

*Fakultet elektrotehnike i računarstva*

*Unska 3, Zagreb*

# Domaća zadaća iz nuklearnog inženjerstva

---

*Proračun aktivnosti, sastava i ostatne topline gorivog elementa*

*Vedran Lanc*

*0036413537*

Zagreb, siječanj 2009.

## **Zadatak 11:**

### **Proračun izotopskog sastava, aktivnosti i ostatne topline za gorivni element AA-34**

Pretpostavite da NE Krško radi u nominalnim uvjetima na punoj snazi od 1994 MW i da je trajanje izmjene goriva između svaka dva ciklusa 25 dana. Sadržaj metalnog urana u jezgri za 23 ciklus iznosi 49.15 t. Gorivni element AA-34 je kao svježi stavljen na početku 22 ciklusa izgaranja. Trajanje ciklusa 21 je bilo 529 EFPD (Effective Full Power Days) a trajanje ciklusa 22 je bilo 505 EFPD. Očekivano trajanje ciklusa 23 je 493 EFPD. Na kraju ciklusa 22 odgor navedenog gorivnog elementa je iznosio 23516 MWd/tU. Očekuje se da će na kraju ciklusa 23 gorivni element postići odgor od 45574 MWd/tU. Inicijalna masa uran metala u gorivnom elementu je 405.5 kg a obogaćenje je 4.95%.

Koristeći program origen 2.1 pokazati kako se mijenja masa izotopa U-235, U-238, Pu-239, Pu-240 i Pu-241 tijekom izgaranja.

Nakon što je reaktor zaustavljen na kraju 23 ciklusa pokazati kako se mijenja aktivnost i ostatna toplota aktivacijskih produkata, aktinida, fisijskih produkata i ukupna aktivnost odnosno ostatna toplota tijekom 25 dana nakon obustave s rezolucijom 6 sati. Gdje je to moguće rezultate prikažite i tablično i grafički. Prokomentirajte dobivene rezultate i opišite postupak pripreme ulaznih podataka.

## Izrada ulazne datoteke

Promatran je gorivni element AA-34 tokom 22. i 23. ciklusa u NE Krško. Za svaki od tih ciklusa zadani su nam efektivni dani rada (EFPD) te odgor elemenata na kraju svakog ciklusa. Pomoću tih vrijednosti, te mase samog elementa računamo snagu

$$P = \frac{\text{odgor} \cdot \text{masa}[t]}{\text{EFPD}}$$

Nadalje cikluse trebamo podijeliti na određen broj dana, kako bi mogli bolje grafički analizirati situaciju. Odlučio sam se svaki ciklus podijeliti na točke, po 50 dana.

IRP	50.	18.883	1	2	4	2	END OF THIS STEP=	MWD/MTIHM
IRP	100.	18.883	2	3	4	0	END OF THIS STEP=	MWD/MTIHM
IRP	150.	18.883	3	4	4	0	END OF THIS STEP=	MWD/MTIHM

IRP računa odgor elementa u zadanim vremenskim točkama, pomoću izračunate. Uzima prethodno izračunatu vrijednost i njoj dodaje novo izračunatu te sprema u slijedeći registar. U prvom retku se računa odgor elementa nakon 50 dana, uzima se vrijednost iz registra 1 i novu vrijednost se sprema u registar 2. Vrijednosti vremena su u danima, kao što je vidljivo iz šestog stupca u kojem je vrijednost 4. Nadalje, vrijeme je resetirano na početku, a svaki odgor nakon toga nastavlja brojati vrijeme na prethodnu vrijednost. Zato je u prvom koraku vrijednost 2 u sedmom stupcu, da resetira vrijeme, a nakon toga vrijednost 0, koja označava da se brojanje vremena nastavlja.

IRP	505.	18.883	10	11	4	0	END OF THIS STEP=	23516 MWD/MTIHM
DEC	530.		11	12	4	0	remont	21-22
OUT	12	1	-1	0				

Nakon što je odgorio prvi ciklus, slijedi nam 25 dana remonta, te u tom procesu koristimo naredbu "DEC" koja označava decay (radioaktivni raspad). Kako je u tom trenutku ispunjeno svih 12 registara, iste smo spremili u izlaznu datoteku.

Na isti način obavljen je i drugi ciklus odgora elementa. Nakon što je završio 23. ciklus reaktor je zaustavljen, te gorivni element izvađen. Zadano je u zadatku da proračunamo ostatnu toplinu u elementu te radioaktivnost u slijedećih 25 dana sa rezolucijom 6 sati.

IRP	1023.	18.143	9	10	4	0	END OF THIS STEP=	45574 MWD/MTIHM
OUT	10	1	-1	0				
DEC	6.		10	1	3	2		
DEC	12.		1	2	3	0		
DEC	18.		2	3	3	0		
DEC	24.		3	4	3	0		
DEC	30.		4	5	3	0		

S obzirom da je zadnji korak odgora završio sa registrom 10, vrijednosti registara od 1 do 10 spremljene su u izlaznu datoteku. Nakon toga resetiramo ponovo vrijeme (vrijednost 2 u stupcu 6) i kreće prirodni raspad sa koracima od 6 sati, zbog čega je vrijednost dimenzije vremena promijenjena u 3 (peti stupac).

