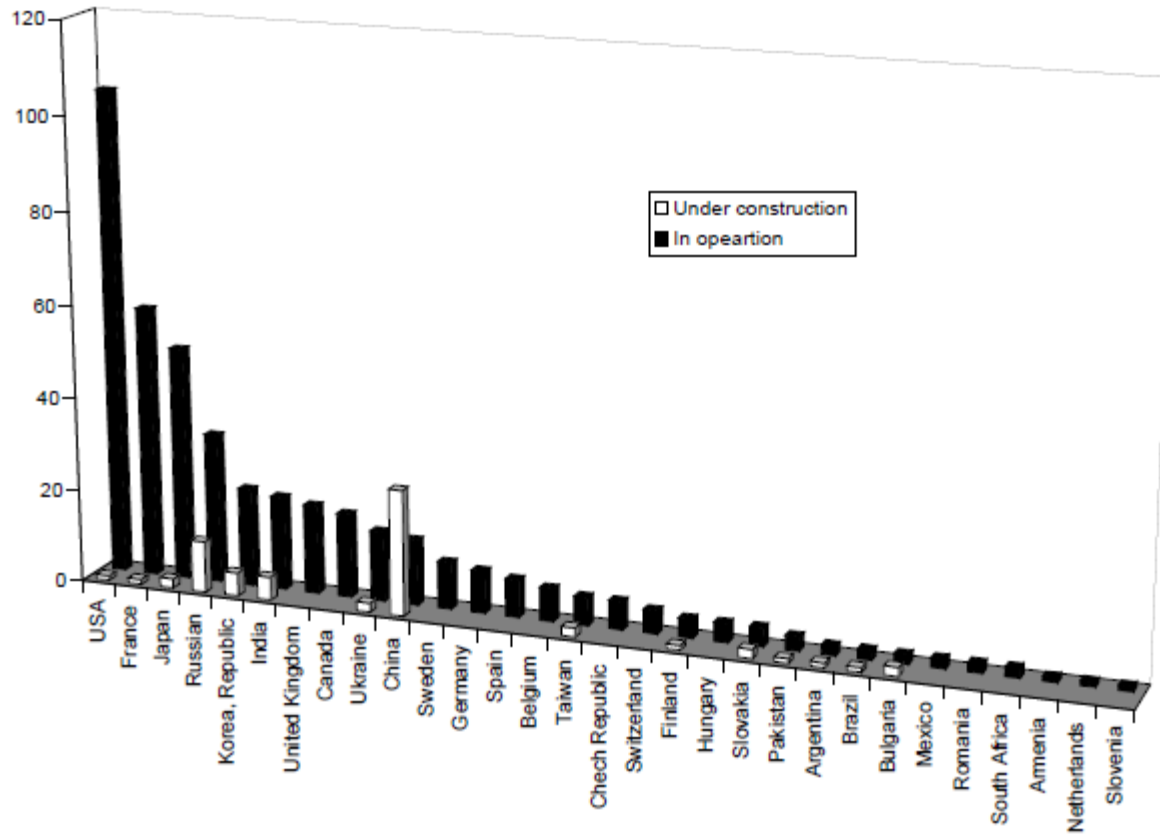
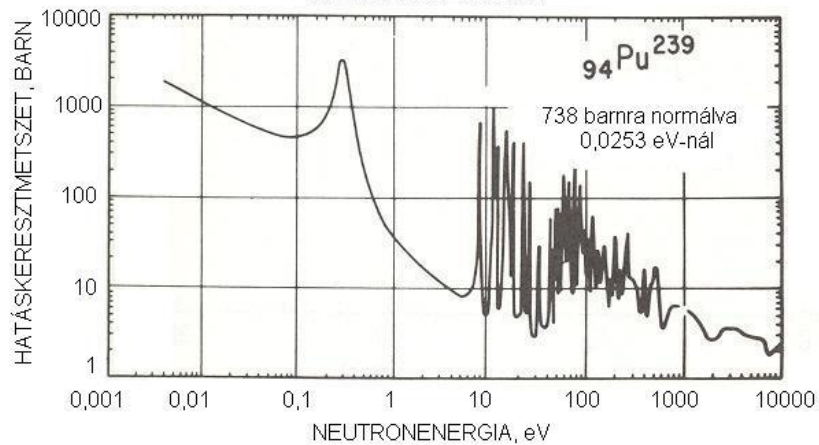
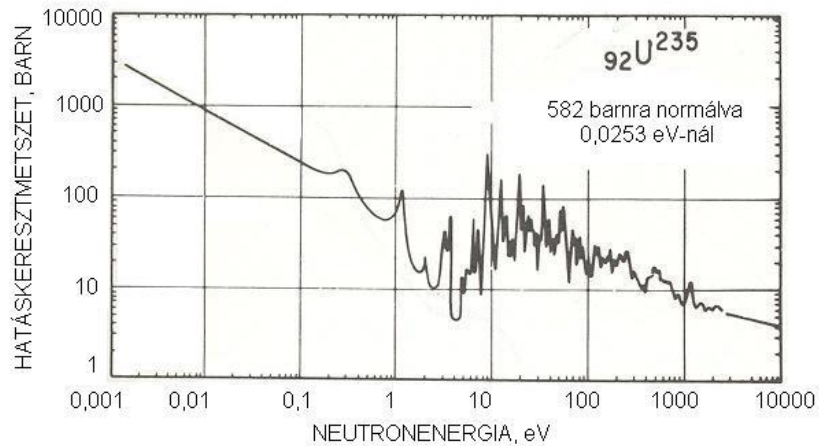
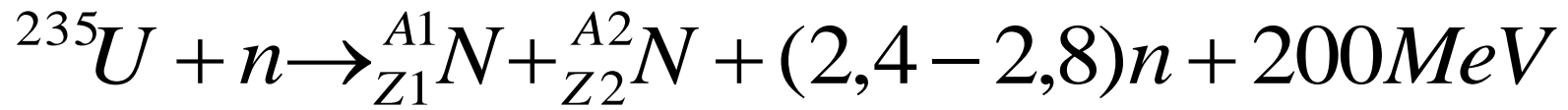


