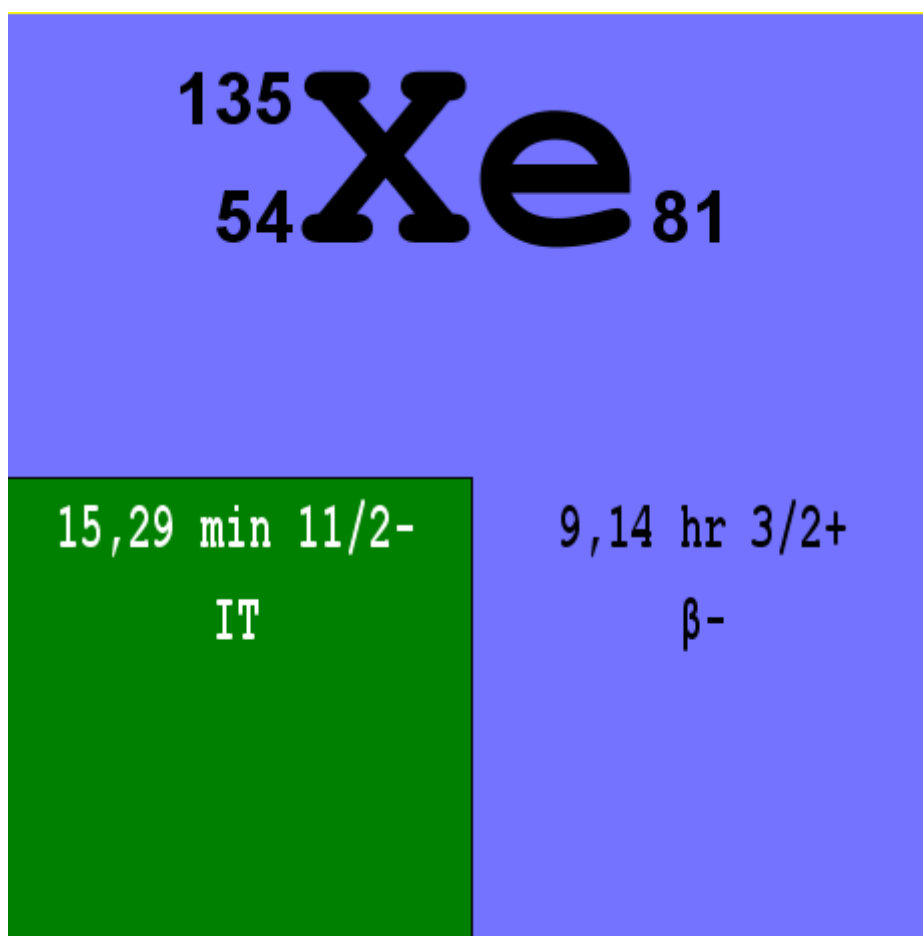


---

Luka Snoj  
Andrej Trkov

## ZASTRUPITEV S Xe



Ljubljana, januar 2013

revizija 0

---

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za matematiko in fiziko  
Jedrska tehnika  
Tehnika jedrskega reaktorja

Revizija: 0

1. izdaja, januar 2013

Avtorji: *Luka Snoj, Andrej Trkov*

Shranjeno v datoteki: *11\_zastrupitev\_s\_Xe.doc*, zadnjič shranjen *11.1.2013 11:56:00*

Tiskano: *11.1.2013 11:57:00*

# KAZALO

<b>1</b>	<b>KRATEK OPIS IN NAMEN VAJE .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>TEORETIČNE OSNOVE .....</b>	<b>4</b>
2.1	FIZIKALNE OSNOVE .....	4
2.2	ZASTRUPITEV S XE V REAKTORJU .....	5
<b>3</b>	<b>IZVEDBA VAJE .....</b>	<b>9</b>
3.1	OPREMA PRI VAJI .....	9
3.2	NAPOTKI.....	9
<b>4</b>	<b>NALOGA.....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>PRILOGE.....</b>	<b>10</b>
6.1	UMERITVENE TABELE KONTROLNIH PALIC.....	10

# 1 KRATEK OPIS IN NAMEN VAJE

Zastrupitev s Xe je zelo pomemben pojav pri obratovanju reaktorjev na visoki moči.  $^{135}\text{Xe}$ , ki nastaja pri cepitvi ima namreč zelo velik absorpcijski presek za termične nevtrone ( $2.65 \times 10^6$  b). Zato je poznavanje njegove koncentracije v odvisnosti od obratovalnih pogojev ter razumevanje vpliva na reaktivnost izjemno pomembno.

