodnoty toků na povrchu bloků byly vyneseny do grafu ξ , při čemž byly bloky seřazeny podle vzdálenosti r od osy reaktoru. Získané body byly (pouze pro názornost) spojeny hladkou křivkou. Upozorňujeme, že křivky neodpovídají skutečnému průběhu toku v reaktoru. Jednak není zachyceno převýšení toku v moderátoru mezi bloky, jednak seřazením bloků podle vzdálenosti r od počátku souřadnic bez ohledu na polární úhel φ (tedy bez ohledu na skutečnou polohu bloku) je zanedbána asymetrie rozložení toku.

Vzhledem k pravidelnosti měříte je asymetrie rozložení toku velmi malá, jak je patrné z hodnot pro dvojice grup tyčů se stejnou vzdáleností od počátku (grupy: 7-11 a 5-10; 6-13 a 4-12; 7-14 a 4-13) - hodnoty toků se liší asi o 1%. Získané křivky odpovídají spíše průběhu neutronového toku v homogenněovaném reaktoru a mohou být využity pro srovnání a výsledky výpočtů homogenní metodou.

V Dodatku A je uveden příklad vstupních dat pro výšku reaktoru $h = 200$ cm s postupným prováděním výměn palivových tyčí za prázdné kanály a nakonec nahrazení prázdných kanálů moderátorem.

V Dodatku B je uveden příklad výstupu pro předchozí data.

4. Závěr.

Výsledky výpočtů prováděné heterogenním programem HECATE 1 samozřejmě závisí na vstupních parametrech, Vstupní parametry, které jsou počítány programem HEPAR, opět závisí na vstupních konstantách, které jsou získávány jednak jako výsledky výpočtu buňky, jednak jako tabelované konstanty. Na některých údajích jsou výsledky výpočtu obzvláště silně závislé. Platí to zejména o údajích týkajících se U235, u kterých se hodnoty udávané různými autory od sebe značně liší. Např. v procentovém obsahu U235 v přírodním uranu (od 0.705 do 0.7205 %) nebo v koeficientu výtěžku neutronů ν (tato hodnota je udávána v rozmezí 2.43 až 2.47). Rozdíly v těchto základních údajích představují rozdíl v kritických výškách řádově až desítky cm.

Následující tabulka kritických výšek h závislosti na počtu článků v periferní zóně obsahuje srovnání výsledků výpočtů programem HECATE 1 (pro $\nu = 2.45$, $\nu = 2.47$) s výsledky jedné homogenizační metody /4/ a s experimentálními výsledky získanými v ITEFu /5/.

VAR	Počet palivových článků v periferní zóně	ITeF	RANA	$\nu = 2.45$ a)	$\nu = 2.47$ a)	$\nu = 2.47$ b)
I.	104	157 [±] 11	170,2	182	174	166
II.	76	164 [±] 7%	173,2	188,5	180	172
III.	52	174 [±] 7%	178,6	199,5	189,5	181,5
IV.	24	198 [±] 7%	190,6	225,5	212	204
V.	0	253 [±] 7%	210,3	296	268	260

a) Včetně extrapolované délky

b) Odečtena extrapolovaná délka 2x4 cm

Autoři této zprávy neměli k dispozici údaje o podmínkách kritického experimentu provedeného v ITEFu potřebné pro srovnání. (Zahrnutí vlivu reflektoru na spodní podstavě, měření kritických výšek ode dna nádoby aktivní zóny či od spodního okraje palivového článku, jsou nejdůležitější chybějící údaje.) Vzhledem k nedostatku informací o použité metodě měření a rovněž vzhledem k udané - poměrně značné - nepřesnosti měření, se autoři spokojili faktem, že charakter křivek získaných experimentální metodou a výpočty programem HECATE 1 (graf 3) je podobný. Lze vidět, že po odečtení extrapolovaných délek se křivka pro $\nu = 2.47$ blíží experimentální křivce. Případným zahrnutím vlivu reflektoru na spodní podstavě, se shoda ještě zlepší.

Postačujícím přiblížením zahrnutí vlivu reflektoru na podstavě, dokud není k dispozici trojrozměrný kód, asi bude odečítání konstantní hodnoty, odpovídající "efektivnímu přídavku na reflektor" podle A.D. Galanina, od spočtené kritické výšky.

Rozdíl v charakteru křivek získaných homogenizační metodou /5/ a získaných programem HECATE 1 bude podstatně menší při použití konsistentních konstant. Zejména zahrnutím vlivu prázdných kanálů na konstanty homogenisovaného moderátoru v /5/ se zvýší kritické výšky variant II, III, IV, V.

Chceme ještě upozornit, že při výpočtu konstant moderátoru programem HEPAR pro všechny varianty, byly do rozptylové vlastnosti moderátoru zahrnuty i rozptylové vlastnosti všech palivových tyčí, což odpovídá variantě I. U ostatních variant (II, III, IV, V, Va) dochází k určitému zkreslení konstant L^2 , τ , D . K největšímu zkreslení dochází u varianty V. resp. V.a (-6.2% v k_{eff} při krit.výšce $H_{\text{krit}}=296$ cm), kde jsou vytaženy všechny palivové tyče z periferní zóny a na jejich místě zůstávají pouze kanály plněné D_2 . Tím se poněkud sníží moderační schopnost moderátoru, vzroste L^2 a τ , zvýší se únik.