Nukleáris energiatermelés

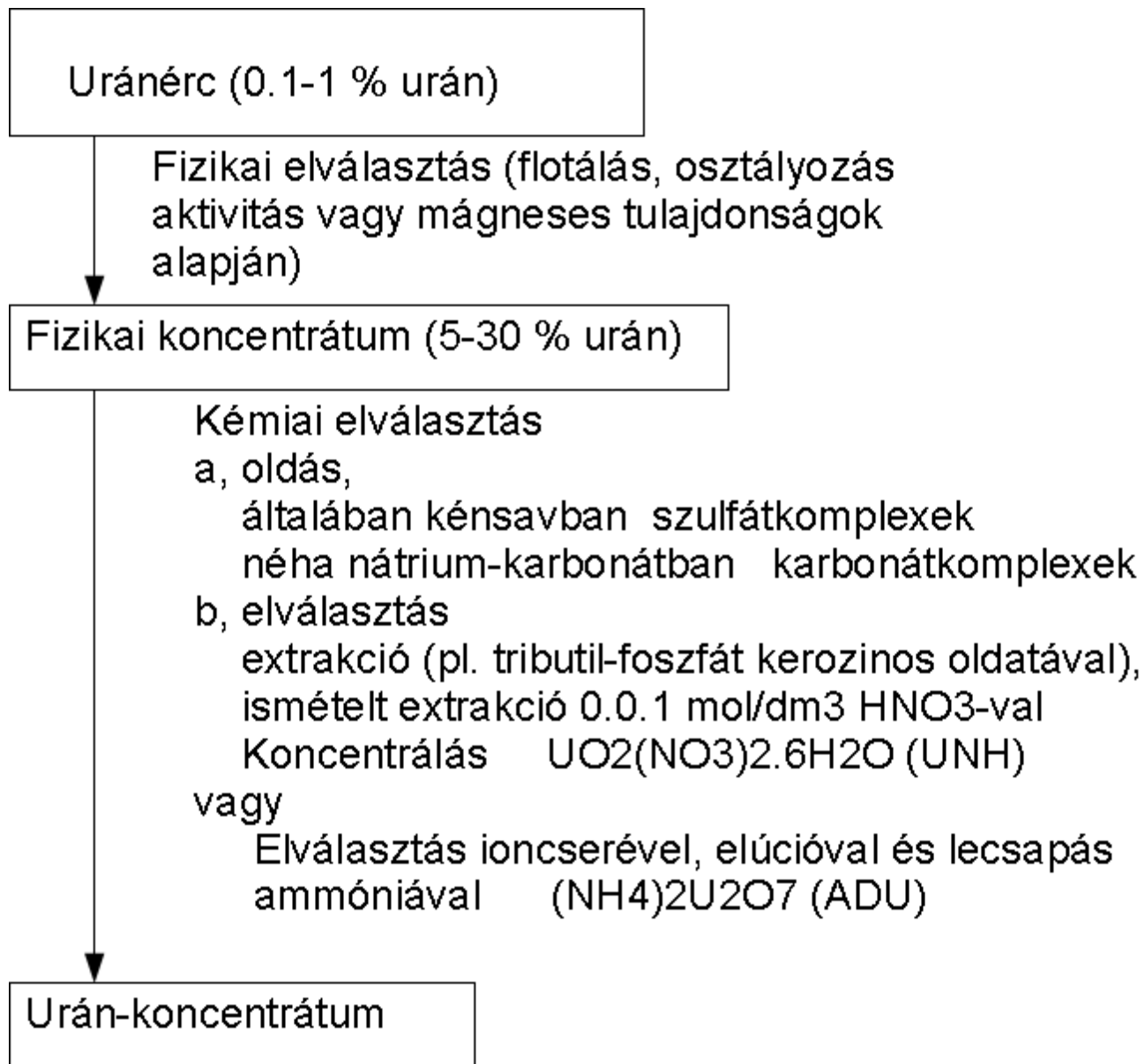
Atomreaktorok

