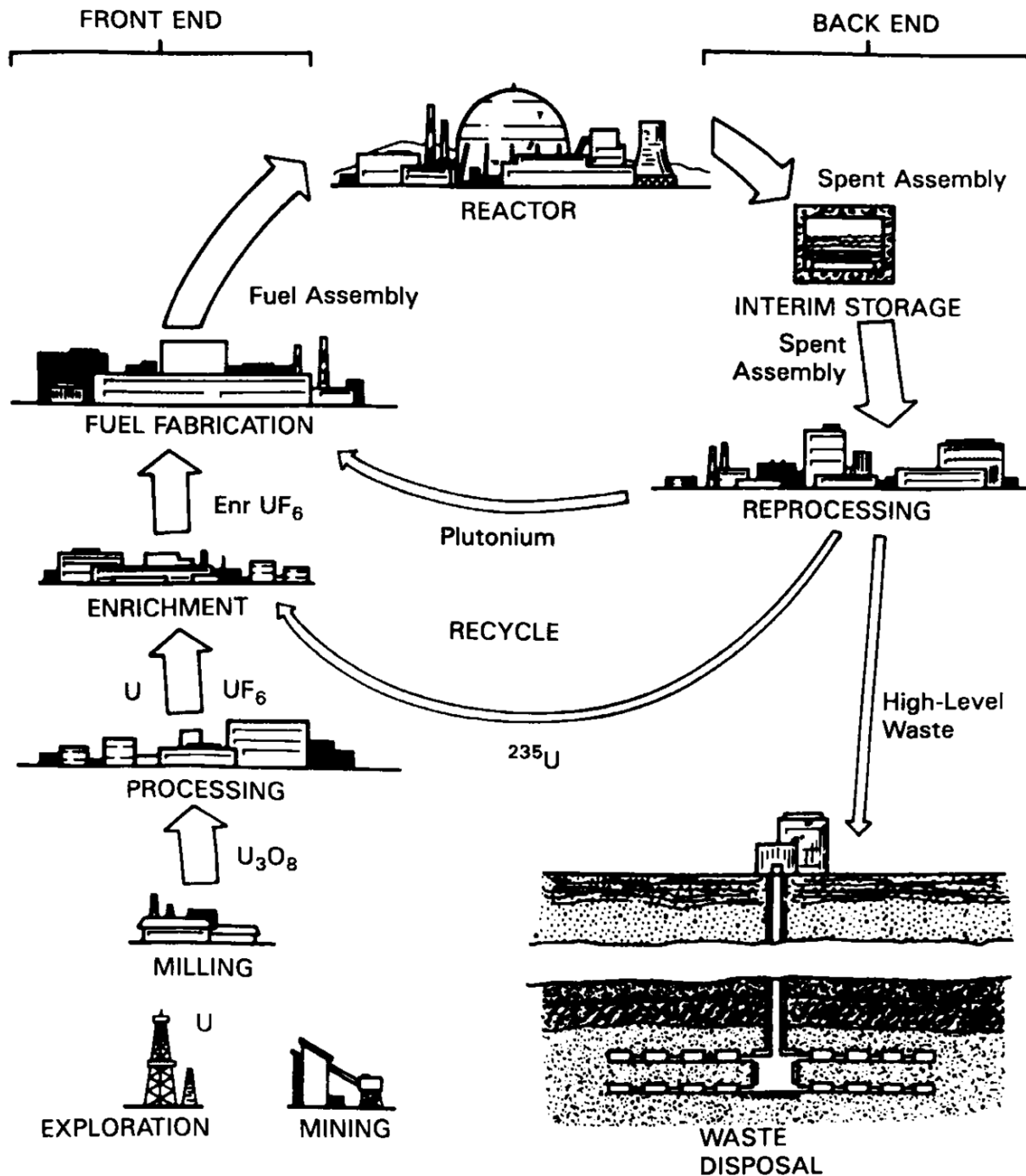


Lahkovodni reaktor -
gorivni cikel

vir: Knief:
Nuclear Engineering



Januar 2010, približna cena 1 kg urana v obliki UO_2 reaktorskega goriva (www.world-nuclear.org):

Uran:	8.9 kg U_3O_8 x \$115.50	US\$ 1028
Konverzija UF_6 :	7.5 kg U x \$12	US\$ 90
Obogatitev:	7.3 SWU x \$164	US\$ 1197
Izdelava goriva:	na kg	US\$ 240
Skupaj približno:		US\$ 2555

Strošek goriva: \$7.1/MWh (JEK proizvaja elektriko po ceni ~\$40/MWh)