Zadana vrijednost obogaćenja uranom  $^{235}\text{U}$  unesena je u program na listu postojećih elemenata u gorivu. U tablici su elementi kalibrirani na koliko grama nekog elementa ima u toni goriva. Zadano nam je da je obogaćenje metalnog urana 4.950%, a metalni uran čine  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ . Dakle, masa  $^{235}\text{U}$  u gramima na tonu goriva iznosi:

$$m(^{235}\text{U}) = 10^6 \cdot e = 10^6 \cdot 0.4950 = 49500$$

Udjeli urana  $^{234}\text{U}$  i  $^{236}\text{U}$  su konstantni za proračun. Potrebno je proračunati koliko je urana  $^{238}\text{U}$ . Suma urana mora biti jedna tona, pa tako je masa urana  $^{238}\text{U}$  jednaka

$$m(^{238}\text{U}) = 10^6 - m(^{235}\text{U}) - m(^{234}\text{U}) - m(^{236}\text{U}) = 10^6 - 49500 - 13 - 400 = 950087$$

Te je taj redak ispunjen kako je izračunat za svaki pojedini izotop.

2	922340	400.0	922350	49500	922380	950087	922360	13.0	FUEL	4.950%
---	--------	-------	--------	-------	--------	--------	--------	------	------	--------

Time je završena izrada ulazne datoteke NI.u5 za proračun. Cijela datoteka dana je na kraju ovoga dokumenta.

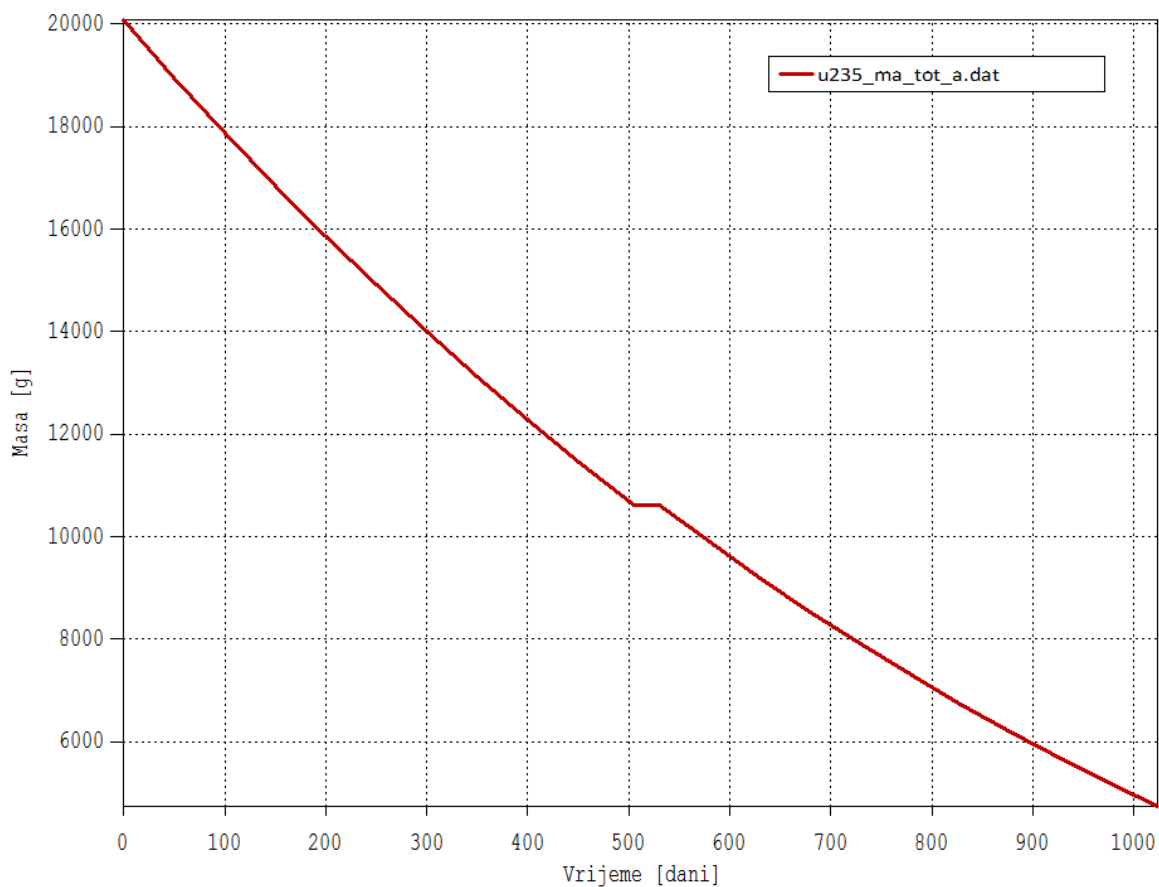
### Pomoćna input datoteka za izvođenje programa

Pripremljena je ulazna datoteka input.inp kako bi olakšala provođenje programa kroz post\_ori.exe u svim traženim situacijama. Datoteka sadrži sve vremenske točke potrebne za proračun, i parametre za odabir potrebnih vrijednosti (lokacija tape70.dat datoteke, odabir topline/mase/aktivnosti itd).

