

Optimalizácia ukladania palivových kaziet v BSVP blokov EMO12

G. Farkas¹, K. Krištofová¹, K. Kaprinayová¹, P. Hausner¹, P. Petriska¹, V. Slugeň¹,
P. Pálení²

¹STU FEI ÚJFI, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

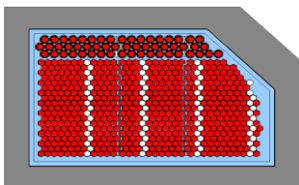
²SE a.s., JE Mochovce

gabriel.farkas@stuba.sk

1

Ciel'

- **Aktuálne** ⇒ požadovaná **podkritickosť** kompaktnej mreže BSVP EMO12 zabezpečovaná → **štyrmi prázdnyimi radmi PK** → zníženie skladovacej kapacity o 71 PK.



- **Analýza využitia** ⇒ vyradovaných **absorpčných častí** ARK kaziet z AZ → za účelom zvýšenia **operatívnej kapacity** KM BSVP EMO12.
- **Zrušenie prázdnych radov PK** a **optimálne rozmiestnenie minimálneho počtu absorbátorov** tak, aby bola zabezpečená legislatívna požiadavka **bezpečnej podkritickosti** minimálne 5 % vo všetkých prevádzkových stavoch, resp. 2 % počas prevádzkových udalostí, podľa vyhl. ÚJD SR č. 30/2012 Z. z.

2

Metodika výpočtu

- **Stanovenie k_{eff}^{max}** → transportný Monte Carlo kód MCNP5 + knižnice jadrových dát na báze ENDF/B-VII.0.
- **Validačný (benchmark) výpočet** → určenie systematickej chyby výpočtu (bias) spôsobenej samotnou metódou MC a použitými účinnno-príreznými knižnicami.
- **Validačný výpočet** → založený na bechmark úlohe **BaW XI(2)** zo súboru validačných úloh: „*Critical Validation Suite*“. (International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments, NEA/NSC/DOC(95)3, OECD Nuclear Energy Agency, 2006)
- **BaW XI(2)** → definovaná ako heterogénna sústava PP z nízko obohateného uránu v štvorcovej mreži, kde moderátor a reflektor tvorí ľahká voda s určitou koncentráciou kyseliny boritej.

3

Validačná úloha BaW XI (2) - výsledky

Experiment	k_{eff}^{exp}	1,0007
	σ_{exp}	0,0012
Výpočet s ENDF/B-VI	k_{eff}^{cal}	0,99626
	σ_{cal}	0,00066
	Δ_{bias}	0,00444
	σ_{bias}	0,00137
Výpočet s ENDF/B-VII.0	k_{eff}^{cal}	1,00059
	σ_{cal}	0,00076
	Δ_{bias}	0,00011
	σ_{bias}	0,00142
Výpočet s JENDL-3.3	k_{eff}^{cal}	0,99801
	σ_{cal}	0,00069
	Δ_{bias}	0,00269
	σ_{bias}	0,00138

Systematická chyba a jej neistota

$$\Delta_{bias} = k_{eff}^{bench} - k_{eff}^{calcul}$$

$$\sigma_{bias} = \sqrt{\sigma_{bench}^2 + \sigma_{calcul}^2}$$

Validácia MCNP5 na benchmark úlohe BaW XI (2) s knižnicami ENDF/B-VII.0 → prijateľná korelácia medzi experimentom a numerickým výpočtom.

$$\Delta_{bias} = 0,00011 \rightarrow \text{korekcia výsledku MC výpočtu } k_{eff}$$

$$\sigma_{bias} = 0,00142.$$

4

Metodika výpočtu

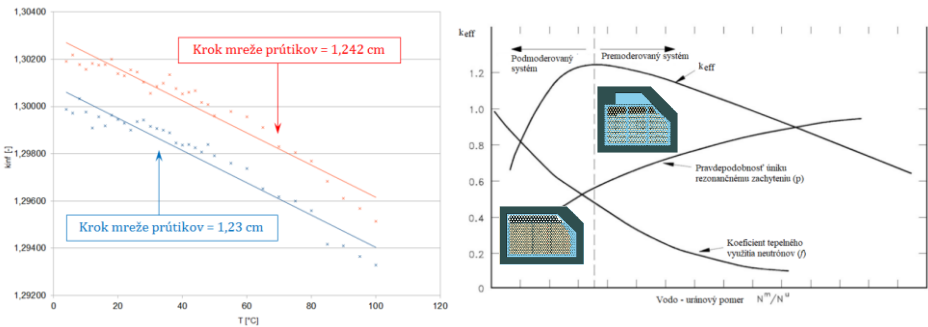
- Konzervatívny prístup → výpočet konzervatívnej (maximálnej) hodnoty k_{eff}
- Vyžaduje → uváženie všetkých aspektov, pozitívne vplyvujúcich na bilanciú neutrónov v systéme.