Přímým výpočtem je však tato skutečnost nadhodnocena, protože středované konstanty L^2 , τ , D jsou používány v celém rozsahu aktivní zóny, tedy i v oblasti za krajními prázdnými kanály. Zde je ovšem vrstva čistého moderátoru, který působí jako účinnější reflektor než reflektor se středovanými hodnotami použitý ve výpočtu.

Tedy chyba, které se dopouštíme při výpočtu ostatních variant, používáním konstant platných pro moderátor u varianty I, je ve skutečnosti nižší, zato nám však umožňuje mnohonásobně ($\sim 4^*$) snížit výpočtový čas.

Autoři se domnívají, že po získání dostatečně přesných údajů, lze získat odpovídající výsledky vhodnou volbou ν . Pravděpodobně nejvhodnější variantou pro provedení korelace je varianta V, kde je kritická výška nejvíce citlivá na zvolené ν .

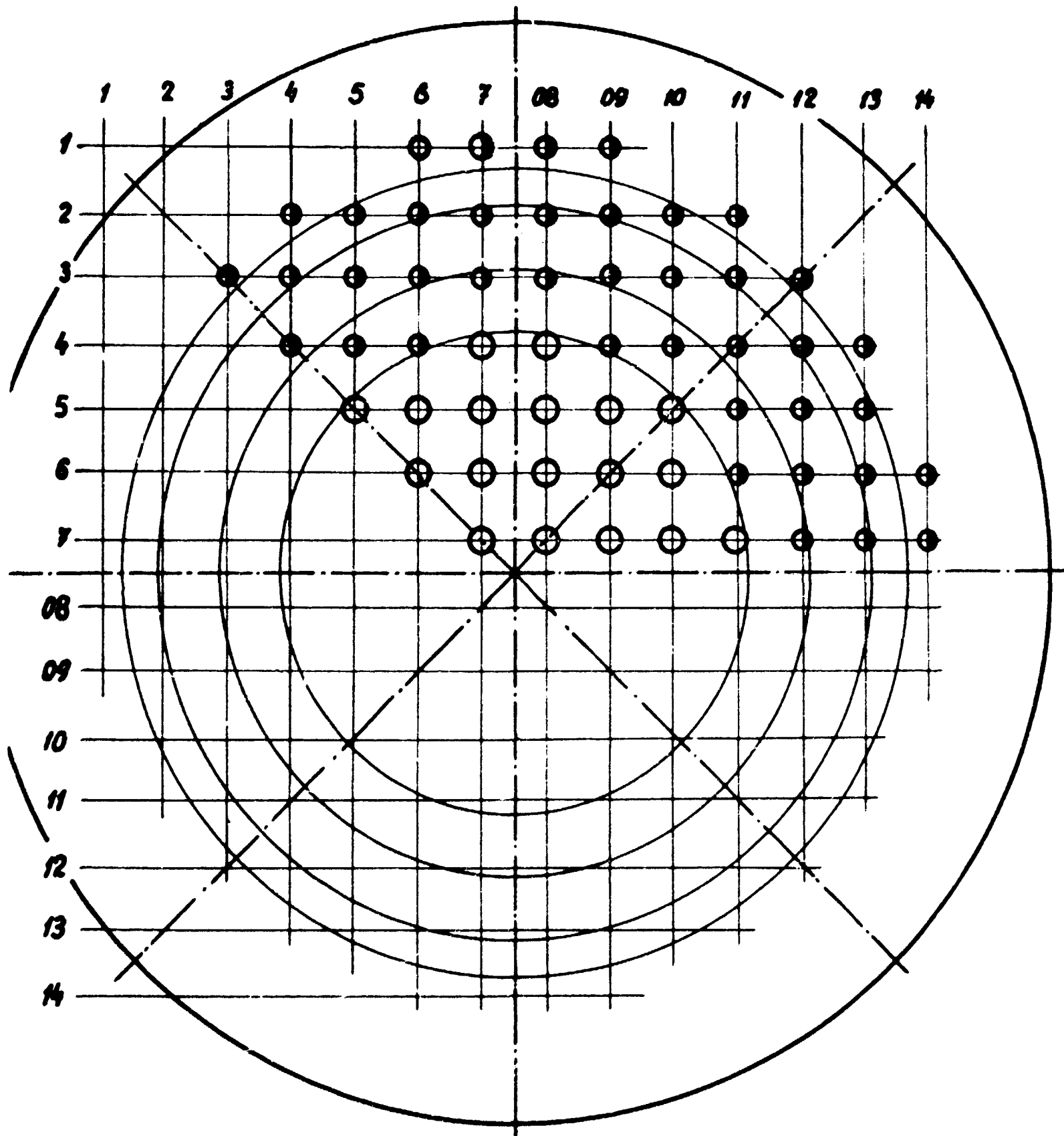
Literatura :

- /1/ J. Roček - A. Miasnikov : Program HECATE 1.
Výpočet kritického parametru heterogenního reaktoru heterogenní metodou.
ÚJV 2196-K,P
- /2/ J. Roček : Program HEPAR.
Výpočet parametrů rovnic heterogenní metody na základě transportního řešení v buňce.
V tisku.
- /3/ M. Hron : Prostorové a energetické rozložení tepelných neutronů v mříži A-1.
ÚJV 2256-RF
- /4/ Shanta Rana : Kritické výšky reaktoru A-1.
Soukromé sdělení.
- /5/ Výsledky kritického experimentu pro A-1 provedené v IIEFu.
Sdělení zadavatele (EBO).