## Rezultati proračuna

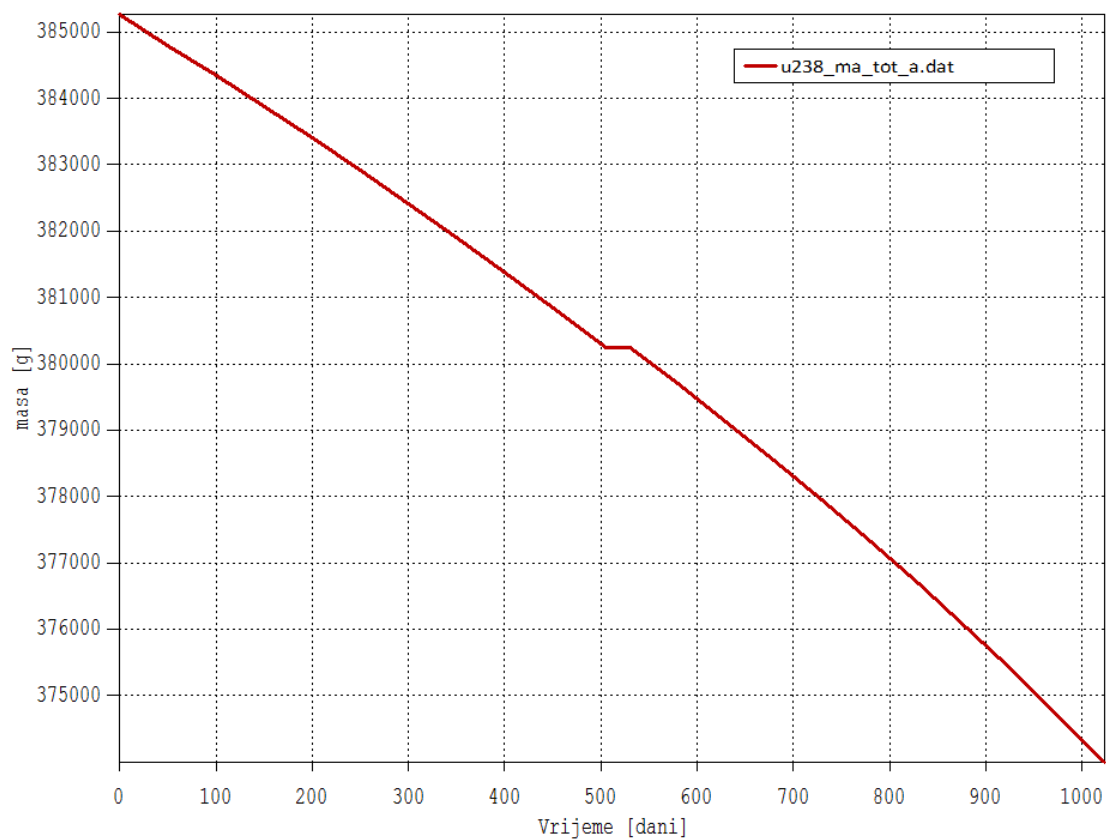
### Rad reaktora

Tokom gorivnog ciklusa, mijenjaju se mase izotopa urana  $^{235}\text{U}$  i  $^{238}\text{U}$ , no nastaju i izotopi plutonija,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ . Na slici 1 prikazana je vremenska ovisnost mase urana  $^{235}\text{U}$  tokom odgora. Slika 2 prikazuje masu urana  $^{238}\text{U}$  prilikom odgora. Dok slika 3 prikazuje mase izotopa plutonija  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  tokom odgora.

