

Neutronové záření ve výzkumných reaktorech

Tereza Lehečková

Výzkumné reaktory ve světě a v ČR

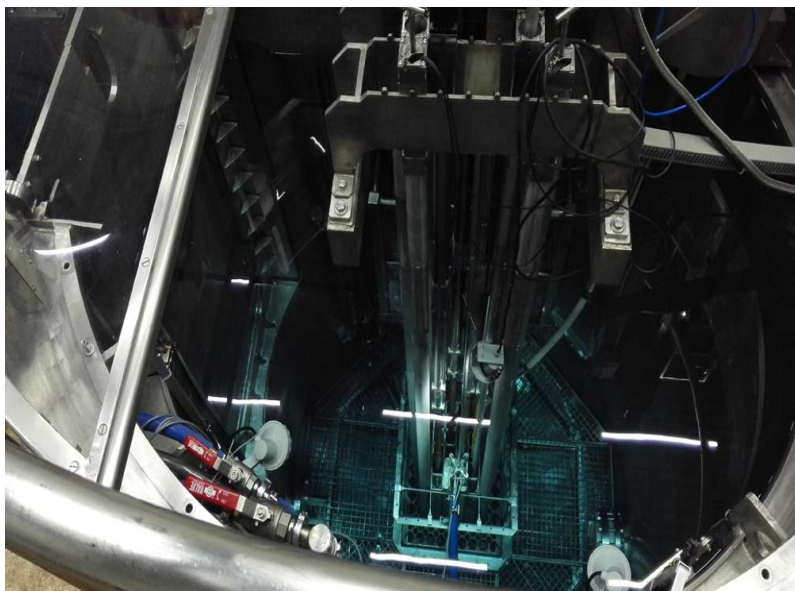
- Okolo 250, nepřibývají
- Nulového výkonu či nízkovýkonové
- Nejčastěji PWR, VVER
- Základní a aplikovaný výzkum, technická a jiná podpora JE
- V ČR: LVR-15 (ÚJV Řež), obohacení 19,75%, výkon 10MW, radiofarmaka
- LR-0 (ÚJV Řež) obohacení 1,6- 4,4%, výkon 1 KW speciální řízení, výzkum
- VR-1 (FJFI-KJR) obohacení 19,7%, výkon 1KW výuka, studentské práce



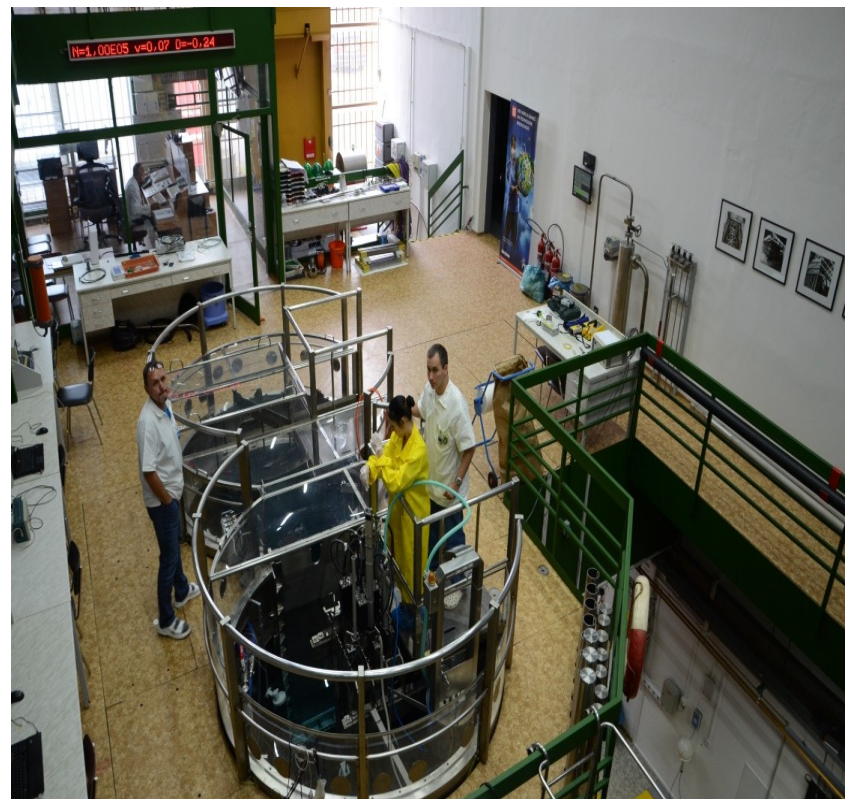
Obr.1 LR-0, [2]



