

Radioaktivni razpad in radioaktivni odpadki

Doc.dr.Branko Kontić

Vsebina

- Jedrski razpad
- Izbrani podatki o NE Krško
- Radioaktivni odpadki – kaj z njimi?

Jedrski razpad

- Atomska masa
 - enota atomske mase: 1/12 nevtralnega atoma C-12 in znaša $1,660438 \cdot 10^{-24}$ g. V energijskih enotah to znaša 931,478 MeV
 - $M_p = 1,007277$ eam, $M_n = 1,008665$ eam

- Masni defekt

$$\Delta = ZM_p + NM_n - M_A$$

$$\Delta = Z(M_p + m_e) + NM_n - (M_A + Zm_e)$$

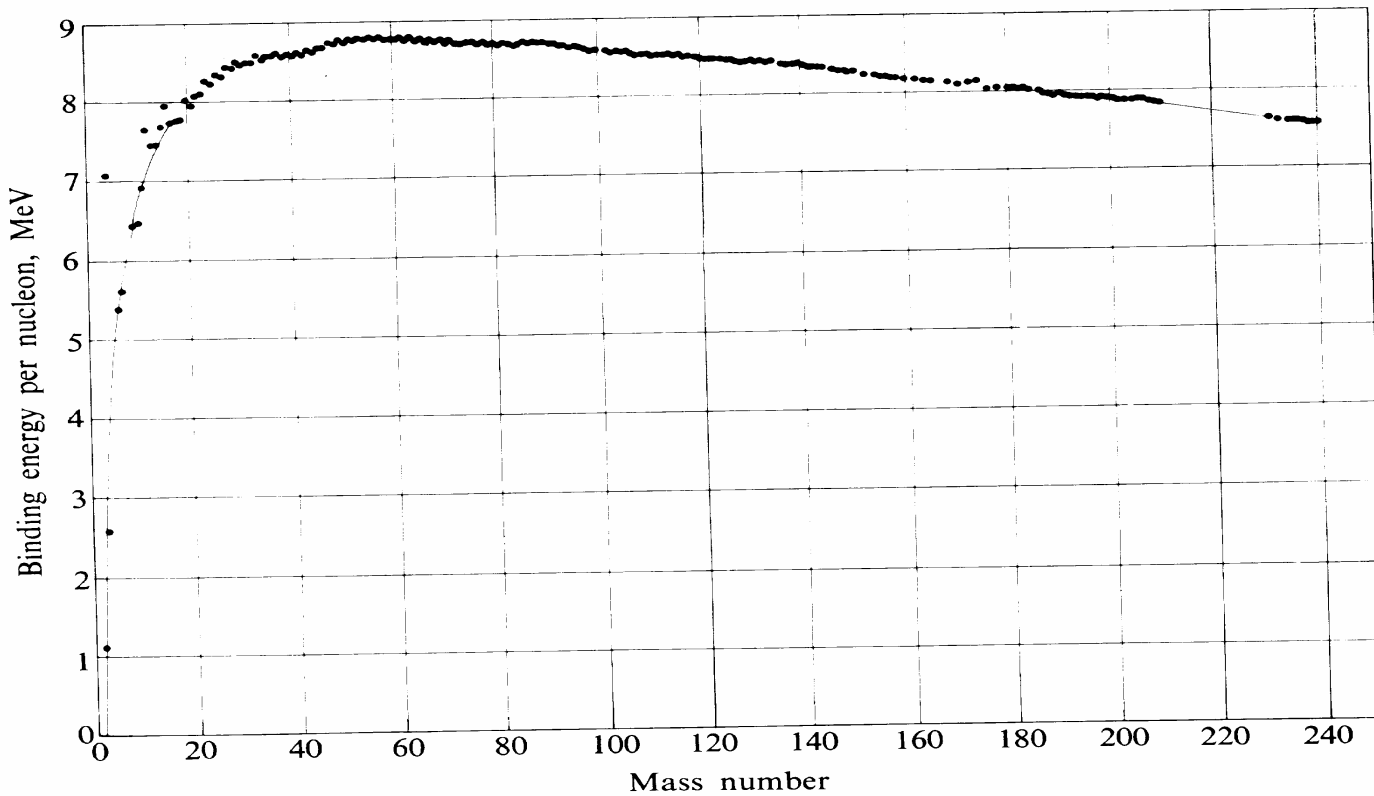
$$\Delta \cong ZM_H + NM_n - M$$

Jedrski razpad

- Δ je enak energiji, potrebni za razpad jedra v konstitutivne delce. Imenujemo jo vezivna ali vezna energija atoma, ker “drži atom skupaj”.
- Pri tvorbi jedra iz konstitutivnih delcev se Δ energije sprosti. Na primer, pri vezavi protona in nevtrona v devterij (H-2), se sprosti 2,23 MeV v obliki γ -žarkov. Za toliko je nižja masa H-2 od seštevka mas nevtrona in protona.

Jedrski razpad

vezivna energija in masno število:
čim višja energija, stabilnejše jedro



Jedrski razpad

- Masno število nad 50: stabilnejše konfiguracije dobimo, če razpade težko jedro na dva manjša
- U-238: vezivna energija 7,5 MeV po delcu, pri $M=238/2$ pa je 8,4 MeV po delcu. Razlika je 0,9 MeV po delcu, za celo jedro to znesse $238 \cdot 0,9 = 214$ MeV.