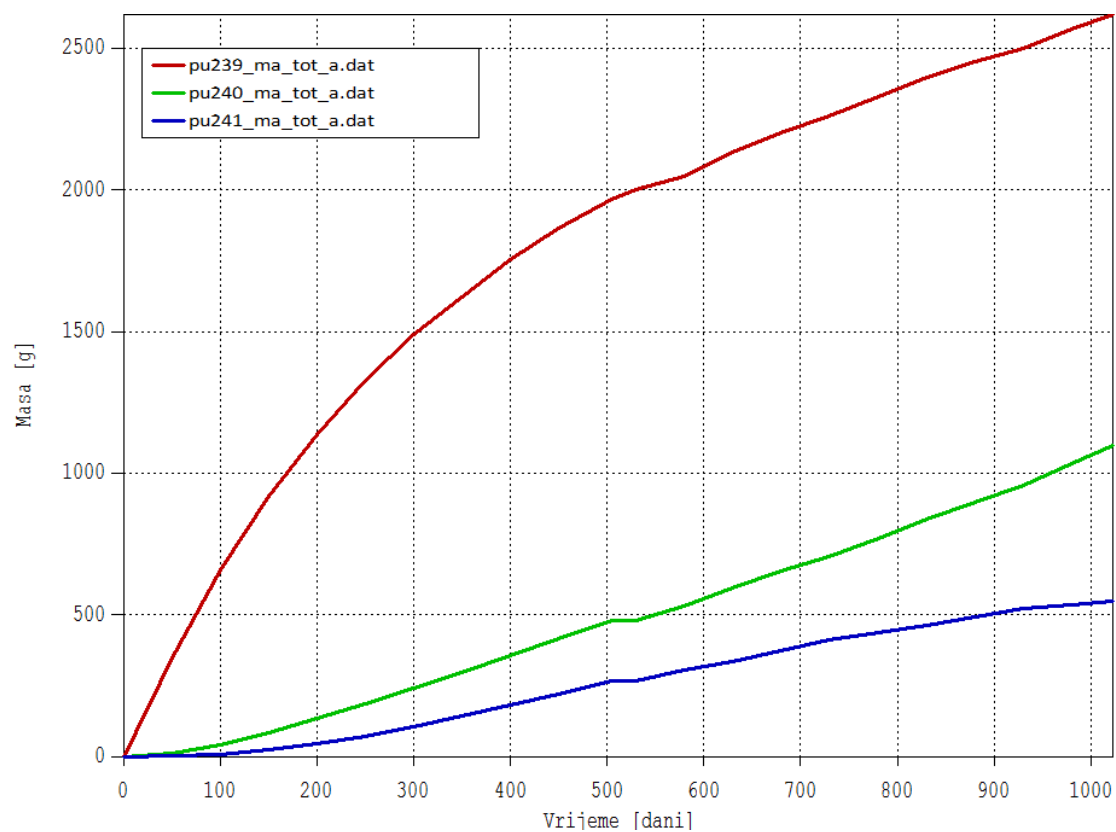


Slika 1: Masa urana  $^{235}\text{U}$  u vremenu

Vidljiv je pad mase urana  $^{235}\text{U}$  tokom gorivnog ciklusa, što i pokušavamo postići, iskoristiti taj uran za fisiju. Na krivulji je vidljiv i period stagnacije od 505. dana do 530. dana. Takva ovisnost se dogodila jer u tom periodu reaktor nije radio, te nije dolazilo do fisije u reaktoru pa tako ni potrošnje goriva. Slična anomalija vidljiva je i na ostalim grafovima u nastavku.

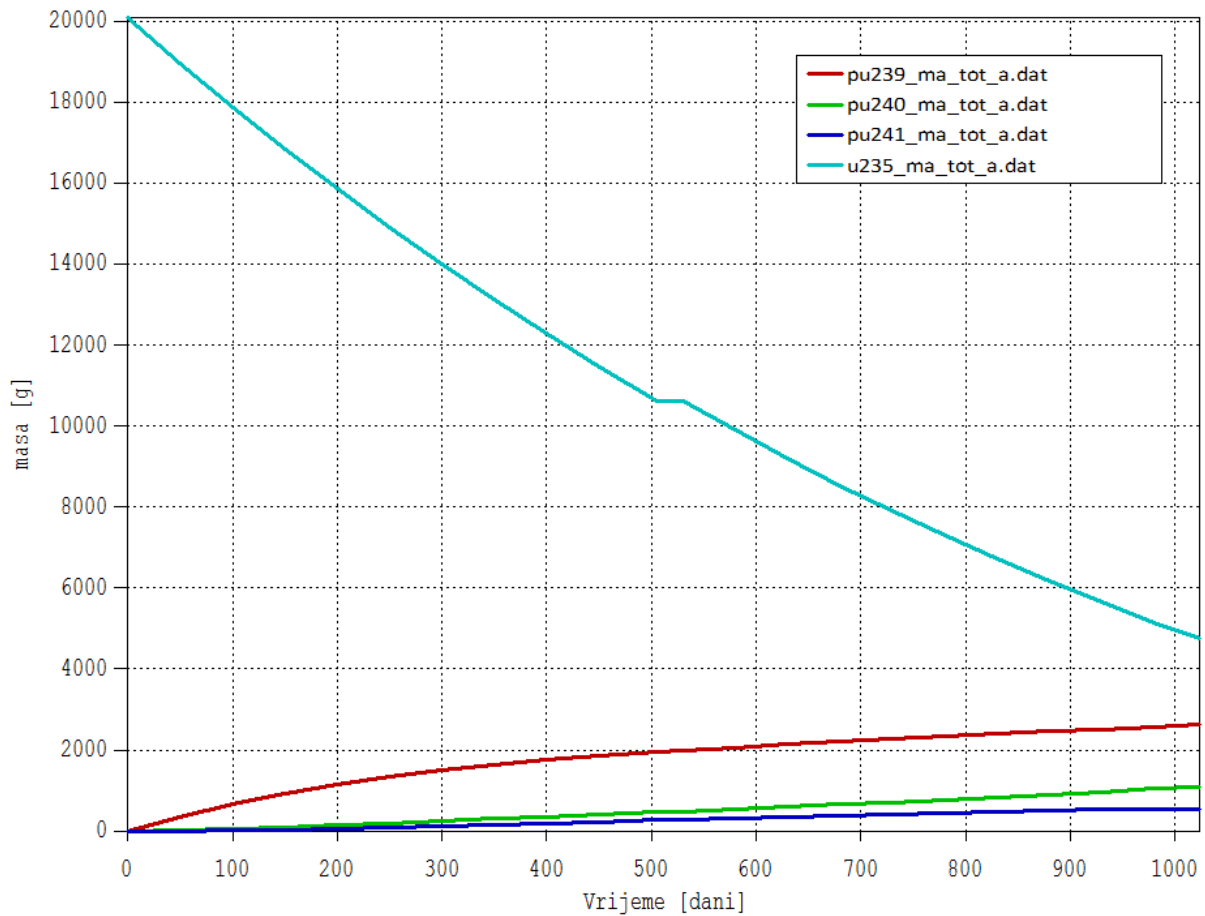


Slika 2 : Masa urana  $^{238}\text{U}$  u vremenu



Slika 3: Masa plutonijevih izotopa  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  u vremenu

Na slici 4 prikazane su mase fisilnih elemenata u našem gorivnom elementu u periodu rada reaktora.

