

Maghasadás, atomreaktorok

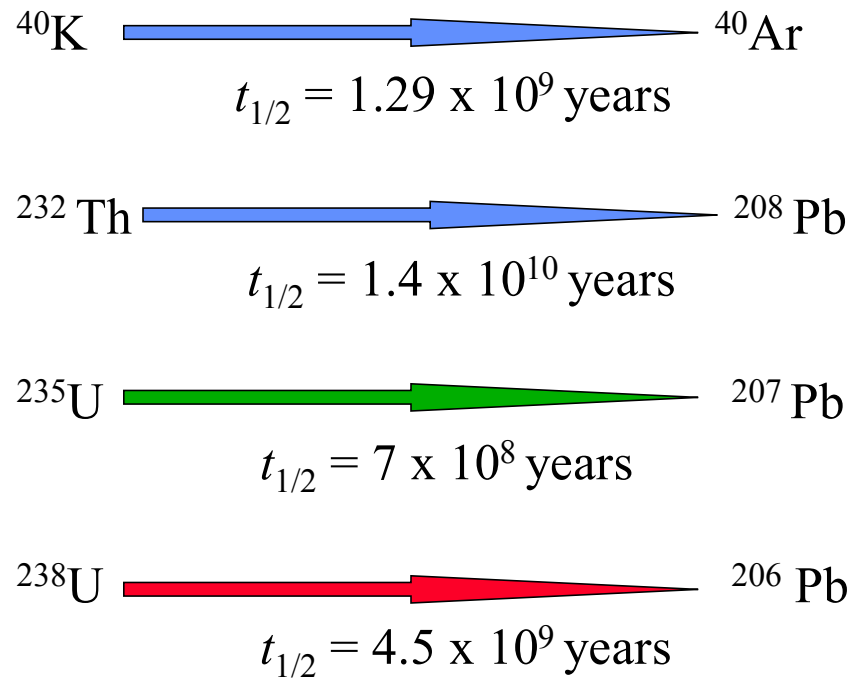
Magfizika

Az urán életútja

- A Nap "második generációs" csillag, anyagának (és a bolygók, köztük a Föld anyagának) egy része egy másik csillagból származik.
- E csillag életének utolsó másodperceiben zajlottak le azok a magreakciók, amelyek a nehéz elemek atommagjait létrehozták. Ezután a csillag, anyagát szétszórva az Univerzumban, szupernovaként felrobbant.
- A fiatal törmelékből és ősi csillagközi gázokból jött létre a Naprendszer, így került az urán a Földre. Ez körülbelül 4 és fél milliárd évvel ezelőtt történt.
- Utána megszilárdult a földkéreg, kialakultak az óceánok és a kontinensek, megjelent és elterjedt az élet, és most itt az Ember, aki atomerőműveket épít és használ.