Jedrski razpad

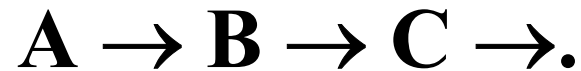
$$-dn(t) = \lambda n(t) dt$$

$$n(t) = n_0 e^{-\lambda t}$$

$$dn(t) = -\lambda n(t) dt + R(t) dt$$

$$n(t) = n_0 e^{-\lambda t} + e^{-\lambda t} \int_0^t R(t') e^{\lambda t'} dt'$$

Jedrski razpad



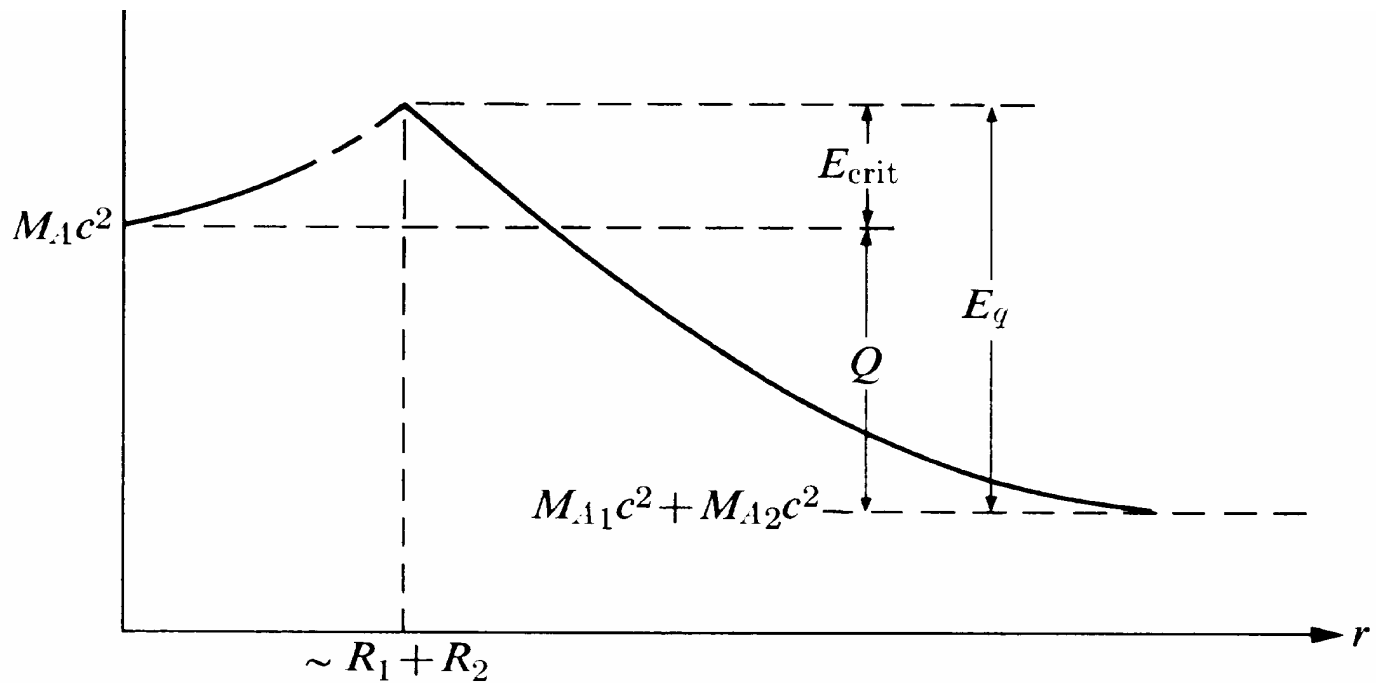
$$R(t) = \lambda_A n_A(t) = \lambda_A n_{A0} e^{-\lambda_A t}$$

$$n_B(t) = n_{B0} e^{-\lambda_B t} + \frac{n_{A0} \lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t})$$

Jedrski razpad

kritična energija

$$E_{crit} = E_q - Q$$



Jedrski razpad

kritična energija

- Za uran je kritična energija okoli 6 MeV
- Karkoli prinese vsaj tolikšno energijo jedru, ta razpade
- Če se ujame nevtron v jedro, in je vezivna energija novega, za 1n težjega jedra, višja od kritične, bo to povzročilo razpad.
- Nevtron ima lahko ničelno kinetično energijo

Jedrski razpad

kritična energija

Fissioning nucleus Z^A	Critical energy	Binding energy of last neutron in Z^A
Th-232	5.9	*
Th-233	6.5	5.1
U-233	5.5	*
U-234	4.6	6.6
U-235	5.75	*
U-236	5.3	6.4
U-238	5.85	*
U-239	5.5	4.9
Pu-239	5.5	*
Pu-240	4.0	6.4

Jedrski razpad

Form	Emitted energy, MeV	Recoverable energy, MeV
Fission fragments	168	168
Fission product decay	8	8
β -rays	7	7
γ -rays	12	-
neutrinos		
Prompt γ -rays	7	7
Fission neutrons (kinetic energy)	5	5
Capture γ -rays	-	3-12
Total	207	198-207