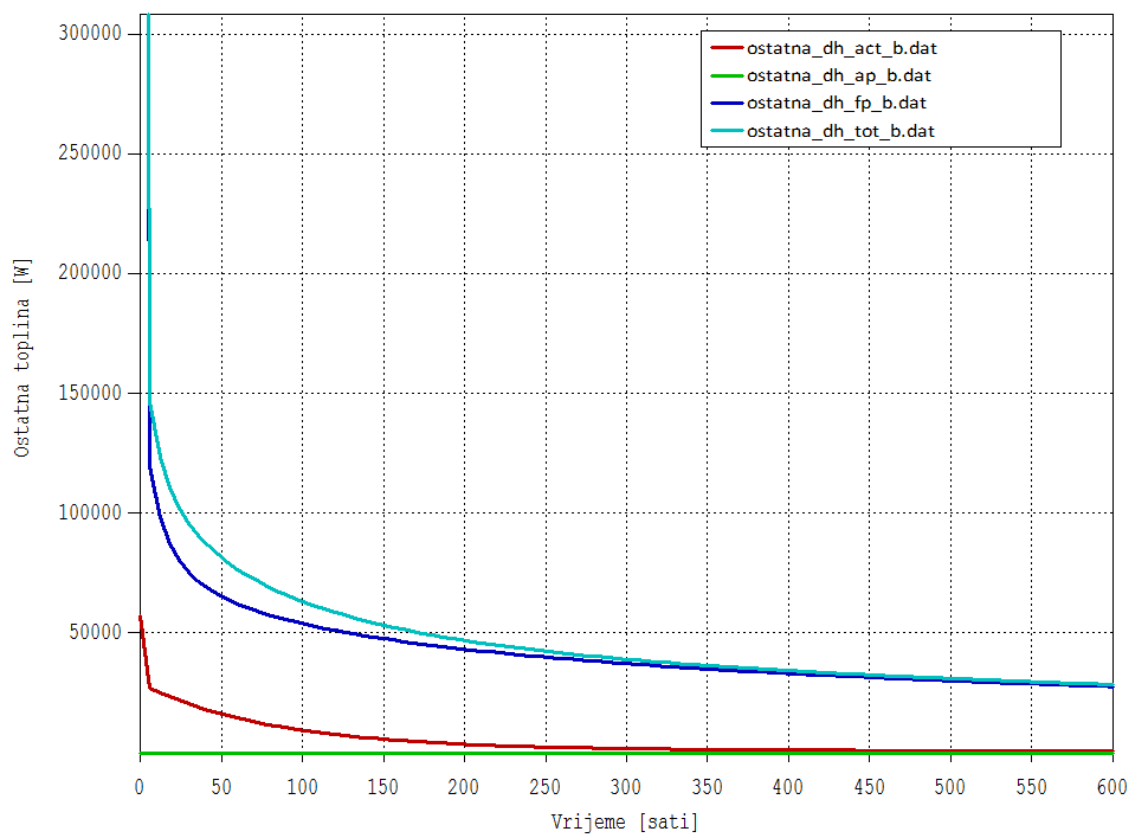


Slika 4: Mase  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$

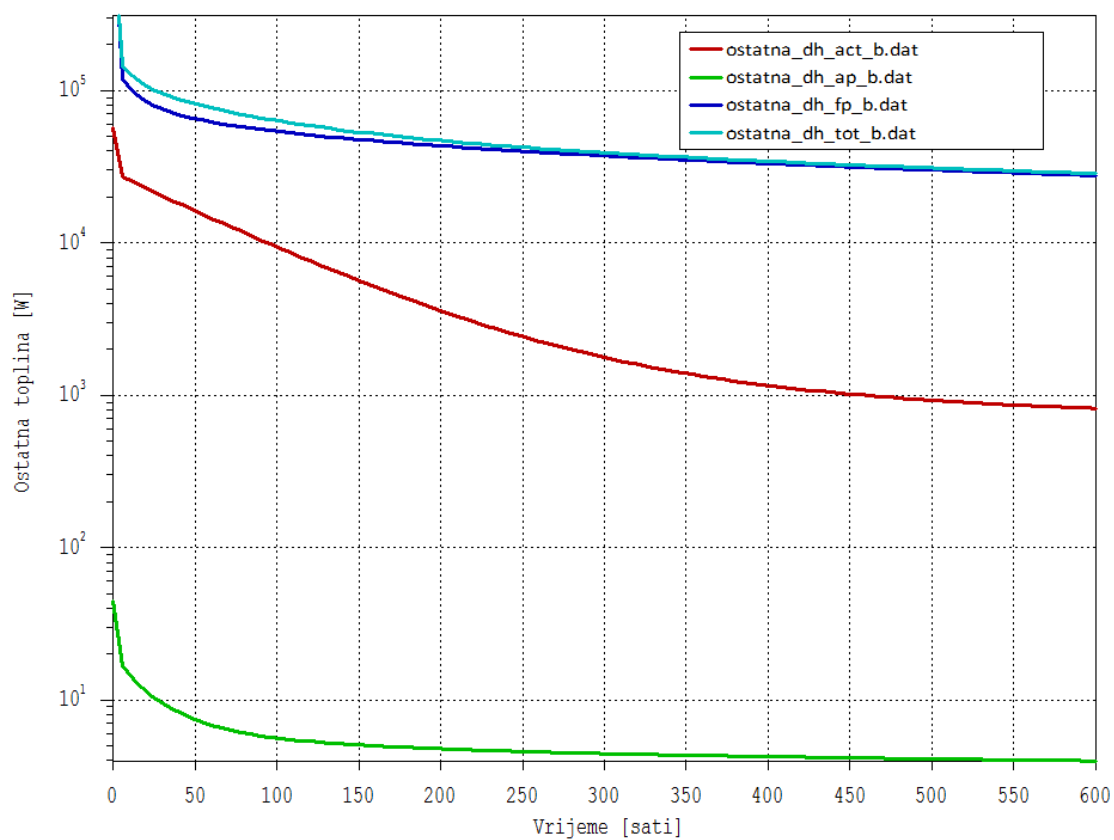
## Nakon zaustavljanja reaktora

Nakon zaustavljanja reaktora promatramo ostatnu toplinu u gorivom elementu, te aktivnost elementa.