Obr. 2 LVR-15 [1]



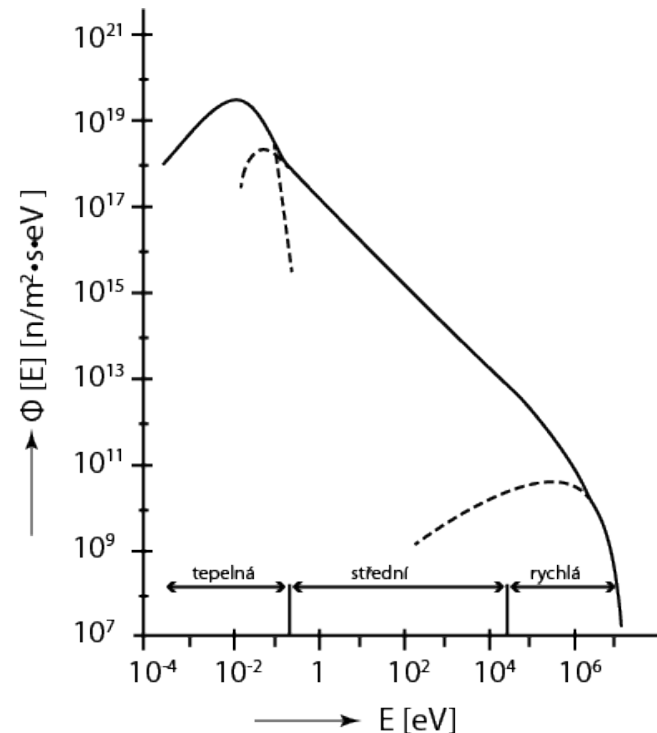
Obr. 3 VR-1 AZ



Obr. 4. VR-1 práce

Neutrony

- Nepřímo ionizující
- Různé reakce, různé účinné průřezy
- Spektrum
- Produkce (zářiče, reaktory, generátory, urychlovače)
- Problematická detekce neutronů (nepřímá)
- Mnoho typů detektorů (a typů rozdělení)

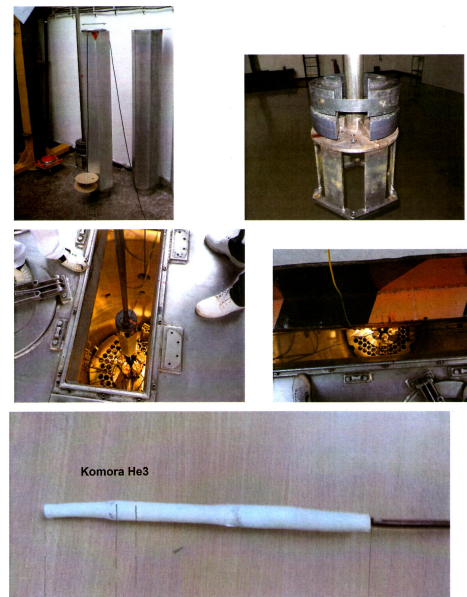


Graf 1 Spektrum v dobře moderovaném reaktoru [3]

Axiální profil hustoty neutronů

- Základní pro řízení i využití
- Relativní X absolutní rozložení
- He detektor (aktivní, diferenciální, v impulzním režimu), začíná 4,5cm nad dnem
- Problémy s mrtvou dobou
- Po 5cm