Vrste RAO

visokoaktivni	$A_{sp} > 5 \times 10^{14}$	α, β, γ visoka toplotna moč
srednjeaktivni	$5 \times 10^{14} > A_{sp} > 5 \times 10^9$	α
	$5 \times 10^{14} > A_{sp} > 5 \times 10^7$	β, γ
nizkoaktivni	$A_{sp} < 5 \times 10^9$	α
	$A_{sp} < 5 \times 10^7$	β, γ

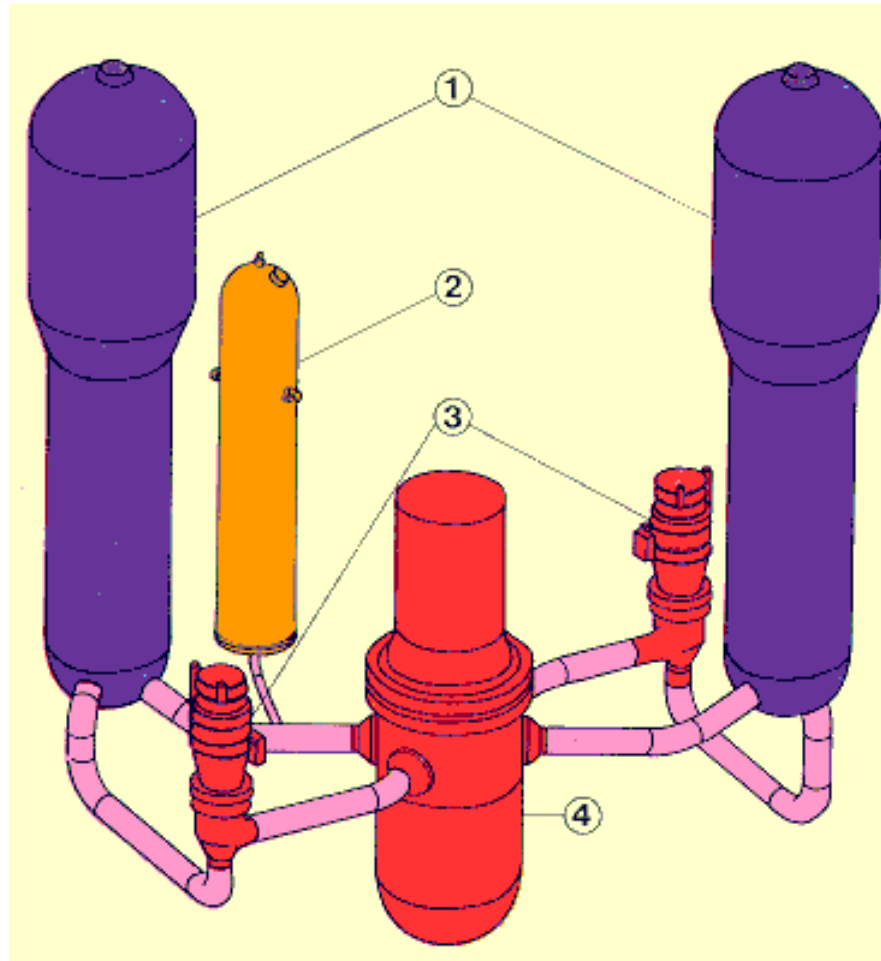
Radioaktivni odpadki v Sloveniji

- Kje nastajajo?
 - NEK (visoko, nizko, srednjeaktivni)
 - Industrija (srednje, nizko)
 - Medicina (srednje, nizko)
 - Raziskave (visoko - TRIGA, srednje, nizko)