Konzervatívne
parametre BSVP
pre bezpečnostnú
analýzu podkritickosti

Č.	Parameter	Nominálna hodnota	Tolerancia	Konzervatívna hodnota
1	Krok mriežky palivových prútikov	12,3 mm	± 0,12 mm	12,42 mm
2	Krok absorpčných rúr kompaktnej mrieže	162 mm	± 0,842 mm	161,158 mm
3	Krok hermetických puzdier kompaktnej mrieže	230 mm		230 mm
4	Stredné obohatenie paliva ²³⁵ U v kazete	4,87 %hm.	± 0,05 %hm.	4,92 %hm.
5	Stredné obohatenie paliva ²³⁵ U v palivovom prútku "TVEL"	4,6 %hm. 4,95 %hm.	± 0,05 %hm.	4,65 %hm. 5,00 %hm.
6	Stredné obohatenie paliva ²³⁵ U v palivovom prútku "TVEG"	4,4 %hm.	± 0,05 %hm.	4,45 %hm.
7	Obsah Gd ₂ O ₃ v palivovom prútku "TVEG"	3,35 %hm.	± 0,15 %hm.	3,20 %hm.
8	Hustota palivových tablietiek "TVEL" a "TVEG"	10,4 - 10,7 g/cm ³		10,7 g/cm ³
9	Obsah bóru v absorpčnej oceli ATABOR kompaktnej mrieže	1,00 %hm.		0,95 %hm.
10	Teplota chladiacej vody pre kompaktnú mriežu BSVP	50 °C		4 °C
11	Koncentrácia kyseliny boritej v chladiacej vode BSVP			0,0 g/kg
12	Hmotnostný podiel bóru v bórovej oceli nadstavca kazety HRK	1,6 - 2,0 %hm.		1,6 %hm.*

$$k_{eff}^{max} = k_{eff}^{conser} + \Delta_{bias} + 1,695 \sqrt{\sigma_{exp}^2 + \sigma_{cal}^2 + \sigma_{conser}^2}$$
 5

Parametrická analýza

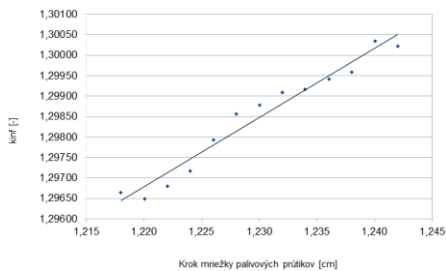


Závislosť k_{∞} od teploty chladiča v KM BSVP

$$T =! 4\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 0,99997\text{ g/cm}^3$$

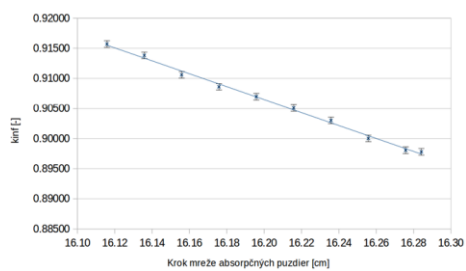
Kompaktná mrieža BSVP → podmoderovaný systém

Parametrická analýza



Závislosť k_{∞} od veľkosti kroku mriežky palivových prútikov

$a_{PP} = 12,42 \text{ mm}$
(horný limit)