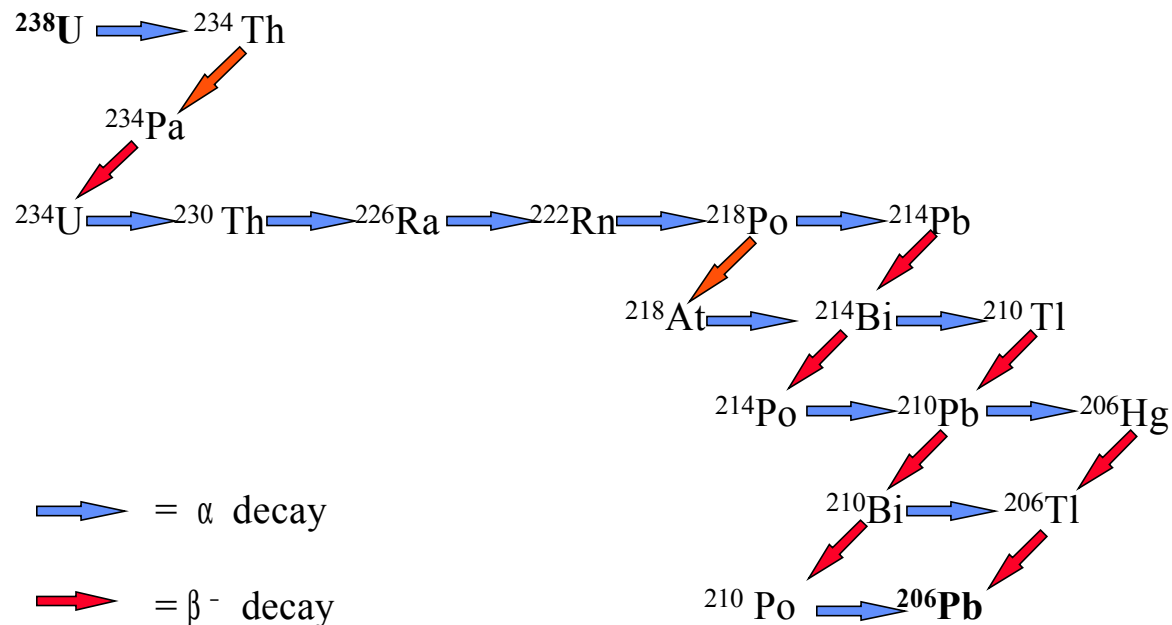
Természetes radioaktív bomlási sorok

Natural Decay Series of Existing Isotopes



Az U-238 bomlási sora

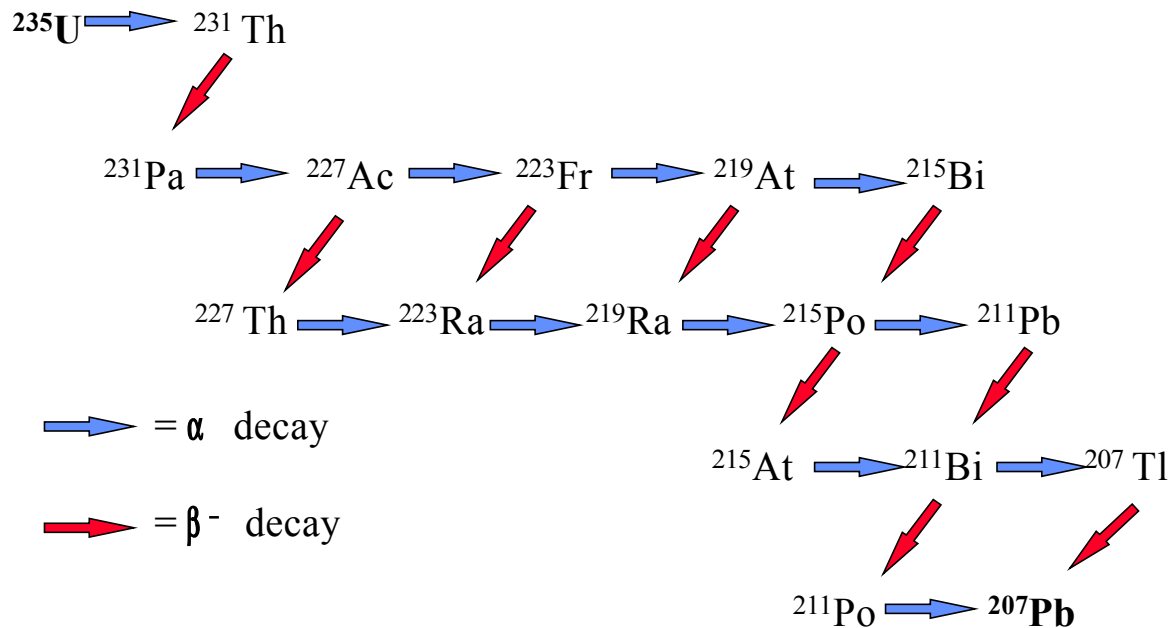
Natural Decay Series for Uranium-238



^{238}U : 8 α decays and 6 β^- decays leaves you with ^{206}Pb

Az U-235 bomlási sora

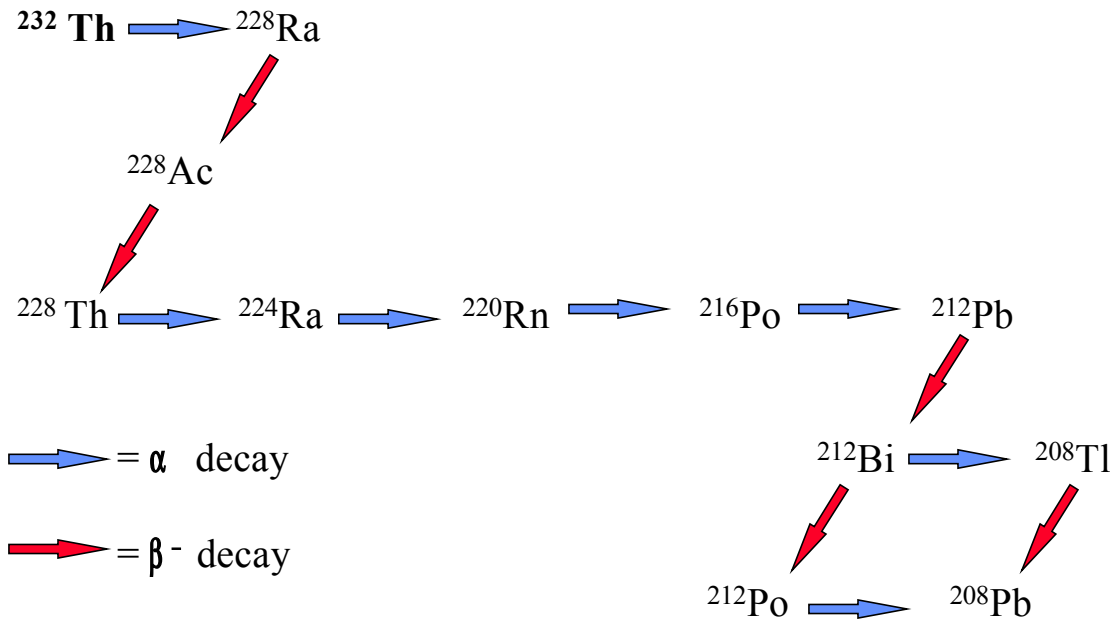
Natural Decay Series for Uranium-235



^{235}U : 8 α decays and 4 β^- decays leaves you with ^{207}Pb

A Th-232 bomlási sora

Natural Decay Series for Thorium-232



^{232}Th : 7 α decays and 4 β^- decays leaves you with ^{208}Pb

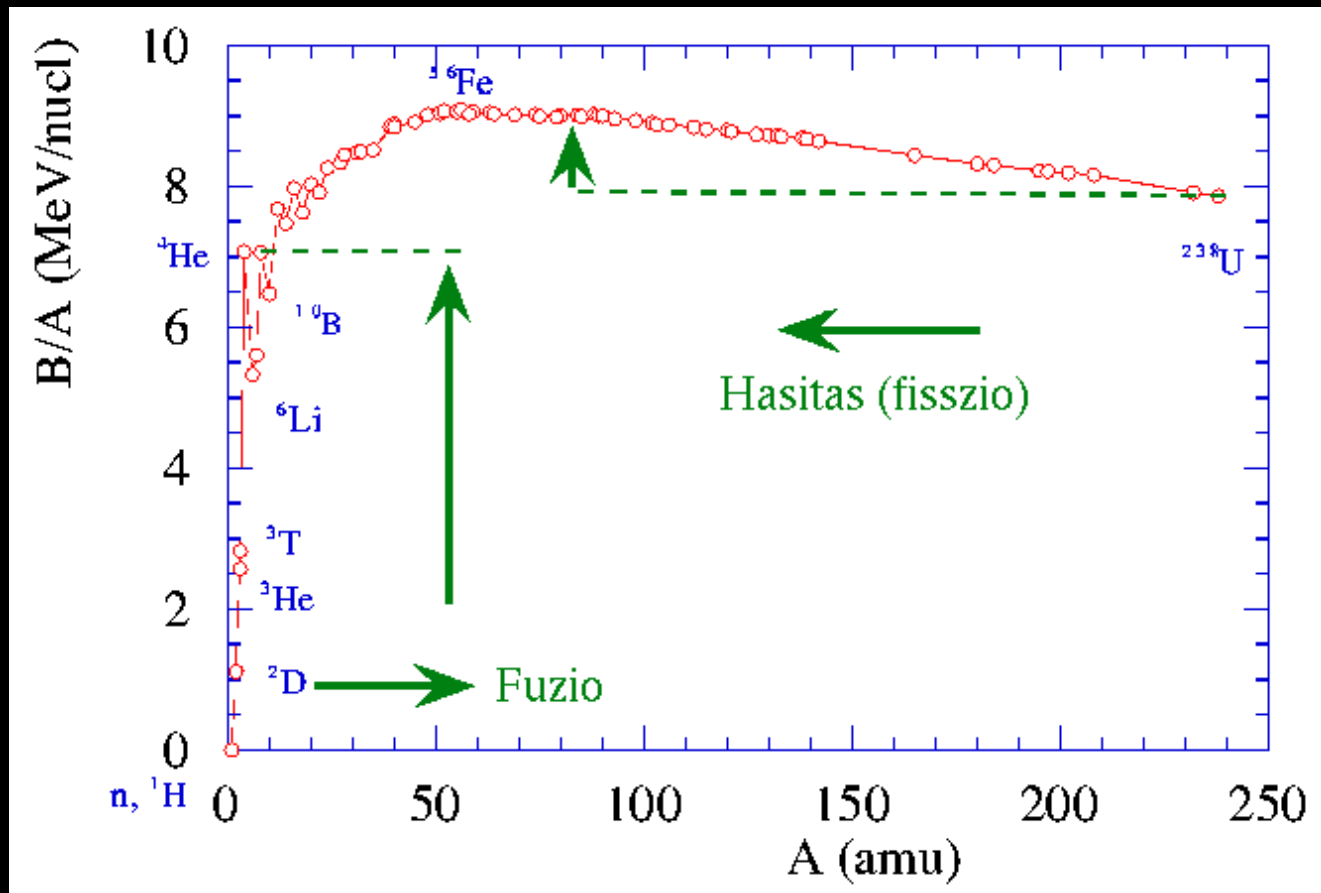
A maghasadás

A maghasadást 1939-ben fedezte fel Hahn, Strassman és Meitner:



A spontán hasadás. ^{235}U , ^{252}Cf

Nukleáris kötési energia kiaknázási lehetőségei

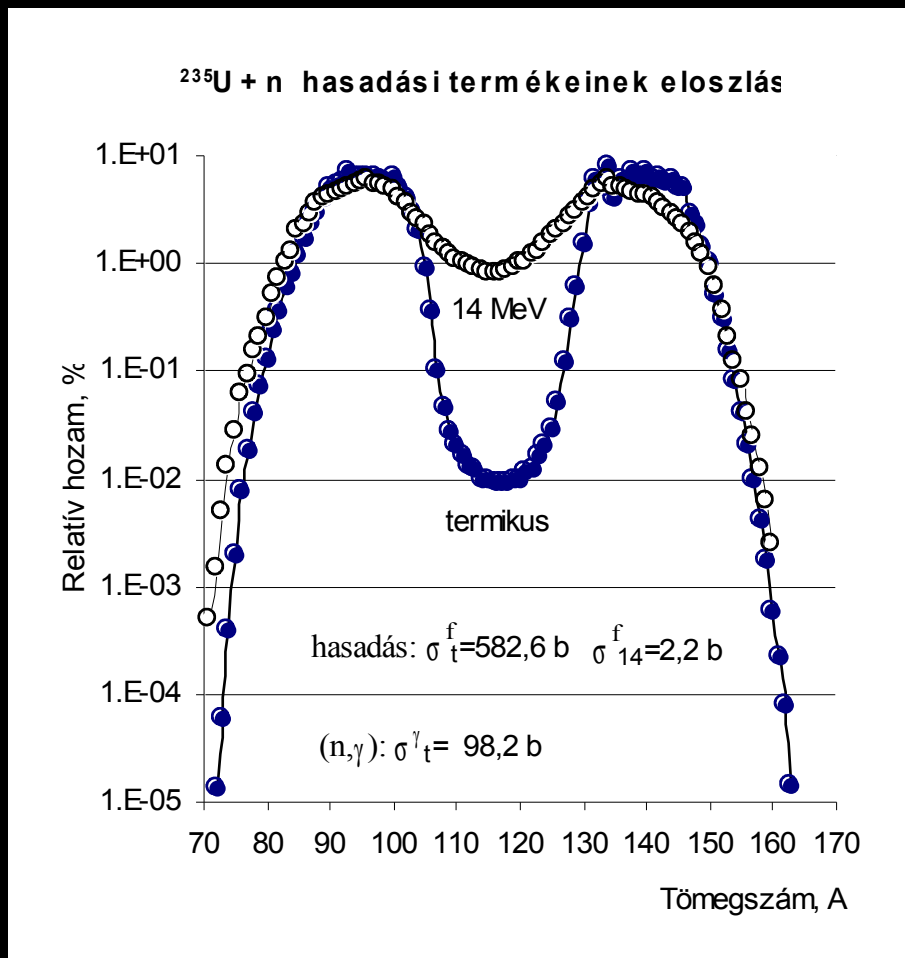


A hasadás tulajdonságai

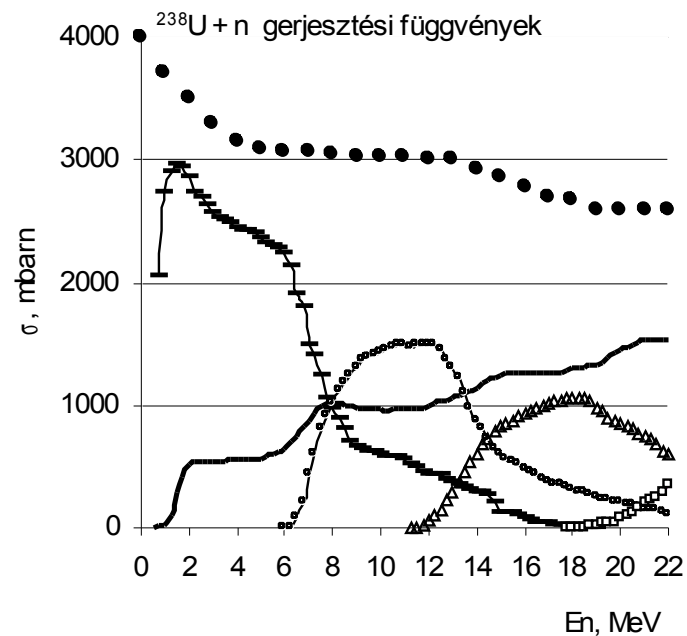
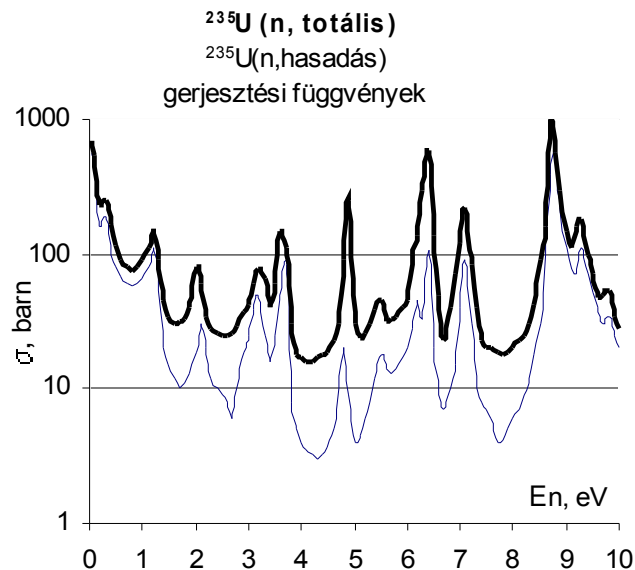
- Nehéz mag hasadásakor energia szabadul fel
- A hasadási energia többsége a termékek kinetikus energiájában jelenik meg
- A hasadási termékek β -radioaktívak, és neutronokat is kibocsátanak
- Vannak hasadást kísérő és másodlagos neutronok is, amelyek energiát visznek el