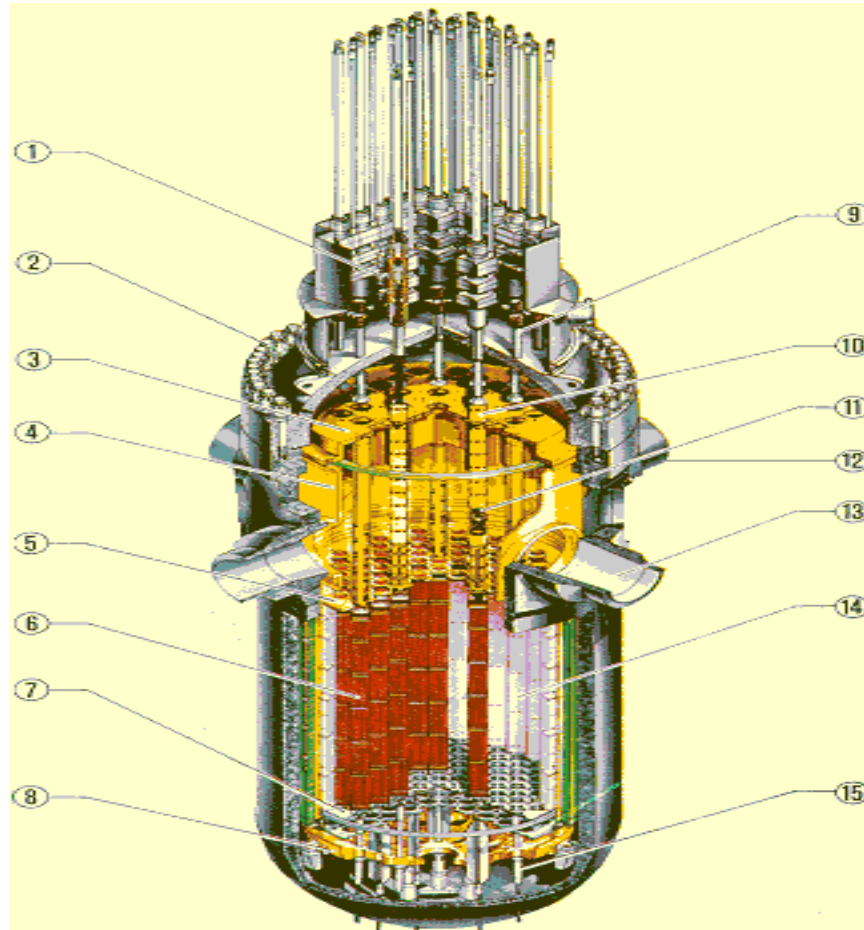
Pogled na NEK



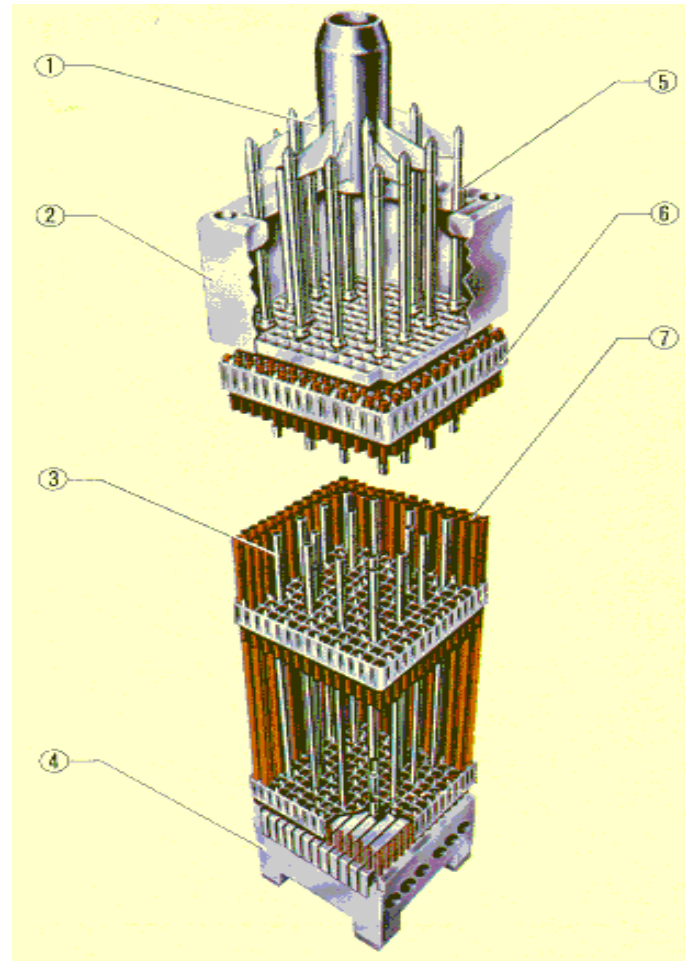
Hladilni sistem



Reaktor



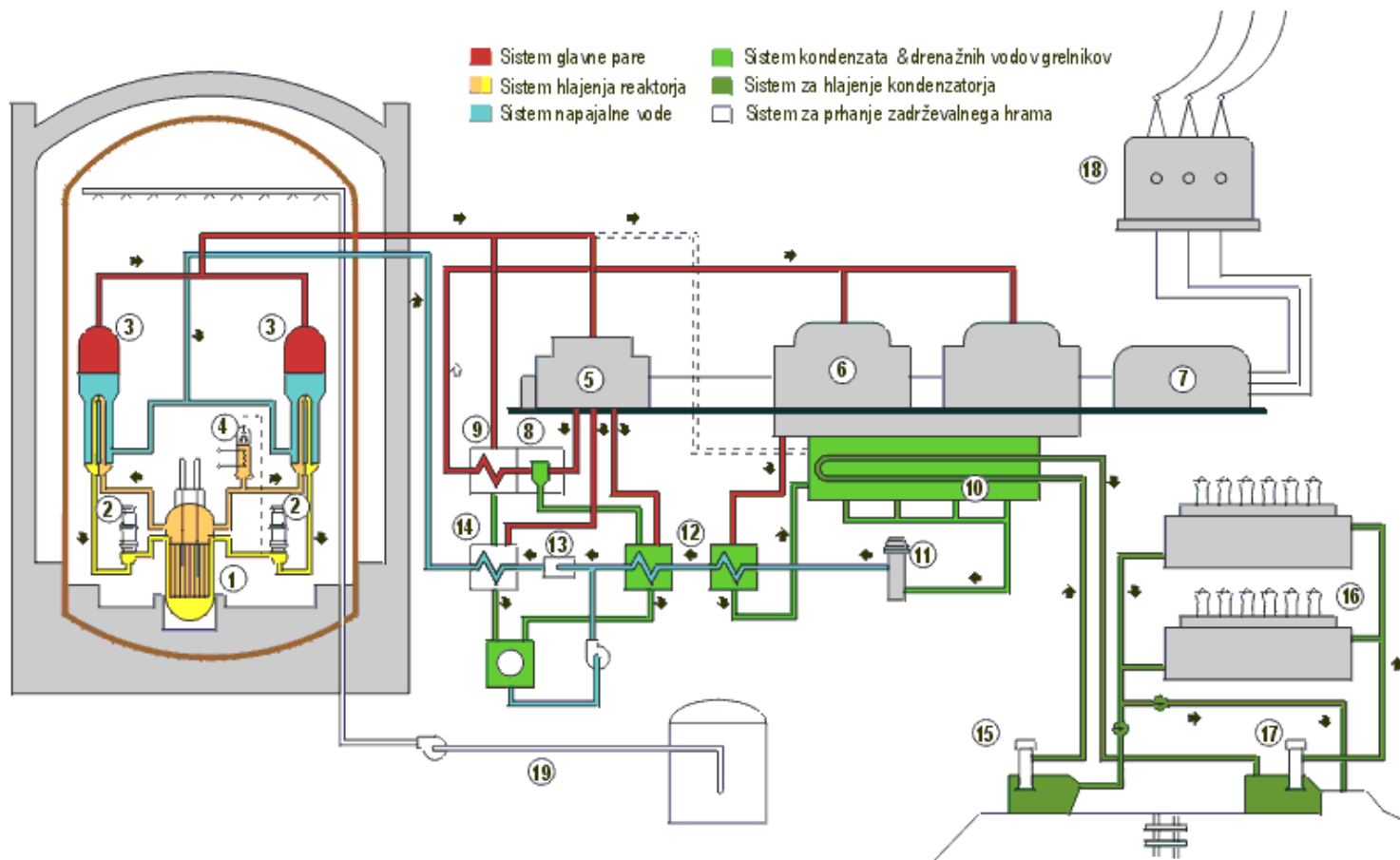
Gorivni element



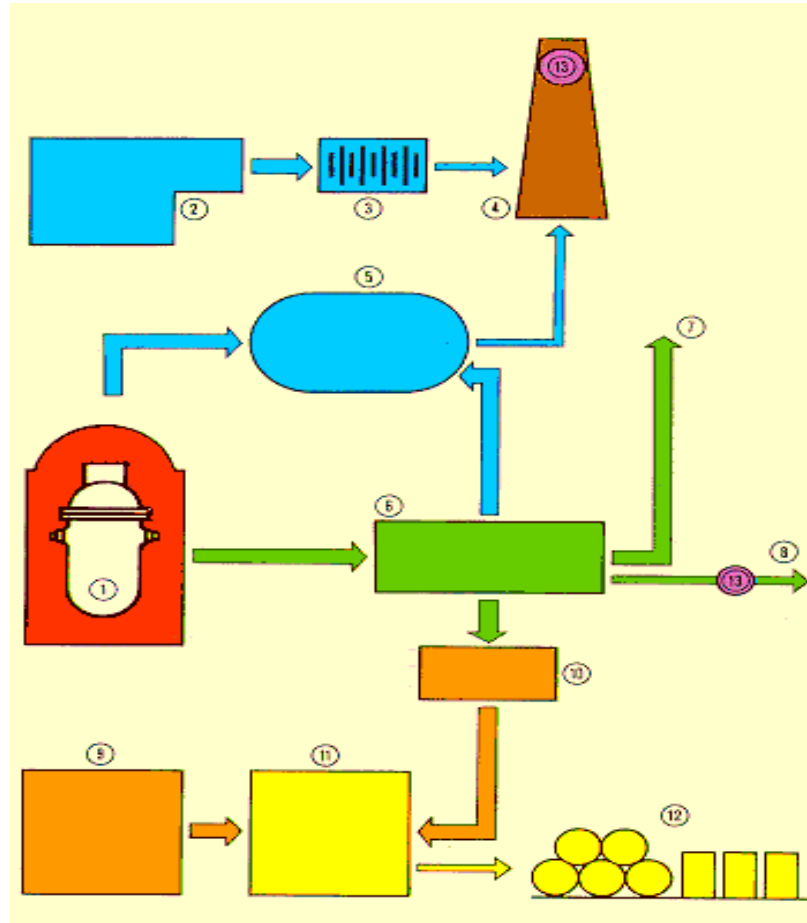
Odprta reaktorska posoda