Geometrie aktivní zony A1

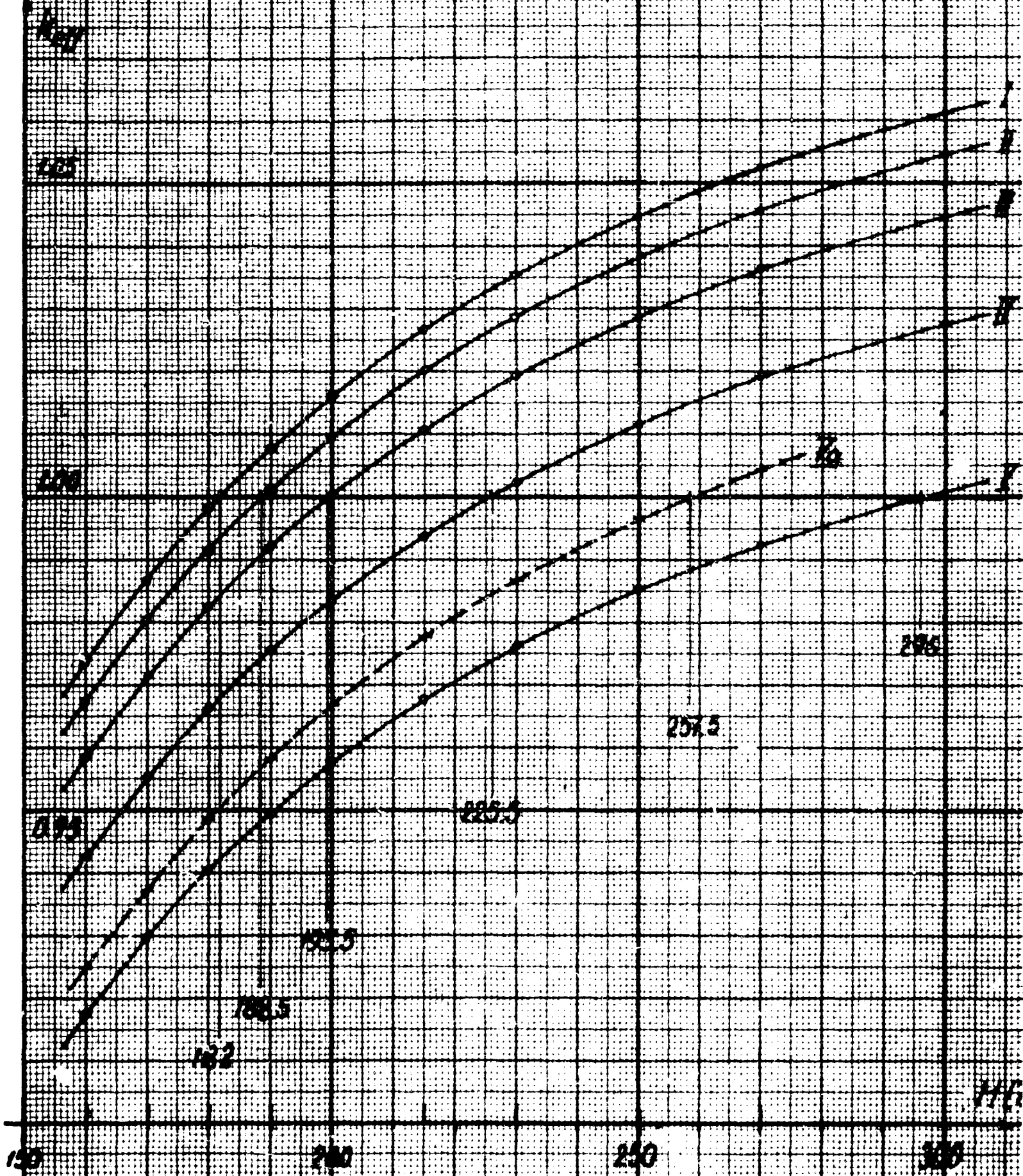
● palivový členek periferní zony

○ palivový členek centrální zony



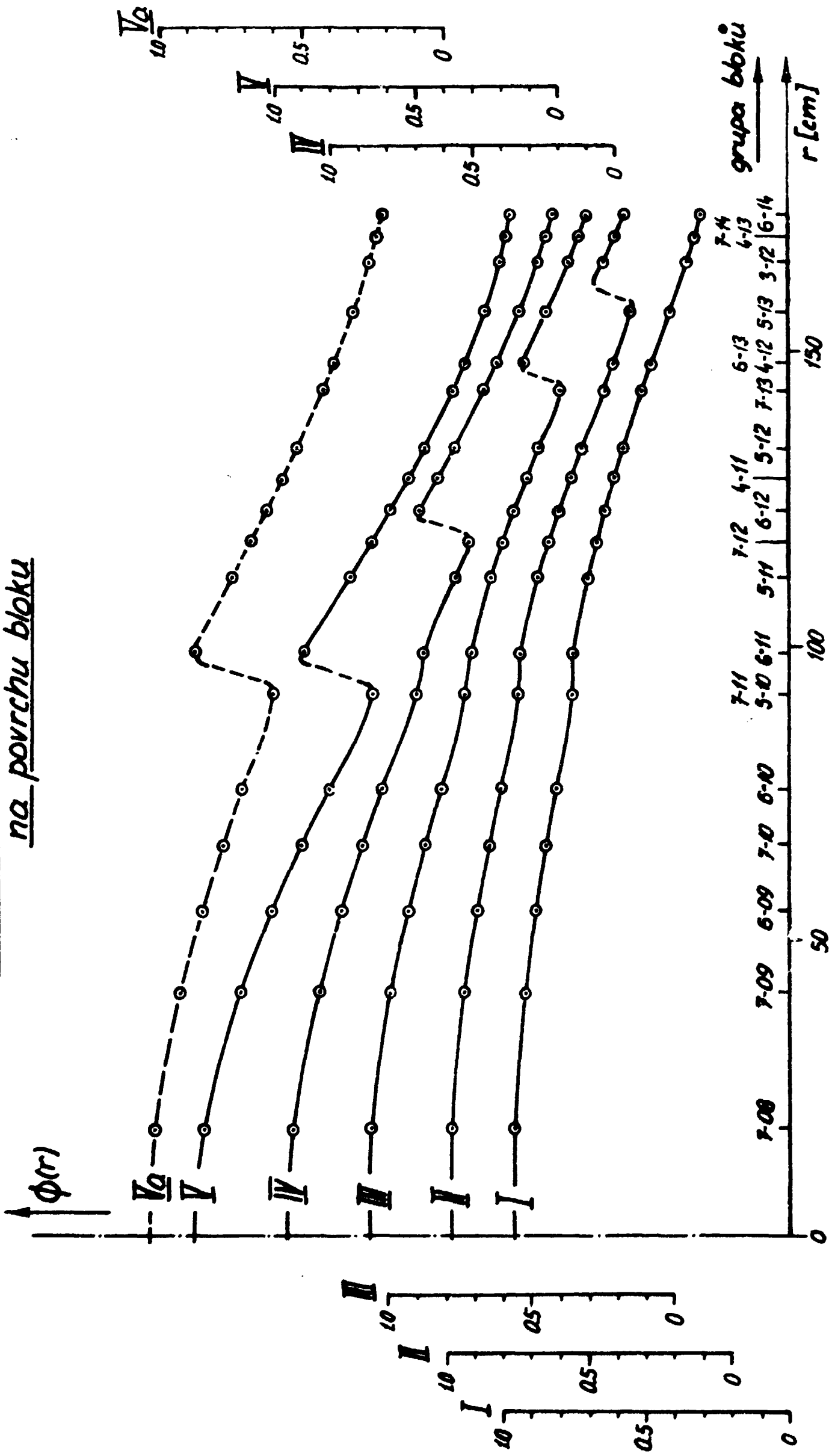
Obr. 1

Závislost K_{eff} na výšce reaktoru
 při různých zaplněních periferní zóny



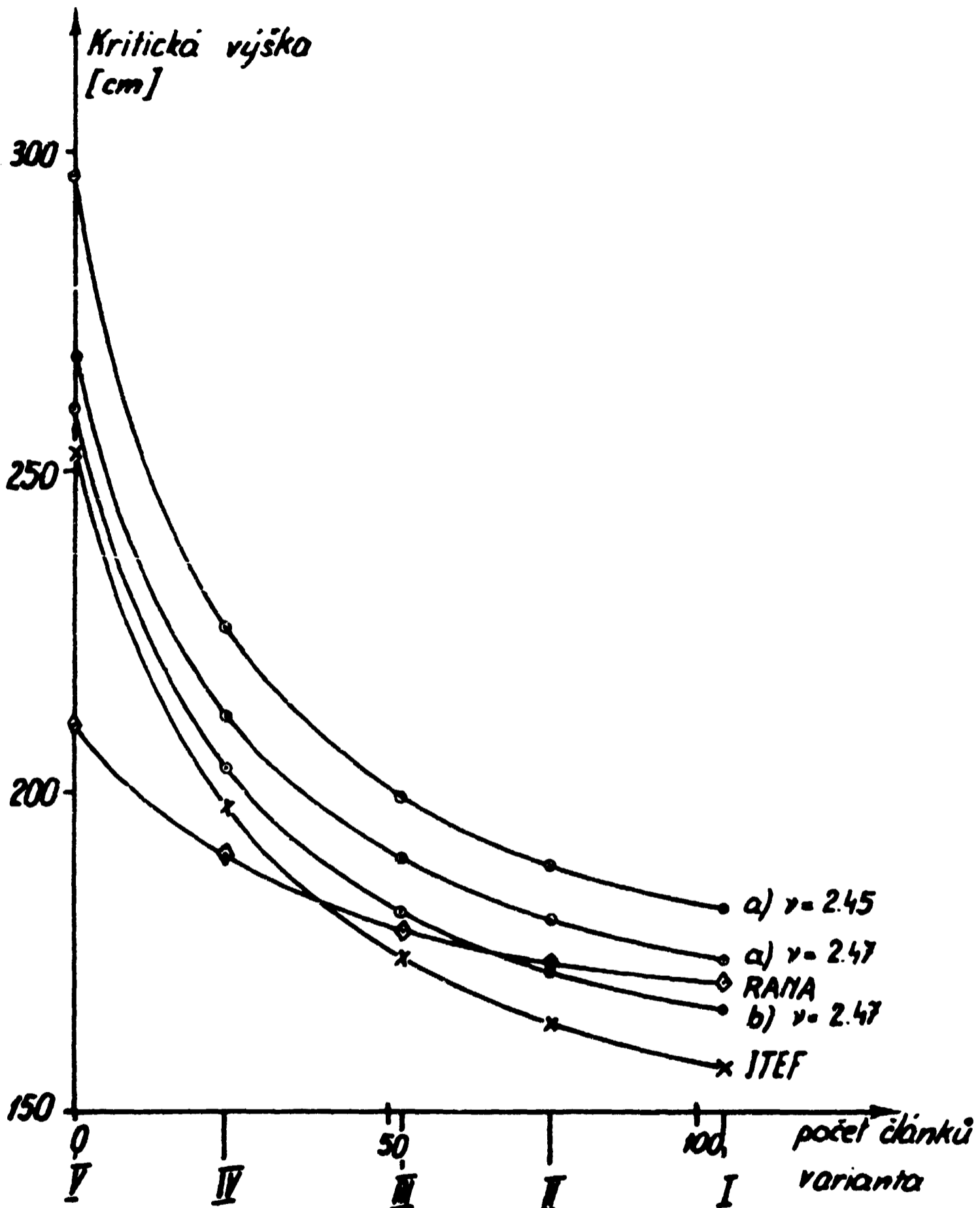
Graf 1

Střední hodnota neutronového toku
na povrchu bloku



Graf 2

Závislost kritické výšky
na počtu článků v periferní zóně



Graf 3

D O D A T E K A

Příklad vstupních dat

pro program

H E C A T E 1

dat 071169

(REAKTOR A1 H=200
SPEKTRUM - ASPECT
TOK - ASPECT