A maghasadás jellemző tulajdonságai

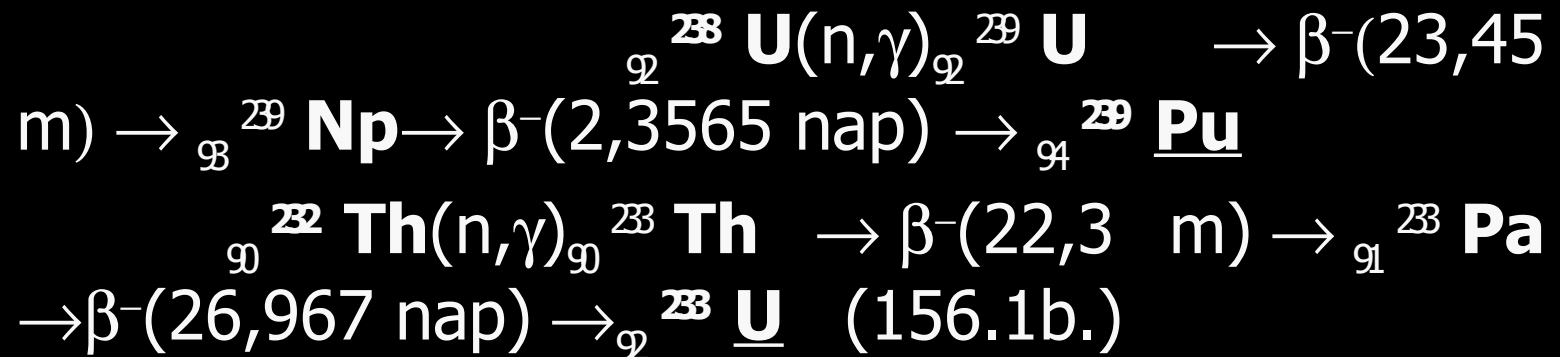
- Tömegeloszlás
- Töltéseloszlás
- Energia eloszlás
- A neutronok száma
- A neutronok energia eloszlása
- Késleltetett neutronok
- A prompt fotonok energia eloszlása



A hasadási reakció gerjesztési függvénye



- (i) *hasadóképes* (fisszilis) mag: termikus neutronra elhasad;
- (ii) *szaporító* nuklid ("fertilis"): csak gyors ($\sim$ MeV-es) neutronra hasad el, de termikus neutronokkal (n, γ) reakcióban új *hasadóképes anyagot* állít elő:



A maghasadás elméleti leírása

- A töltött folyadékcsepp modell

$$\Delta E = E_F - E_C = (1/5) \alpha_2^2 (2 \cdot E_F^0 - E_C^0) < 0 :$$

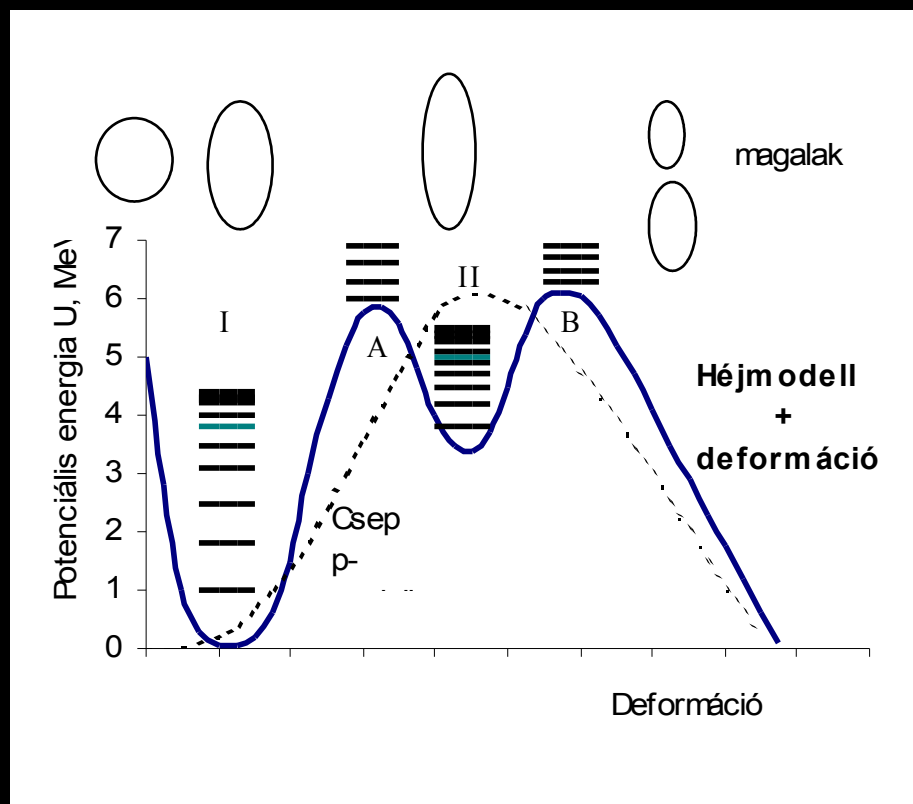
hasadás

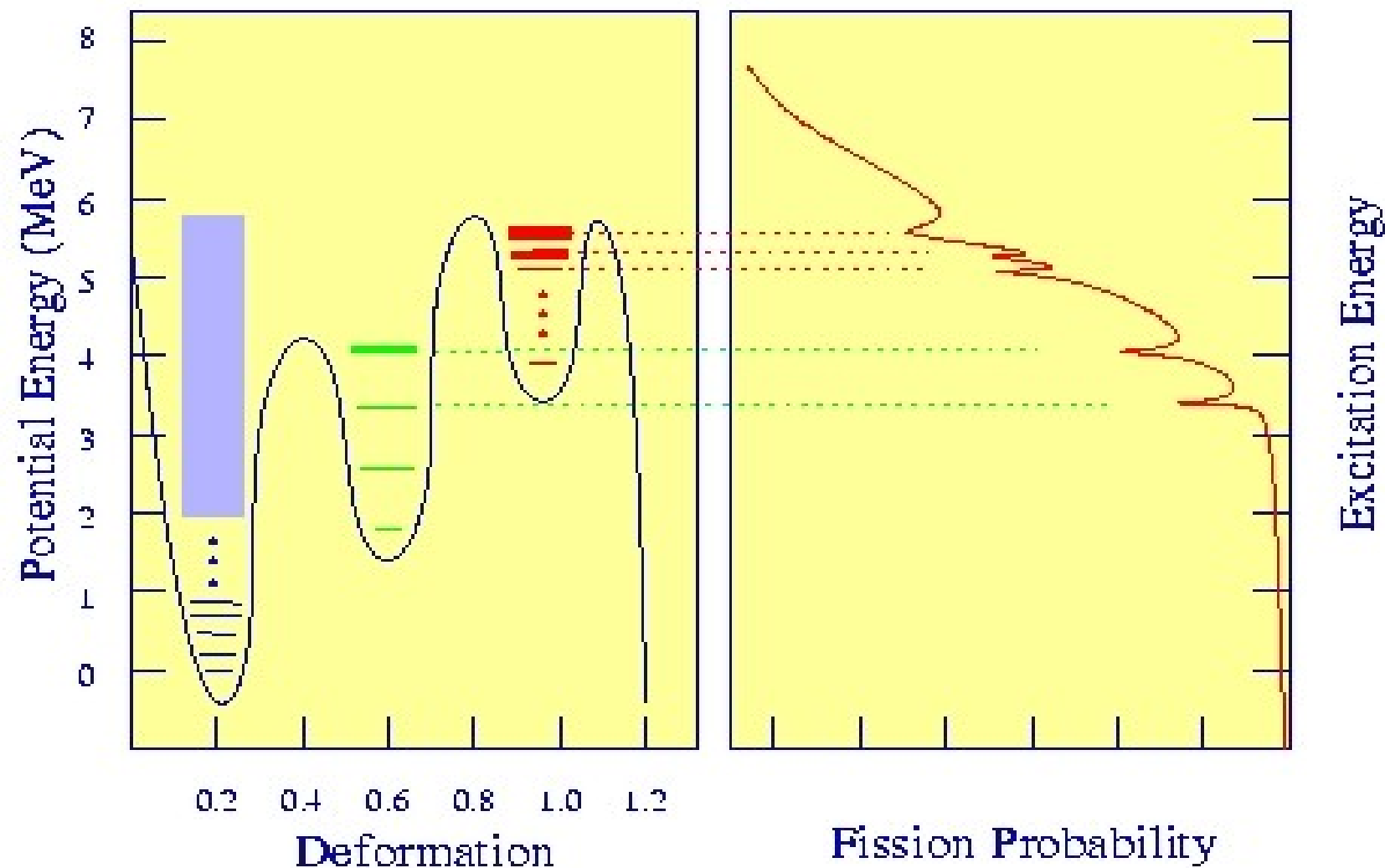
$$E_F^0 \sim A^{2/3}$$

$$E_C^0 \sim Z^2/A^{1/3}$$

- $X = E_C^0 / (2 \cdot E_F^0) = (Z^2/A)/48,4 > 1$

A hasadási gát

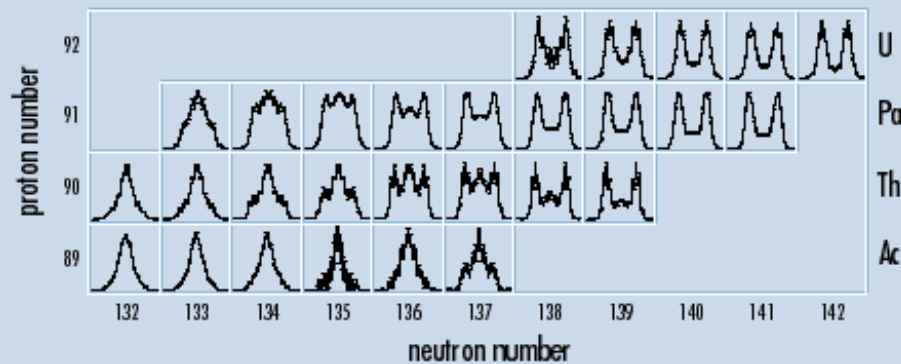




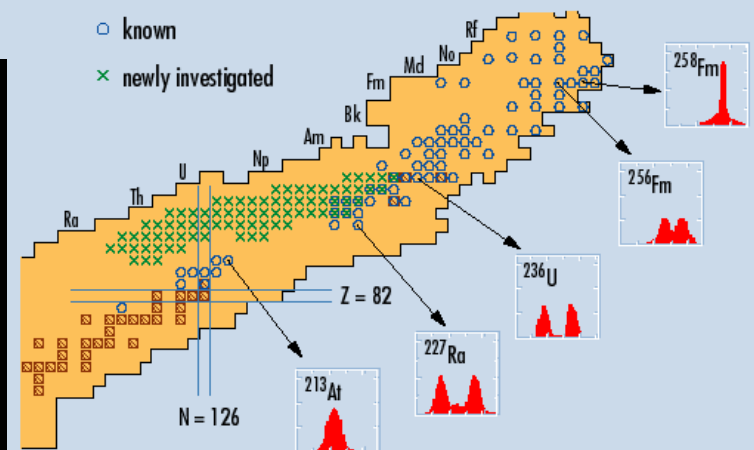
Fission resonances $\longrightarrow$ Energy of excited states

Energy ranges for investigating the SD and HD states

A transzurán elemek hasadása



Status of low energy fission studies



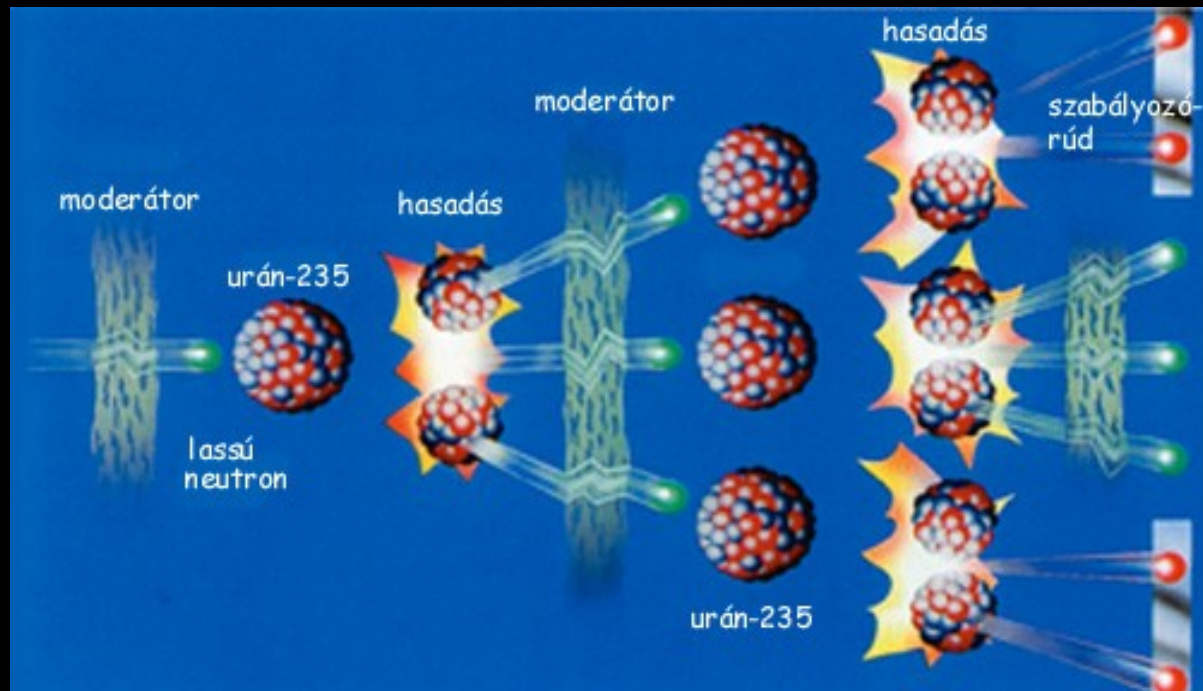
A hasadási energia felhasználásának lehetősége

