



Jedrski reaktor

Igor Jenčič

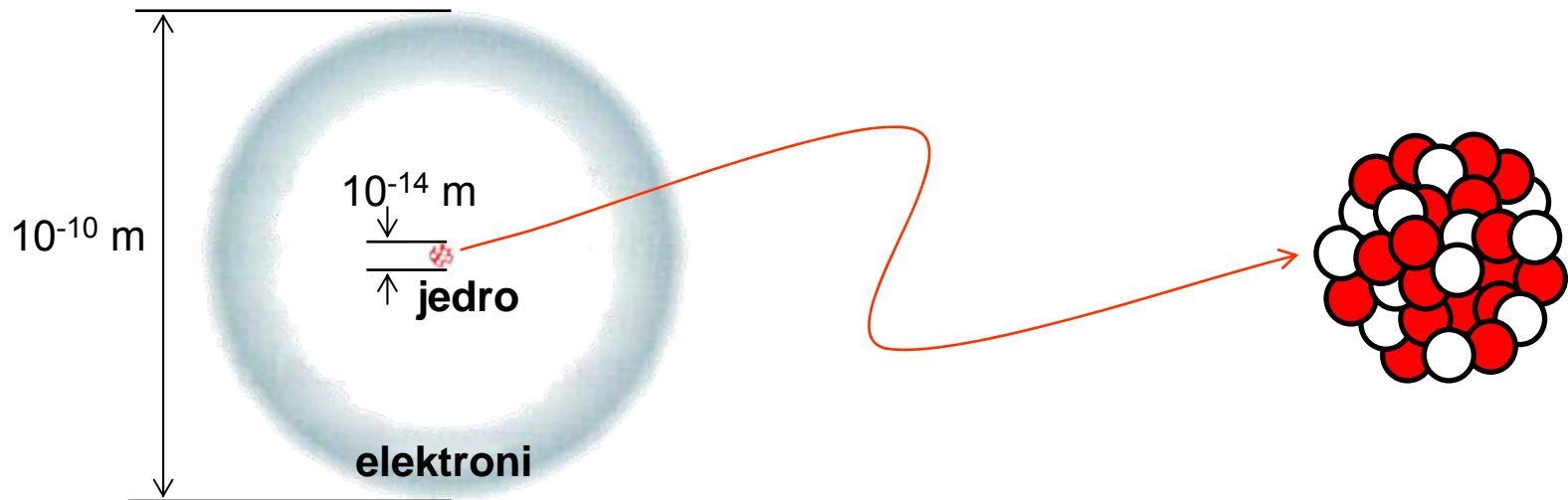
Institut "Jožef Stefan"

Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo

Vsebina

- atomi, jedra, nuklidi, izotopi
- vezavna energija jedra
- cepitev težkih jeder
- upočasnjevanje nevtronov
- verižna reakcija
- transuranski elementi in cepitveni produkti
- energijska bilanca cepitve
- zaostala toplota
- vrste reaktorjev
- napredni reaktorji
- reaktorji IV. generacije

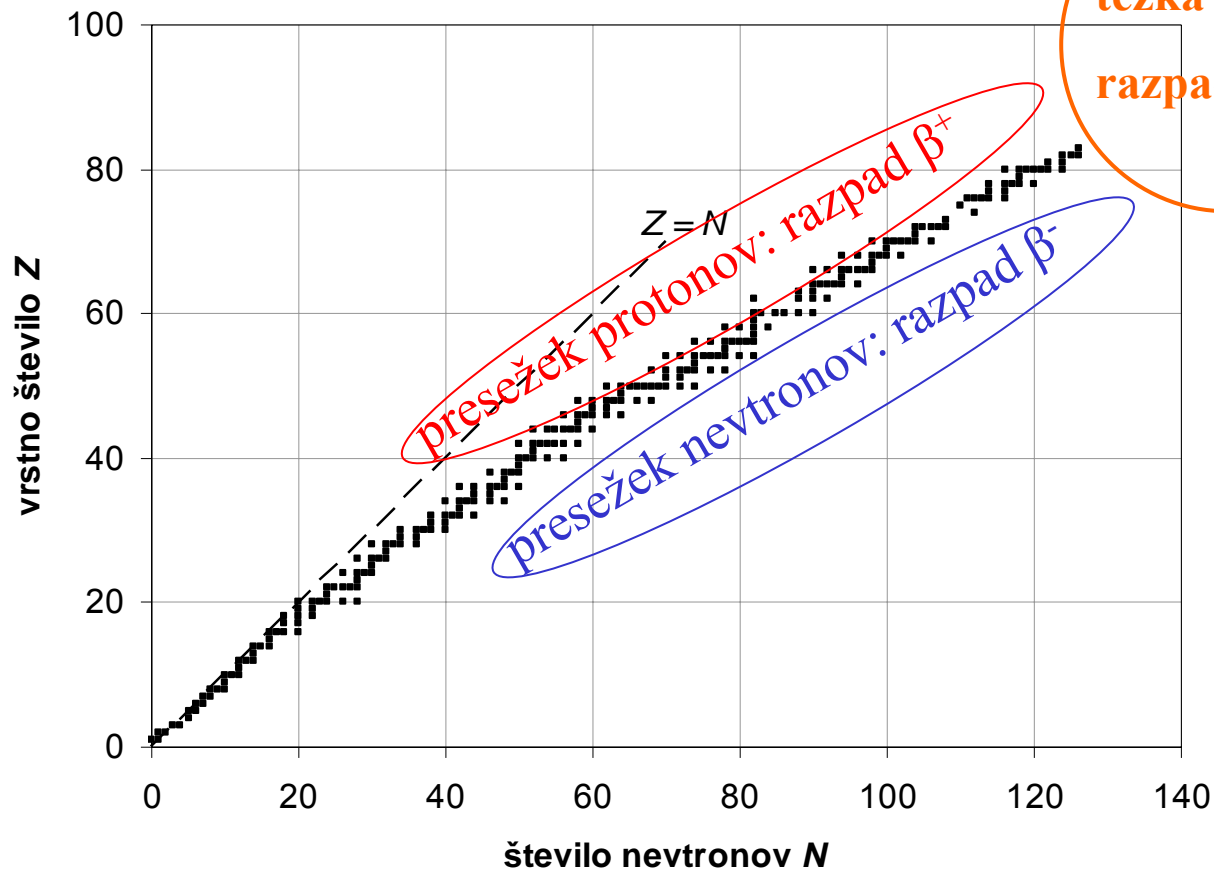
Atom in njegovo jedro



- jedro vsebuje nukleone: Z protonov in N nevtronov
- masno število: $A = Z + N$
- oznaka *nuklida*: ${}^A_Z\text{X}_N \rightarrow {}^A\text{X}$, npr. ${}^{235}_{92}\text{U}_{143} \rightarrow {}^{235}\text{U}$
- nukleone veže močna jedrska sila, protoni se elektrostatsko odbijajo

Tabela stabilnih nuklidov

- med ~ 3000 nuklidi 237 stabilnih



Mase nuklidov

- $1 \text{ u} = 1/12 \text{ mase atoma } ^{12}\text{C} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- $m_{\text{C-12}} = 12 \text{ u}$
- $m_{\text{n}} = 1,008665 \text{ u}$
- $m_{\text{H-1}} = 1,007826 \text{ u}$
- $m_{\text{H-2}} = 2,014103 \text{ u}$
- $m_{\text{Fe-56}} = 55,934938 \text{ u}$
- $m_{\text{U-238}} = 238,050786 \text{ u}$
- Einstein: $E = m c^2$:
 $1 \text{ u} c^2 = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot (2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 1,492 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 931 \text{ MeV}$
- praviloma lahko v energijo pretvorimo le zelo majhen del mase:
 - jedrske reakcije: do $4 \cdot 10^{-3}$ (cepitev okoli 10^{-3})
 - kemične reakcije: okoli 10^{-10}

Masni defekt jedra

- masa jedra je manjša kot vsota mas nukleonov
 - masni defekt je razlika med vsoto mas vseh nukleonov, ki sestavljajo jedro ${}^A X$, in maso jedra:

$$\Delta m = m_x - Z \cdot m_p - N \cdot m_n \quad (m_x \dots \text{masa jedra})$$

- ${}^1\text{H}$: $\Delta m = 0$
- D (${}^2\text{H}$): $\Delta m = m_D - (m_H + m_n) = -0,002388 \text{ u}$
- ${}^{12}\text{C}$: $\Delta m = m_C - (6 m_H + 6 m_n) = -0,098946 \text{ u}$
- ${}^{56}\text{Fe}$: $\Delta m = m_{\text{Fe}} - (26 m_H + 30 m_n) = -0,528488 \text{ u}$
- ${}^{238}\text{U}$: $\Delta m = m_U - (92 m_H + 146 m_n) = -1,934296 \text{ u}$

Vezavna energija jedra

- neto energija, potrebna, da razstavimo (razbijemo) jedro na sestavne dele
 - energija, ki je ekvivalentna masnemu defektu jedra

$$W_B = \Delta m \cdot c^2$$

- primeri:

$$W_B(^1\text{H}) = 0$$

$$W_B(^2\text{H}) = -0,002388 \cdot 931 \text{ MeV} = -2,2 \text{ MeV}$$

$$W_B(^{12}\text{C}) = -0,098946 \cdot 931 \text{ MeV} = -92 \text{ MeV}$$

$$W_B(^{56}\text{Fe}) = -0,528488 \cdot 931 \text{ MeV} = -492 \text{ MeV}$$

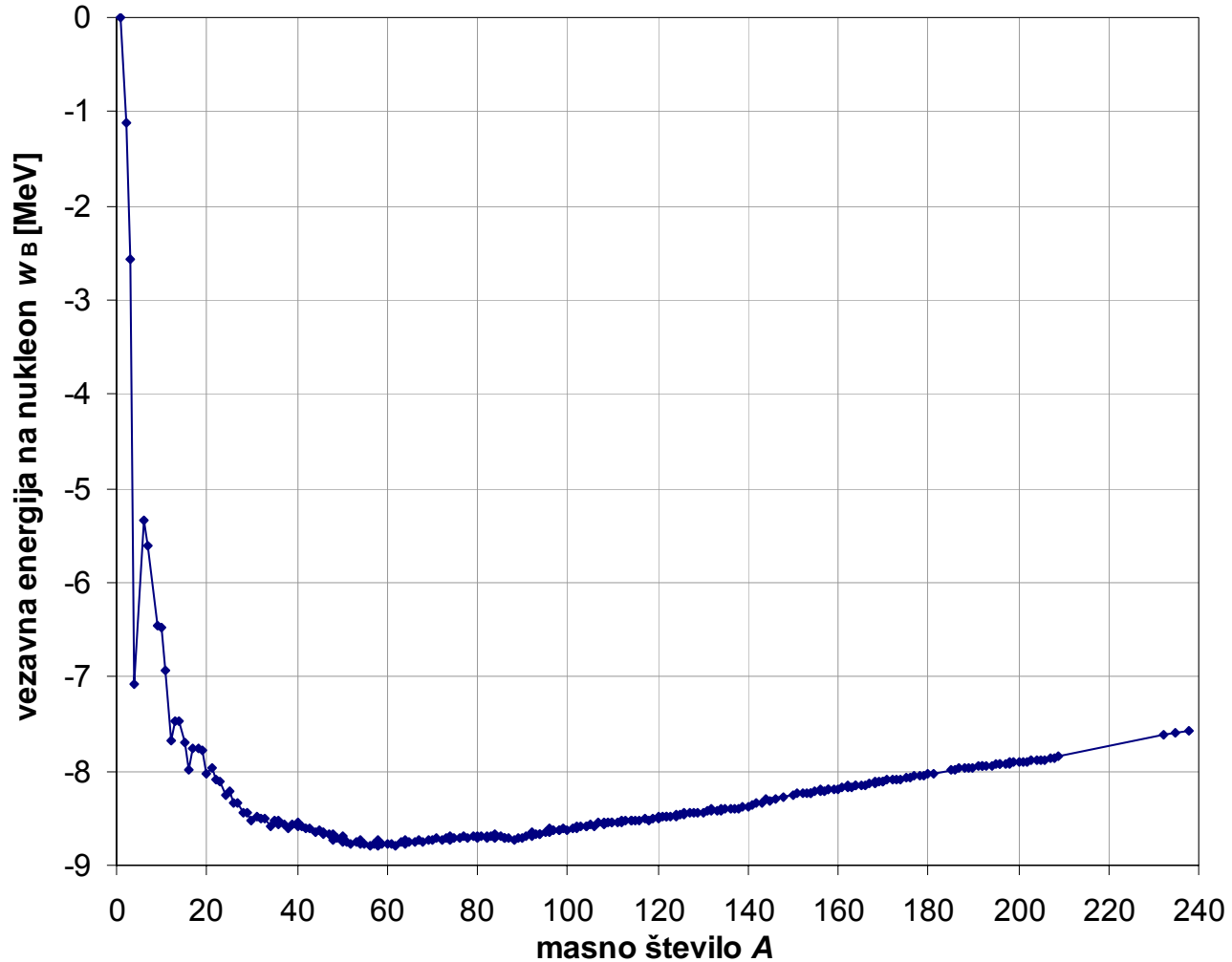
$$W_B(^{238}\text{U}) = -1,934178 \cdot 931 \text{ MeV} = -1801 \text{ MeV}$$