KONSTANTY - HEPAR)

R 222
H 200
LS 9833.27
LF 163.23
DS 1.019544

eps 10^{-5}
teps 10^{-4}
maxi 20
maxt 28
mini 10
fleps 10^{-3}
imeps 10^{-3}
min 0
mout 0

NEL 4

EIN	ETY	ERA	EGA	ETA
1	0	6.4	5.1121	1.1480
2	0	5.75	4.0949	1.1830
10	2	6.4	0.2209	
20	2	5.75	0.1773	

G 4
PX 12.975
PY 12.975
NGR 21

GIN	GNE	GEIN	GX	GY
708	4	1	1	1
709	8	1	3	1
609	4	1	3	3
710	8	1	5	1
610	8	1	5	3
711	8	1	7	1
510	4	1	5	5
611	8	2	7	3
511	8	2	7	5
712	8	2	9	1
612	8	2	9	3
411	4	2	7	7
512	8	2	9	5
713	8	2	11	1
613	8	2	11	3
412	8	2	9	7
513	8	2	11	5
312	4	2	9	9
714	8	2	13	1
413	8	2	11	7
614	8	2	13	3
BNC	1			
L	4			

GIN	GEIN
312	20
714	20
413	20
614	20

BNC	1
L	3

GIN	GEIN
613	20
412	20
513	20

	1	
	4	
	70	30
	810	0
	411	20
	310	20
	710	20
BNC	1	
1	3	
	BIN	GEIN
	011	20
	011	20
	711	20
BNC		
	14	
	BNC	GEIN
	310	0
	714	0
	410	0
	714	0
	310	0
	412	0
	210	0
	310	0
	411	0
	512	0
	710	0
	611	0
	511	0
	712	0
BNC	0	
AE		
BIN	1	

D O D A T E K B

Příklad výstupu
programu

H E C A T E 1

PROGRAM HECATE 1

J.ROCEK - A.MIASNIKOV

1.2.1969, UJV, REZ

DATE OF CALCULATION 7.11.1969

PROBLEM

REAKTOR A1

N=200

SPECTRUM - ASPECT
 TOK - ASPECT
 KONSTANTY - HEPAR.