- Láncreakció
- Atommaglya
- Atomerőmű
- Egyetlen hasadásra eső n -ok száma = 2.3
- Atombomba
- Plutónium-termelés
- Hulladékok kérdése

Hasadó anyagok

- A természetes urán 99.3 %-a 238-as, 0.7 %-a pedig 235-ös izotóp.
- Az U-238-as csak igen ritkán hasad, és csak akkor, ha a neutron nagy sebességgel ütközik a magnak.
- Az U-235-ös hasadása gyakorlati szempontból sokkal jelentősebb: ezt a magreakciót használja ki a ma működő atomreaktorok döntő többsége.

A nukleáris láncreakció



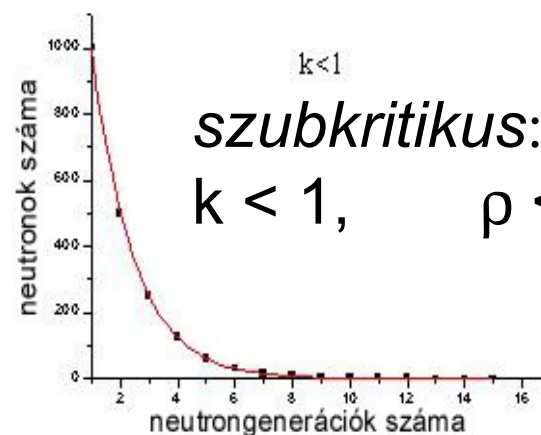
A láncreakció stabilitása

- *sokszorozási tényező*: két generációra $k = n_i / n_{i-1}$

- *reaktivitás*: $\rho = (k - 1) / k$

- *kétszerezési idő*: T_{2x} , ez alatt a neutronfluxus megduplázódik

- *periódusidő*, T_0 , ez alatt a neutronfluxus e-szeresére növekszik.



Késő neutronok béta bomlás után

csoport	Felezési idő (s)	Energia (MeV)	hasadása juto %
1	55.7	0.25	0.05
2	22.7	0.56	0.35
3	6.2	0.43	0.31
4	2.3	0.62	0.62
5	0.6	0.42	0.18

Moderátorok

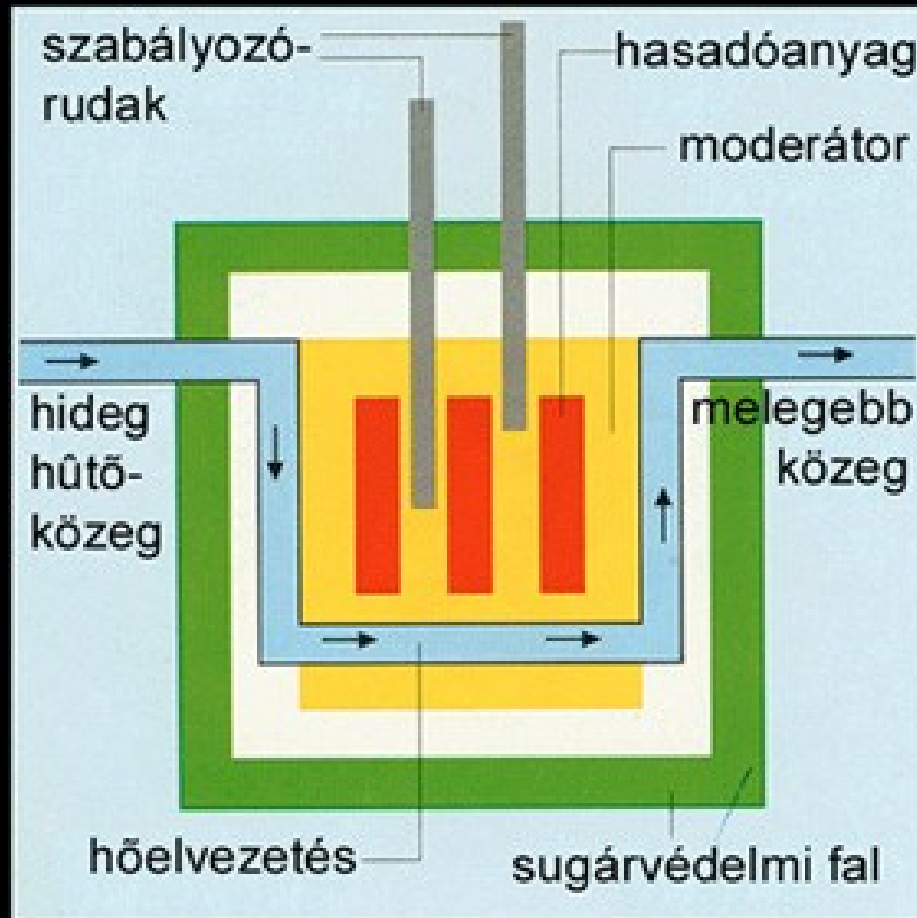
A jó moderátornak két feltételnek kell megfelelnie:

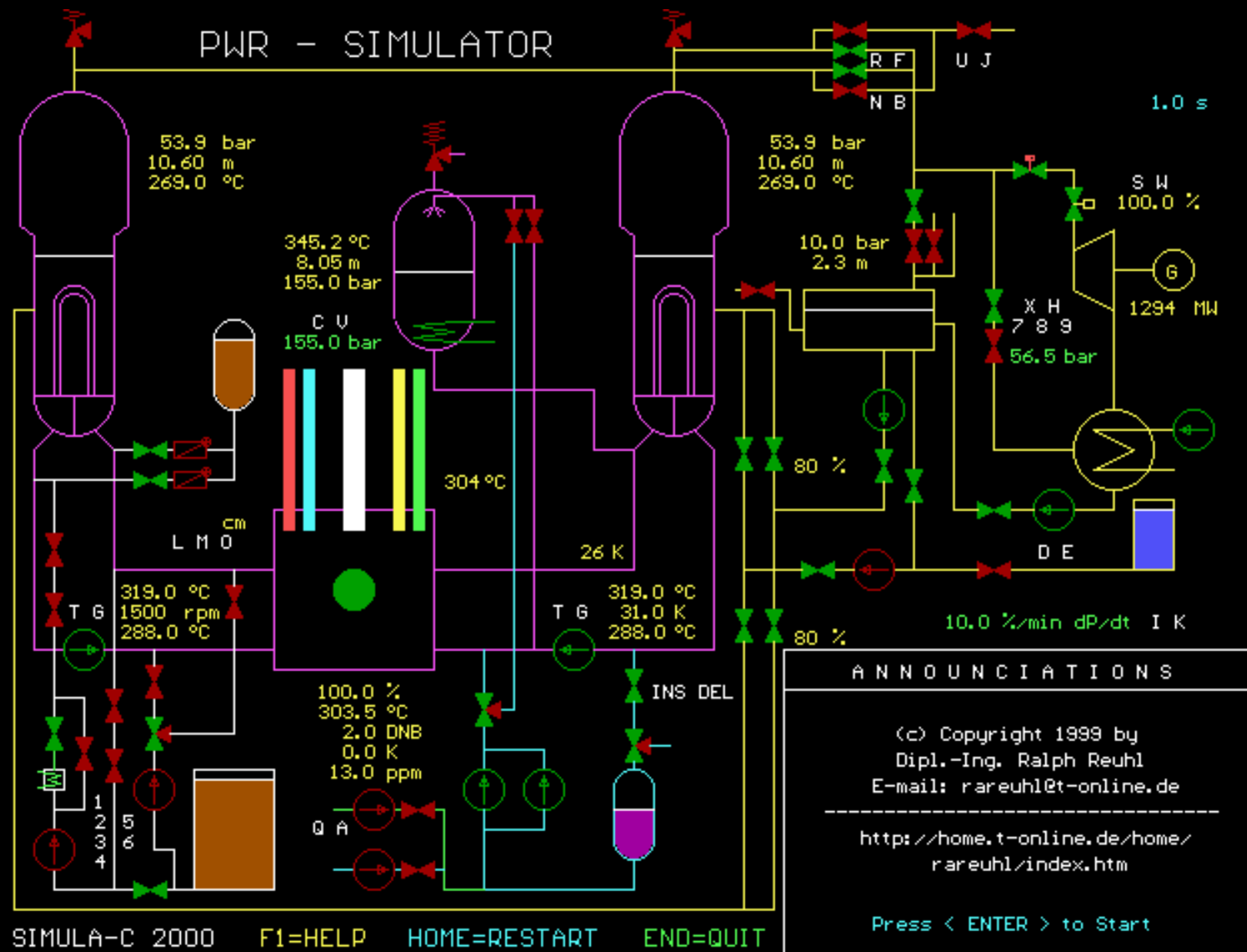
1. A moderátor maga csak kevéssé nyelje el a neutronokat
2. A gyors neutronok minél hamarabb, lehetőleg már néhány ütközés után váljanak termikussá

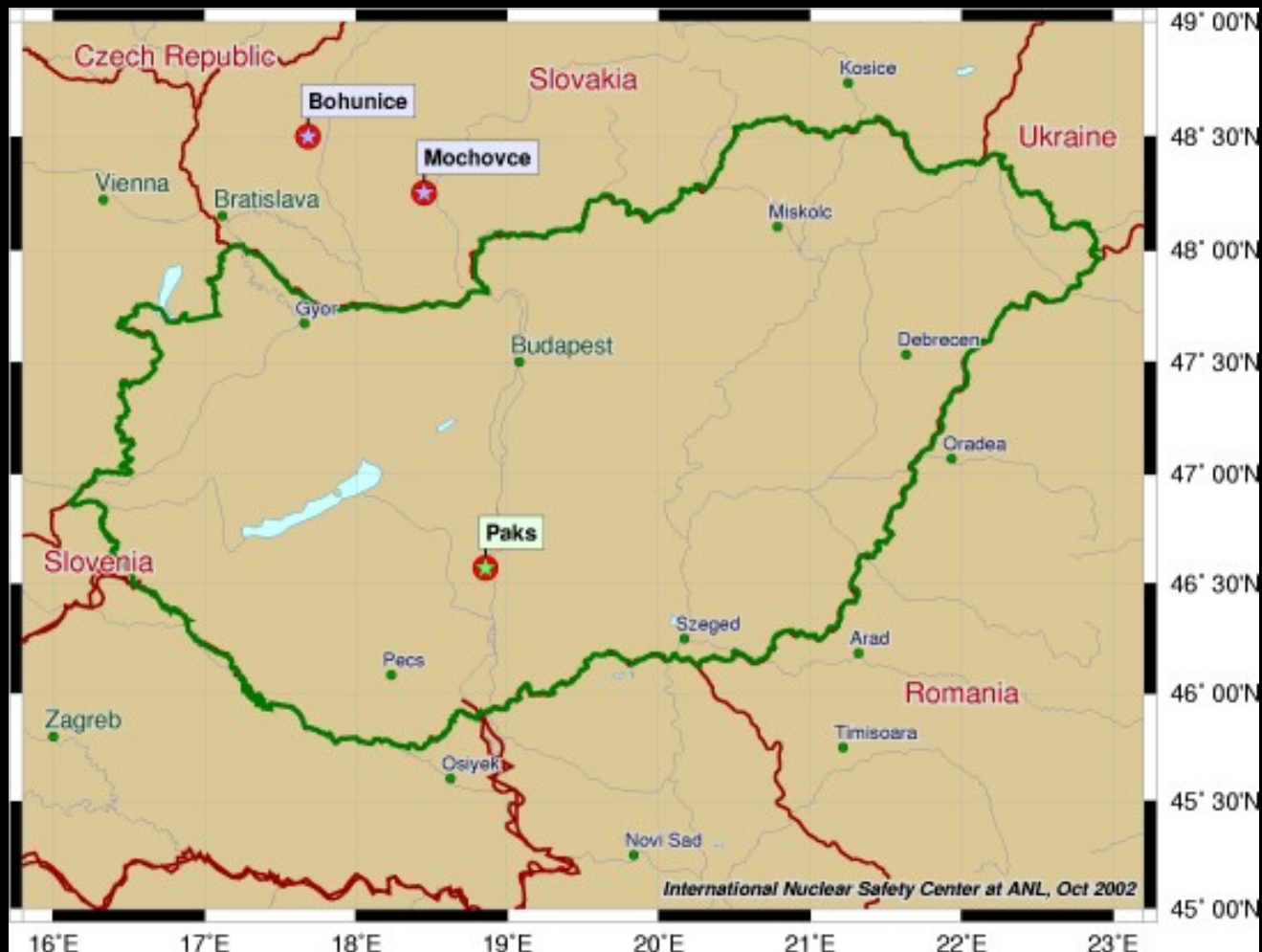
A gyakorlatban használt moderátorok jellemzői

Moderátor	termikussághoz szükséges ütközések száma	neutronbefogásra való hajlam
H-1, hidrogén	18	650
H-2, deutérium	25	1
Be-9, berillium	86	7
C-12, grafit	114	10