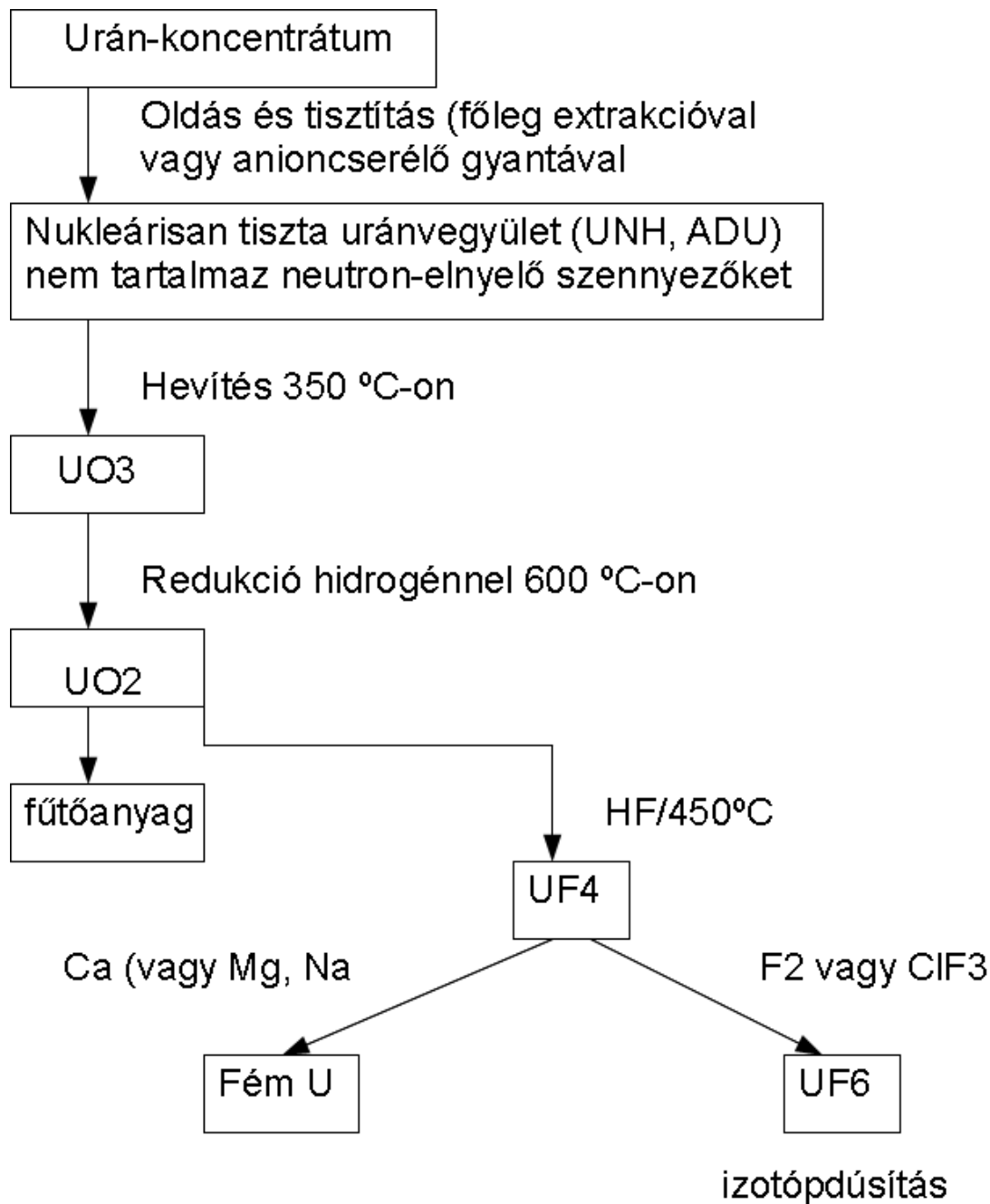




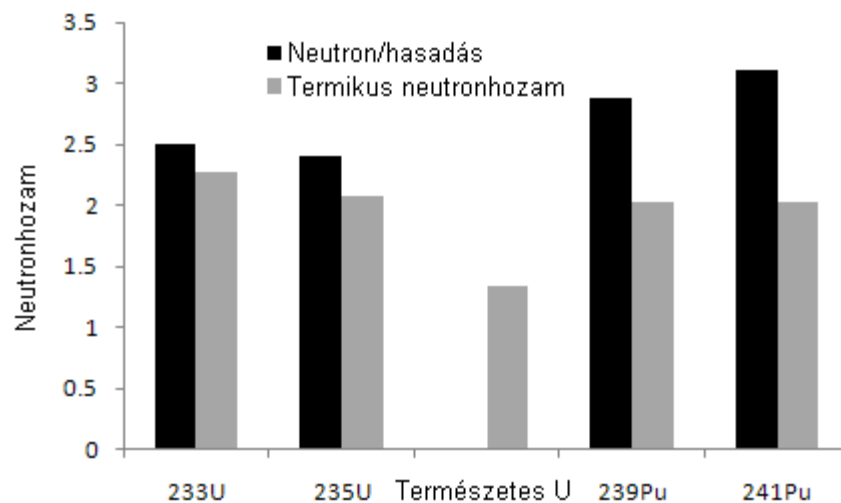