REACTOR RADIUS
 REACTOR HEIGHT

222.0
 200.0

THERMAL DIFFUSION AREA
 FAST DIFFUSION AREA
 THERMAL DIFFUSION CONSTANT

9853
 163.2
 1.020

THERMAL RELAXATION CONSTANT
 FAST RELAXATION CONSTANT

1.867₁₀-2
 7.983₁₀-2

ACCURACY

REL.ERROR IN EIGENVALUE
 REL.ERROR IN MATRIX ELEMENT
 MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS
 MAXIMUM NUMBER OF TERMS IN SERIES
 MINIMUM NUMBER OF ITERATIONS
 REL.ERROR IN FLUX
 REL.ERROR IN IMPORTANCE

1.0₁₀-5
 1.0₁₀-4
 20
 28
 10
 1.0₁₀-3
 1.0₁₀-3

FUNDAMENTAL MATRIX IS CALCULATED

TABLE OF ELEMENTS

NAME AND TYPE OF ELEMENT	RADIUS	GAMMA	ETA
0 QUASI-ELEMENT	0.000	0.00000	
1 FUEL ELEMENT WITH VARIABLE ETA	6.400	5.11210	1.14800
2 FUEL ELEMENT WITH VARIABLE ETA	5.750	4.09490	1.18300
10 CONTROL ELEMENT	6.400	0.22090	
20 CONTROL ELEMENT	5.750	0.17730	

COORDINATES IN GROUPS

SYMMETRY TYPE

4

LATTICE PITCH X

12.97

LATTICE PITCH Y

12.97

GROUP NAME	NUMBER OF ELEMENTS	CARTESIAN COO.		POLAR COO.	
		X	Y	R	FI
708	4	12.975	12.975	18.349	0.785
709	8	38.925	12.975	41.031	0.322
609	4	38.925	38.925	55.048	0.785
710	8	64.875	12.975	66.160	0.197
610	8	64.875	38.925	75.657	0.540
711	8	90.825	12.975	91.747	0.142
510	4	64.875	64.875	91.747	0.785
611	8	90.825	38.925	98.815	0.405
511	8	90.825	64.875	111.615	0.620
712	8	116.775	12.975	117.494	0.111
612	8	116.775	38.925	123.092	0.322
411	4	90.825	90.825	128.446	0.785
512	8	116.775	64.875	133.586	0.507
713	8	142.725	12.975	143.314	0.091
613	8	142.725	38.925	147.938	0.266
412	8	116.775	90.825	147.938	0.661
513	8	142.725	64.875	156.778	0.427
312	4	116.775	116.775	165.145	0.785
714	8	168.675	12.975	169.173	0.077
413	8	142.725	90.825	169.173	0.567
614	8	168.675	38.925	173.108	0.227

ELEMENTS IN GROUPS
AND RESONANCE ESCAPE PROBABILITY (REP)

GROUP NAME	ELEMENT NAME	REP
708	1	1
709	1	1
609	1	1
710	1	1
610	1	1
711	1	1
510	1	1
611	2	1
511	2	1
712	2	1
612	2	1
411	2	1
512	2	1
713	2	1
613	2	1
412	2	1
513	2	1
312	2	1
714	2	1
413	2	1
614	2	1

SOLUTION

NUMBER OF ITERATIONS 20
CRITICALITY FACTOR K_{EFF} (EIGENVALUE) 1.016209
RELATIVE ERROR OF K_{EFF} 1.1₁₀-6
RELATIVE ERROR OF FLUX 2.3₁₀-4
RELATIVE ERROR OF IMPORTANCE 1.8₁₀-3

GROUP NO	NAME	EIGENVECTOR FLUX	IMPORTANCE
1	708	9.444257 ₁₀ -1	9.060293 ₁₀ -1
2	709	9.090964 ₁₀ -1	1.750454
3	609	8.746992 ₁₀ -1	8.446486 ₁₀ -1
4	710	8.419011 ₁₀ -1	1.628623
5	610	8.134350 ₁₀ -1	1.568725
6	711	7.529894 ₁₀ -1	1.448561
7	510	7.537982 ₁₀ -1	7.239790 ₁₀ -1
8	611	7.578223 ₁₀ -1	1.149216
9	511	6.944483 ₁₀ -1	1.048158
10	712	6.615038 ₁₀ -1	1.000505
11	612	6.320686 ₁₀ -1	9.498840 ₁₀ -1
12	411	5.964463 ₁₀ -1	4.485164 ₁₀ -1
13	512	5.649204 ₁₀ -1	8.485467 ₁₀ -1
14	713	5.032628 ₁₀ -1	7.578921 ₁₀ -1
15	613	4.713730 ₁₀ -1	7.065999 ₁₀ -1
16	412	4.679866 ₁₀ -1	7.010766 ₁₀ -1
17	513	4.137808 ₁₀ -1	6.081523 ₁₀ -1
18	312	3.584411 ₁₀ -1	2.578947 ₁₀ -1
19	714	3.317098 ₁₀ -1	4.885404 ₁₀ -1
20	413	3.314448 ₁₀ -1	4.742021 ₁₀ -1
21	614	3.081595 ₁₀ -1	4.417692 ₁₀ -1

PROGRAM HECATE 1

ELEMENTS IN GROUPS
AND RESONANCE ESCAPE PROBABILITY (REP)