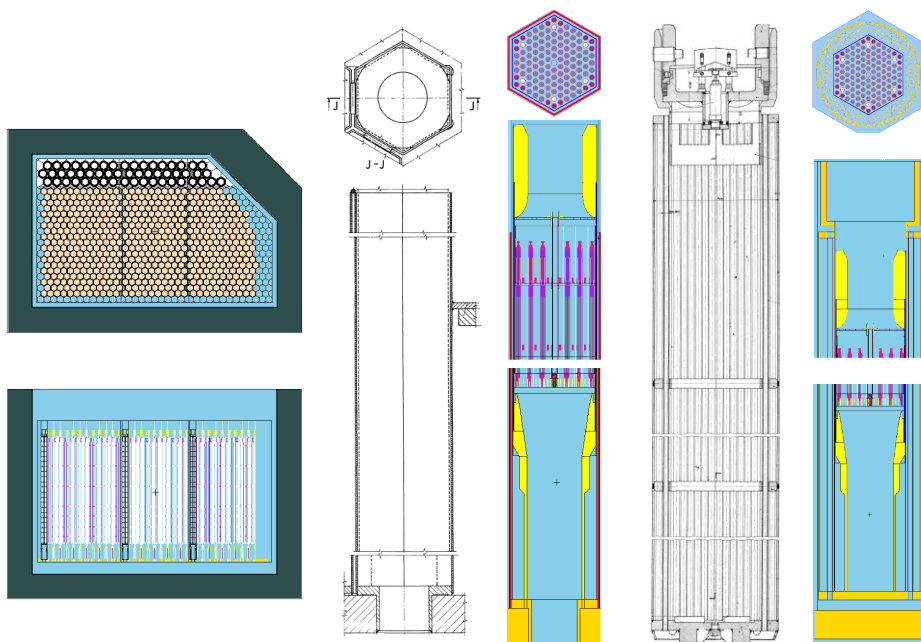


Závislosť k_{∞} od veľkosti kroku mreže absorpčných prútikov

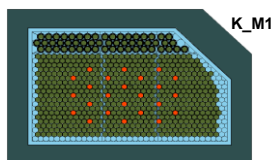
$a_{AR} = 161,158 \text{ mm}$
(dolný limit)

7

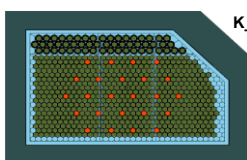
Výpočtový model kompaktnej mreže BSVP EMO12



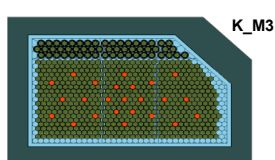
Základné scenáre zavezenia KM BSVP



K_M1

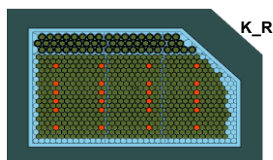


K_M2

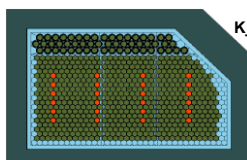


K_M3

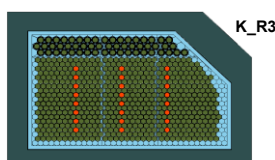
Usporiadanie absorbátorov : do "mreže" (579 PK v AR + 54 PK v HP + 24 AČ)



K_R1

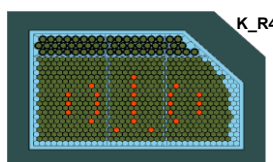


K_R2

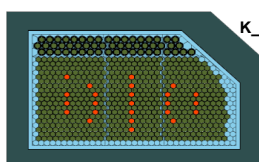


K_R3

Usporiadanie absorbátorov : do "radov" (579 PK v AR + 54 PK v HP + 24 AČ)



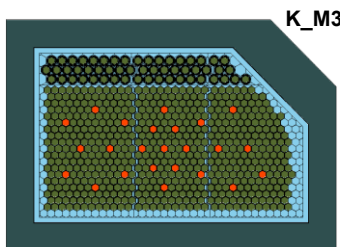
K_R4



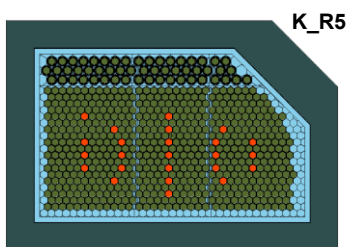
K_R5

Usporiadanie absorbátorov : do "radov a polooblúkov" (579 PK v AR + 54 PK v HP + 24 AČ)

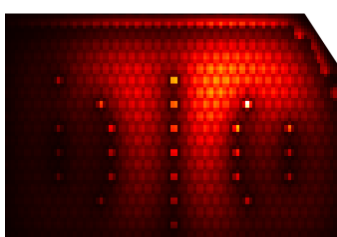
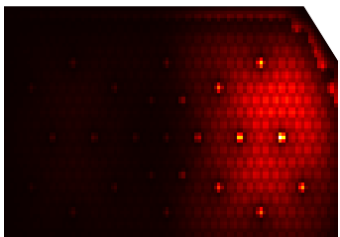
Scenáre zavezenia KM BSVP