SWU - Separative Work Unit (enota ločevalnega dela):

$$SWU = V(p) + V(t) (F-1) - V(f) F$$

$$F = (p-t)/(f-t)$$

$$V(x) = (2x-1) \ln [x/(1-x)]$$

"vrednostna funkcija"

p - obogatitev obogatene urana (masni delež U^{235})

t - obogatitev osiromašenega urana

f - obogatitev vložene urana (naravni uran $f=0.0071$)

1 kg naravnega U ($f=0.711\%$) -> 0.135 kg U (4%) + 0.865 kg U (0.2%)

$V(0.00711)=4.869$, $V(0.002)=6.188$, $V(0.04)=2.924$

$F = 7.436$

SWU = 6.5

Rudarjenje in predelava v U_3O_8

- Najnevarnejši del gorivnega kroga - za rudarje in okolje.
- Obrat za predelavo rude v rumeno pogačo - Žirovski vrh - ob rudniku
- Zaloge urana v Žirovskem vrhu - ~10 do 15,000 ton - za ~50-100 let obratovanja JEK.
- Rudnik ŽV deloval obratoval od 1982 (kopanje rude), do 1990.
- Obrat za predelavo urana od 1984 do 1990.

Predelava:

- v rudi je urana malo - potrebna kompleksna kemična separacija (mletje, izločanje kovin z raztapljanjem v kislinah, ločevanje urana iz kislih raztopin z organskimi topili, ponovno ločevanje z vodno raztopino)

Produkt - rumena pogača - uranov oksid

RUŽV:

3.307.000 t izkopanega materiala, od tega:
633.000 t uranove rude, proizvedeno
452 t uranovega koncentrata



Rudnik urana Žirovski vrh leta 1988. (Vir: A. P. Florjančič s sodelavci: Rudnik urana Žirovski vrh, ISBN 961-6363-00-X, 2000)

Konverzija v UF₆ in obogatitev urana

Konverzija

- prečiščevanje rumene pogače (eliminacija primesi z znatnim absorpcijskim presekom za nevtrone)
- konverzija v UF₆ (sublimira pri 56 °C)

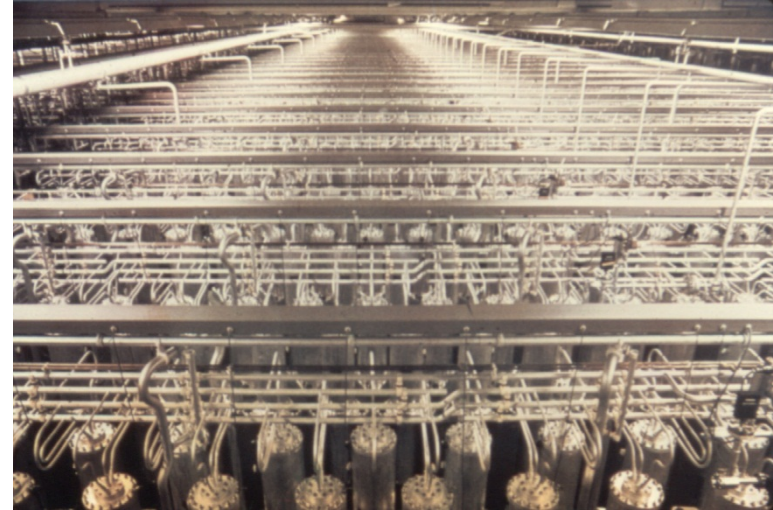
Obogatitev

Metode	Separacijski faktor	Poraba energije (kWh/SWU)	Tržni delež 2010 (%)
- plinska difuzija	1.004	2500	25
- plinske centrifuge	1.10	50	65
- plinske šobe	1.01-1.02	3000	
- kemijska izmenjava	1.02	~800	
- lasersko vzbujanje	do 70	10-40	

10 iz jedrskih bomb

Tehnologija "problematična" s stališča neširjenja jedrskega orožja !