GROUP NAME	ELEMENT NAME	REP
105	1	1
209	1	1
309	1	1
410	1	1
510	1	1
610	1	1
711	1	1
811	1	1
911	2	1
111	2	1
212	2	1
312	2	1
411	2	1
512	2	1
713	2	1
613	2	1
412	2	1
513	2	1
312	20	
714	20	
413	20	
614	20	

SOLUTION

NUMBER OF ITERATIONS 18
CRITICALITY FACTOR KEFF (EIGENVALUE) 1.009622
RELATIVE ERROR OF KEFF 7.3×10^{-7}
RELATIVE ERROR OF FLUX 3.1×10^{-4}
RELATIVE ERROR OF IMPORTANCE 9.1×10^{-4}

GROUP		EIGENVECTOR	
NO	NAME	FLUX	IMPORTANCE
1	708	9.824862×10^{-1}	1.010002
2	709	9.392544×10^{-1}	1.933113
3	609	8.972395×10^{-1}	9.239438×10^{-1}
4	710	8.567389×10^{-1}	1.763580
5	610	8.211431×10^{-1}	1.681998
6	711	7.458697×10^{-1}	1.518667
7	510	7.476753×10^{-1}	7.600961×10^{-1}
8	611	7.441340×10^{-1}	1.192543
9	511	6.684521×10^{-1}	1.062603
10	712	6.265113×10^{-1}	9.961316×10^{-1}
11	612	5.940705×10^{-1}	9.371183×10^{-1}
12	411	5.552037×10^{-1}	4.356769×10^{-1}
13	512	5.205203×10^{-1}	8.151221×10^{-1}
14	713	4.501163×10^{-1}	6.879218×10^{-1}
15	613	4.194515×10^{-1}	6.403920×10^{-1}
16	412	4.234987×10^{-1}	6.346688×10^{-1}
17	513	3.632042×10^{-1}	5.402997×10^{-1}
18	312	4.508092×10^{-1}	0.000000
19	714	4.106232×10^{-1}	0.000000
20	413	4.142045×10^{-1}	0.000000
21	614	3.75563×10^{-1}	0.000000

ELEMENTS IN GROUPS
AND RESONANCE ESCAPE PROBABILITY (REP)

GROUP NAME	ELEMENT NAME	REP
708	1	1
709	1	1
609	1	1
710	1	1
610	1	1
711	1	1
510	1	1
611	2	1
511	2	1
712	2	1
612	2	1
411	2	1
512	2	1
713	2	1
613	20	
412	20	
513	20	
312	20	
714	20	
413	20	
614	20	

SOLUTION

NUMBER OF ITERATIONS 17

CRITICALITY FACTOR KEFF (EIGENVALUE) 1.000318

RELATIVE ERROR OF KEFF 6.2×10^{-7}

RELATIVE ERROR OF FLUX 2.9×10^{-4}

RELATIVE ERROR OF IMPORTANCE 8.1×10^{-4}

GROUP NO	NAME	EIGENVECTOR FLUX	IMPORTANCE
1	708	1.029942	1.145105
2	709	9.736903×10^{-1}	2.167133
3	609	9.187236×10^{-1}	1.022979
4	710	8.673188×10^{-1}	1.930475
5	610	8.186507×10^{-1}	1.813369
6	711	7.258547×10^{-1}	1.597940
7	510	7.218903×10^{-1}	7.933341×10^{-1}
8	611	7.094977×10^{-1}	1.228528
9	511	6.136318×10^{-1}	1.048044
10	712	5.772496×10^{-1}	9.866193×10^{-1}
11	612	5.378978×10^{-1}	8.932180×10^{-1}
12	411	4.911882×10^{-1}	3.981302×10^{-1}
13	512	4.550725×10^{-1}	7.307952×10^{-1}
14	713	3.929869×10^{-1}	6.301649×10^{-1}
15	613	5.246408×10^{-1}	0.000000
16	412	5.086039×10^{-1}	0.000000
17	513	4.344343×10^{-1}	0.000000
18	312	3.560168×10^{-1}	0.000000
19	714	3.338369×10^{-1}	0.000000
20	413	3.238260×10^{-1}	0.000000
21	614	3.037626×10^{-1}	0.000000

ELEMENTS IN GROUPS
AND RESONANCE ESCAPE PROBABILITY (REP)

GROUP NAME	ELEMENT NAME	RP
708	1	1
709	1	1
609	1	1
710	1	1
610	1	1
711	1	1
510	1	1
611	2	1
511	2	1
712	2	1
612	20	
411	20	
512	20	
713	20	
613	20	
412	20	
513	20	
312	20	
714	20	
413	20	
614	20	