Namen vaje je

- o opazovati in razumeti spremembe reaktivnosti reaktorja zaradi  $^{135}\text{Xe}$
- o eksperimentalno preveriti reaktivnostne krivulje zaradi zastrupitve s Xe

## 2 TEORETIČNE OSNOVE

Vsi cepitveni produkti do neke mere absorbirajo nevtrone. Njihova koncentracija se s časom večja kar povzroči znižanje pomnoževalnega faktorja reaktorja. Ker absorpcijski presek možno pada z naraščajočo energijo nevtronov, je kopičenje fisijskih produktov pomembno predvsem v termičnih reaktorjih [1].

Pri tej vaji se bomo osredotočili na  $^{135}\text{Xe}$ , ki je zaradi ogromnega preseka ( $2.65 \times 10^6$  b) ter relativno velikega cepitvenega pridelka (deleža), najpomembnejši cepitveni produkt.

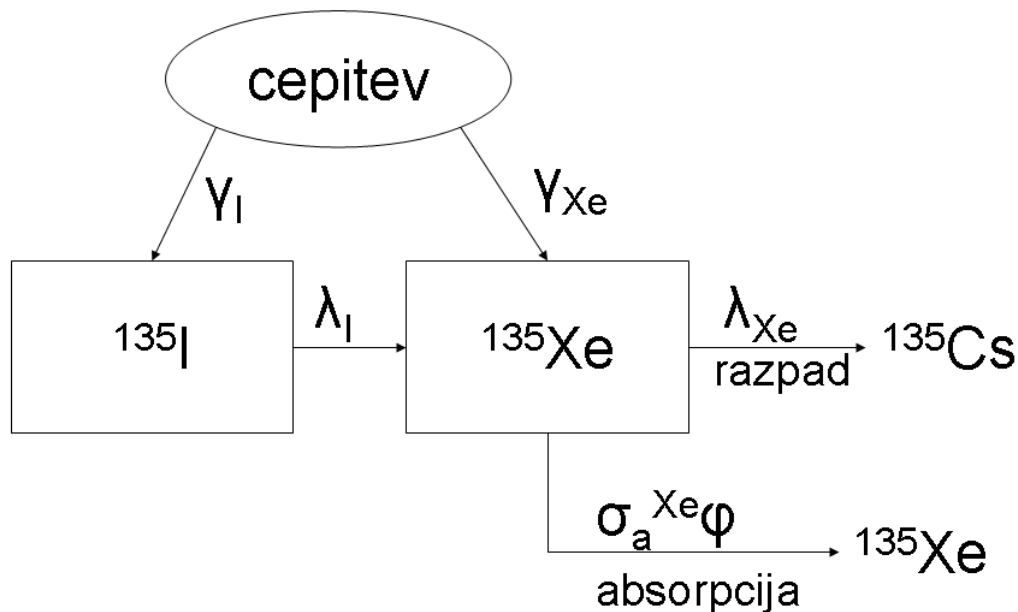
### 2.1 Fizikalne osnove

$^{135}\text{Xe}$  v reaktorju nastaja na dva načina. In sicer lahko nastane neposredno pri cepitvi ali pa kot razpadni produkt  $\beta^-$  razpada  $^{135}\text{I}$ . Slednji lahko nastane neposredno pri cepitvi ali pa preko  $\beta^-$  razpada  $^{135}\text{Te}$ . Ker je razpadni čas  $^{135}\text{Te}$  relativno kratek (19 s) v primerjavi z razpadnim časom  $^{135}\text{I}$  (6,57 h) in  $^{135}\text{Xe}$  (9,10 h) lahko za računske potrebe predpostavimo, da ves  $^{135}\text{I}$  nastane neposredno pri cepitvi. Cepitveni pridelki ter razpadne konstante Xe in I za tri cepljive izotope so predstavljeni v Tabeli 1.

**Tabela 2-1: Cepitveni pridelki ter razpadne konstante Xe in I za tri cepljive izotope**

Nuklid	$^{233}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$^{239}\text{Pu}$	$\lambda$ ( $\text{h}^{-1}$ )
$^{135}\text{I}$	0,0475	0,0639	0,0604	0,1035
$^{135}\text{Xe}$	0,0107	0,00237	0,0105	0,0753

Ker Xe delno nastaja iz I, je koncentracija Xe ob vsakem času odvisna tudi od koncentracije. Enačbe, ki podrobno opisujejo koncentracije Xe in I v odvisnosti od moči in časa, so podrobno izpeljane v referencah [1 in 2], v teh navodilih je le krate kvalitativen opis.