Laser – sep 2012, dovoljenje za gradnjo komercialnega obrata v ZDA



<http://www.world-nuclear.org/info/inf28.html>

Izdelava goriva

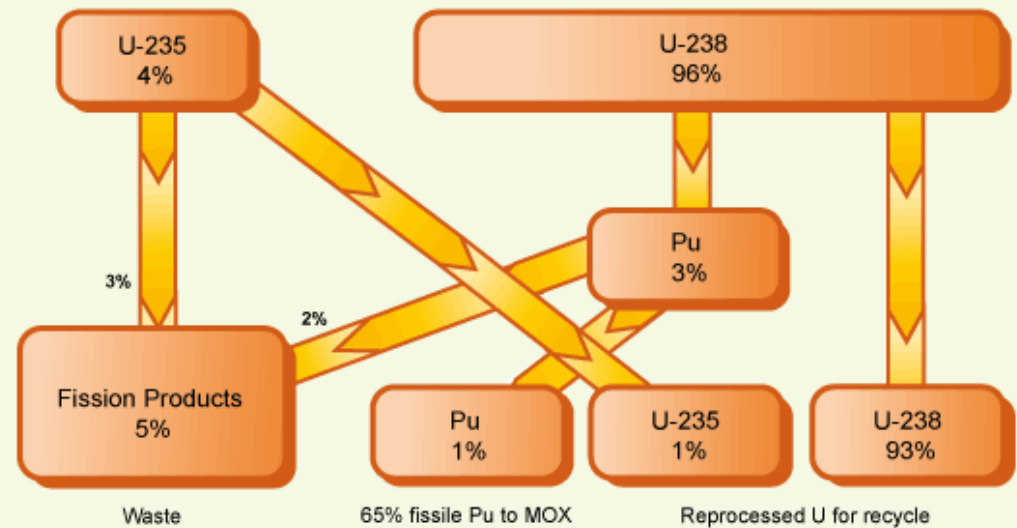
- UF_6 v UO_2
- proizvodnja gorivnih tablet
- polnitev gorivnih palic
- izdelava gorivnih elementov

Recikliranje goriva

- recikliranje Pu v izrabljenem gorivu
- 7 UO_2 izrabljenih gorivnih elementov da 1 MOX element (Mixed Oxide Fuel) + trdni visoko radioaktivni odpadki s 35% volumna in mase izrabljenega goriva
- zahtevna tehnologija predelave - deluje v Evropi in na Japonskem - ne v ZDA
- recikliranje U^{235} - precej bolj zahtevno...

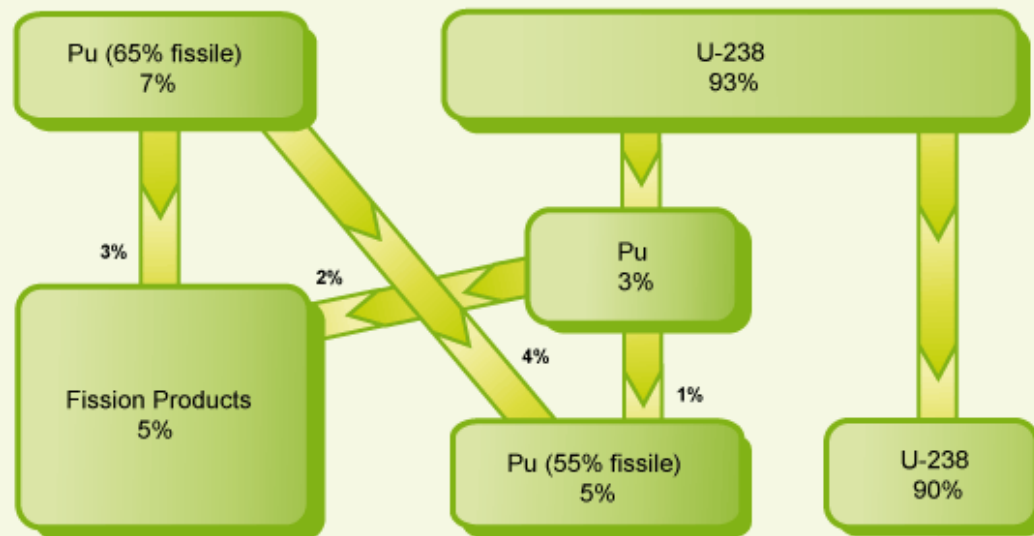
vir: www.world-nuclear.org

Reaction in standard UO_2 fuel



Basis: 45,000 MWd/t burn-up, ignores minor actinides

Reaction in MOX fuel



Basis: 45,000 MWd/t burn-up, ignores minor actinides

Visoko radioaktivni odpadki

JEK - 7000 m³ volumen goriva

(60 gorivnih elementov/18 mesecev, 60 let) ~ 2400 gorivnih elementov ob zaprtju.