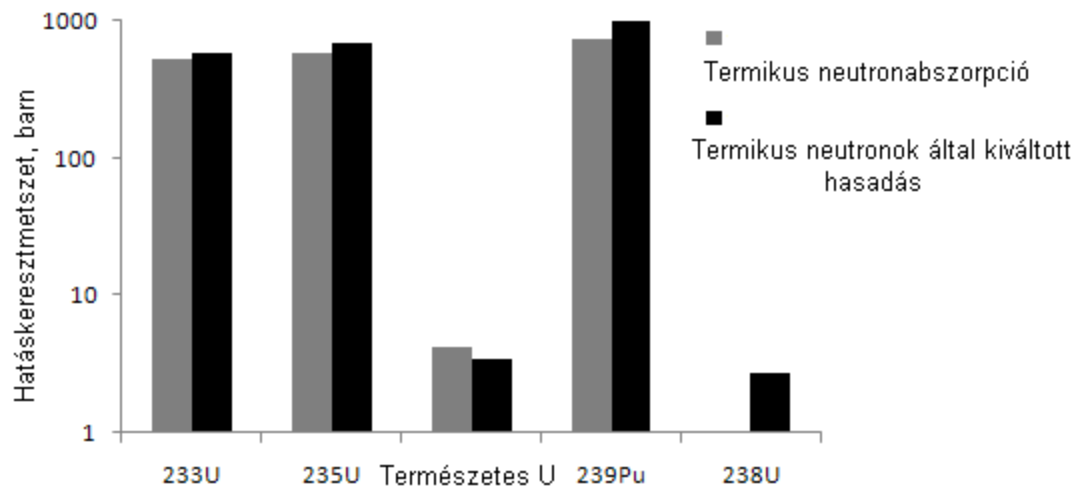
Természetes atomreaktor