Vezavna energija na nukleon

$$w_B = \Delta m c^2 / A$$

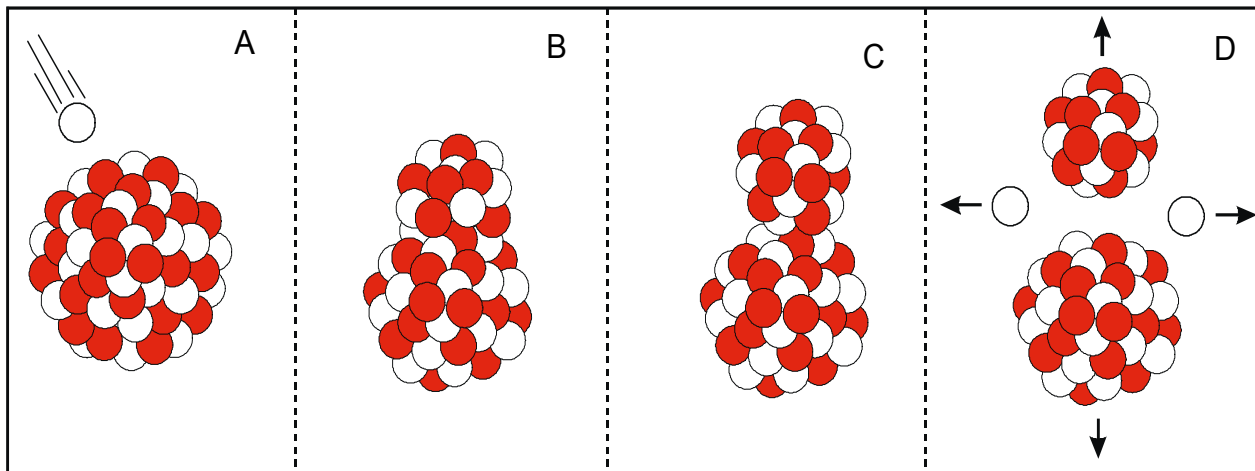
- Če želimo iz jedra odtrgati en nukleon, v poprečju porabimo w_B energije
- primeri:
 - $w_B(^1\text{H}) = 0$
 - $w_B(^2\text{H}) = -2,2 \text{ MeV}/2 = -1,1 \text{ MeV}$
 - $w_B(^{12}\text{C}) = -92 \text{ MeV}/12 = -7,7 \text{ MeV}$
 - $w_B(^{56}\text{Fe}) = -492 \text{ MeV}/56 = -8,8 \text{ MeV}$
 - $w_B(^{238}\text{U}) = -1801 \text{ MeV}/238 = -7,6 \text{ MeV}$

Krivulja vezavne energije na nukleon



Mehanizem cepitve

- težko jedro zajame nevtron
- vmesno jedro po zajetju nevtrona vzbujeno
⇒ zaradi velike notranje energije zaniha
- če pri tem zavzame podolgovato obliko
⇒ električne odbojne sile premagajo jedrske privlačne



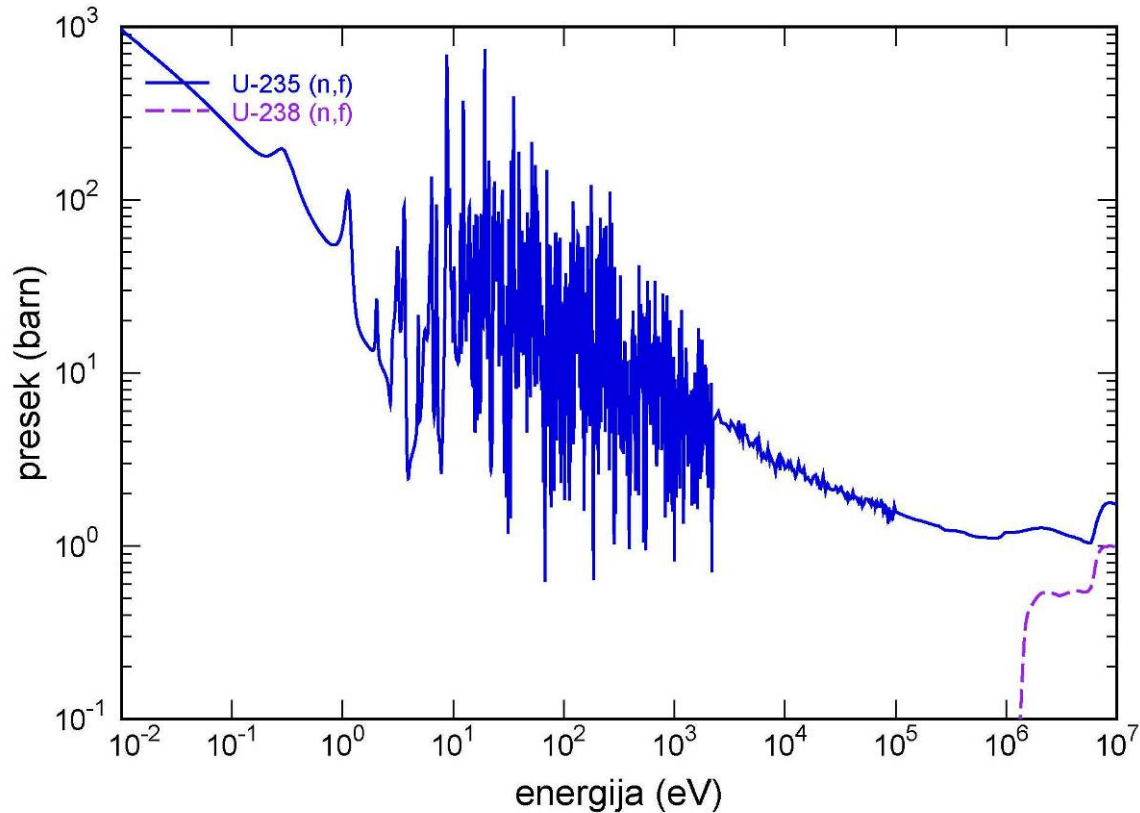
- sprostita se 2 ali 3 nevtroni (poprečje 2,43) z $\langle E_{kin} \rangle = 2 \text{ MeV}$

Kritična energija za cepitev

Kritična energija E_c je energija, ki jo moramo dovesti jedru, da se lahko razcepi

Jedro	Vmesno jedro	Vezavna energija nevtrona, E_b [MeV]	Kritična energija E_c [MeV]	Razlika $E_c - E_b$ [MeV]
^{232}Th	^{233}Th	4,8	6,0	1,2
^{233}U	^{234}U	6,8	5,1	-1,7
^{235}U	^{236}U	6,5	5,2	-1,3
^{238}U	^{239}U	4,8	5,7	0,9
^{239}Pu	^{240}Pu	6,5	4,8	-1,7
^{240}Pu	^{241}Pu	5,2	5,3	0,1
^{241}Pu	^{242}Pu	6,3	5,0	-1,3

Verjetnost za reakcijo: presek



- v naravnem uranu je 99,7% ^{238}U in 0,7% ^{235}U

Termična in hitra cepitev

- pri cepitvi rojeni nevtroni so *hitri nevtroni* ($E \sim \text{MeV}$)
- za reakcijo cepitve najbolj učinkoviti *termični nevtroni* ($E \sim 0,1 \text{ eV}$)

- v **termičnih reaktorjih** nevtrone upočasnjujemo
- nevtroni se upočasnjujejo s sipanjem
- elastično sipanje najbolj učinkovito na lahkih jedrih
- energija nevtronov se zmanjšuje, dokler se ne izenači z energijo (termičnega) nihanja atomov v snovi

- v **hitrih reaktorjih** večino cepitev povzročijo hitri nevtroni
 - čim manj snovi z lahkimi jedri, hladilo kovina (tekoči Na)

Moderacija nevtronov

- elastično sipanje nevtronov je v fizikalnem smislu primerljivo s trki biljardnih kroglic
- nevtron pri enem trku izgubi energijo $0 < T < T_{\max}$:

$$T_{\max} = \frac{4A}{(A+1)^2} E_0$$

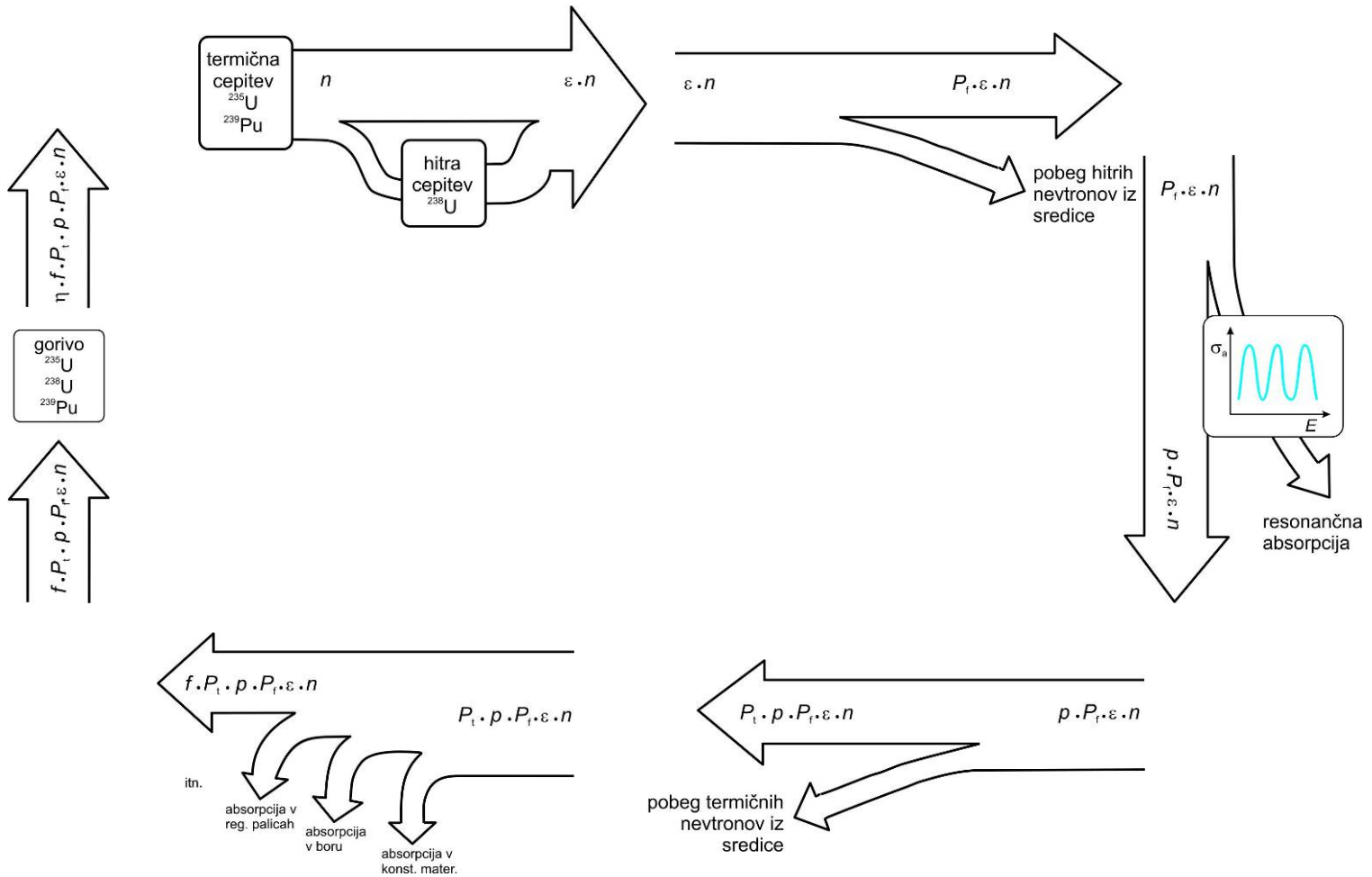
- pri vsakem trku izgubi nevtron v povprečju enak delež svoje energije
- **moderatorji** so snovi, ki vsebujejo lahke atome
 - voda (vodik)
 - težka voda (devterij)
 - grafit (ogljik)

Lastnosti moderatorjev

- **število trkov za termalizacijo** je povprečno število trkov, potrebno, da se nevtronu zniža energija od 2 MeV na 0,1 MeV
- **zaviralni čas** je povprečni čas od trenutka, ko se nevtron sprosti pri cepitvi, pa do trenutka, ko postane termičen
- **difuzijski čas** je povprečni čas od trenutka, ko se nevtron termalizira, pa do trenutka, ko se absorbira
 - odvisen v glavnem od količine absorberjev v sredici

Moderator	število trkov za termalizacijo	zaviralni čas [μ s]	difuzijski čas [μ s]
H ₂ O	18	7,1	240
D ₂ O	33	50	60000
Grafit	107	140	16000
Sredica PWR	20	10	10

Nevtronski cikel



Efektivni pomnoževalni faktor k

- Efektivni pomnoževalni faktor k je:

$$k = \frac{\text{število nevtronov v neki generaciji}}{\text{število nevtronov v predhodni generaciji}}$$