Shema elektrarne



Odpadki



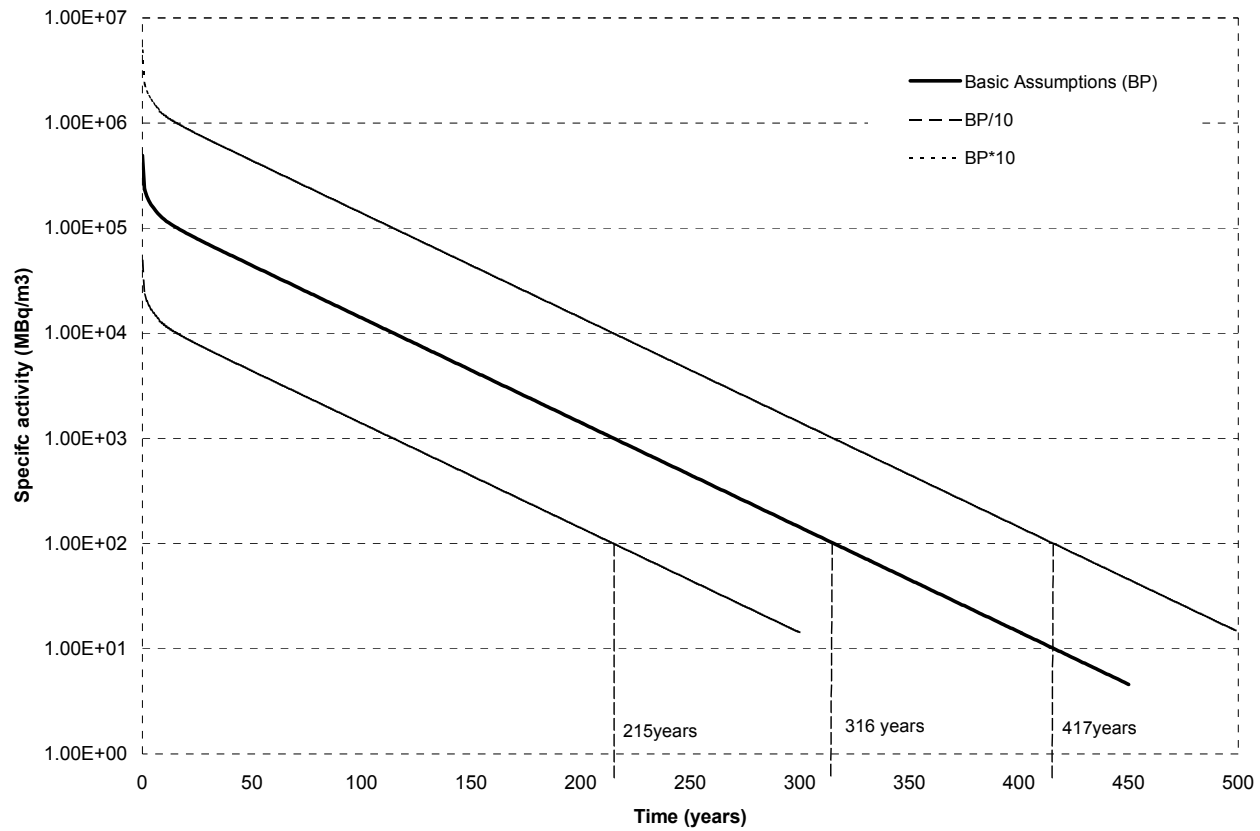
Izrabljeno gorivo



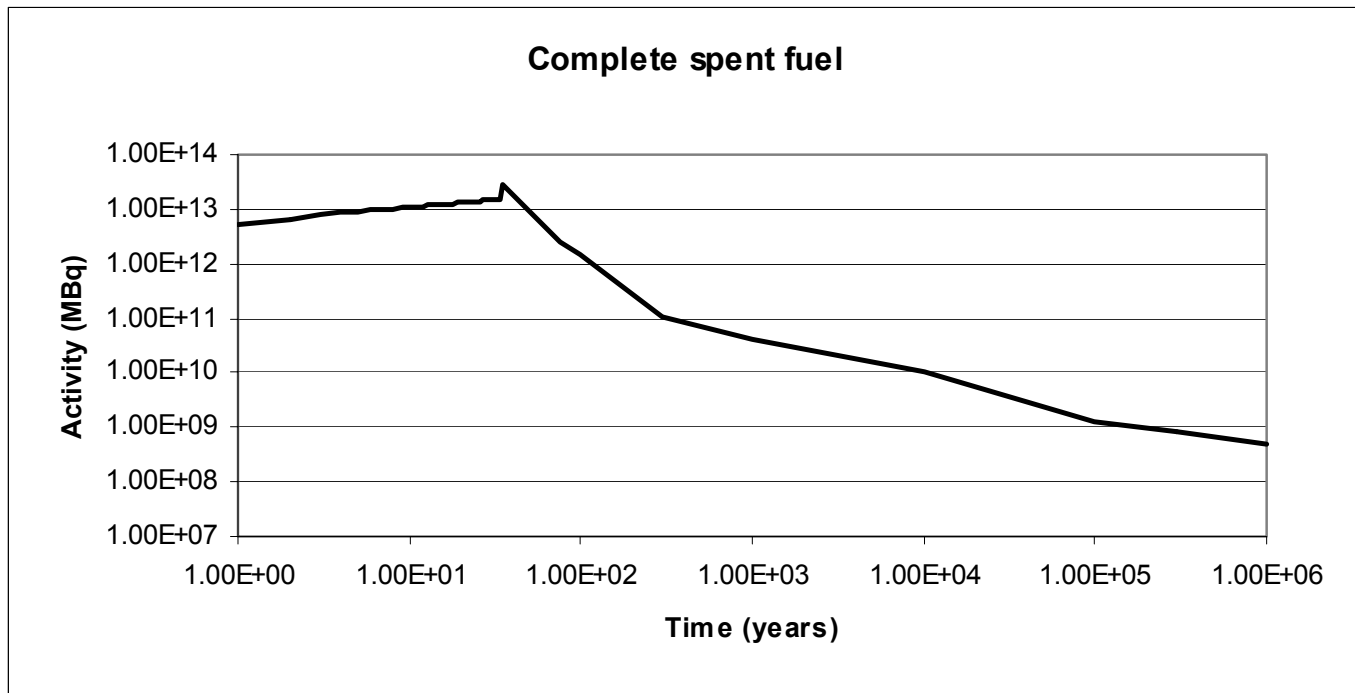
Radioaktivni odpadki v Sloveniji

- Koliko jih je trenutno/projekcija do 2023?
 - RC Brinje: 33m³ / 65m³
 - NE Krško: 4500 sodov/6000 sodov