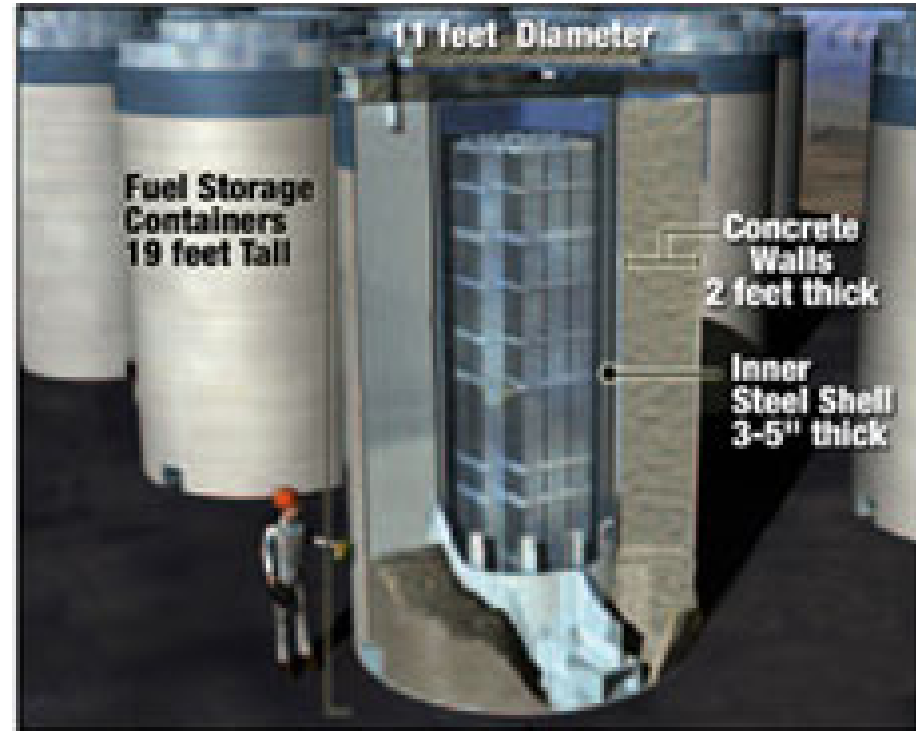
(Konec 2009 je v JEK 928 izrabljenih gorivnih elementov, po 60 letih ~2300)

V zabojih na sliki: 24 gor. elementov
*100 zabojev.

Zaboj: 3.4 m premer x 6 m višina

Toplota - enaka hišnemu sistemu ogrevanja. 10 let po koncu uporabe = ~20 kW.

Teža zaboja: 10 ton odpadkov in 170 ton embalaže.

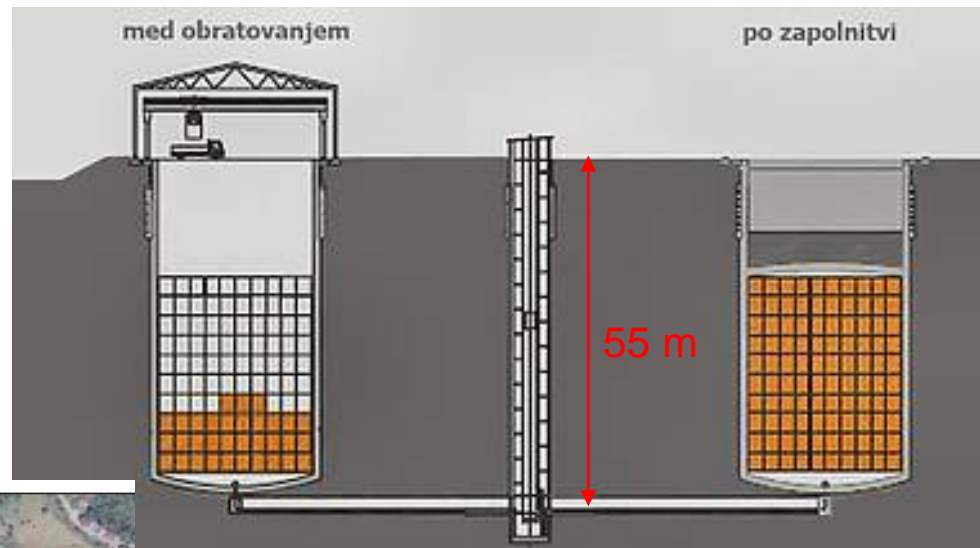


Odlaganje ?

Morda raje skladiščenje?

Kakorkoli že: Volumen teh odpadkov je majhen.

Nizko in srednje radioaktivni odpadki



JEK



za predvidenih 18,000 m³
odpadkov

vir: RAOPIS, Februar 2007

Finska rešitev,

ONKALO (Olkiluoto) odlagališče, 400 m globoko v granitu,

Kanister premer 1 m za 4 PWR elemente, hladi se zunaj 40 let nato se zapakira še v bakren kanister in zakoplje v glino. Po 40 letih 59 mSv/h

Zanj so se dogovorili v 23 letih.... (začetek 1978, 2001 potrditev parlamenta)
V 2018 bodo začeli obratovati.

Predvidena "retrievability".

2012: 10 km predorov. Skupaj bo skopanih 50 km predorov....