- $^{238}\text{U}:^{235}\text{U} = 139:1$, ^{235}U -koncentráció kb. 0.7 %.
- Oklo (Gabon):
 - $^{238}\text{U}:^{235}\text{U} > 200:1$, $^{235}\text{U} < 0.5$ %
 - A ritkaföldfémek mennyisége is nagyobb, izotóp-összetételük hasonló az ^{235}U hasadványaihoz .
 - Neodímium összetétele: ^{143}Nd : 27 %, egyéb Oklo-i ércekben <5 %.
 ^{142}Nd :12 %, egyéb Oklo-i mintákban 24 %. ^{235}U hasadása során keletkezik 29 % ^{143}Nd , ^{142}Nd nem keletkezik.
- Természetes reaktor kb. 2 milliárd évvel ezelőtt a ^{235}U -koncentráció kb. 2 % volt
 - Moderátor: víz
 - $< 10^9$ neutron/cm²s¹ neutronfluxus a reaktor közepén
 - <10 kW
 - Kb. 1 tonna ^{239}Pu keletkezett





Reaktor-üzemanyagok jellemzői



$$k = \frac{n_{sz}}{n_p}$$

k sokszorozási tényező
 n_p primer neutronok száma
 n_{sz} szekunder neutronok száma

$k < 1$ szubkritikus

$k = 1$ kritikus

$k > 1$ superkritikus.

Természetben is: Oklo

$$k_{\infty} = \varepsilon p f \eta$$

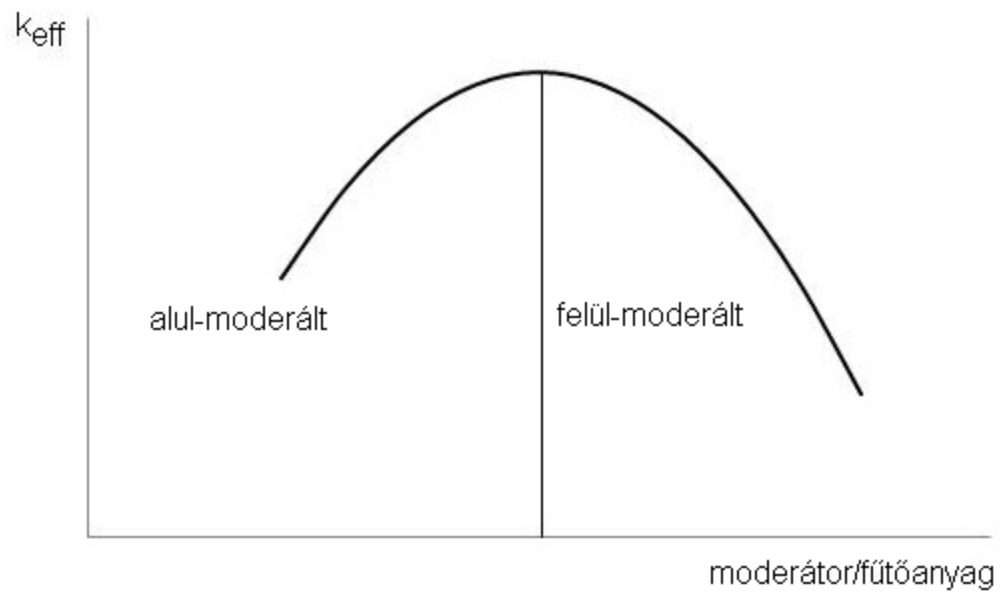
ε a gyorsasítási tényező
 p a rezonanciabefogás kikerülési tényező
 f a termikus hasznosítási tényező
 η : a termikus neutronhozam