Na slici 5 prikazana je ostatna toplina gorivnog elementa u periodu od 25 dana nakon gašenja reaktora, u linearnoj te na slici 6 u logaritamskoj skali. Na slikama su prikazane ostatne topline aktivacijskih produkata, aktinida, fisijskih produkata i ukupna ostatna toplina. Ostatna toplina prikazuje nam koliko dugo moramo držati gorivi element pod hlađenjem, da ne bi došlo do pregrijavanja, nakon obustave rada u reaktoru.



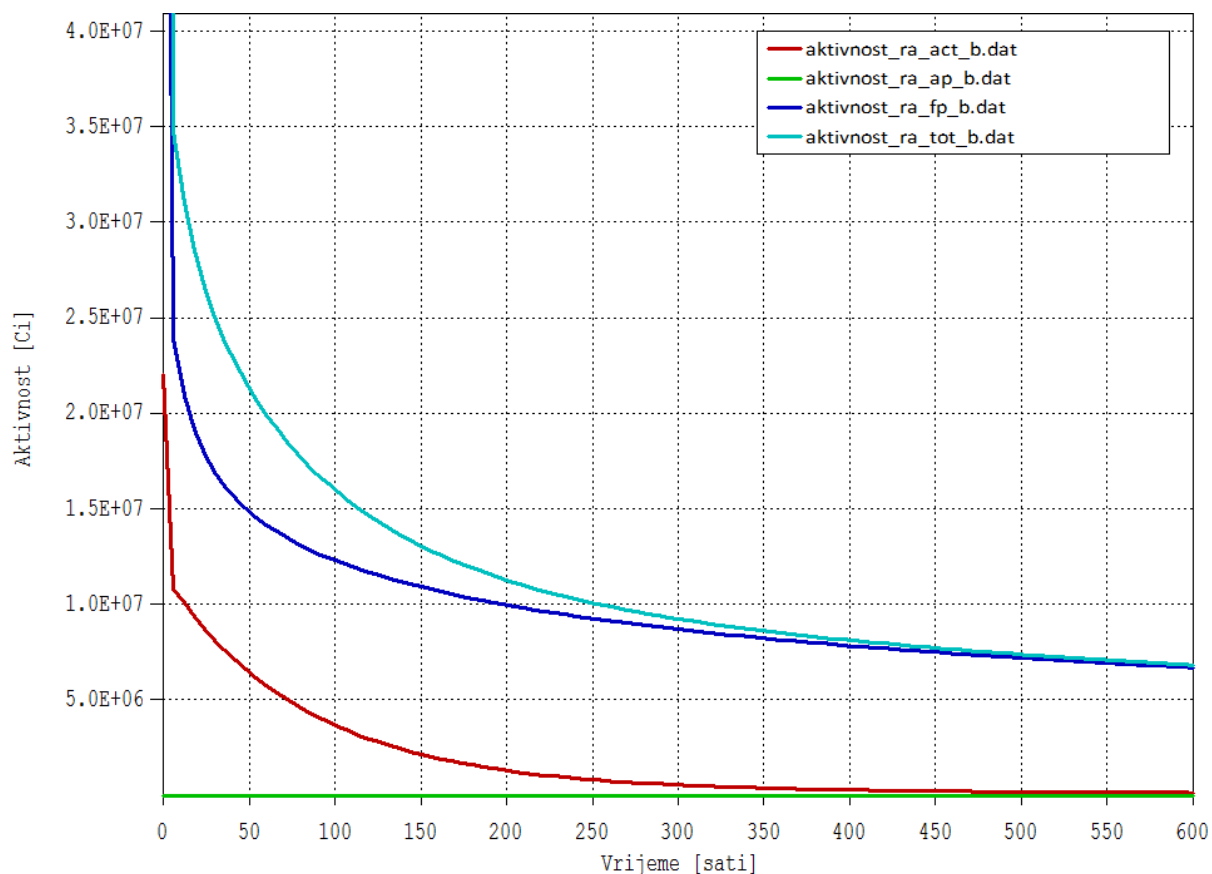
Slika 5 : Ostatna toplina aktivacijskih produkata, aktinida, fisijskih produkata i ukupna ostatna toplina , linearno mjerilo