 - Razgradnja RC in NEK 13.000m³
 - **Izrabljeno gorivo posebej!**
- Trajanje aktivnosti
 - Nizko in srednje aktivni (do 300 let)
 - Visoko aktivni (izračuni do milijon let)

Aktivnost nizko in srednje RAO



Aktivnost izrabljenega goriva



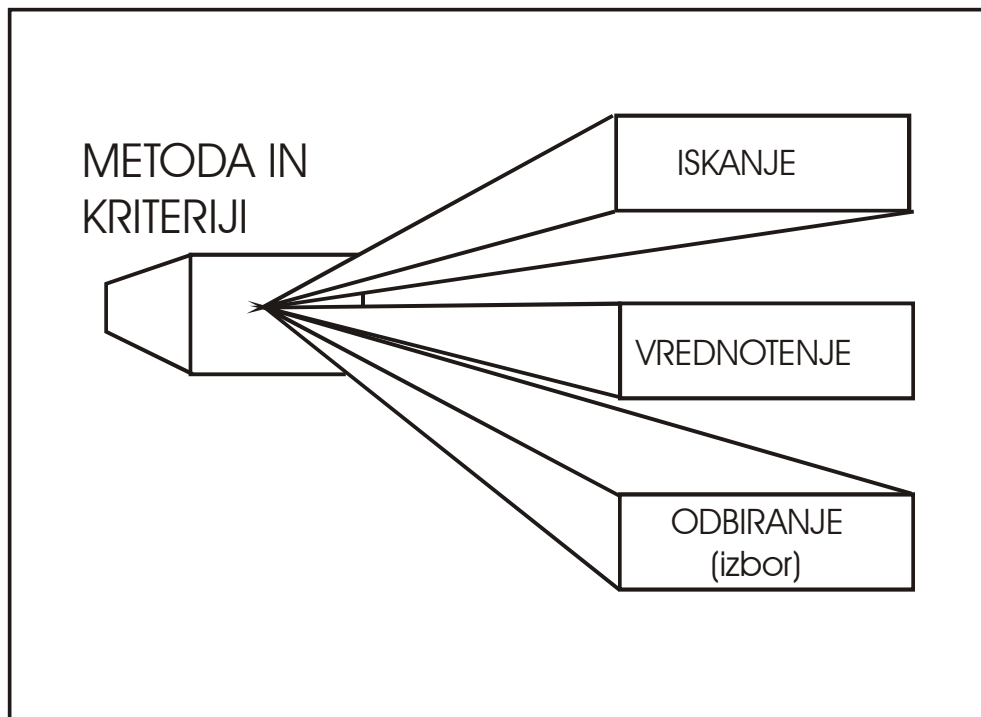
Kaj z njimi – visoko, srednje, nizko?

- Izvoziti – prodaja/nakup; ali smo za trgovanje?
- R Hrvatska (50% iz NEK)?
- Odpeljati v vesolje – “nikogaršnja zemlja”?
- Shraniti “doma”?
 - Znanost
 - Družbeni dogovor

Shraniti doma – kje?