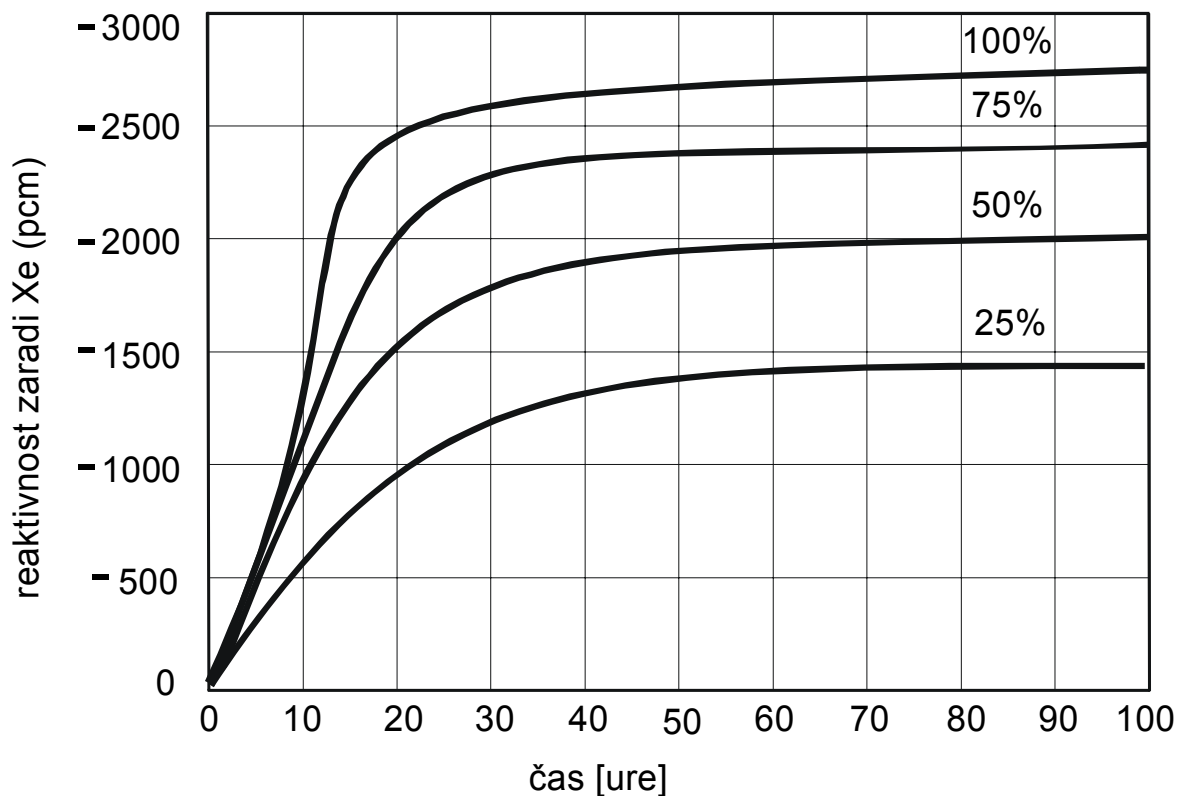


**Slika 2-1: Poenostavljena shema nastajanja in izginjanja  $^{135}\text{Xe}$ .**

$^{135}\text{Xe}$ , ki nastaja pri cepitvi ima zelo velik absorpcijski presek za termične nevtrone ( $2.65 \times 10^6$  b). Zato je poznavanje njegove koncentracije v odvisnosti od obratovalnih pogojev ter razumevanje vpliva na reaktivnost izjemno pomembno.

## 2.2 Zastrupitev s Xe v reaktorju

Reaktorju, ki že dlje časa ( $\sim 4$  dni) ni obratoval pravimo, da je "čist" oz. nezastrupljen, kar pomeni, da ne vsebuje  $^{135}\text{Xe}$ . Ko reaktor zaženemo in dvignemo moč se koncentraciji  $^{135}\text{Xe}$  in  $^{135}\text{I}$  obe začeta povečevati. Približno 40-50 ur po zagonu reaktorju obe koncentraciji dosežeta ravnovesni vrednosti  $^{135}\text{Xe}_\infty$  in  $^{135}\text{I}_\infty$ . Ravnovesna koncentracija je odvisna od moči reaktorja, a zveza ni linearna. Negativna reaktivnost zaradi kopičenja  $^{135}\text{Xe}$  v odvisnosti od časa po zagonu reaktorja je prikazana na sliki 2-2. Negativn reaktivnost kompenziramo ali z zmanjšanjem koncentracije absorberjev (npr. zmanjšanje koncentracije borovne kisline v primarnem hladilu v tlačno vodnih reaktorji kot je NEK) ali pa z izvlačenjem regulacijskih palic (npr. na raziskovalnem reaktorju TRIGA).