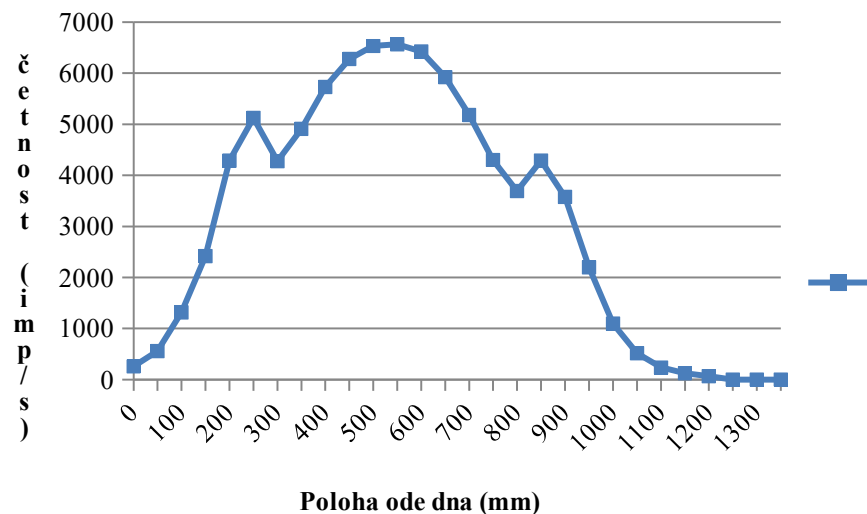
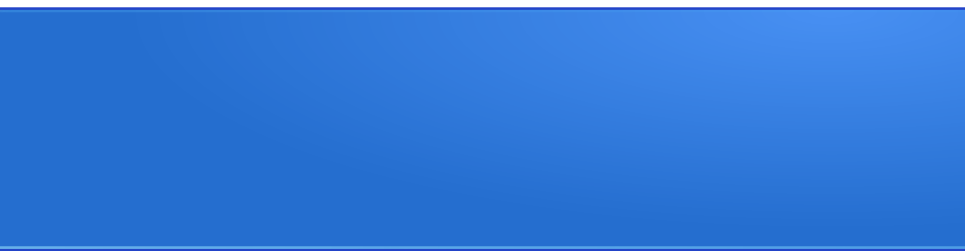
Detektor **He3** v AZ EROS1 As Y 2017(6x VVER 1000 oboh. 3,3%)
9.11.2017