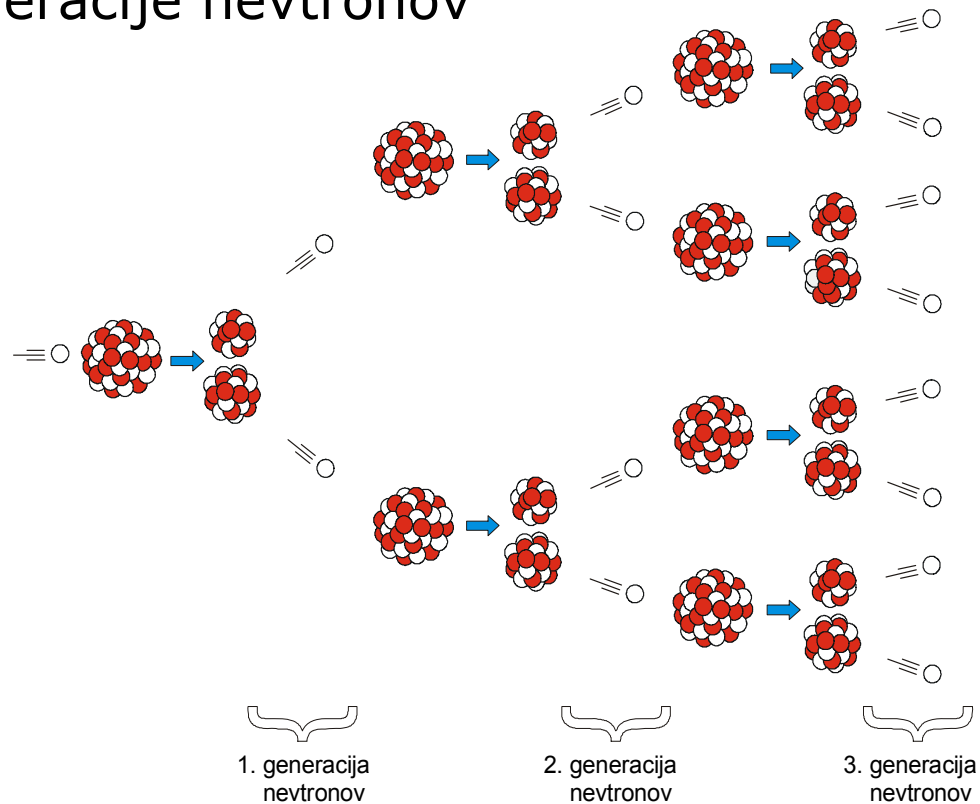
- Lahko ga zapišemo produkt šestih faktorjev:

$$k = \eta \cdot f \cdot P_t \cdot p \cdot P_f \cdot \varepsilon$$

- $k = 1$: *kritična verižna reakcija* (število nevtronov se ohranja)
- $k > 1$: *nadkritična verižna reakcija* (število nevtronov narašča)
- $k < 1$: *podkritična verižna reakcija* (število nevtronov pada)

Verižna reakcija

- vsaka generacija nevtronov povzroči rojstvo nove generacije nevtronov

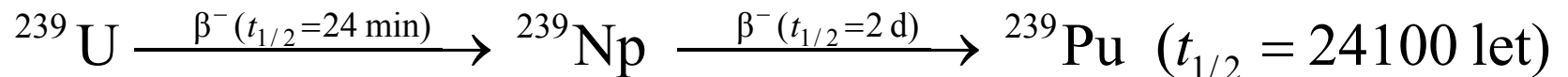
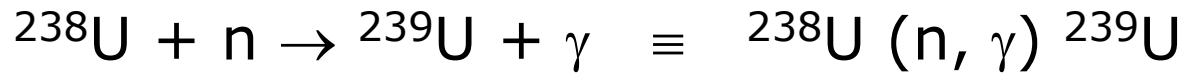


verižna reakcija v primeru $k = 2$

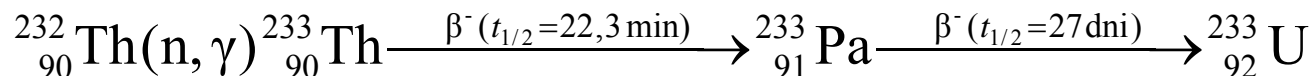
Drugi procesi v gorivu med cepitvijo

- Poleg verižne reakcije v sredici reaktorja potekata še najmanj dva pomembna procesa:
 1. nastajanje plutonija in drugih transuranskih elementov ali *aktinidov*
 2. nastajanje radioaktivnih cepitvenih produktov

Nastajanje plutonija

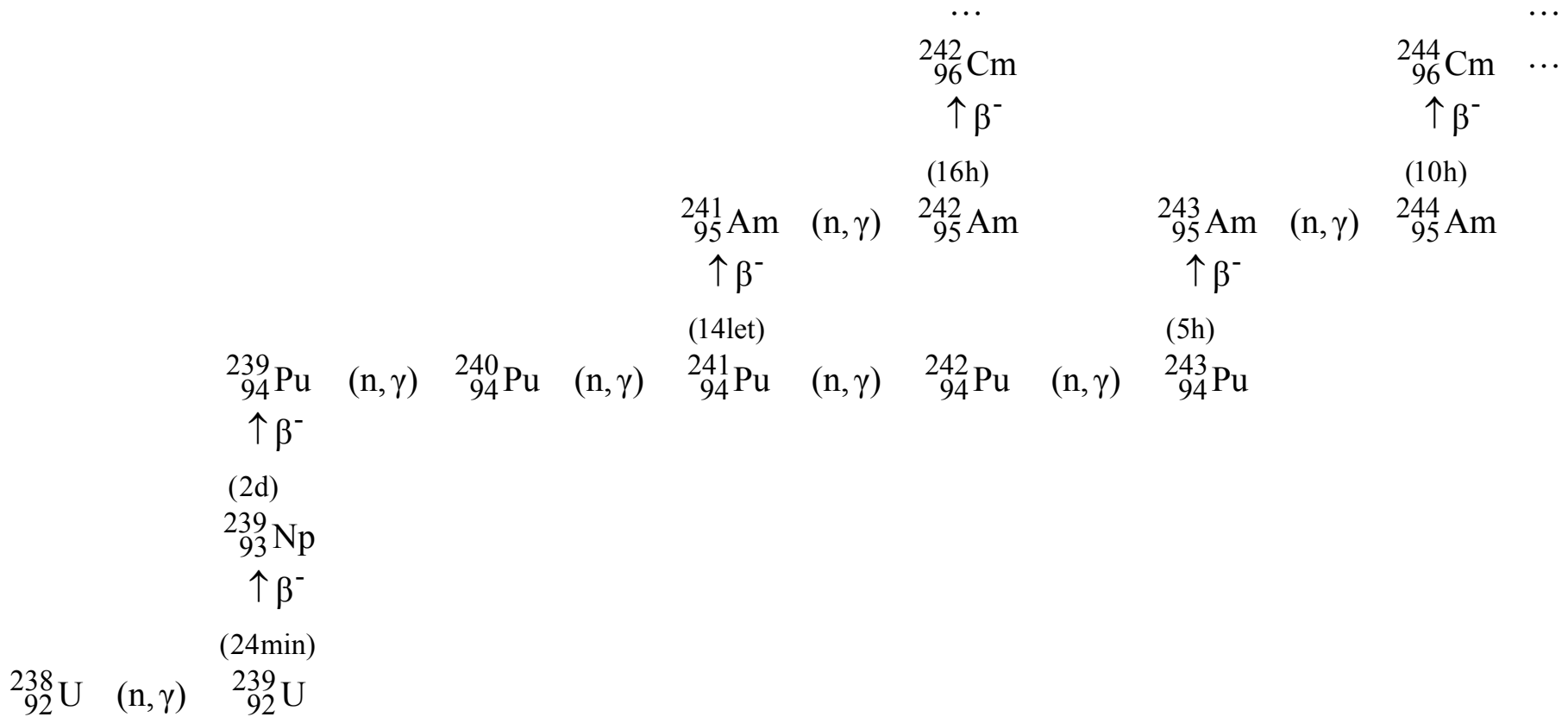


- Plutonij-239 je **cepljiv nuklid** (jedrsko gorivo, tako kot ${}^{235}\text{U}$)
 - Uran-238 ni cepljiv nuklid (s termičnimi nevtroni), vendar je **oplodni nuklid**, ker iz njega lahko pridobivamo cepljivi ${}^{239}\text{Pu}$
- Tudi ${}^{232}\text{Th}$ je oplodni nuklid:

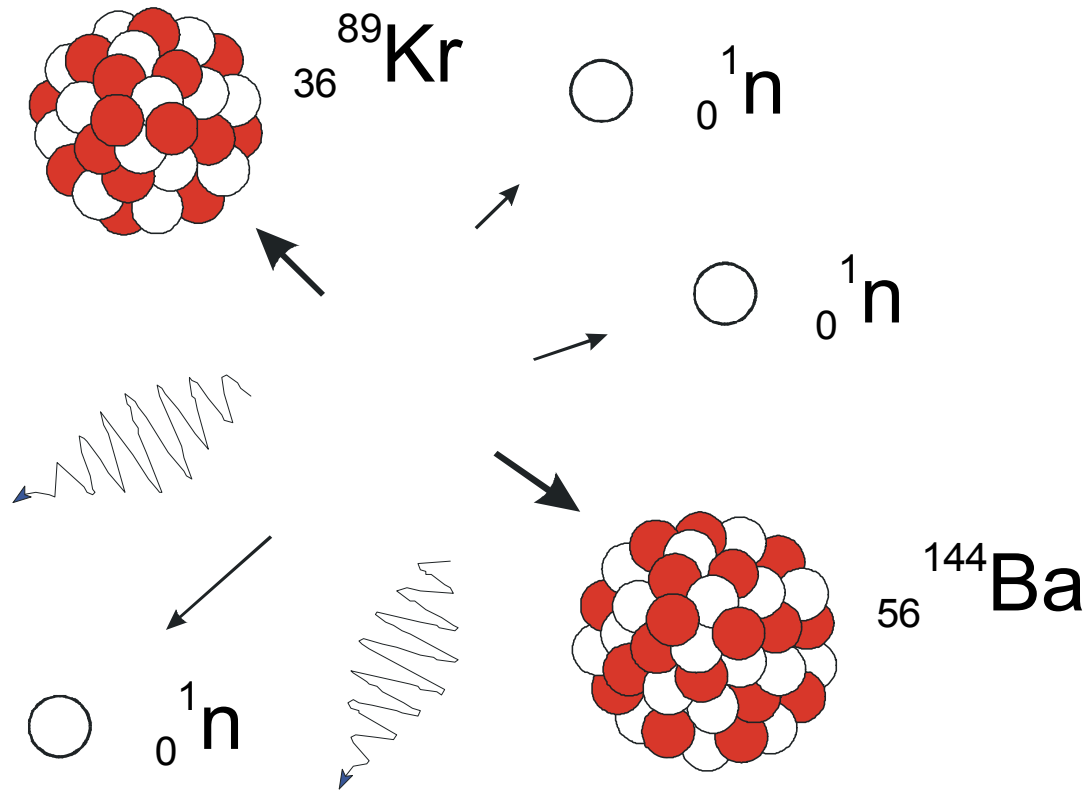




Nastajanje transuranskih elementov

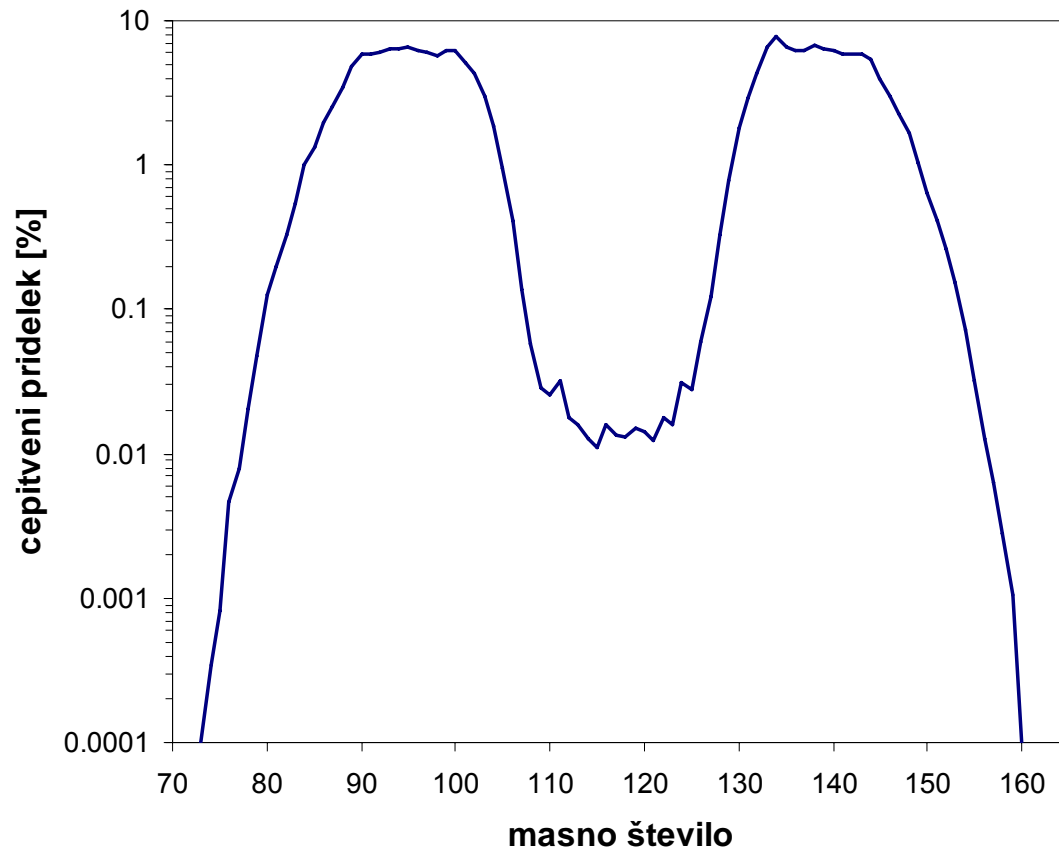


Skica cepitve

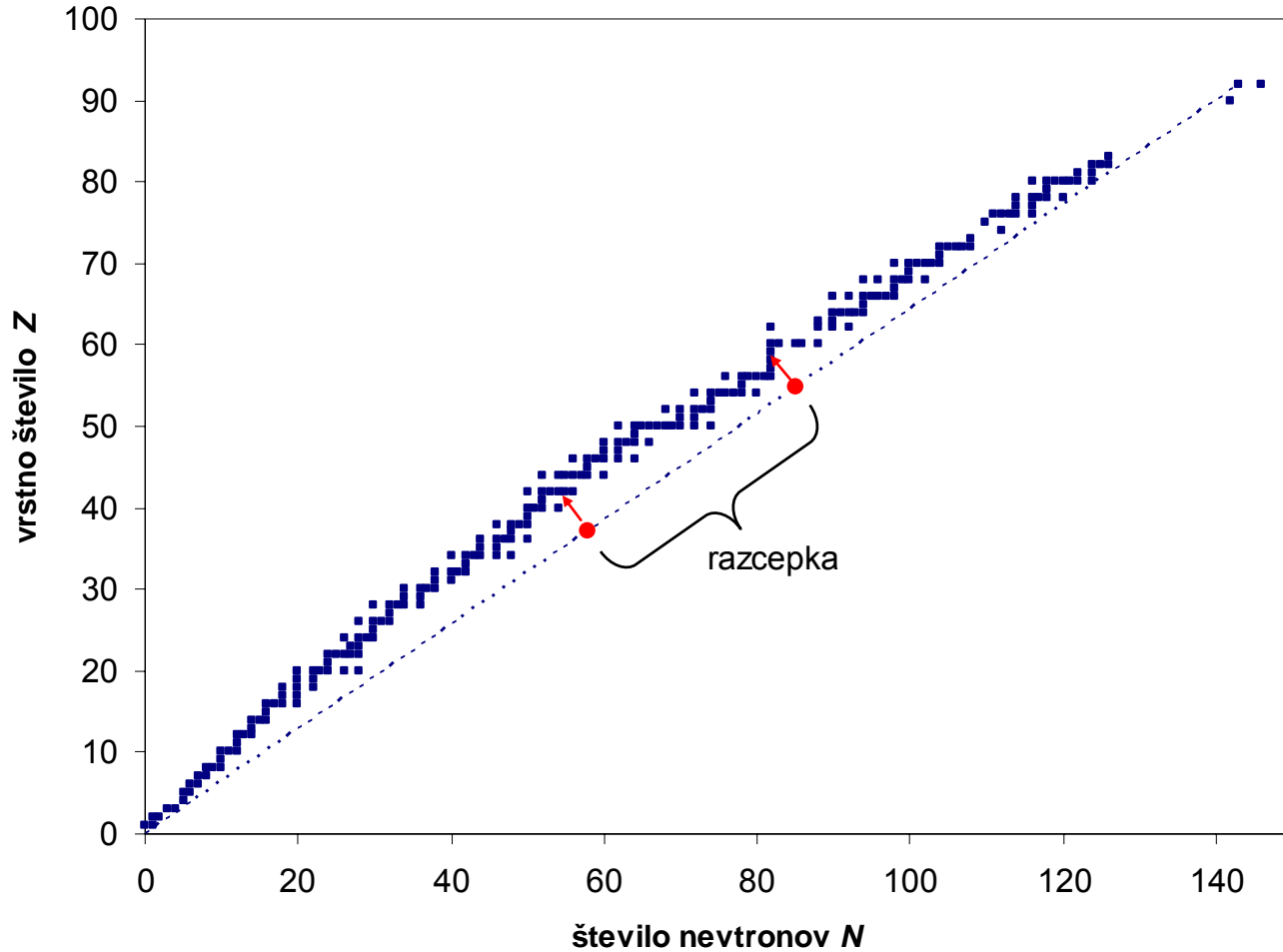


Cepitveni pridelek

- število razcepkov z masnim številom A na 100 cepitev



Razmerje nukleonov pri razcepkih



Cepitveni produkti

$$N/Z_{\text{razcepkov}} \approx N/Z_{\text{začetno jedro}}$$

$$N/Z_{\text{razcepkov}} > N/Z_{\text{stabilna jedra}}$$

- Razcepki so vzbujena jedra (5 do 20 MeV)
 - β^- in γ razpadi
- **Cepitveni produkti**
 - razcepki in njih potomci
 - 3 do 4 β^- razpadov do stabilnih jeder
 - $t_{1/2}$ cepitvenih produktov:
 - od ~ 0.1 s do nekaj milijonov let

Primer radioaktivne verige razcepkov



$$^{236}\text{U}: N/Z \approx 1,57$$

$$^{135}\text{I}: N/Z \approx 1,55$$



Stabilni nuklid ^{135}Ba : $N/Z \approx 1,41$

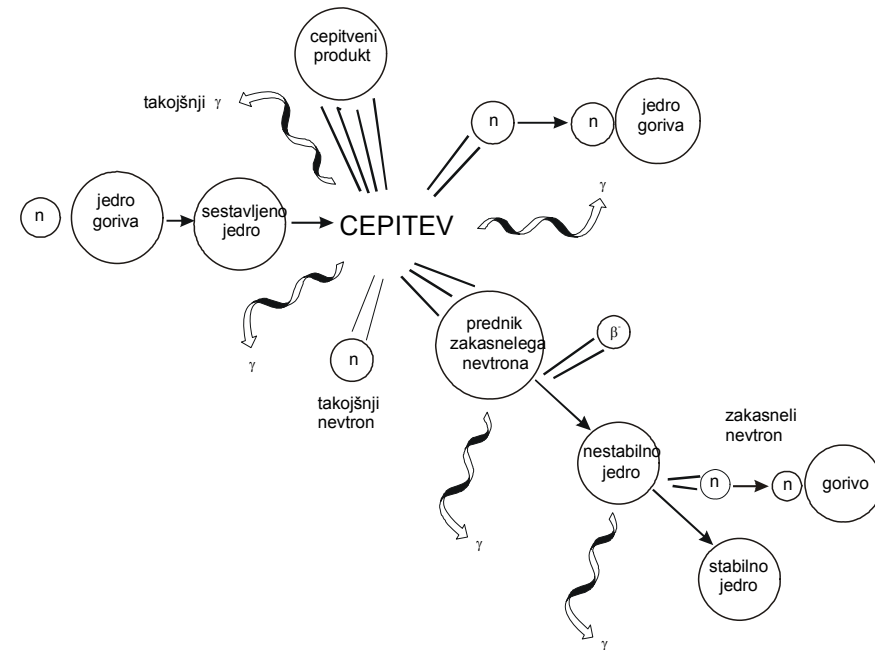
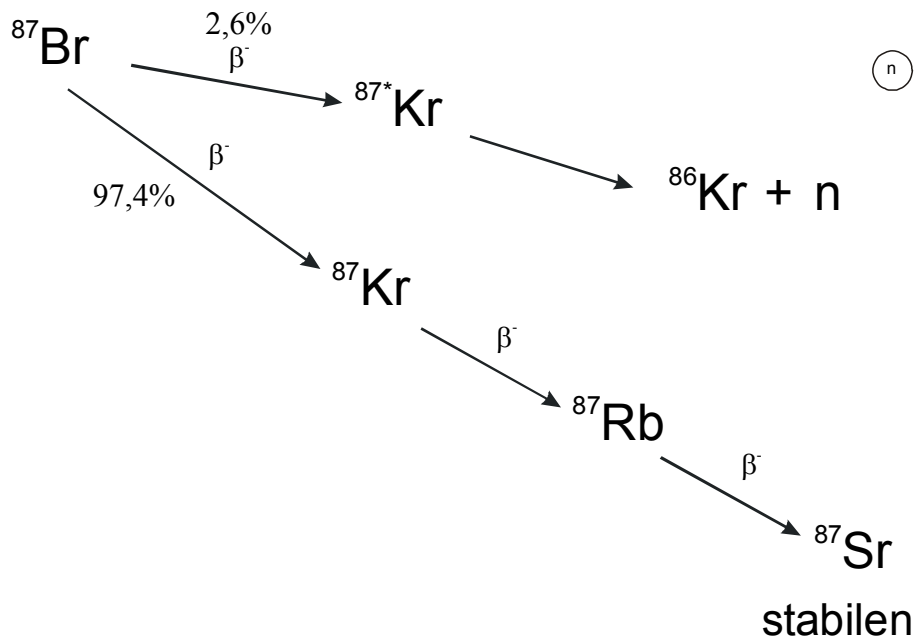
- pri cepitvah nastane okrog 300 cepitvenih produktov, večinoma radioaktivnih

Pomen razpada cepitvenih produktov

- Pri razpadih se sprošča velika količina toplote (**zakasnele toplote**) tudi po zaustavitvi reaktorja in jo moramo odvajati
- Radioaktivno sevanje je človeškemu organizmu škodljivo
- Emisija zakasnelih nevtronov
- Nevtronski absorberji

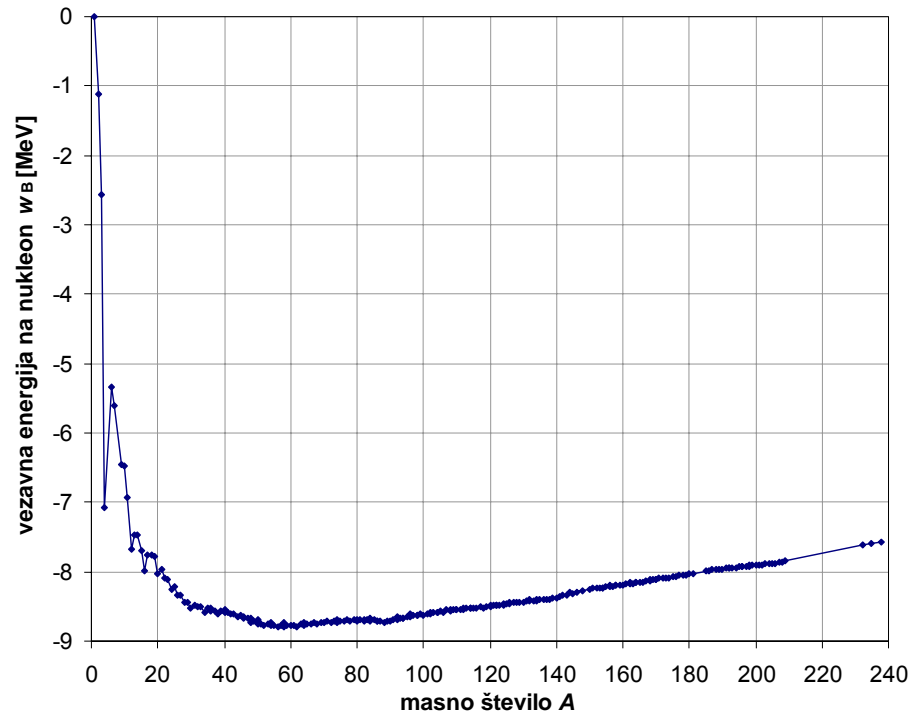
Zakasneli nevtroni

- Nastanejo po β -n razpadu nekaterih cepitvenih produktov
- Čas zakasnitve glede na cepitev je določen z razpolovnim časom prednika zakasnelega nevtrona
- Primer – ^{87}Br ($t_{1/2} = 56$ s):



Energijska bilanca cepitve

- w_B težkih jeder:
 ~ 7.5 MeV/nukleon
- w_B srednje težkih jeder:
 ~ 8.5 MeV/nukleon



- pri cepitvi težkega jedra na dve srednje teži pričakujemo sprostitvev nekaj manj kot ~ 1 MeV energije na vsak nukleon, skupaj ~ 200 MeV

Reakcijska energija cepitve

- primer cepitve: $^{235}\text{U} + \text{n} \rightarrow ^{92}\text{Rb} + ^{142}\text{Cs} + 2 \text{n}$
 - $m_{^{235}\text{U}} = 235,0439 \text{ u}$ $m_{^{92}\text{Rb}} = 91,9194 \text{ u}$
 - $m_{^{142}\text{Cs}} = 141,9239 \text{ u}$ $m_{\text{n}} = 1,0087 \text{ u}$
 - $\Delta m = m_{\text{Rb}} + m_{\text{Cs}} + 2 m_{\text{n}} - m_{\text{U}} - m_{\text{n}} = -0,1920 \text{ u}$
 - $Q = -0,192 \cdot 931 \text{ MeV} = -179 \text{ MeV}$
- reakcijska energija cepitve Q :
 - kinetična energija razcepkov
 - kinetična energija takojšnjih nevtronov
 - kinetična energija takojšnjih γ
- praktično v celoti ostane v sredici
- cepljiva jedra se lahko cepijo na več kot 100 različnih načinov (prikazan primer je le eden od možnih)

Energija β^- razpada

- ^{92}Rb : po 3 razpadih β^- preide v stabilni ^{92}Zr
 - sprosti se $\sim 13,4$ MeV
- ^{142}Cs : po 3 razpadih β^- preide v ^{142}Ce
 - sprosti $\sim 13,6$ MeV.
- Energija iz β^- razpadov postopno (zakasnjeno) v obliki:
 - kinetične energije β^- delcev, antinevtrinov, žarkov gama
 - kinetične energije novo nastalih jeder
- Del energije odnesejo nevtrini, večina ostane v sredici
- Skupaj z reakcijsko energijo cepitve ~ 206 MeV
- **Brez energije nevtrinov: 200 MeV**

Poraba ^{235}U v reaktorju

Reaktor obratuje na moči P [MW].