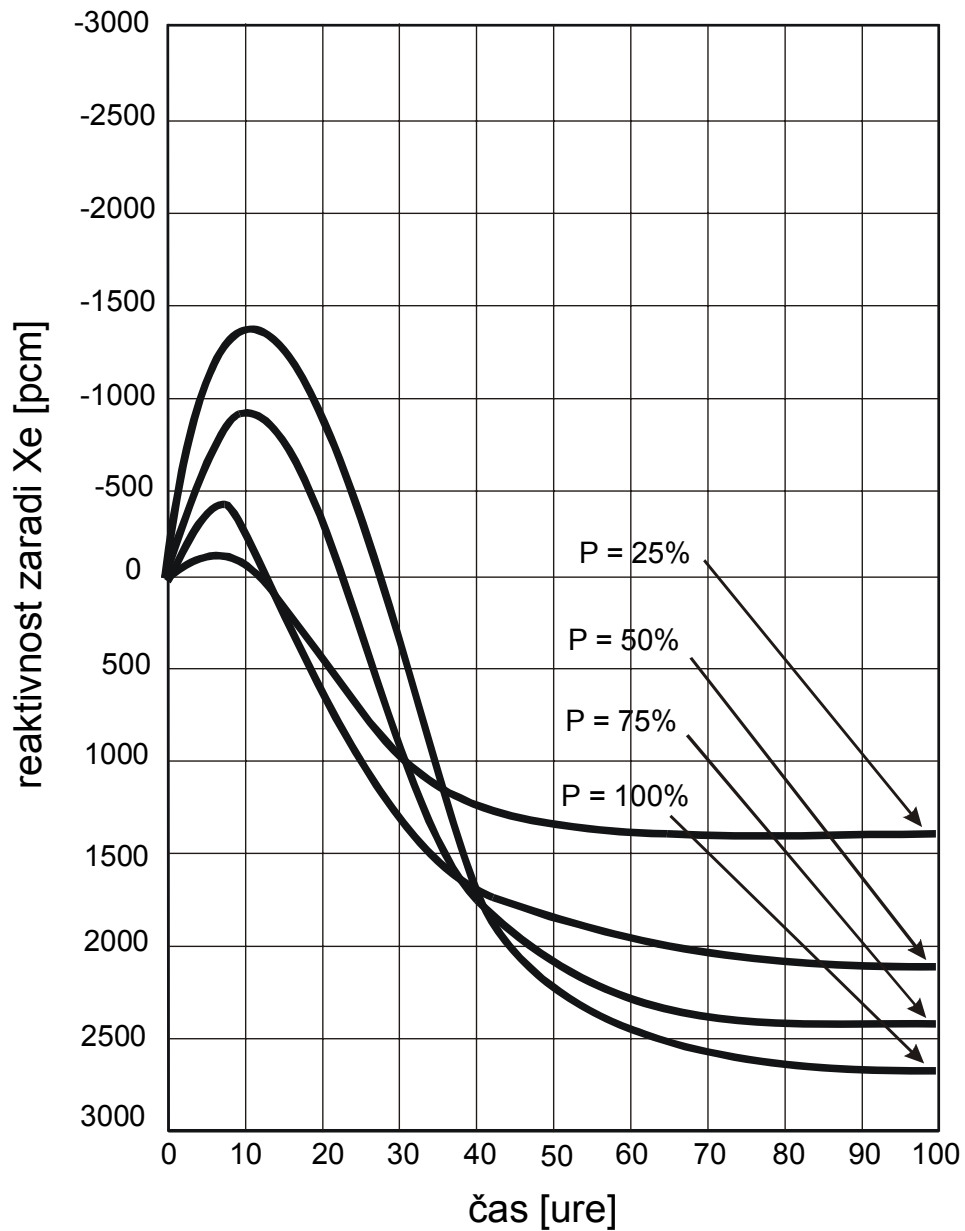


Slika 2-2: Negativna reaktivnost zaradi kopičenja  $^{135}\text{Xe}$  v odvisnosti od časa po zagonu reaktorja.

Ko reaktor zaustavimo,  $^{135}\text{Xe}$  še vedno nastaja zaradi razpada  $^{135}\text{I}$  in izgineva z razpadom v  $^{135}\text{Cs}$ . Največja koncentracija  $^{135}\text{Xe}$  je dosežena približno 9 ur po zaustavitvi reaktorja in je odvisna od moči reaktorja pred zaustavitvijo. Približno 24 ur po zaustavitvi je koncentracija  $^{135}\text{Xe}$  v sredici približno takšna kot tek pred zaustavitvijo. Približno 80-90 ur po zaustavitvi  $^{135}\text{Xe}$  v reaktorju praktično ni več, saj je že ves razpadel (pomni: 90 ur ustreza približno 10 razpolovnim časom, to pomeni, da se je koncentracija  $^{135}\text{Xe}$  zmanjšala za faktor  $2^{10}$  oz. 1024. Ko  $^{135}\text{Xe}$  razpada, se reaktivnost reaktorja povečuje, na kar je potrebno biti pazljiv, da ne bi prišlo do nehotene ponovne kritičnosti. Sprememba reaktivnosti zaradi  $^{135}\text{Xe}$  v odvisnosti od časa po zaustavitvi je prikazana na sliki 2-3.