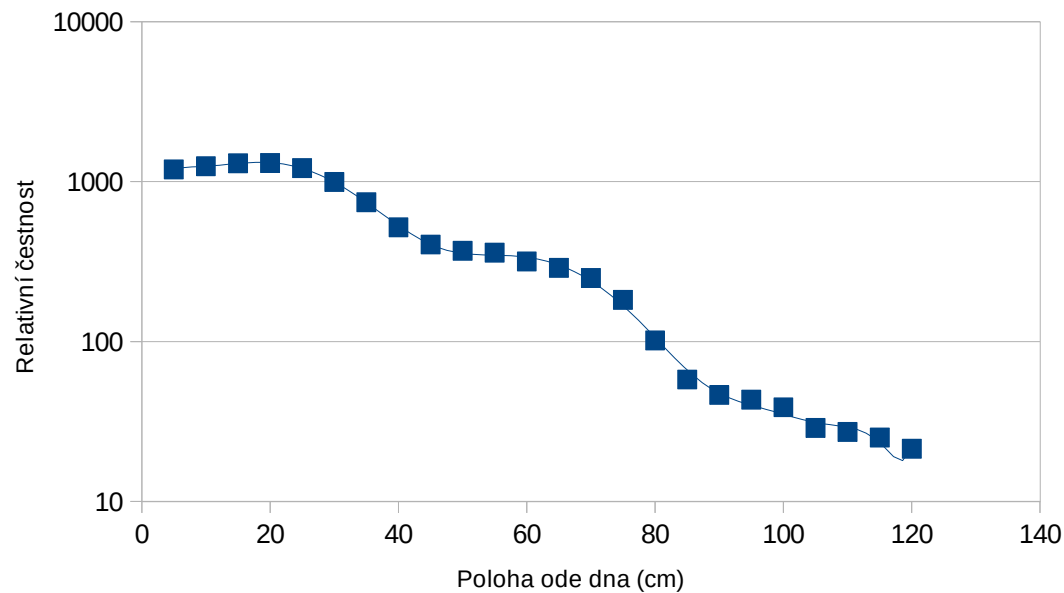
Obr. 6 Měření LR-0

Vlastní měření axiálního profilu VR-1 a LR-0

- Doba nabírání 20s VR-1, 1-2m na LR-0, dvakrát nahoru a dolů
- Na výkonu E2
- Na VR-1 korekce na m.d. metodou výpočtu korekčního činitele, poměr globální max/ reflektorové peaky přibližně 1/6 a 1/7
- Globální maximum a reflektorové peaky, symetrie
- Na LR-0 bez korekce na m.d., korekce na výkon
- Globální maximum (podhodnoceno), reflektorový „peak“
- Důležité jsou tvary (relativní četnosti jiné- korekce na výkon nutná jen u LR-0)



Graf 3 Axiální profil VR-1



Graf 2 Axiální profil LR-0



Graf 4 Axiální profil VR-1 s korekcí na m.d.

NAA

- Kvantitativně i kvalitativně analytická metoda
- Reakce (n, γ), podle odezvy dceřinných izotopů můžeme učit mateřské (někdy i jiné reakce)
- Potřebujeme aktivující částice dostatečného toku a γ spektrometr (HPGe)
- Vlivy-různé geometrie, tvary, velikosti, homogenita, čas vymírání

$$A_i = \frac{N_a * \phi * f * \sigma_a * m_{vz} * (1 - e^{-\lambda * t_{ozarovani}}) * e^{-\lambda * t_{vymirani}}}{A}$$

$$A = \frac{S * \lambda * (t_{real/live})}{I * \varepsilon * (1 - e^{-\lambda * t_{ozarovani}}) * e^{-\lambda * t_{vymirani}} * (1 - e^{-\lambda * t_{real}})}$$

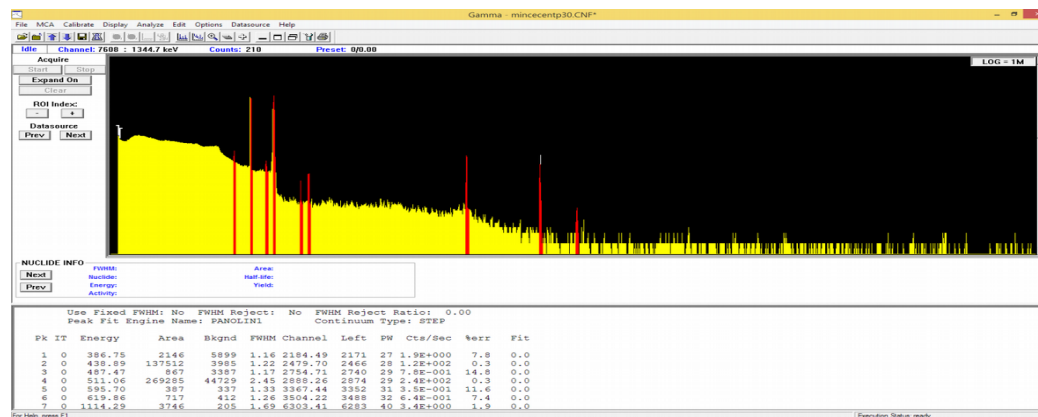
$$m_{vz} = \frac{A_{vz}}{A_e} * m_e$$

Analýzy na VR-1

- Výkon max E4, potrubní pošta
- Kvantitativní: potravinové doplňky (Zn velmi přesné s Fe problém s Mn), šperk (31% Ag)
- Kvalitativní: houby (Fe, Co, Sr), písky (velmi rozmanité), žraločí zuby...