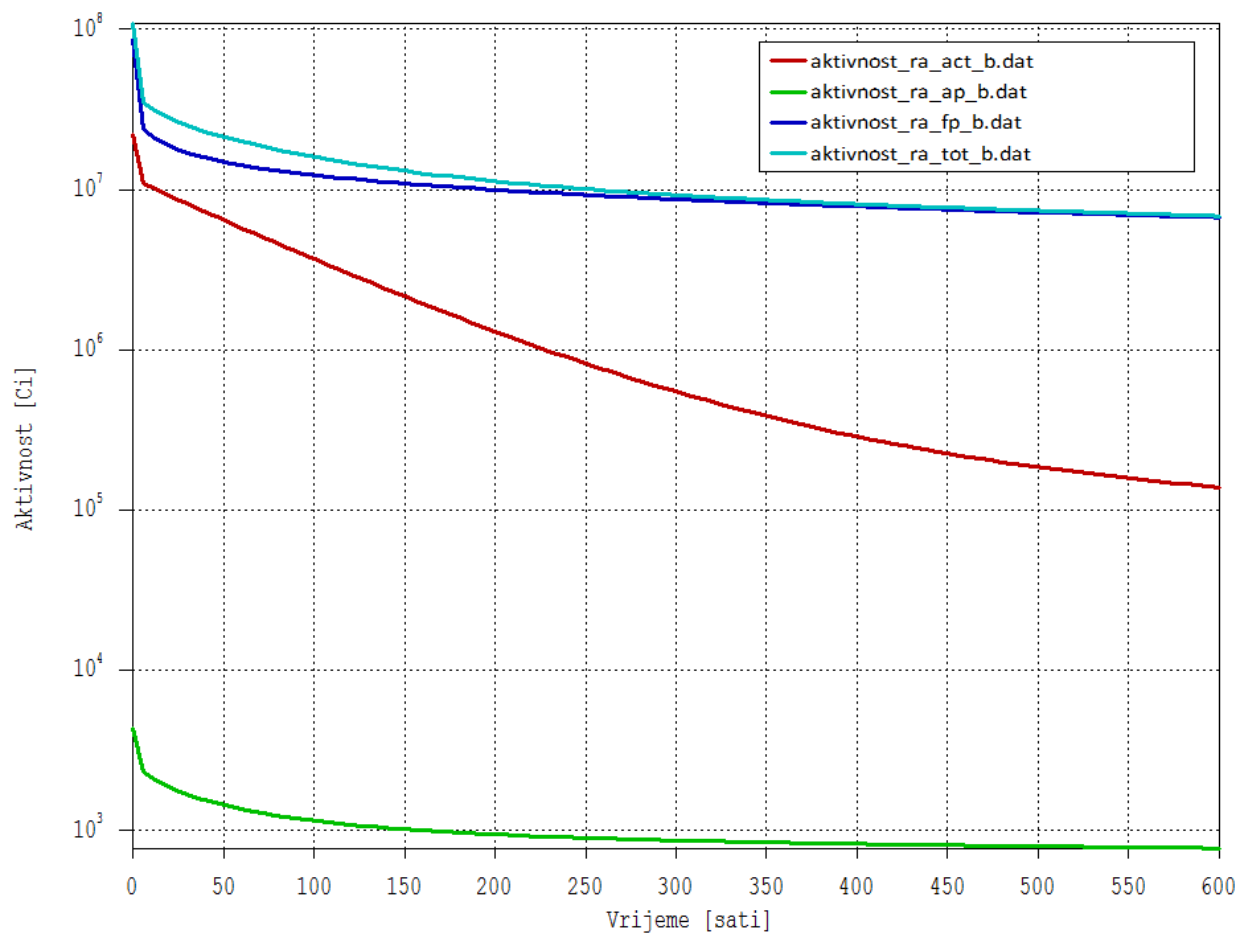
Slika 6 : Ostatna toplina aktivacijskih produkata, aktinida, fisijskih produkata i ukupna ostatna toplina, logaritamsko mjerilo



Na slikama 7 i 8 prikazane su aktivnosti aktivacijskih produkata, aktinida, fisijskih produkata i ukupna aktivnost u periodu od dvadeset i pet dana nakon obustave reaktora sa rezolucijom od šest sati. Primjećuje se slična ovisnost aktivnosti kao i ostatne topline, koja rapidno pada u prvih desetak sati nakon gašenja reaktora, nakon čega je u daljnjem laganom padu. Aktivnost je prikazana u kirijima.



Slika 7 : Aktivnost aktivacijskih produkata, aktinida, fisijskih produkata i ukupna aktivnost, linearno mjerilo



Slika 8 : Aktivnost aktivacijskih produkata, aktinida, fisijskih produkata i ukupna aktivnost, logaritamsko mjerilo

## Ulazna \*.u5 datoteka

U nastavku je dana kompletna input datoteka za origen.

```

-1
-1
-1
BAS      49.150 MTU (BATCHES FROM CYCLES 22 and 23) 121 FAs
TIT      TOTAL CORE INVENTORY AT EOC 17
CUT      5 1.0E-08 7 1.0E-05 -1
LIP      0 0 0
LIB      0 1 2 3 604 605 606 9 50 0 1 39
PHO      101 102 103 10
OPTL     2*8 3 8 3 8 3 8 3 15*8
OPTA     2*8 3 8 3 8 3 8 3 15*8
OPTF     2*8 3 8 3 8 3 8 3 15*8
RDA      READ 8A BATCH FUEL COMPOSITION (4.950% ENRICHMENT, 1 FAs)
INP      -1 1 -1 -1 1 1
TIT      8A BATCH IRRADIATION AND DECAY from cycle 21
MOV      -1 1 0 0.4055
HED      1
BUP
CHARGE

IRP 50.      18.883 1 2 4 2 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 100.     18.883 2 3 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 150.     18.883 3 4 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 200.     18.883 4 5 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 250.     18.883 5 6 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 300.     18.883 6 7 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 350.     18.883 7 8 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 400.     18.883 8 9 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 450.     18.883 9 10 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 505.     18.883 10 11 4 0 END OF THIS STEP= 23516 MWD/MTIHM

DEC 530.     11 12 4 0 remont 21-22
OUT 12 1 -1 0

IRP 580.     18.143 12 1 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 630.     18.143 1 2 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 680.     18.143 2 3 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 730.     18.143 3 4 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 780.     18.143 4 5 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 830.     18.143 5 6 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 880.     18.143 6 7 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 930.     18.143 7 8 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 980.     18.143 8 9 4 0 END OF THIS STEP= MWD/MTIHM
IRP 1023.    18.143 9 10 4 0 END OF THIS STEP= 45574 MWD/MTIHM

OUT 10 1 -1 0
DEC 6.       10 1 3 2