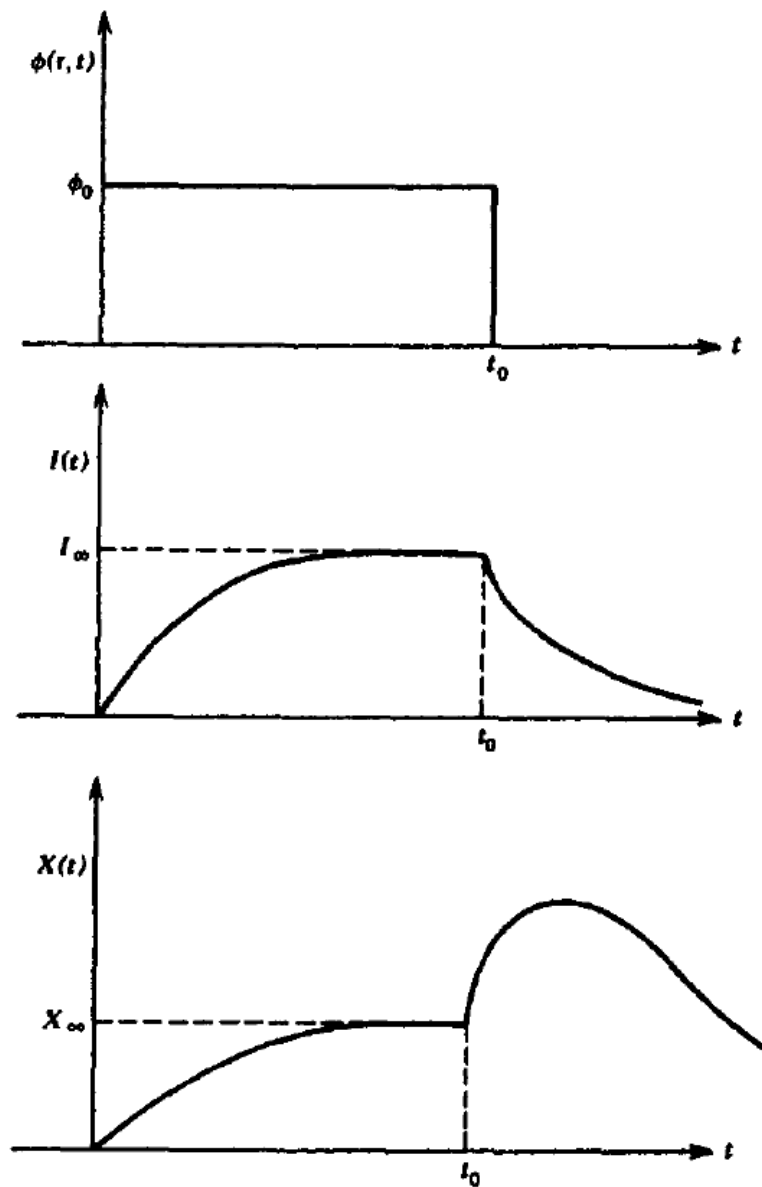
Kopičenje Xe po zaustavitvi reaktorja je pomembno predvsem v reaktorjih z visokim fluksom nevtronov ( $> 10^{12} \text{ n/cm}^2\text{s}$ ). Če je po zaustavitvi reaktorja, pozitivna reaktivnost, ki jo lahko "vstavimo" z izvlečenjem vseh regulacijskih palic, manjša od negativne reaktivnosti zaradi Xe, potem reaktorja ne moremo zagnati dokler Xe na razpade. Slednje je predstavljen na sliki 2-3. Jasno se vidi, da 8-20 ur po zaustavitvi reaktorja, ki je prej dlje časa obratoval na polni moči ne moremo zagnati, če nimamo na voljo dovolj pozitivne reaktivnosti. Temu obdobju se reče mrtvi čas reaktorja in je še posebej pomemben pri reaktorjih, ki služijo za pogon prevoznih sredstev (npr. ladje in podmornice). Nekaj časa po nenamerni zaustavitvi (npr. scram) je namreč vozilo praktično neuporabno za premikanje. v energetskih reaktorjih pa se to lahko zgodi proti koncu cikla, ko je koncentracija bora že tako nizka, da z njo ne moremo kompenzirati negativne reaktivnosti zaradi Xe.