Koliko cepitev ^{235}U na sekundo bi bilo potrebnih za tako moč:

- pri cepitvi se sprosti $200 \text{ MeV} = 200 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Ws}$
- 1 W ustreza $1/(3,2 \cdot 10^{-11})$ cepitev/s = $3,13 \cdot 10^{10}$ cepitev/s
- 1 MW ustreza $3,13 \cdot 10^{16}$ cepitev/s

Število potrebnih cepitev na dan: $3,13 \cdot 10^{16} \cdot 3600 \cdot 24 = 2,7 \cdot 10^{21}$ cepitev

- če reaktor obratuje 1 dan, se za vsak MW cepi $2,7 \cdot 10^{21}$ atomov ^{235}U
- za pridobitev energije 1 MWd se porabi $2,7 \cdot 10^{21}$ atomov ^{235}U

Masa ^{235}U , ki ustreza energiji 1 MWd:

$$n = \frac{m}{M} N_A \Rightarrow m = \frac{n M}{N_A} = \frac{2,7 \cdot 10^{21} \cdot 235 \text{ g/mol}}{6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 1,06 \text{ g}$$

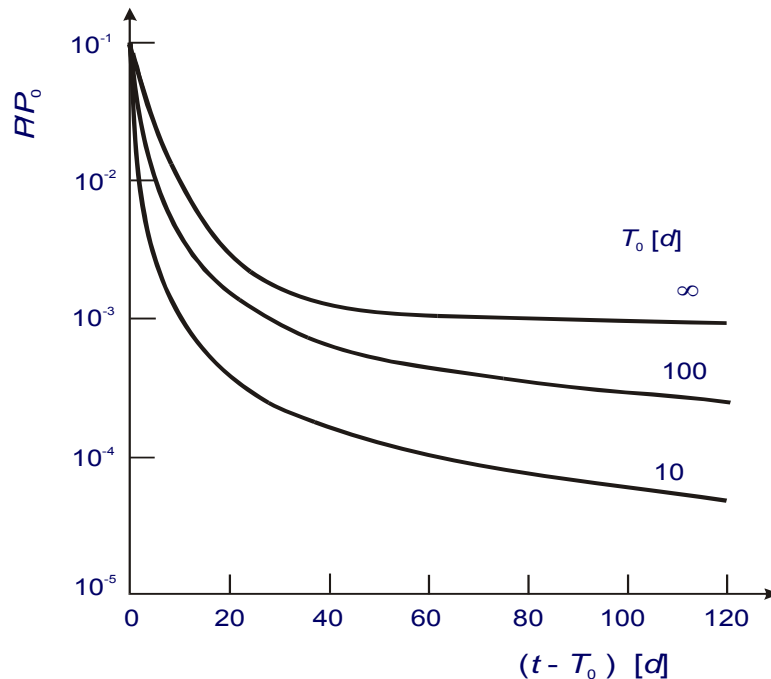
Za sprostitvev 1 MWd energije se cepi $\approx 1 \text{ g } ^{235}\text{U}$

Zakasnena toplota

- Energija, ki se sprošča v sredici reaktorja po ugasnitvi reaktorja
 - posledica β^- in γ razpada razcepkov in njih potomcev
- Takoj po ugasnitvi se hitro zmanjšuje s časom
 - posledica razpada kratkoživih izotopov
- Če je reaktor obratoval dalj časa, počasneje pada s časom
 - nastalo je več dolgoživih izotopov
- Je sorazmerna moči reaktorja pred zaustavitvijo
 - ravnotežna koncentracija kratkoživih radionuklidov sorazmerna gostoti cepitev

Časovni potek zakasnele toplote

- glede na različne čase obratovanja reaktorja pred zaustavitvijo



NEK po daljšem času obratovanja:

Čas po zaustavitvi	% polne moči	Zakasnela toplota
1 s	6,0%	120 MW
1 min	4,5%	90 MW
1 ura	1,6%	32 MW
8 ur	1,0%	20 MW
1 dan	0,7%	14 MW
1 teden	0,5%	10 MW
1 mesec	0.1%	2 MW

Komponente jedrskega reaktorja

- **Jedrsko gorivo**
 - naravni uran
 - obogateni uran (višji % U-235)
 - plutonij
- **Moderator** (snov za upočasnjevanje nevtronov)
 - vodik: navadna voda
 - devterij (težki vodik): težka voda
 - ogljik: grafit
- **Hladilo** (snov za odvajanje toplote)
 - navadna ali težka voda
 - CO₂
 - He
- **Kontrolni sistem** (snov, ki absorbira nevtrone)

Uporaba reaktorjev

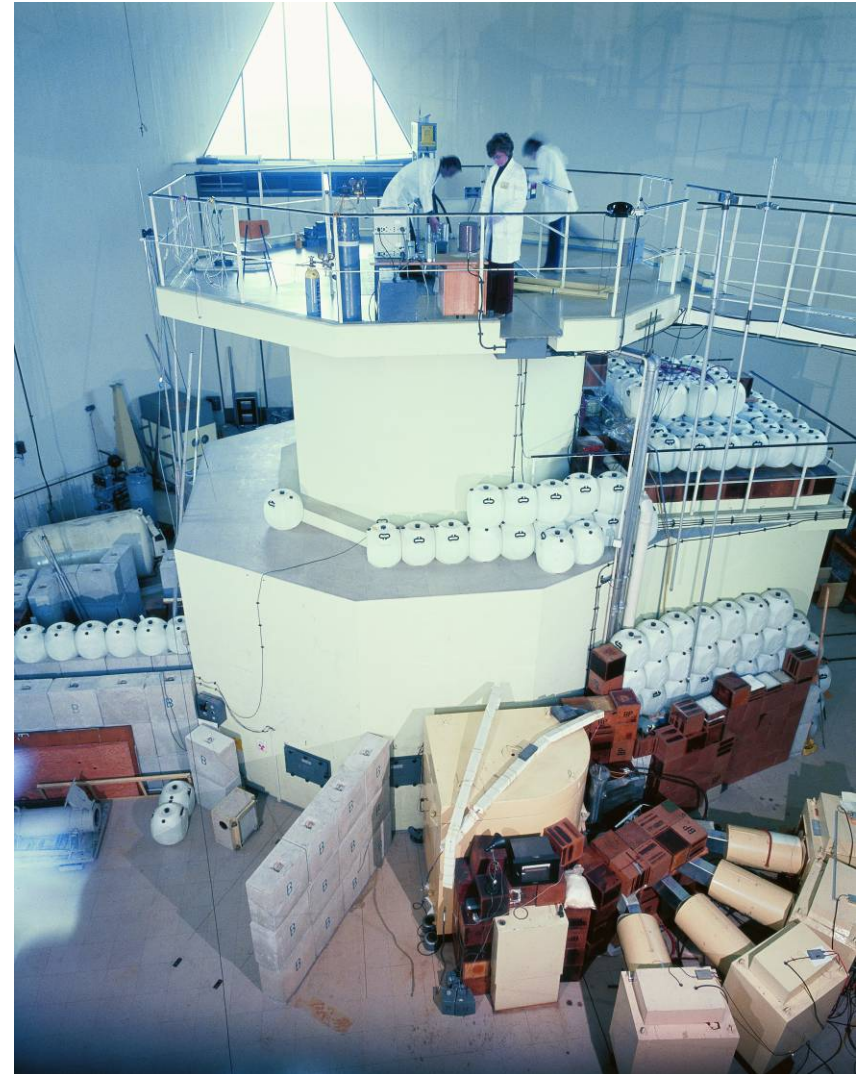
Jedrski reaktor je vir:

- nevtronov → raziskovalni reaktorji
 - nevtronska aktivacijska analiza
 - proizvodnja radionuklidov
 - testiranje materialov
 - šolanje
- toplote → močnostni reaktorji
 - proizvodnja elektrike
 - pogon plovil
 - daljinsko ogrevanje
 - razsoljevanje morske vode
 - proizvodnja vodika
 - pridobivanje nafte

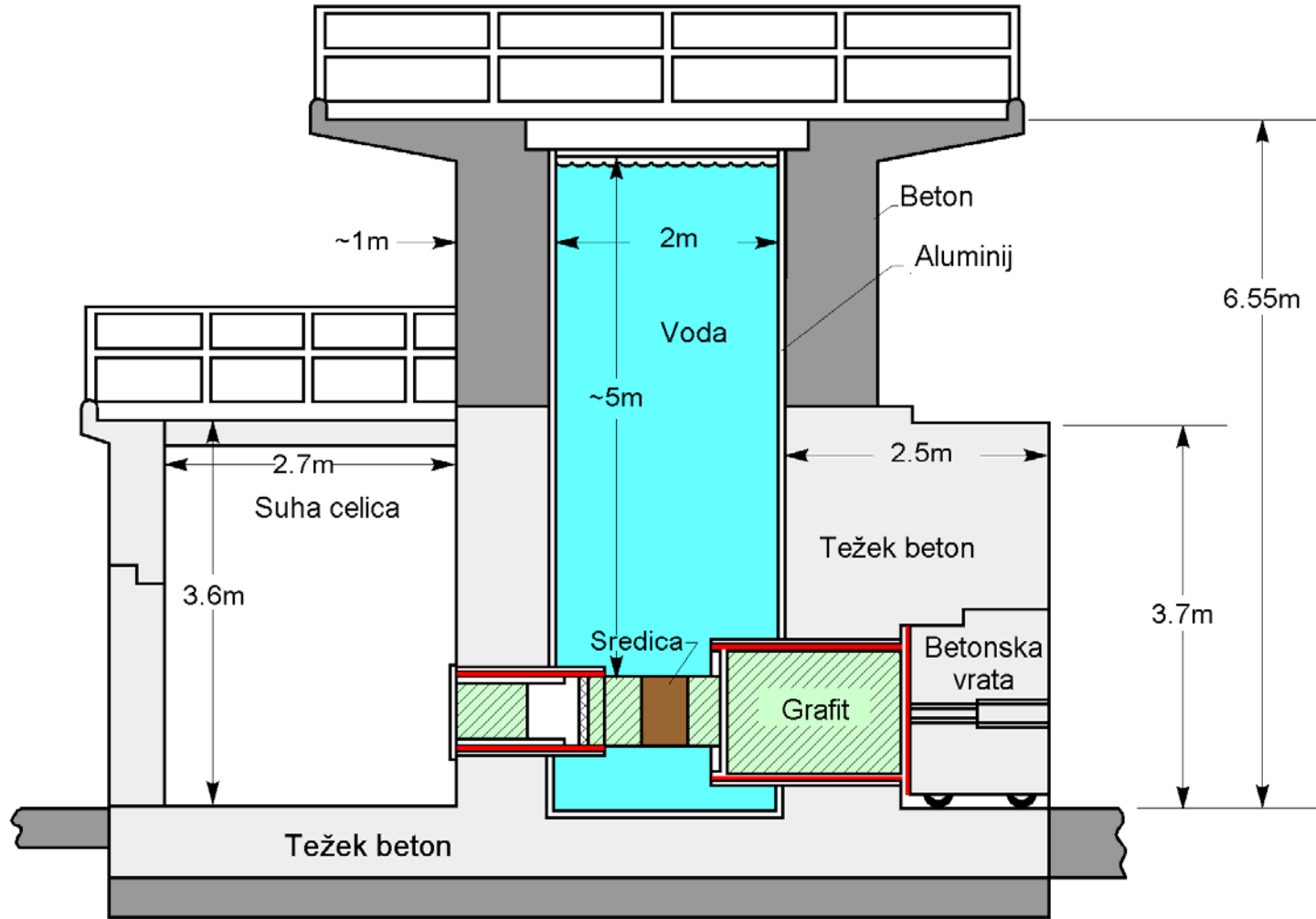
Raziskovalni reaktor TRIGA pri Ljubljani