K_M3

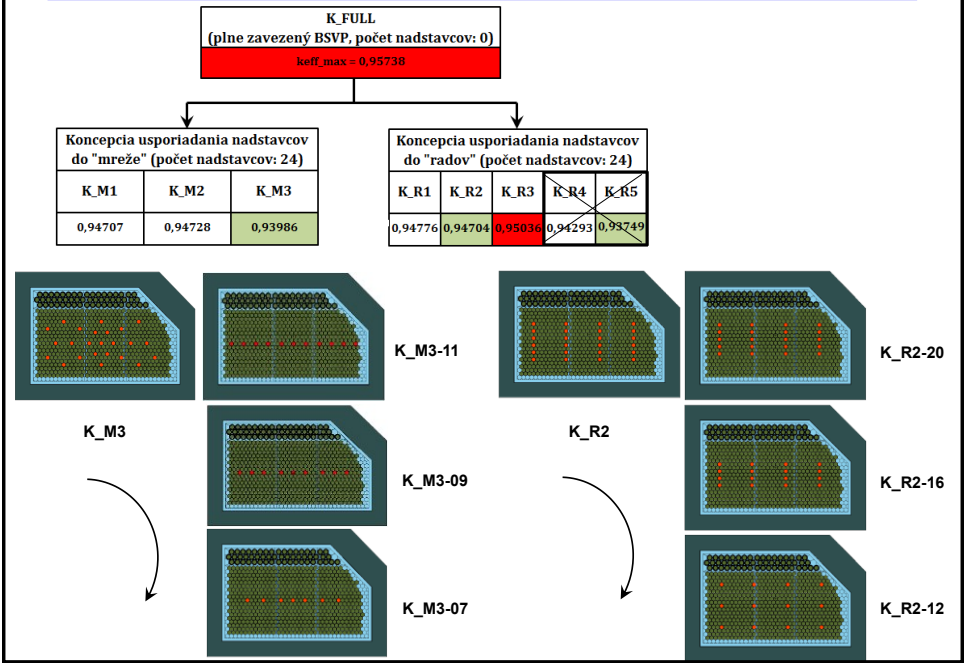


K_R5

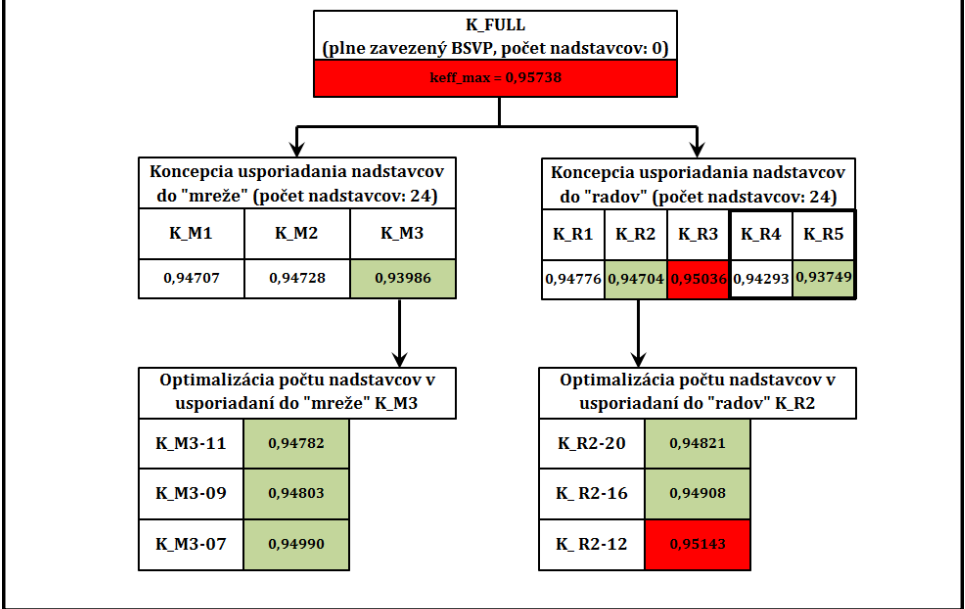


Demonštratívne zobrazenie vplyvu umiestnenia AČ na rozloženie hustoty toku neutrónov u vybraných scenárov: K_M3 a K_R5

Základné scenáre zavezenia KM BSVP - výsledky



Postup tvorenia konfigurácii zavezenia KM BSVP v závislosti od stanovenej hodnoty k_{eff}



Zhodnotenie

Výpočet preukázal **splnenie podmienky bezpečnej podkritickosti** ($k_{eff}^{max} \leq 0,95$) v nasledovných analyzovaných prípadoch:

- a) v **mrežovom** usporiadaní: K_M3-07, K_M3-09, K_M3-11
- b) v **radovom** usporiadaní: K_R2-16, K_R2-20

Z pohľadu efektívnosti využitia **maximálneho množstva pozícií VJP** v BSVP a **minimálneho počtu umiestnených AČ** → najvhodnejším scenárom **K_M3-07**, v ktorom je použitých iba **7 ks AČ** a zároveň je splnená rezerva plnenia podmienky bezpečnej podkritickosti $k_{eff}^{max} \leq 0,95$.