```

DEC	12.				1	2	3	0
DEC	18.				2	3	3	0
DEC	24.				3	4	3	0
DEC	30.				4	5	3	0
DEC	36.				5	6	3	0
DEC	42.				6	7	3	0
DEC	48.				7	8	3	0
DEC	54.				8	9	3	0
DEC	60.				9	10	3	0
DEC	66.				10	11	3	0
DEC	72.				11	12	3	0
OUT	12	1	-1	0				
DEC	78.				12	1	3	0
DEC	84.				1	2	3	0
DEC	90.				2	3	3	0
DEC	96.				3	4	3	0
DEC	102.				4	5	3	0
DEC	108.				5	6	3	0
DEC	114.				6	7	3	0
DEC	120.				7	8	3	0
DEC	126.				8	9	3	0
DEC	132.				9	10	3	0
DEC	138.				10	11	3	0
DEC	144.				11	12	3	0
OUT	12	1	-1	0				
DEC	150.				12	1	3	0
DEC	156.				1	2	3	0
DEC	162.				2	3	3	0
DEC	168.				3	4	3	0
DEC	174.				4	5	3	0
DEC	180.				5	6	3	0
DEC	186.				6	7	3	0
DEC	192.				7	8	3	0
DEC	198.				8	9	3	0
DEC	204.				9	10	3	0
DEC	210.				10	11	3	0
DEC	216.				11	12	3	0
OUT	12	1	-1	0				
DEC	222.				12	1	3	0
DEC	228.				1	2	3	0
DEC	234.				2	3	3	0
DEC	240.				3	4	3	0
DEC	246.				4	5	3	0
DEC	252.				5	6	3	0
DEC	258.				6	7	3	0
DEC	264.				7	8	3	0
DEC	270.				8	9	3	0
DEC	276.				9	10	3	0
DEC	282.				10	11	3	0
DEC	288.				11	12	3	0
OUT	12	1	-1	0				
DEC	294.				12	1	3	0
DEC	300.				1	2	3	0
DEC	306.				2	3	3	0

```

DEC 312.      3  4  3 0
DEC 318.      4  5  3 0
DEC 324.      5  6  3 0
DEC 330.      6  7  3 0
DEC 336.      7  8  3 0
DEC 342.      8  9  3 0
DEC 348.      9 10  3 0
DEC 354.     10 11  3 0
DEC 360.     11 12  3 0
OUT 12  1  -1  0
DEC 366.     12  1  3 0
DEC 372.      1  2  3 0
DEC 378.      2  3  3 0
DEC 384.      3  4  3 0
DEC 390.      4  5  3 0
DEC 396.      5  6  3 0
DEC 402.      6  7  3 0
DEC 408.      7  8  3 0
DEC 414.      8  9  3 0
DEC 420.      9 10  3 0
DEC 426.     10 11  3 0
DEC 432.     11 12  3 0
OUT 12  1  -1  0
DEC 438.     12  1  3 0
DEC 444.      1  2  3 0
DEC 450.      2  3  3 0
DEC 456.      3  4  3 0
DEC 462.      4  5  3 0
DEC 468.      5  6  3 0
DEC 474.      6  7  3 0
DEC 480.      7  8  3 0
DEC 486.      8  9  3 0
DEC 492.      9 10  3 0
DEC 498.     10 11  3 0
DEC 504.     11 12  3 0
OUT 12  1  -1  0
DEC 510.     12  1  3 0
DEC 516.      1  2  3 0
DEC 522.      2  3  3 0
DEC 528.      3  4  3 0
DEC 534.      4  5  3 0
DEC 540.      5  6  3 0
DEC 546.      6  7  3 0
DEC 552.      7  8  3 0
DEC 558.      8  9  3 0
DEC 564.      9 10  3 0
DEC 570.     10 11  3 0
DEC 576.     11 12  3 0
OUT 12  1  -1  0
DEC 582.     12  1  3 0
DEC 588.      1  2  3 0
DEC 594.      2  3  3 0
DEC 600.      3  4  3 0
OUT  4  1  -1  0

```

END									
2	922340	400.0	922350	49500	922380	950087	922360	13.0	FUEL 4.950%
8a									
4	030000	1.0	050000	1.0	060000	89.4	070000	25.0	FUEL IMPU
4	080000	134454.	090000	10.7	110000	15.0	120000	2.0	FUEL IMPU
4	130000	16.7	140000	12.1	150000	35.0	170000	5.3	FUEL IMPU
4	200000	2.0	220000	1.0	230000	3.0	240000	4.0	FUEL IMPU
4	250000	1.7	260000	18.0	270000	1.0	280000	24.0	FUEL IMPU
4	290000	1.0	300000	40.3	420000	10.0	470000	0.1	FUEL IMPU
4	480000	25.0	490000	2.0	500000	4.0	640000	2.5	FUEL IMPU
4	740000	2.0	820000	1.0	830000	0.4	0	0.0	FUEL IMPU
0									