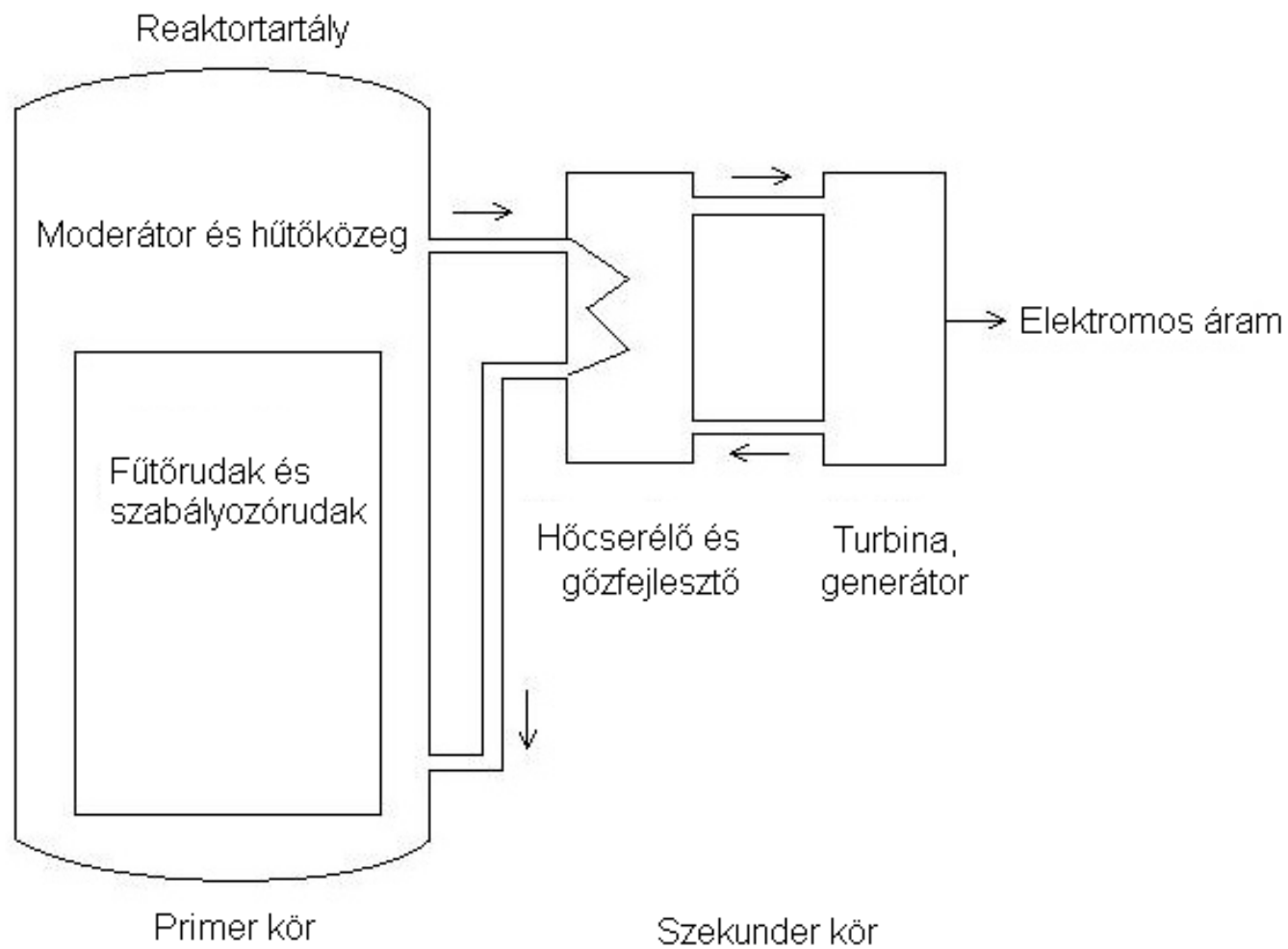
$$q = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}}$$