Trainning
Research
Isotopes
GA General Atomic

šolanje
raziskave
izotopi
proizvajalec

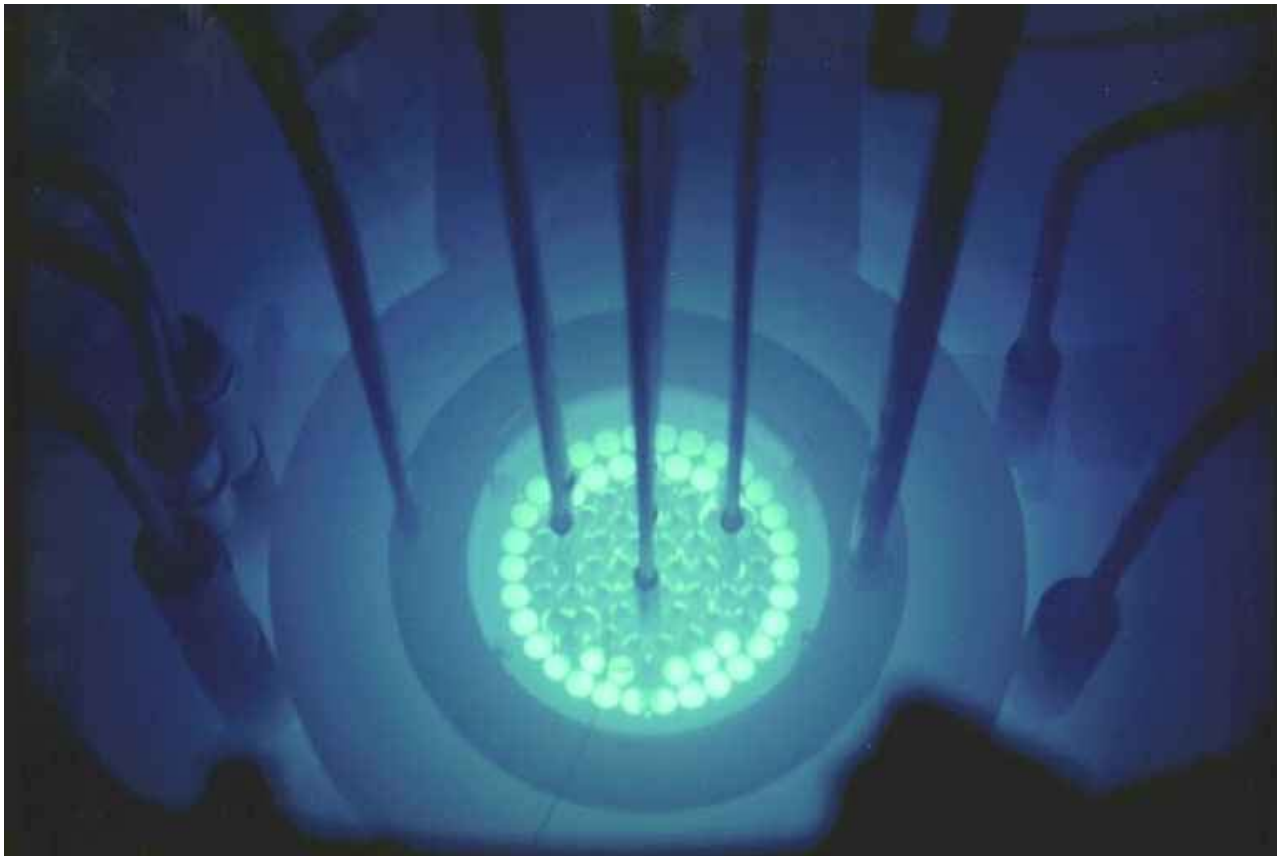


Prerez reaktorja TRIGA



Pulz v reaktorju TRIGA

reaktor razsvetljuje Čerenkovo sevanje



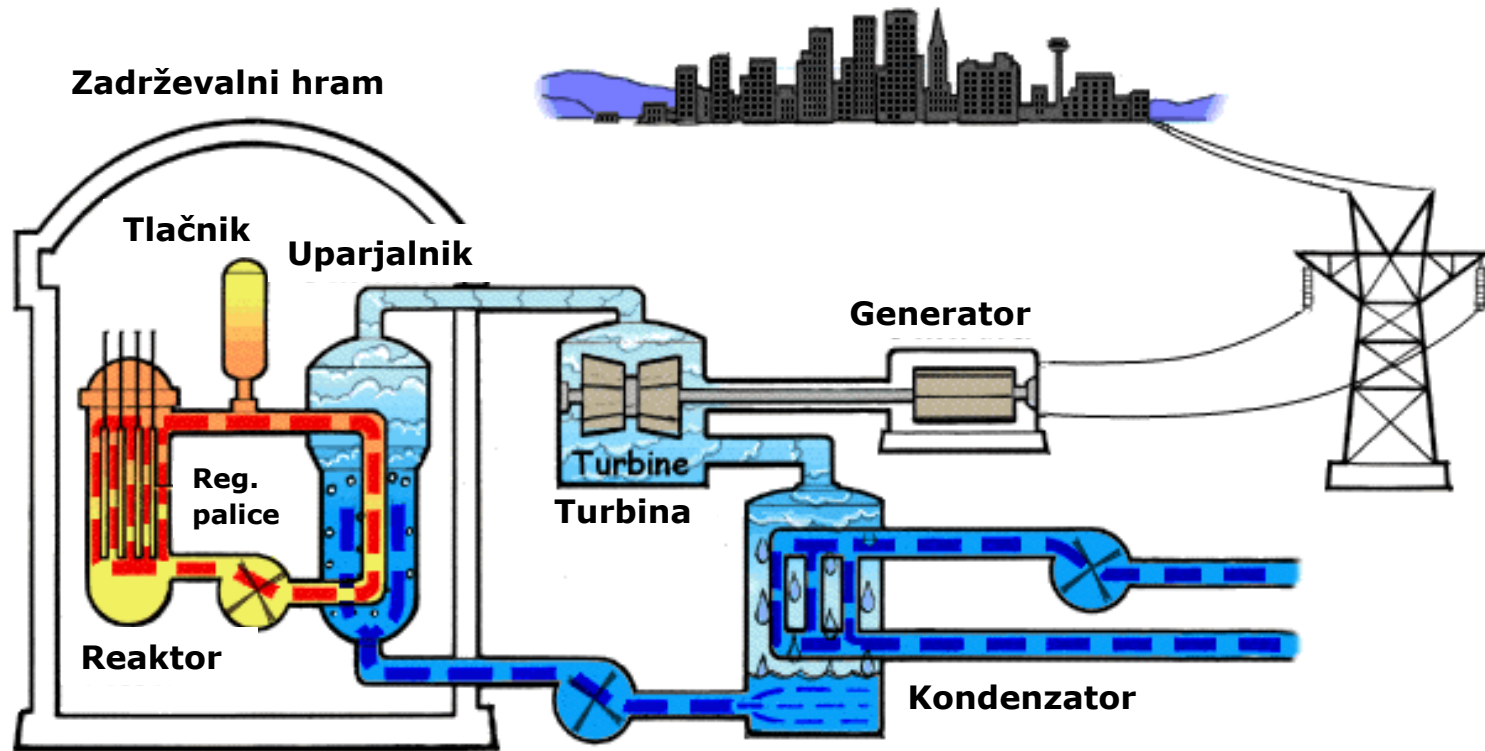
Jedrnska elektrarna Krško



Tlačnovodni reaktor (PWR)

- jedrska elektrarna Krško je tlačnovodni reaktor
- PWR = Pressurized Water Reactor
- sovjetske elektrarne tipa VVER so tudi tlačnovodne
- hladilo in moderator navadna (lahka) voda
- $T = 330^{\circ} \text{C}$, $p = 155 \text{ bar} \Rightarrow$ *primarna* voda ne zavre
- primarna voda v **uparjalnikih** greje sekundarno
- v uparjalnikih nastaja para in poganja turbino
- gorivo 3-5% obogaten uran
- ✓ sekundarni krog učinkovito ločuje radioaktivno primarno hladilo od okolja
- ✗ vmesni sistem pomeni več komponent in možnih okvar
- približno 75% vseh obratujočih jedrskih elektrarn

Tlačnovodni reaktor

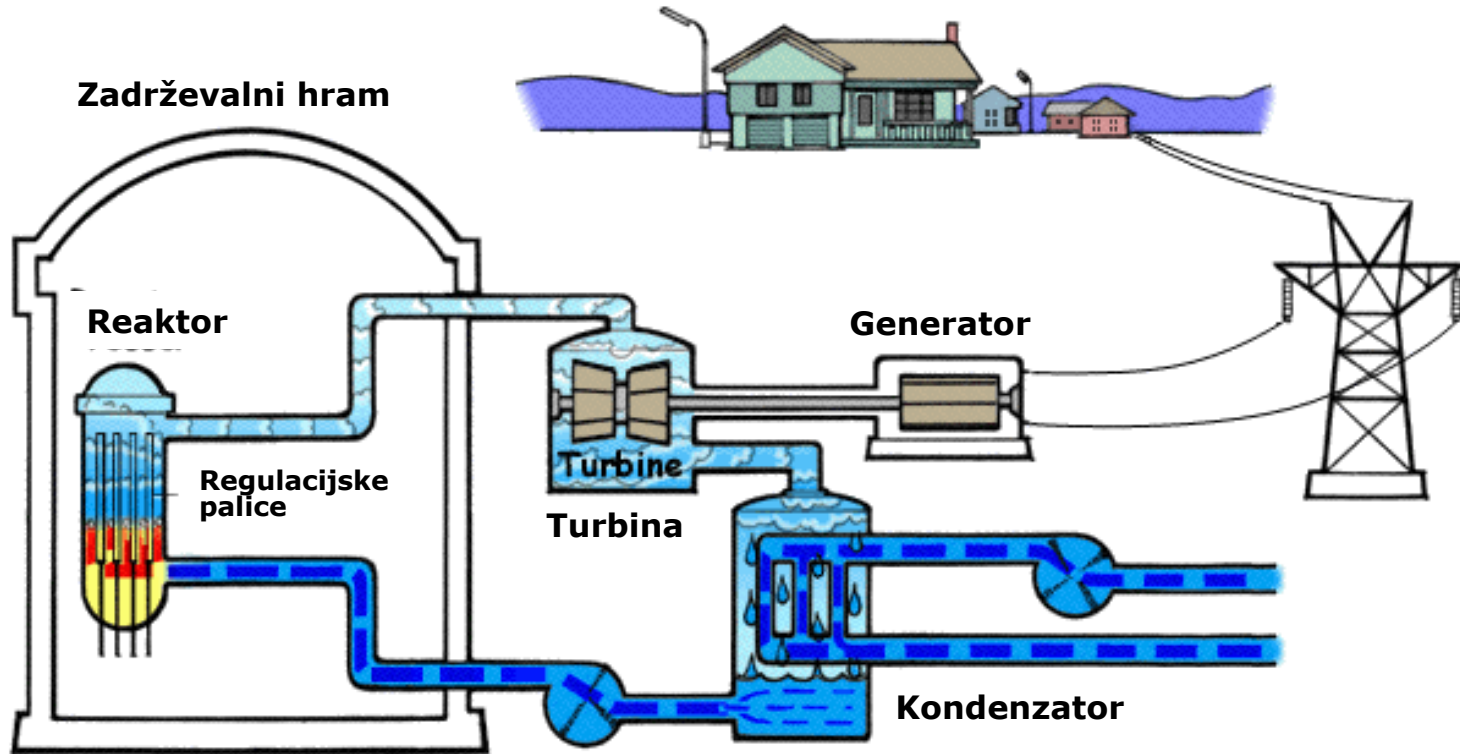


Vrelni reaktor (BWR)

- BWR = Boiling Water Reactor
- hladilo in moderator navadna voda
- po zasnovi najbolj podobna klasičnim termoelektrarnam
- voda se uparja v reaktorju, para neposredno v turbino
- gorivo slabo ubogaten (3-5%) uran
- ✓ razmeroma enostavna zasnova
- ✗ radioaktivno onesnaženje turbine
- ✗ zahtevnejša regulacija moči

- drugi najbolj razširjeni tip jedrskih elektrarn (21%)

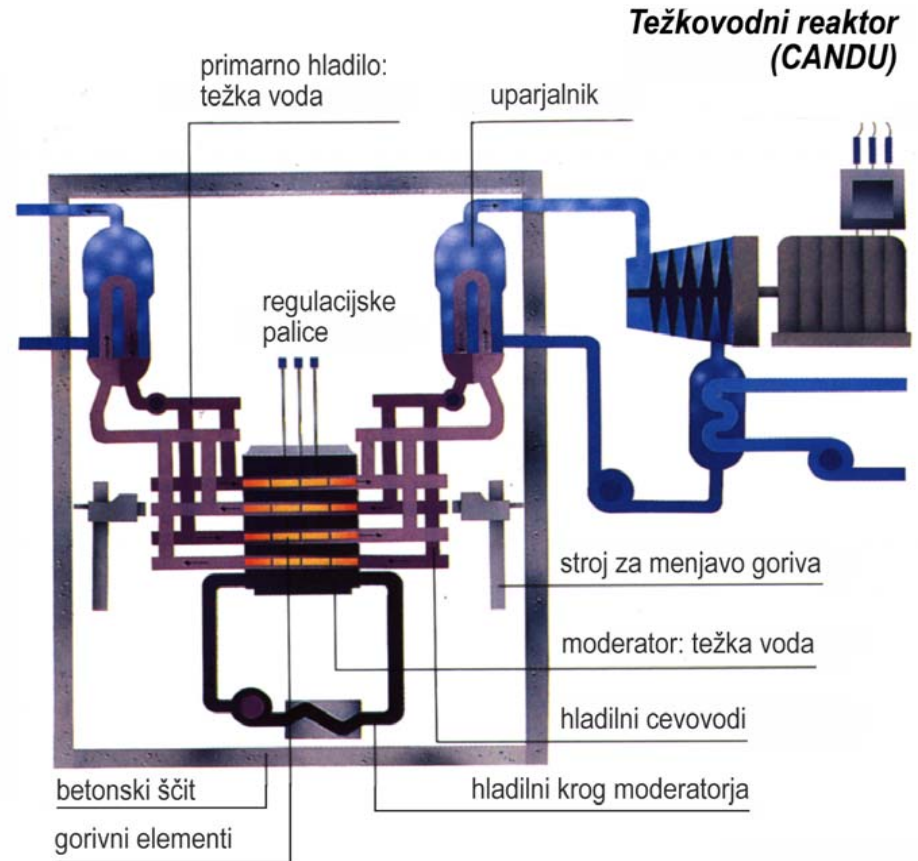
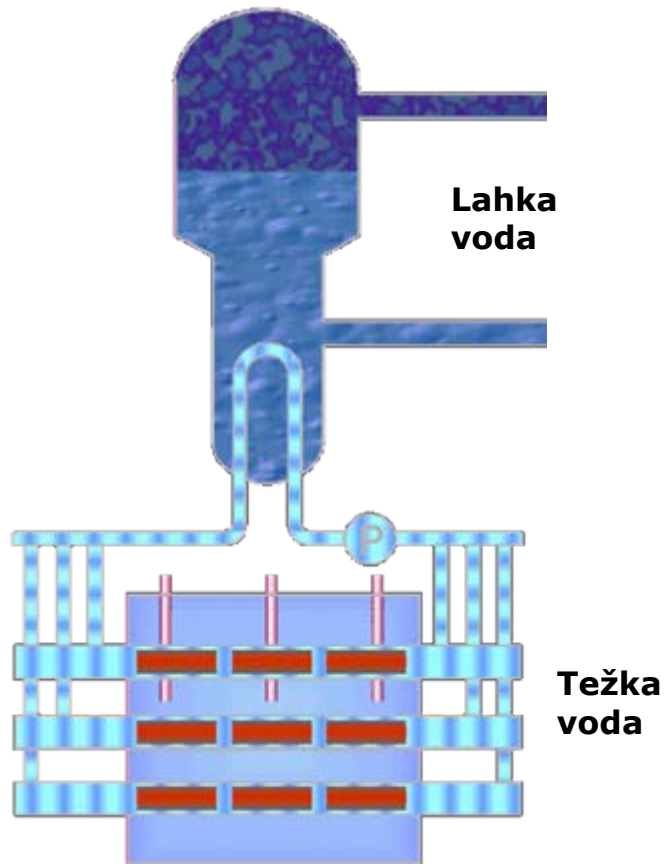
Vrelni reaktor