SOLUTION

NUMBER OF ITERATIONS 15

CRITICALITY FACTOR KEFF (EIGENVALUE) 0.933659

RELATIVE ERROR OF KEFF 7.0×10^{-7}

RELATIVE ERROR OF FLUX 2.7×10^{-4}

RELATIVE ERROR OF IMPORTANCE 8.9×10^{-4}

GROUP NO	NAME	EIGENVECTOR	
		FLUX	IMPORTANCE
1	708	1.092338	1.385932
2	709	1.011607	2.569765
3	609	9.336628×10^{-1}	1.186650
4	710	8.606543×10^{-1}	2.186541
5	610	7.916273×10^{-1}	2.001080
6	711	6.658626×10^{-1}	1.664634
7	510	6.623492×10^{-1}	8.267605×10^{-1}
8	611	6.381653×10^{-1}	1.230112
9	511	5.288034×10^{-1}	9.808209×10^{-1}
10	712	4.835422×10^{-1}	8.951848×10^{-1}
11	612	6.418333×10^{-1}	0.000000
12	411	5.702151×10^{-1}	0.000000
13	512	5.213985×10^{-1}	0.000000
14	713	4.277368×10^{-1}	0.000000
15	613	3.864273×10^{-1}	0.000000
16	412	3.796211×10^{-1}	0.000000
17	513	3.064967×10^{-1}	0.000000
18	312	2.436086×10^{-1}	0.000000
19	714	2.241716×10^{-1}	0.000000
20	413	2.175974×10^{-1}	0.000000
21	614	1.979810×10^{-1}	0.000000

ELEMENTS IN GROUPS
AND RESONANCE ESCAPE PROBABILITY (REP)

GROUP NAME	ELEMENT NAME	REP
708	1	1
709	1	1
609	1	1
710	1	1
610	1	1
711	1	1
510	1	1
611	20	
511	20	
712	20	
612	20	
411	20	
512	20	
713	20	
613	20	
412	20	
513	20	
312	20	
714	20	
413	20	
614	20	

SOLUTION

NUMBER OF ITERATIONS 13
 CRITICALITY FACTOR KEFF (EIGENVALUE) 0.957693
 RELATIVE ERROR OF KEFF 3.8×10^{-7}
 RELATIVE ERROR OF FLUX 1.7×10^{-4}
 RELATIVE ERROR OF IMPORTANCE 6.9×10^{-4}

GROUP NO	NAME	EIGENVECTOR	
		FLUX	IMPORTANCE
1	708	1.147168	1.770693
2	709	1.027277	3.173031
3	609	9.135431×10^{-1}	1.409993
4	710	8.128990×10^{-1}	2.496238
5	610	7.237569×10^{-1}	2.167915
6	711	5.716488×10^{-1}	1.651138
7	510	5.658463×10^{-1}	8.119957×10^{-1}
8	611	7.662760×10^{-1}	0.000000
9	511	5.969380×10^{-1}	0.000000
10	712	5.309330×10^{-1}	0.000000
11	612	4.737842×10^{-1}	0.000000
12	411	4.108708×10^{-1}	0.000000
13	512	3.635127×10^{-1}	0.000000
14	713	2.860826×10^{-1}	0.000000
15	613	2.518834×10^{-1}	0.000000
16	412	2.484751×10^{-1}	0.000000
17	513	1.960319×10^{-1}	0.000000
18	312	1.542676×10^{-1}	0.000000
19	714	1.389727×10^{-1}	0.000000
20	413	1.372439×10^{-1}	0.000000
21	614	1.231987×10^{-1}	0.000000

ELEMENTS IN GROUPS
AND RESONANCE ESCAPE PROBABILITY (REP)

GROUP NAME	ELEMENT NAME	REP
708	1	1
709	1	1
609	1	1
710	1	1
610	1	1
711	1	1
510	1	1
611	0	
511	0	
712	0	
612	0	
411	0	
512	0	
713	0	
613	0	
412	0	
513	0	
312	0	
714	0	
413	0	
614	0	

SOLUTION

NUMBER OF ITERATIONS 10

CRITICALITY FACTOR KEFF (EIGENVALUE) 0.967044

RELATIVE ERROR OF KEFF 2.6×10^{-7}

RELATIVE ERRR OF FLUX 3.2×10^{-4}

RELATIVE ERROR OF IMPORTANCE 2.2×10^{-4}

GROUP NO	NAME	EIGENVECTOR	
		FLUX	IMPORTANCE
1	708	1.105864	1.714218
2	709	1.002084	3.105427
3	609	9.036119×10^{-1}	1.397855
4	710	8.169356×10^{-1}	2.509911
5	610	7.447256×10^{-1}	2.221469
6	711	6.141447×10^{-1}	1.755600
7	510	6.111045×10^{-1}	8.669257×10^{-1}
8	611	8.790409×10^{-1}	0.000000
9	511	7.226589×10^{-1}	0.000000
10	712	6.529758×10^{-1}	0.000000
11	612	6.022847×10^{-1}	0.000000
12	411	5.353295×10^{-1}	0.000000
13	512	4.851930×10^{-1}	0.000000
14	713	3.969701×10^{-1}	0.000000
15	613	3.547911×10^{-1}	0.000000
16	412	3.511417×10^{-1}	0.000000
17	513	2.851521×10^{-1}	0.000000
18	312	2.295870×10^{-1}	0.000000
19	714	2.096211×10^{-1}	0.000000
20	413	2.063484×10^{-1}	0.000000
21	614	1.870016×10^{-1}	0.000000