Vsakič, ko moč reaktorja zmanjšamo se koncentracija Xe poveča, ker se zmanjša njegovo zgorevanje. Ko se moč reaktorja poveča, se koncentracija Xe najprej zmanjša zaradi večjega zgorevanja ter nato poveča zaradi povečane produkcije.



Slika 2-3: Sprememba reaktivnosti zaradi  $^{135}\text{Xe}$  v odvisnosti od čas po zaustavitvi.

Kvalitativen prikaz poteka koncentracije  $^{135}\text{Xe}$  in  $^{135}\text{I}$  v odvisnosti od časa po zagonu in kasnejši zaustavitvi reaktorja je na sliki 2-4



Slika 2-4: Kvalitativen prikaz poteka koncentracije  $^{135}\text{Xe}$  in  $^{135}\text{I}$  v odvisnosti od časa po zagonu in kasnejši zaustavitvi reaktorja [2].



### 3 IZVEDBA VAJE

#### 3.1 Oprema pri vaji

- dnevnik obratovanja reaktorja
- umeritvene krivulje regulacijskih palic
- Reaktor TRIGA z vsemi sistemi, strukturami in komponentami

#### 3.2 Napotki

Pred vajo naj bo reaktor čist oz. nezastrupljen. Operater naj reaktor zažene na polno moč, to je 250 kW.

Obratovanje reaktorja naj bo v avtomatskem načinu. V avtomatskem načinu elektronika poskrbi, da je moč reaktorja konstantna, tako da premika regulacijsko palico. Opazuje položaj kontrolne palice v odvisnosti od časa in uporabi umeritvene krivulje za določitev vpliva Xe na reaktivnost reaktorja. Nariši negativno reaktivnost v odvisnosti od časa. Vse podatke dobiš v dnevniku obratovanja. Če se da primerjaj več daljših obsevanj.

Če potrebuješ dodatne informacije kontaktiraj vodjo vaj ali operaterje reaktorja

### 4 NALOGA

- nariši diagram: negativna reaktivnost zaradi Xe v odvisnosti od časa ter rezultate primerjaj s teorijo
- oceni ravnovesno koncentracijo Xe v reaktorju TRIGA, če ta obratuje na polni moči
- ali se v TRIGI lahko pojavi t.i. mrtvi čas ?
- Oceni negotovosti rezultatov

### 5 LITERATURA

1. Duderstadt-Hamilton, Nuclear reactor analysis, John Wiley & Sons, NY, 1976
2. Lamarsh-Baratta, Introduction to nuclear engineering, Prentice Hall, NY, 2001

## 6 PRILOGE

### 6.1 Umeritvene tabele kontrolnih palic

Tabela 6-1: Umeritvena tabela regulacijske palice

SREDICA 191

Ljubljana, 12.12.2011

VREDNOSTI **REGULACIJSKE** PALICE NA POSAMEZNIH POZICIJAH

Korak	Vred./pcm
181	0.0
186	0.3
191	1.1
196	2.4
201	4.2
206	6.6
211	9.5
216	13.0
221	17.0
226	21.5
231	26.6
236	32.1
241	38.3
246	44.9
251	52.1
256	59.9
261	68.3
266	77.0
271	86.4
276	96.3
281	106.8
286	117.8
291	129.4
296	141.5
301	154.1
306	167.3
311	181.0
316	195.3
321	210.1
326	225.4
331	241.3
336	257.7
341	274.6
346	292.0
351	310.0
356	328.4
361	347.4
366	366.8
371	386.7
376	407.1
381	428.0
386	449.3
391	471.1
396	493.4
401	516.0
406	539.1
411	562.6
416	586.5

Korak	Vred./pcm
421	610.7
426	635.4
431	660.4
436	685.7
441	711.4
446	737.4
451	763.8
456	790.4
461	817.2
466	844.4
471	871.8
476	899.5
481	927.3
486	955.4
491	983.7
496	1012.1
501	1040.8
506	1069.6
511	1098.5
516	1127.6
521	1156.8
526	1186.0
531	1215.4
536	1244.9
541	1274.4
546	1304.0
551	1333.7
556	1363.3
561	1393.0
566	1422.8
571	1452.5
576	1482.2
580	1511.9
585	1541.6
590	1571.2
595	1600.8
600	1630.3
605	1659.7
610	1689.1
615	1718.4
620	1747.6
625	1776.7
630	1805.6
635	1834.5
640	1863.2
645	1891.7
650	1920.1
655	1948.3