Obr. 7 Vzorky



Obr. 8 Výstup ze spektrometru

NAA žraločích zubů na LVR-15

- Potrubní pošta, 20s na výkonu až E13
- Geometrie 20cm, dvě proměření (F), 6 referenčních materiálů
- Fluor detekován a stanoven
- Zničení jednoho zubu, vysoká aktivita po měření
- U F. Zubu špatné vyhodnocení automatem- ruční výpočet z Řeže určil přibližně 16061 (z RF fluorit)
- Alternativní reakce $^{23}\text{Na} (n, \alpha) ^{20}\text{F}$ zanedbatelná

	S	m- podle SRM (μg)	m- podle RM fluorit (μg)
SRM	6844,5	798,114	
RMfluorit	22013		33959,2
ZR	33001	3848,28	4360,31

Tab. 1 Fluor

- Mnohem více linek
- Certifikované SRM
- Navíc V, Mo

d	m	r	m-a	r-a	T (1/2)	I	Ed	En	S	v
Sr ⁸⁷	⁸⁶ Sr	(n, γ)	-	-	2,803h	81,9	388,53	389,35, 389,34	7383, 5193	s, m
Rb ⁸⁹	⁸⁸ Sr	(n, α)	-	-	15, 15m	58	1031,94	1031.32	479	s
Kr ^{85m}	⁸⁸ Sr	(n, γ)	-	-	4,480h	75	151,159	150.98	2191	s
Na ²⁴	²³ Na	(n, γ)	Al ²⁷ , Mg ²⁴	(n, γ), (n, p)	1495,90 h	100	1368,63	1368.15, 1368.16	72153, 99114	s, m
Cl ³⁸	³⁷ Cl	(n, γ)	K ⁴¹	(n, α)	37,24m	31,9	1642,71	1642.33, 1642.27	1580, 18312	s, m
I ¹²⁸	¹²⁷ I	(n, γ)	-	-	24,99m	17	442,901	443.57	4802	s
Mg ²⁷	²⁶ Mg	(n, γ)	Na ²⁷	(n, p)	9,458m	71,8	843,74	843.66	942	s
Hg ²⁰³	²⁰⁶ Pb	(n, p)	Hg ²⁰²	(n, γ)	46,612 d	81	279,197	278.49	1827	s
Al ²⁸	²⁷ Al	(n, γ)	-	-	2,2414m	100	1778,97	1778.37	307	s
Mn ⁵⁶	⁵⁶ Fe	(n, p)	⁵⁵ Mn	(n, γ)	2,5785h	98,9	846,771	846,63, 846,64	3059, 6819	s, m