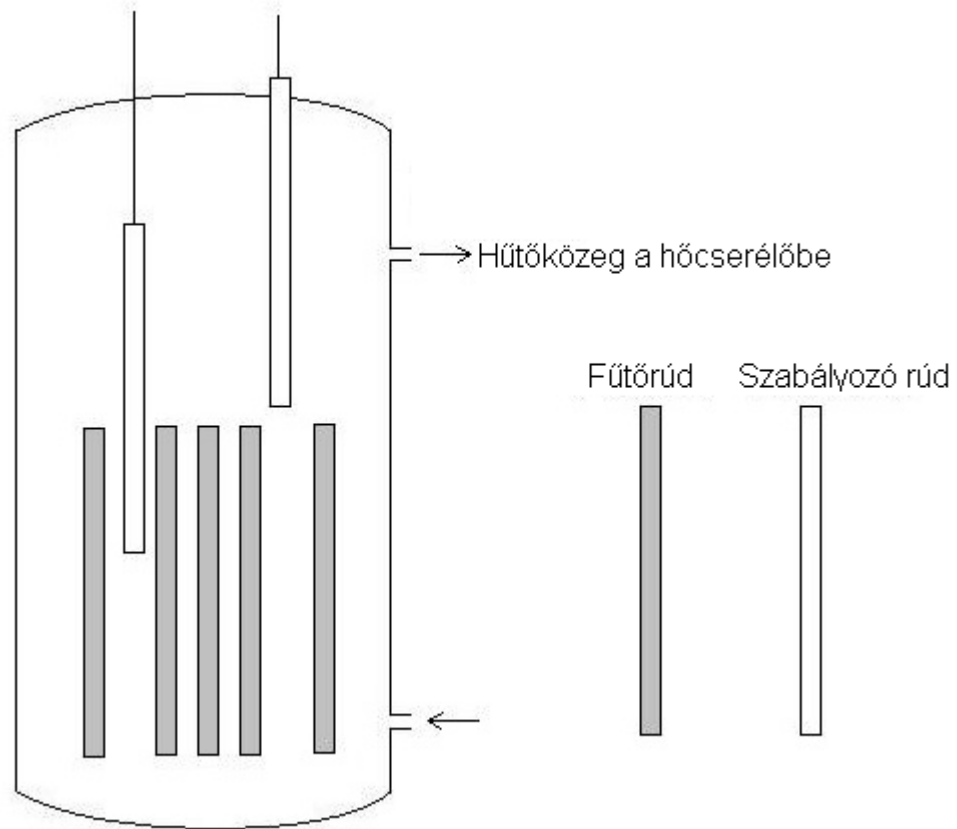
q reaktivitás
 k_{eff} effektív sokszorozási tényező

Atomreaktorok típusai

- Nukleáris környezetvédelem
- Nukleáris hulladék kezelése: Elméleti fizikai kémia II.