Korak	Vred./pcm
660	1976.3
665	2004.1
670	2031.7
675	2059.1
680	2086.3
685	2113.2
690	2139.8
695	2166.1
700	2192.2
705	2217.9
710	2243.4
715	2268.4
720	2293.1
725	2317.5
730	2341.4
735	2364.9
740	2388.0
745	2410.7
750	2432.8
755	2454.5
760	2475.7
765	2496.4
770	2516.5
775	2536.1
780	2555.0
785	2573.4
790	2591.2
795	2608.3
800	2624.7
805	2640.5
810	2655.6
815	2670.0
820	2683.7
825	2696.6
830	2708.8
835	2720.1
840	2730.8
845	2740.6
850	2749.6
855	2757.7
860	2765.1
865	2771.6
870	2777.3
875	2782.1
880	2786.0
885	2789.0
890	2791.2
895	2792.6
900	2793.0

Izmeril:

**Tabela 6-2: Umeritvena tabela pulzne palice**

**SREDICA 191**

Ljubljana, 12.12.2011

VREDNOSTI **PULZNE** PALICE NA POSAMEZNIH POZICIJAH

Korak	Vred./pcm
0	0.0
5	0.0
10	0.2
15	0.4
20	0.7
25	1.1
30	1.6
35	2.2
40	2.9
45	3.8
50	4.7
55	5.7
60	6.8
65	8.1
70	9.5
75	11.0
80	12.7
85	14.4
90	16.4
95	18.5
100	20.7
105	23.1
110	25.7
115	28.5
120	31.4
125	34.5
130	37.9
135	41.5
140	45.2
145	49.2
150	53.4
155	57.9
160	62.5
165	67.5
170	72.7
175	78.1
180	83.8
185	89.8
190	96.1
195	102.7
200	109.5
205	116.7
210	124.1
215	131.9
220	139.9
225	148.4
230	157.1
235	166.1
240	175.5
245	185.2
250	195.2
255	205.5
260	216.3
265	227.4
270	238.7
275	250.4
280	262.7
285	275.2
290	287.7
295	300.8

Korak	Vred./pcm
300	314.2
305	327.9
310	342.1
315	356.5
320	371.2
325	386.3
330	401.8
335	417.5
340	433.5
345	450.0
350	466.6
355	483.7
360	500.9
365	518.5
370	536.4
375	554.6
380	573.0
385	591.8
390	610.8
395	630.0
400	649.6
405	669.4
410	689.4
415	709.6
420	730.1
425	750.8
430	771.7
435	792.9
440	814.2
445	835.8
450	857.4
455	879.4
460	901.5
465	923.7
470	946.1
475	968.7
480	991.4
485	1014.2
490	1037.2
495	1060.3
500	1083.5
505	1106.8
510	1130.2
515	1153.8
520	1177.3
525	1201.0
530	1224.7
535	1248.5
540	1272.4
545	1296.2
550	1320.2
555	1344.1
560	1368.1
565	1392.0
570	1416.0
575	1439.9
580	1463.9
585	1487.8
590	1511.7
595	1535.5

Korak	Vred./pcm
600	1559.2
605	1582.9
610	1606.6
615	1630.1
620	1653.6
625	1676.9
630	1700.1
635	1723.2
640	1746.2
645	1769.0
650	1791.6
655	1814.1
660	1836.4
665	1858.5
670	1880.4
675	1902.0
680	1923.5
685	1944.7
690	1965.6
695	1986.3
700	2006.7
705	2026.8
710	2046.6
715	2066.0
720	2085.2
725	2104.0
730	2122.4
735	2140.5
740	2158.3
745	2175.5
750	2192.5
755	2209.0
760	2225.0
765	2240.6
770	2255.8
775	2270.6
780	2284.7
785	2298.5
790	2311.8
795	2324.5
800	2336.7
805	2348.3
810	2359.6
815	2370.1
820	2380.1
825	2389.7
830	2398.6
835	2406.9
840	2414.6
845	2421.9
850	2428.4
855	2434.3
860	2439.7
865	2444.4
870	2448.5
875	2451.9
880	2454.8
885	2457.1
890	2458.5
895	2459.5
900	2460.0

Izmeril:

Tabela 6-3: Umeritvena tabela varnostne palice.