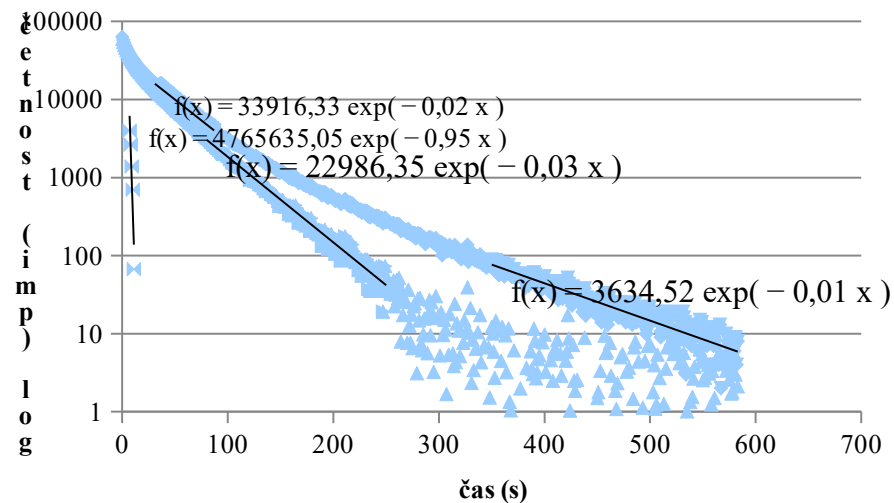
Tab. 2 Izotopy detekované na VR-1

	I	Ca	Sr	Cl
S-e	4005,8	922,96	4062,1	3376,2 a 3494,3
S-zR	Linka nenalezena	103610	11160	99148 a 102460
S-zF	13100	226790	13119	4534,8 a 4812,4
m-e (μg)	12,16 (MES-P-33H)	1206,7 (MES-P-22H)	306,48 (MES-P-21H)	211,34 (MES-P-21H)
m-ZR(μg)	-	135462, 19	842,01	12403,29
m-ZF(μg)	39,77	296510,68	989,81	574,93
dceřinný izotop	I ¹²⁸	Ca ⁴⁹	Sr ^{87m}	Cl ³⁸
mateřský izotop	I ¹²⁷	Ca ⁴⁸	Sr ⁸⁶	Cl ³⁷
reakce	(n, γ)	(n, γ)	(n, γ)	(n, γ)
Jad. interference	-	Sc ⁴⁹ (n, p)	Y ⁸⁷ (n, p), Zr ⁹⁰ (n, α)	-

Tab. 3 Stanovení prvků na LVR-15

Další zjištění, možnosti a závěry

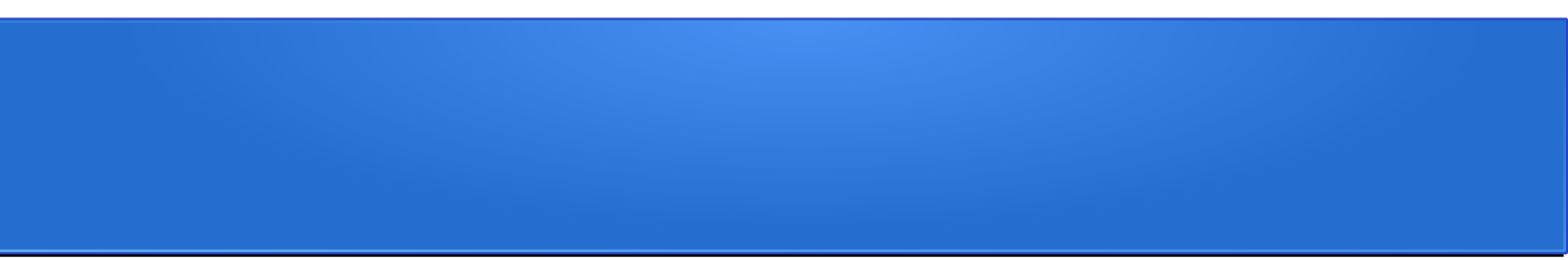
- Zpožděné neutrony
- Rozšíření nápadu s doplňky na KJR, článek
- Homogenizace zubu?
- ...
- Možnosti výzkumných reaktorů jsou obrovské, výzkum ale naráží na řadu problémů a tak jejich potenciál není zcela využit.
- Přesto však představují užitečný kompromis mezi přístupností a ideálními podmínkami.



Graf 5 Zpožděné neutrony na VR-1

Reference

- [1] CV Řež- Výzkumný reaktor LVR-15: <http://cvrez.cz/vyzkumna-infrastruktura/vyzkumny-reaktor-lvr-15/>
 - [2] CV Řež- Výzkumný reaktor LR-0: <http://cvrez.cz/vyzkumna-infrastruktura/vyzkumny-reaktor-lr-0/>
 - [3] Enpedie- Spektrum neutronů v dobře moderovaných jaderných reaktorech: http://enpedie.cz/wiki/Spektrum_neutronů_v_dobře_moderovaných_jaderných_reaktorech
 - [4] K. Matějka a kol., Experimentální úlohy na školním reaktoru VR-1, Vydavatelství ČVUT, Praha 200
 - [5] J. Fyrýbort, L. Heraltová, M. Štefánik, Úvod do reaktorové fyziky, Vydavatelství ČVUT, Praha 2013
 - [6] National institute of standards and technology, <https://www.nist.gov/>
 - [7] Table of isotopes, decay data search, <http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/>
 - [8] Annals of nuclear energy, M. Košťál, M. Švadleková, P. Baroň, V. Rypar, J. Milčák, Determining the axial power profile of partly flooded fuel in a compactcore assembled in reaktor LR-0
- Internetové zdroje dostupné k 25.11. 2017.



Děkuji za pozornost.