Težkovodni tlačni reaktor - PHWR

- PHWR = Pressurized Heavy Water Reactor
- CANDU = CANada Deuterium Uranium
- gorivo naravni (ali rahlo obogateni) uran
- moderator težka voda – nizek tlak
- hladilo težka (redko navadna) voda – pod visokim tlakom
- gorivo in hladilo v sistemu vodoravnih cevi – **calandria**
- ✓ uporaba naravnega urana
- ✓ menjava goriva med obratovanjem
- ✗ draga težka voda in nadomeščanje njenih izgub
- ✗ zapletenost regulacije
- Kanada, Indija, Pakistan, Argentina, Romunija... (9% vseh JE)

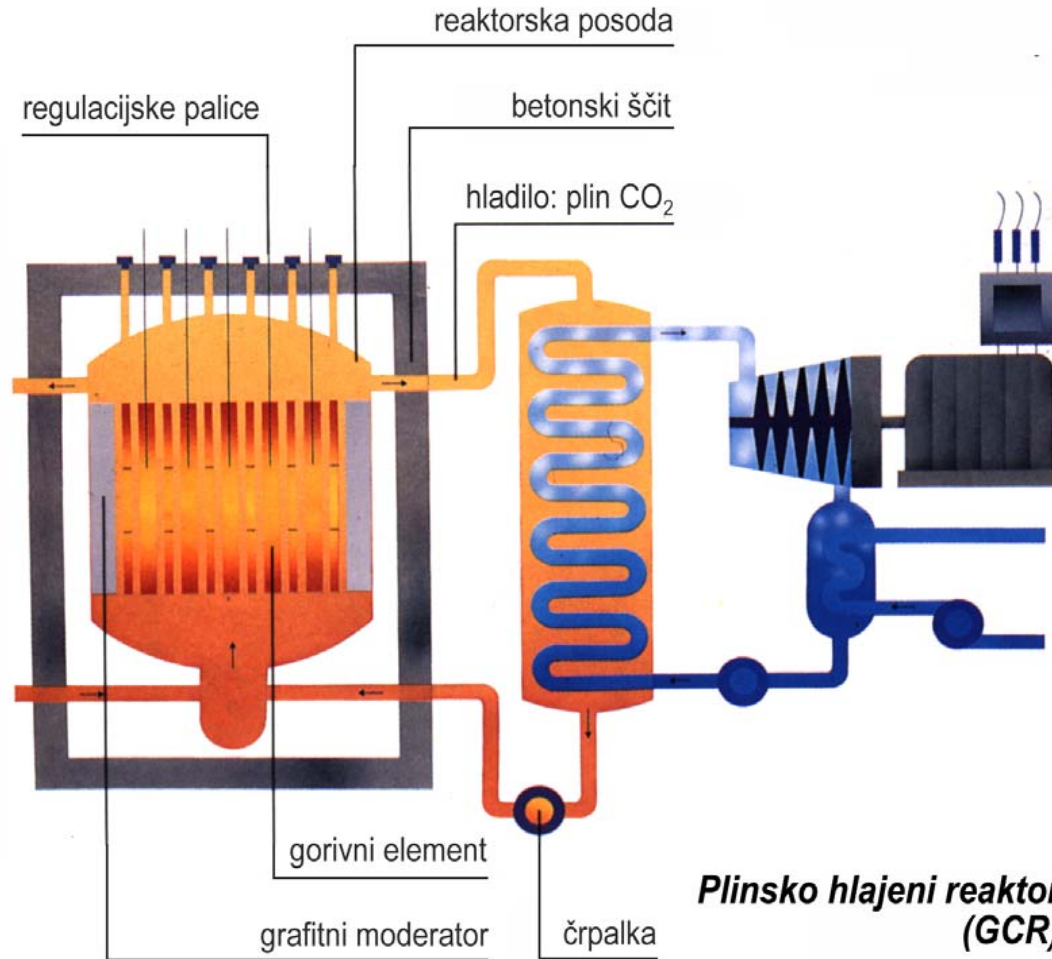
Težkovodni tlačni reaktor PHWR (CANDU)



Plinsko hlajeni reaktor – GCR, AGR, HTGR, PBMR

- gorivo naravni uran, moderator grafit
- hladilo plin:
 - GCR – CO₂, 400°C (Velika Britanija – *Magnox*)
 - AGR – CO₂, 650°C (Velika Britanija, gorivo rahlo obogateno)
 - HTGR – He, 750°C (ZDA)
 - PBMR – He, 900°C, gorivo velikosti biljardnih krogel (JAR)
- ✓ visok termodinamski izkoristek
- ✗ cena elektrike dražja kot pri lahkovodnih reaktorjih
- PBMR obetajo ekonomsko učinkovitost ob hkratni bistveno višji stopnji varnosti kot sedanja generacija

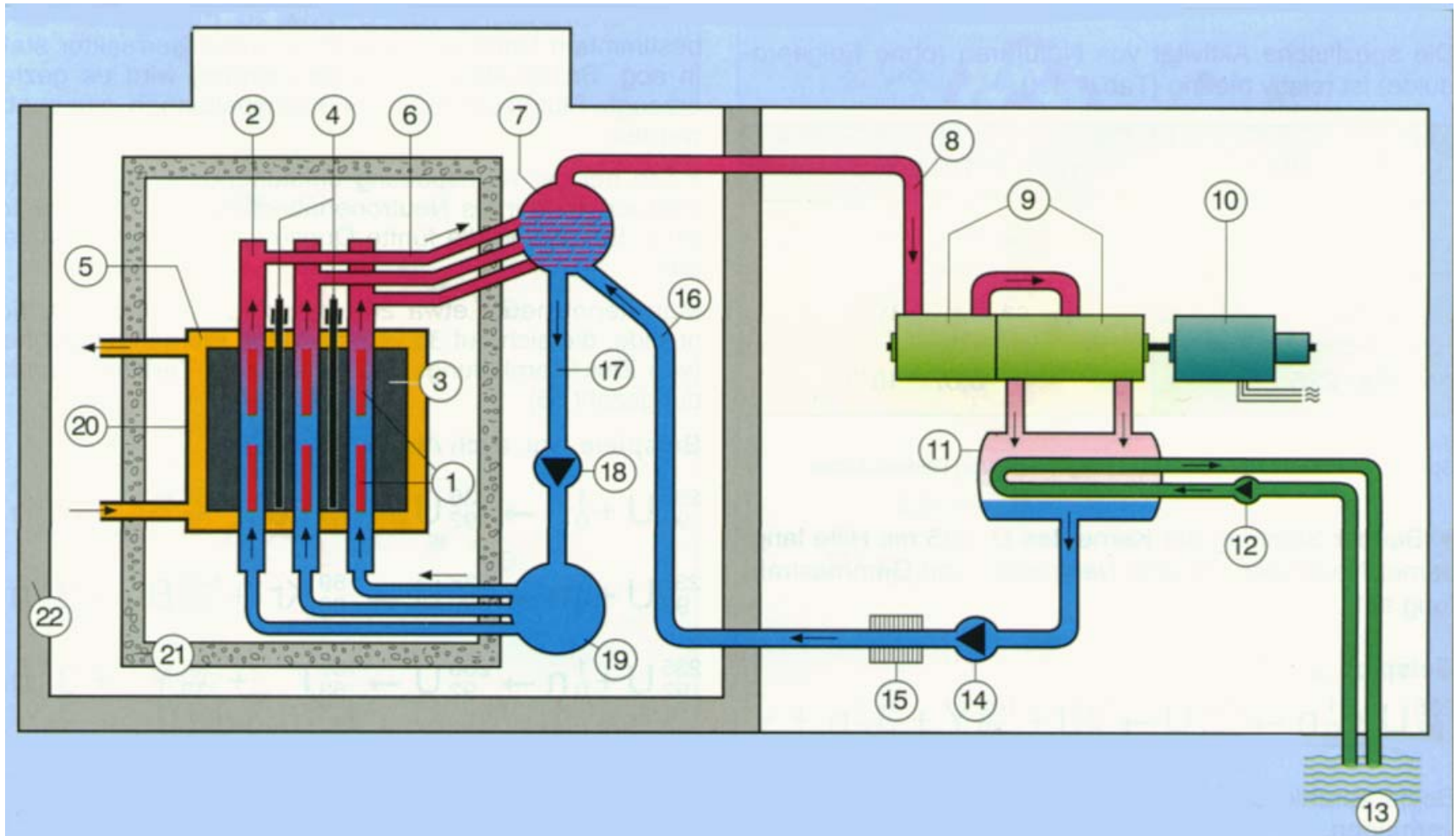
Plinsko hlajeni reaktor – GCR, AGR



Grafitni vodno hlajeni reaktor - LWGR

- v Sovjetski zvezi elektrarne z oznako RBMK
- moderater grafit, hladilo voda, ki vre v kanalih ob gorivu
- ✓ menjava goriva med obratovanjem
- ✗ velika sredica, zapletena regulacija
- ✗ zadrževalnega hrama ni
- ✗ določenem območju se z višanjem temperature moč poveča
- 26. aprila 1986 v Černobilu **najhujša jedrska nesreča, sprostitve ogromne količine radioaktivnih snovi**
 - 38 mrtvih zaradi velikih doz radioaktivnega sevanja
 - ~4000 otrok dobilo raka na ščitnici, 9 otrok umrlo, ostale ozdravili
 - ocena: med skupno 600 000 reševalci in prebivalci do 4000 dodatnih primerov raka levkemije
- po nesreči so ostale RBMK reaktorje precej izboljšali, a na zahodu velja prepričanje, da jih je treba čim prej zapreti

Grafitni vodno hlajeni reaktor – LWGR (RBMK)

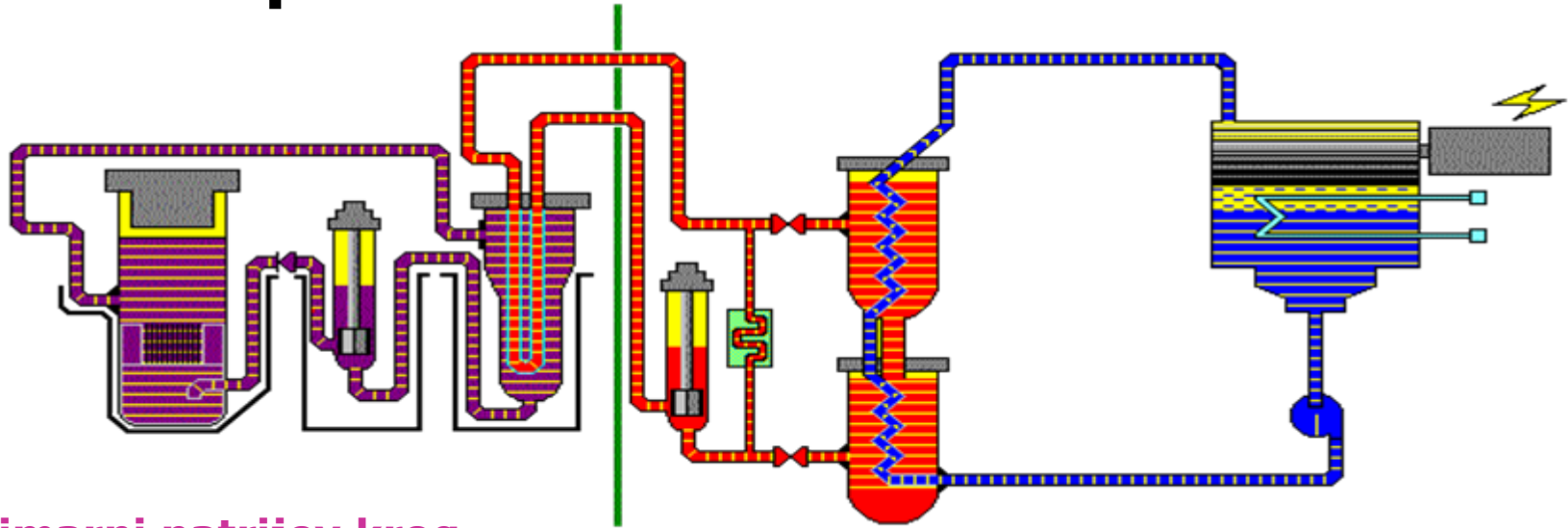


Hitri oplodni reaktor - FBR

- FBR = Fast Breeder Reactor
- ne deluje na počasne (termične), ampak na hitre nevtrone
- cepitev na hitre nevtrone manj učinkovita, zato obogatitev goriva višja (15-35%)
- moderatorja ni, hladilo naj čim manj upočasnjuje nevtrone
- običajno hladilo tekoči natrij
- 3 toplotne zanke (1. in 2. Na, 3. voda)
- v oplodnih reaktorjih nastane več iz ^{238}U plutonija kot izgori ^{235}U