SREDICA 191

Ljubljana, 12.12.2011

VREDNOSTI **VARNOSTNE** PALICE NA POSAMEZNIH POZICIJAH

Korak	Vred./pcm
200	0.0
205	0.4
210	1.5
215	3.2
220	5.6
225	8.7
230	12.6
235	17.2
240	22.4
245	28.3
250	35.0
255	42.3
260	50.4
265	59.1
270	68.5
275	78.7
280	89.6
285	101.1
290	113.3
295	126.3
300	139.9
305	154.3
310	169.4
315	185.1
320	201.5
325	218.7
330	236.6
335	255.1
340	274.3
345	294.5
350	314.8
355	336.1
360	358.1
365	380.7
370	404.0
375	428.0
380	452.7
385	478.0
390	504.0
395	530.6
400	557.9
405	585.8
410	614.3
415	643.4
420	673.2
425	703.5
430	734.5

Korak	Vred./pcm
435	766.0
440	798.1
445	830.8
450	864.0
455	897.7
460	932.0
465	966.8
470	1002.0
475	1037.8
480	1074.0
485	1110.6
490	1147.7
495	1185.2
500	1223.1
505	1261.4
510	1300.0
515	1338.9
520	1378.2
525	1417.8
530	1457.7
535	1497.8
540	1538.1
545	1578.6
550	1619.4
555	1660.3
560	1701.3
565	1742.5
570	1783.7
575	1825.0
580	1866.4
585	1907.7
590	1949.1
595	1990.4
600	2031.7
605	2072.9
610	2114.0
615	2154.9
620	2195.7
625	2236.3
630	2276.6
635	2316.8
640	2356.6
645	2396.2
650	2435.5
655	2474.4
660	2513.0
665	2551.2

Korak	Vred./pcm
670	2588.9
675	2626.2
680	2663.1
685	2699.5
690	2735.4
695	2770.7
700	2805.5
705	2839.7
710	2873.3
715	2906.3
720	2938.7
725	2970.4
730	3001.5
735	3031.8
740	3061.4
745	3090.3
750	3118.5
755	3145.9
760	3172.5
765	3198.2
770	3223.3
775	3247.4
780	3270.8
785	3293.2
790	3314.8
795	3335.6
800	3355.5
805	3374.4
810	3392.4
815	3409.5
820	3425.7
825	3441.0
830	3455.3
835	3468.6
840	3481.0
845	3492.5
850	3503.0
855	3512.4
860	3520.9
865	3528.3
870	3534.9
875	3540.4
880	3544.9
885	3548.4
890	3550.9
895	3552.4
900	3553.0

Tabela 6-4: Umeritvena tabela kompenzacijske palice.

SREDICA 191

Ljubljana, 12.12.2011

VREDNOSTI **KOMPENZACIJSKE** PALICE NA POSAMEZNIH POZICIJAH

Korak	Vred./pcm
200	0.0
205	0.3
210	1.2
215	2.6
220	4.5
225	7.0
230	10.2
235	13.8
240	18.0
245	22.8
250	28.1
255	34.0
260	40.4
265	47.4
270	54.9
275	63.0
280	71.6
285	80.8
290	90.4
295	100.6
300	111.4
305	122.6
310	134.4
315	146.7
320	159.5
325	172.8
330	186.6
335	200.9
340	215.6
345	230.9
350	246.6
355	262.8
360	279.6
365	296.7
370	314.1
375	332.2
380	350.6
385	369.5
390	388.7
395	408.4
400	428.5
405	449.0
410	469.9
415	491.1
420	512.7
425	534.7
430	557.0

Korak	Vred./pcm
435	579.6
440	602.5
445	625.8
450	649.4
455	673.3
460	697.5
465	721.9
470	746.6
475	771.5
480	796.7
485	822.0
490	847.6
495	873.4
500	899.4
505	925.5
510	951.8
515	978.2
520	1004.8
525	1031.4
530	1058.2
535	1085.1
540	1112.0
545	1139.0
550	1166.0
555	1193.1
560	1220.1
565	1247.2
570	1274.2
575	1301.2
580	1328.2
585	1355.1
590	1381.9
595	1408.6
600	1435.2
605	1461.7
610	1488.1
615	1514.3
620	1540.3
625	1566.1
630	1591.8
635	1617.2
640	1642.4
645	1667.4
650	1692.1
655	1716.5
660	1740.7
665	1764.6

Korak	Vred./pcm
670	1788.1
675	1811.4
680	1834.3
685	1856.9
690	1879.1
695	1900.9
700	1922.3
705	1943.4
710	1964.1
715	1984.3
720	2004.1
725	2023.5
730	2042.4
735	2060.9
740	2078.9
745	2096.5
750	2113.6
755	2130.2
760	2146.3
765	2161.8
770	2176.9
775	2191.5
780	2205.5
785	2219.0
790	2232.0
795	2244.4
800	2256.3
805	2267.7
810	2278.5
815	2288.7
820	2298.3
825	2307.4
830	2316.0
835	2323.9
840	2331.3
845	2338.1
850	2344.3
855	2349.9
860	2354.9
865	2359.4
870	2363.3
875	2366.6
880	2369.2
885	2371.3
890	2372.8
895	2373.7
900	2374.0