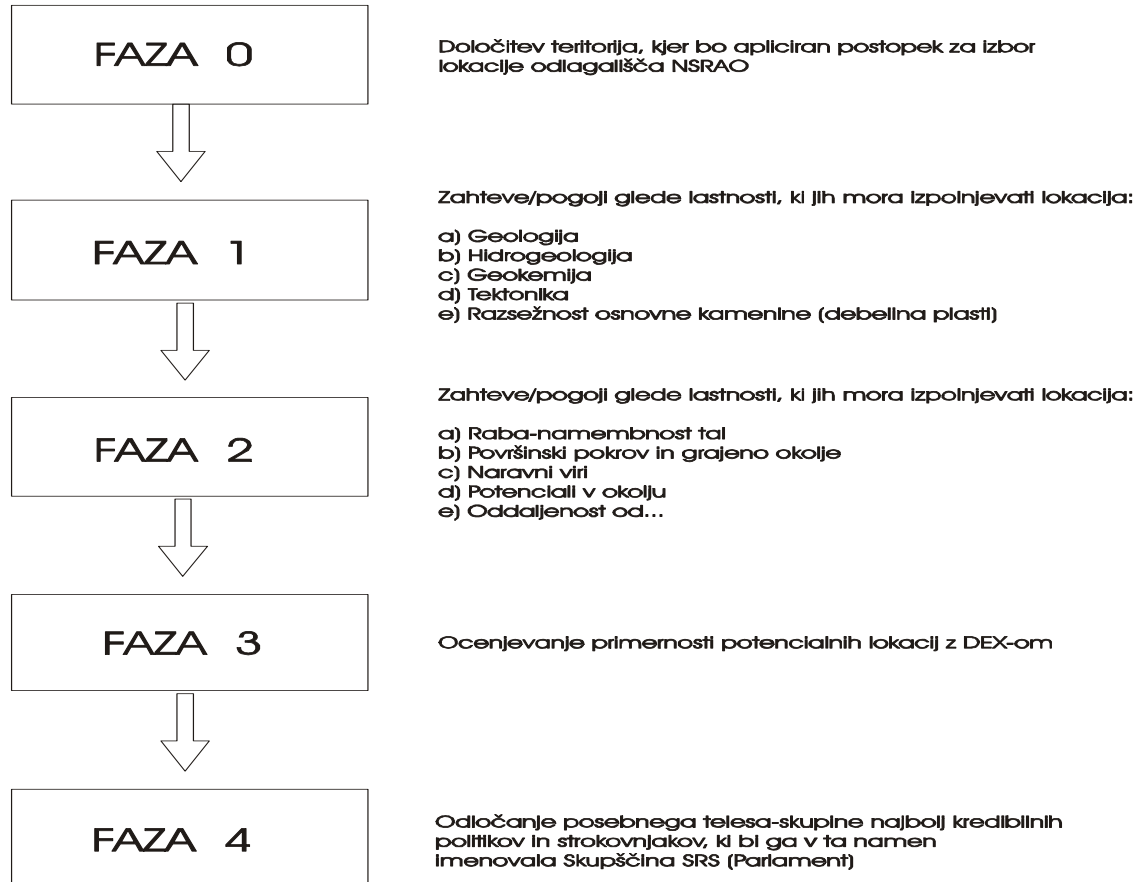
- Postopek in merila za izbor lokacije
- Pridobitev lokacije
- Nadzor
 - Postopka izbora lokacije
 - Ravnanja z odpadki
 - Polnjenja odlagališča
 - Zaprtega odlagališča

Sestavine postopka



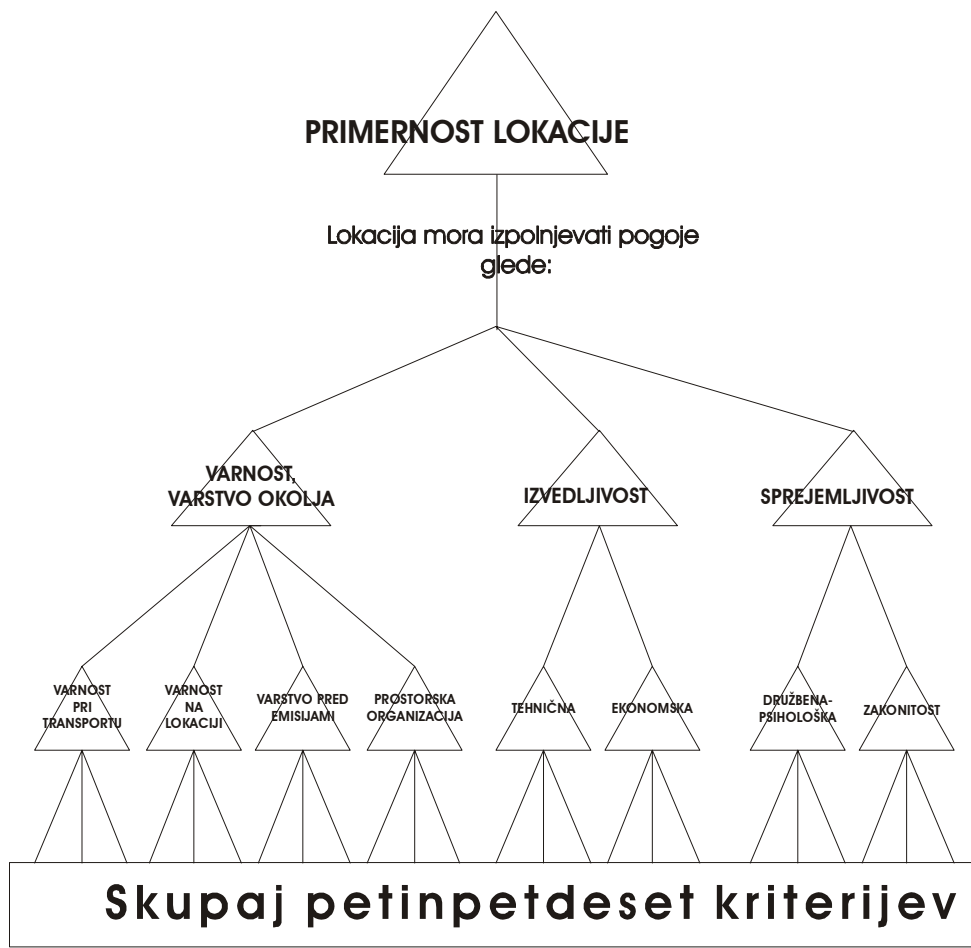
Slika 1: Sestavine postopka SEPO za izbor lokacije odlagališča NSRAO

Postopek



Slika 2: Faze postopka za izbor lokacije odlagališča NSRAO

Drevo kriterijev



Slika 3: Vrh drevesa za oceno primernosti lokacije odlagališča NSRAO po metodi SEPO