A paksi VVER-440 reaktor üzemanyagának fontosabb paraméterei

VVER: vízhűtésű, vízzel moderált, energiatermelő, termikus, nyomottvizes reaktor	
Elektromos teljesítmény Hőteljesítmény	440 MW 1375 MW
Üzemanyag ²³⁵ U-nal dúsított urán, dúsítás A zóna teljes urán-töltete Kémiai formája Fűtőelemek (rudak vagy pálcák) száma Fűtőelem kötegek (kazetták) száma Szabályozó és biztonságvédelmi kazetták száma	1,6-2,4-3,6 % 42 t UO ₂ 44000 312 37

<p>UO₂ tabletta (pasztilla) méretei</p> <p>átmérő</p> <p>Magasság</p> <p>Belső (tengelyes) furat átmérője</p> <p>Tabletták száma egy rúdban</p> <p>UO₂ sűrűsége</p>	<p>7,65 mm</p> <p>30 mm</p> <p>1,2-2,0 mm</p> <p>≈80</p> <p>10,6-10,97 kg/dm³</p>
<p>A fűtőelem rúd mérete</p> <p>Külső átmérő</p> <p>hossz</p> <p>falvastagság</p> <p>Rés mérete</p> <p>Töltőgáz</p> <p>Központi furat térfogata</p> <p>Felső plénum térfogata</p> <p>burkolat</p>	<p>9,1 mm</p> <p>2570 mm</p> <p>0,65 mm</p> <p>0,12-0,27 mm</p> <p>He</p> <p>4,7 cm³</p> <p>4 cm³</p> <p>1 % Nb-tartalmú Zr</p>

<p>A fűtőelem-köteg jellemzői</p> <p>A fűtőelem-rudak száma egy kötegben</p> <p>Hatszögletű, kulcsméret</p> <p>Egy kötegen belül az urán kezdeti dúsítása azonos</p> <p>Burkolat</p>	<p>126</p> <p>144 mm</p> <p>2,5% Nb-tartalmú Zr</p>
<p>Közepes térfogati hőterhelés a zónára</p> <p>Közepes felületi hőterhelés a fűtőelemre</p> <p>Közepes lineáris hőterhelés a fűtőelemre</p> <p>A kötegek átlagos kiégése 3 év után</p> <p>Max. megengedett felületi U-szennyezettség</p>	<p>84,5 MW/m³</p> <p>43,8 W/cm²</p> <p>131 W/cm</p> <p>28600 MWnap/t U</p> <p>10⁻⁹ g ²³⁵U/cm²</p>
<p>Megengedett inhermetikusság: gáztömörtelenség a fűtőelemek 1 %-ánál</p>	
<p>Makrorepedés (burkolat-felhasadás) a fűtőelemek 0,1 %-ánál</p>	

Moderátor és hőhordozó	Sótalan könnyűvíz
Primerköri hőhordozó tömege nyomása kilépésnél	1,93*10 ⁵ kg 12,26 MPa
Primerköri bórsav-koncentráció kálium-hidroxid koncentráció ammónia-koncentráció	0-12 g/kg 2-16 mg/kg 0-5 mg/kg
A zárt primerkör 6 hurokból áll, hőátadás a szekunder körnek 1-1 gőzfejlesztőben	
Primerköri víz teljes térfogat-árama	43300 m ³ /h
Részáramú kevertágyas ioncserés víztisztító átlagos térfogatárama	20 m ³ /h

Az atomreaktorok környezeti hatásai

- Pozitív hatások

- Fajlagos energiatermelés (energia/fűtőanyag tömege) : 10 g UO_2 ekvivalens

- 1100 m³ földgázzal
- 900 dm³ kőolajjal
- 5 tonna kőszénnel

- Szennyezőanyag-kibocsátás:

- egyéb erőművek (SO_2 , N-oxidok, CO_2)–üvegházhatás
- kibocsátott radioaktivitás : atomerőmű: kb. 0,01 Bq/s

Szénerőmű: 2700 Bq/s (széntől függően)

Az atomreaktorok környezeti hatásai

- Pozitív hatások – összehasonlítás a megújuló energiaforrásokkal
 - 2000 MW elektromos energia napenergiával: 600 km² földfelszín, 24 órás napsütés
 - A napelemek és akkumulátorok tartalmazzak galliumot, arzént, szelént, stb.

Az atomreaktorok környezeti hatásai

- Negatív hatások
 - Kis mennyiségű radioaktív gáz üzemszerű kibocsátása
 - Balesetek: nagy mennyiségű radioaktív anyag kibocsátása
 - Nukleáris hulladék