- zaradi trenutno nizke cene urana in zapletenih tehnoloških rešitev se je njihov razvoj ustavil

Hitri oplodni reaktor - FBR



Primarni natrijev krog

Gorivo	UO_2/PuO_2
Obogatitev	20%
Sredica	$D=1.8\text{m}, H=1\text{m}$
Tlak	8bar
Temperatura	530°C

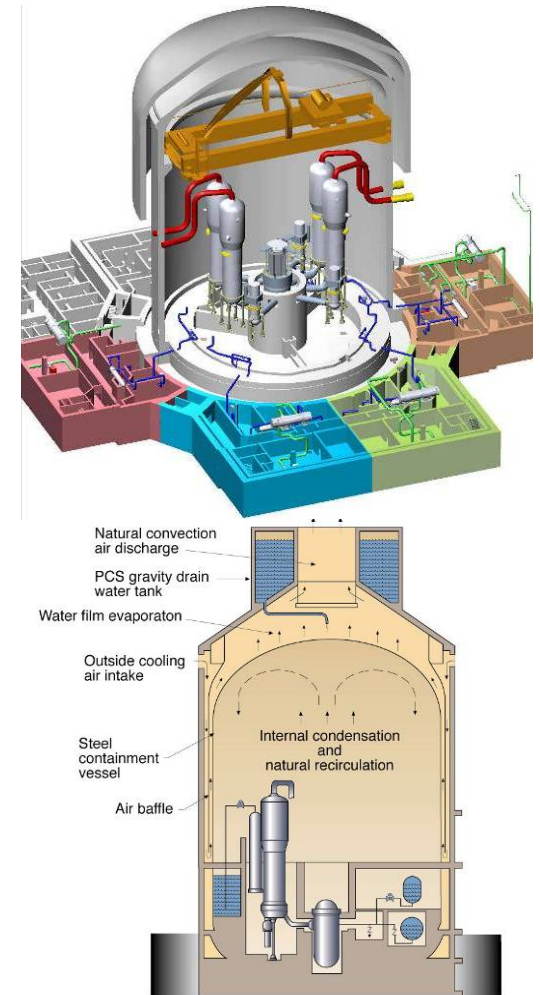
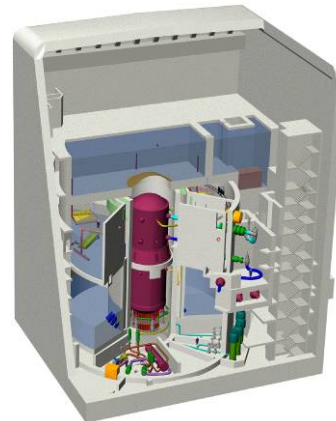
Sekundarni natrijev krog

Turbinski krog

Tlak	120bar
Temperatura	480°C

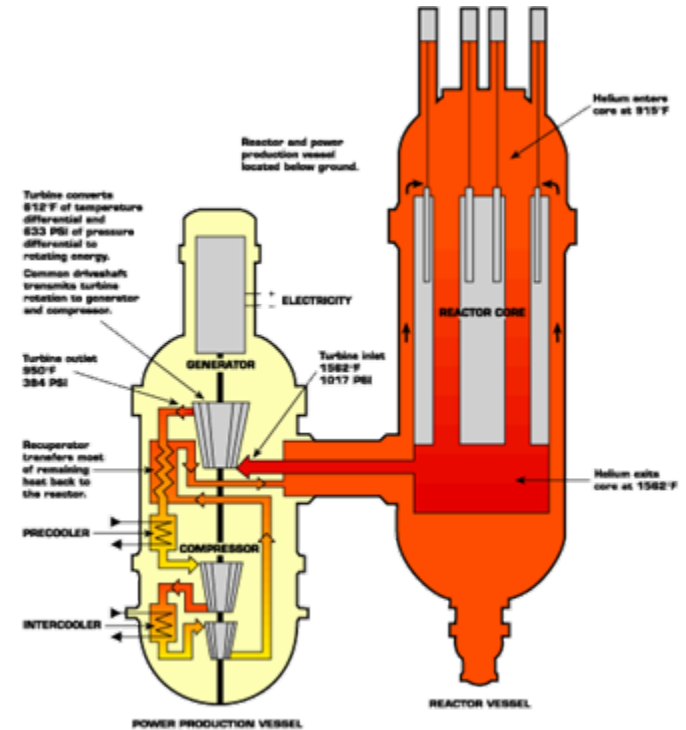
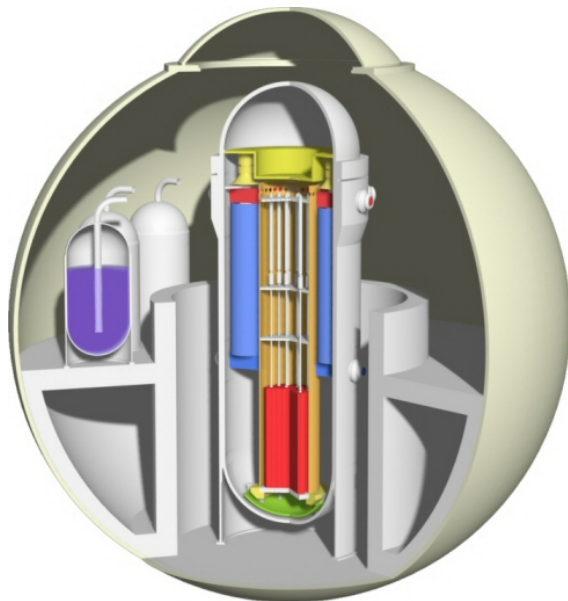
Reaktorji III. generacije

- EPR
 - tlačnovodni reaktor, moč 1600 MW
 - izboljšani/števičnejši varnostni sistemi
 - proizvajalec Areva (Francija, Nemčija)
 - gradijo ga na Finskem in v Franciji
- AP-1000
 - tlačnovodni reaktor, moč 1100 MW
 - zasnovan v smer večje inherentne varnosti
 - proizvajalec Westinghouse
 - sklenjena pogodba s Kitajsko
- SBWR (*General Electric*)
- SWR 1000 (*Areva*)
 - napredna vrelna reaktorja



Reaktorji III+ generacije

- komercialno dostopni 2010-2020
- PBMR
 - 6 cm kroglice iz karbida/grafita
 - v kroglicah 0,5 mm zrnca 9% U
 - 456000 kroglic v sredici
 - 165 MW



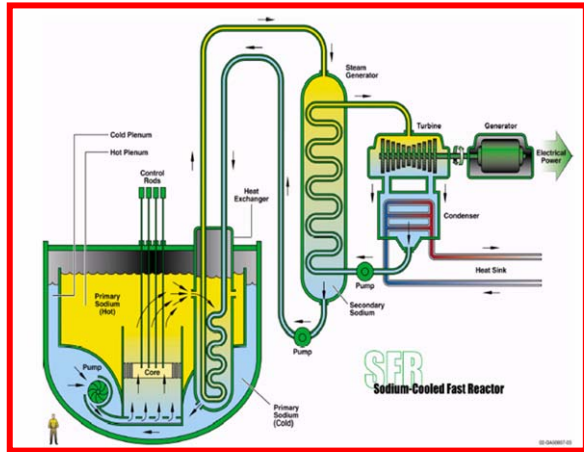
- IRIS
 - PWR
 - integralna reaktorska posoda
 - 335 MW

Reaktorji IV. generacije

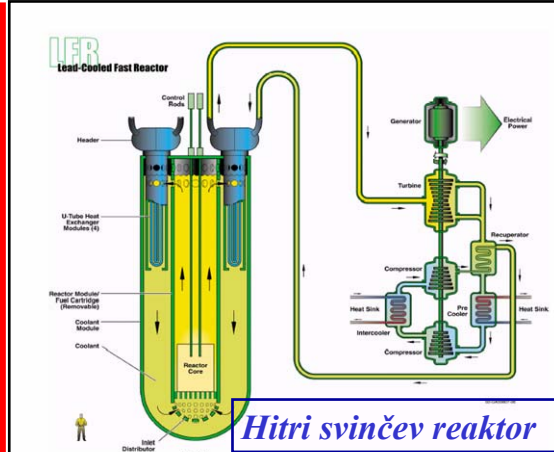
- poudarek na trajnostnem razvoju
 - velik izkoristek goriva
 - minimalen vpliv na okolje
- ekonomičnost, varnost
- minimalna možnost uporabe v vojaške namene

- predvsem razne vrste oplodnih reaktorjev
- komercialna proizvodnja okoli 2030

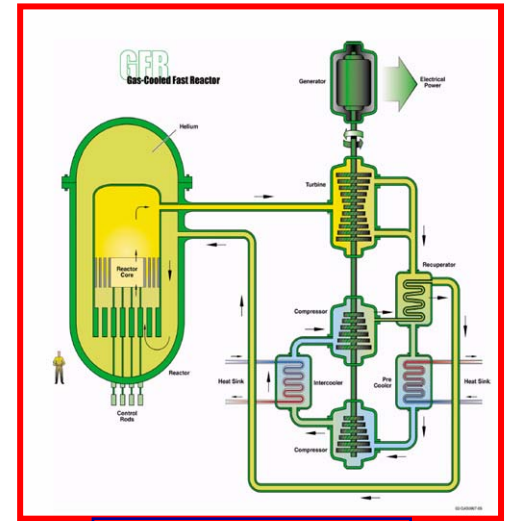
Nabor reaktorjev IV. generacije



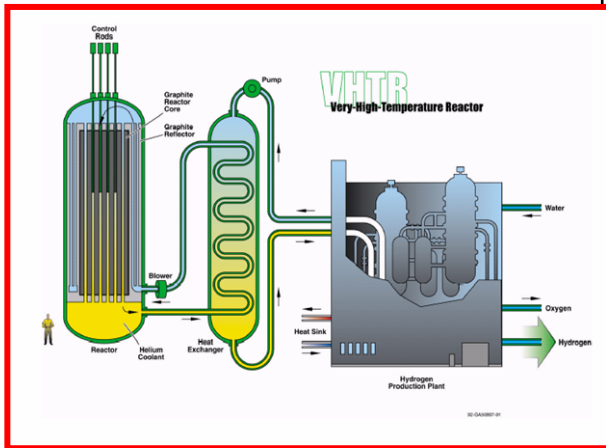
Hitri natrijev reaktor



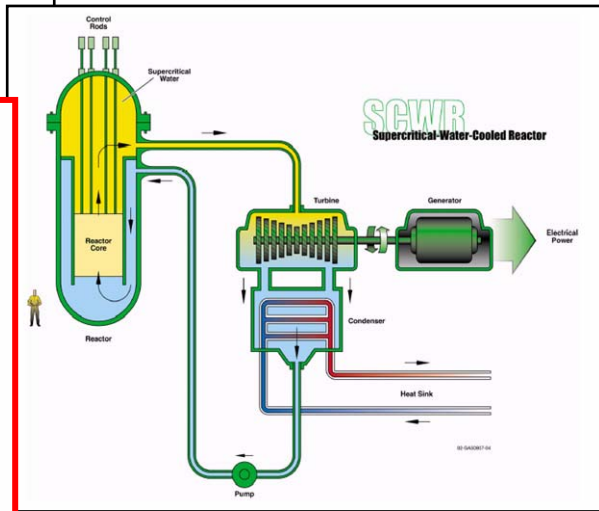
Hitri svinčev reaktor



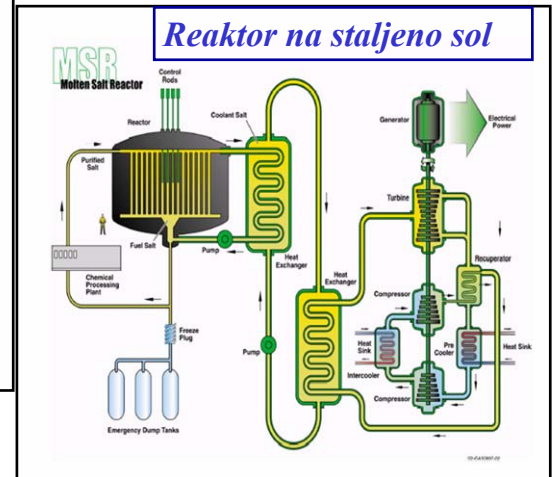
Hitri plinski reaktor



Zelo visokotemperaturni reaktor



Nadkritični vodno hlajeni reaktor



Reaktor na staljeno sol

Vabljeni s svojimi učenci na razstavo o jedrski tehnologiji na ICJT

- predavanja, poskusi, ogled razstave, ogled Trige
- brezplačne publikacije
- od 1993 do 2007 je bilo 100.000 obiskovalcev