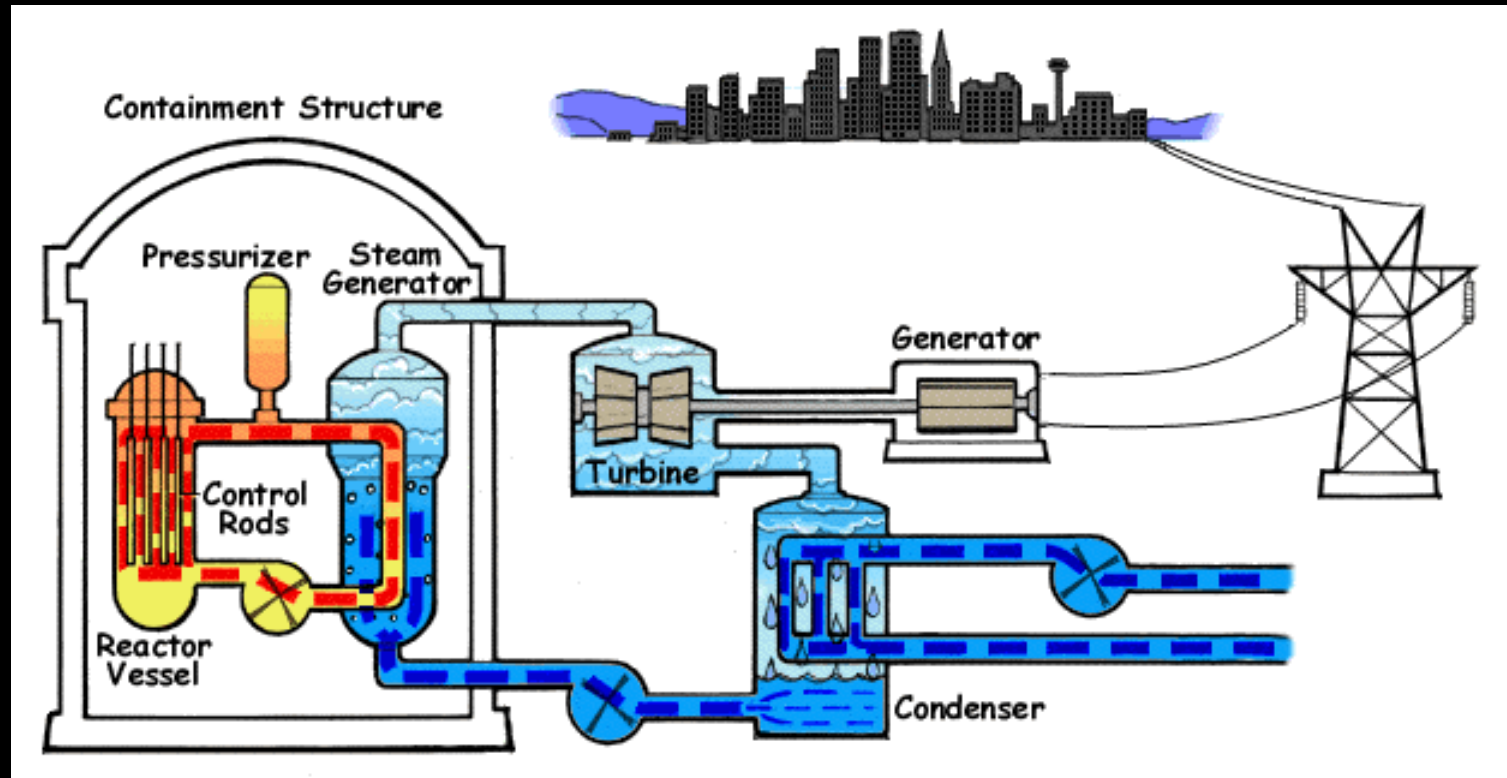
Az atomreaktor

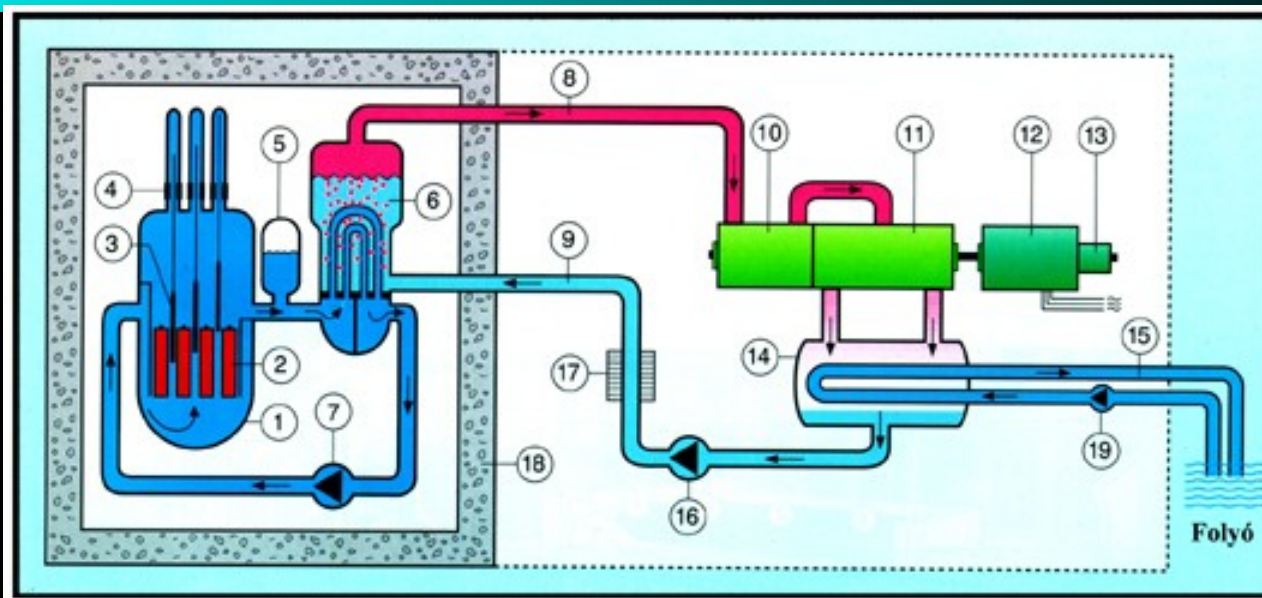






Nyomottvizes atomreaktor (PWR)





1 Reaktortartály

2 Fűtőelemek

3 Szabályozórudak

4 Szabályozórúd hajtás

5 Nyomástartó edény

6 Gőzfejlesztő

7 Primer kör szivattyú

8 Frissgőz

9 Tápvíz

10 Nagynyom. turbina

11 Kisnyom. turbina

12 Generátor

13 Gerjesztőgép

14 Kondenzátor

15 Hűtővíz

16 Tápvíz szivattyú

17 Tápvíz
előmelegítő

18 Betonvédelem

19 Hűtővíz
szivattyú

10-11-09

Dr. Krasznahorkay Attila

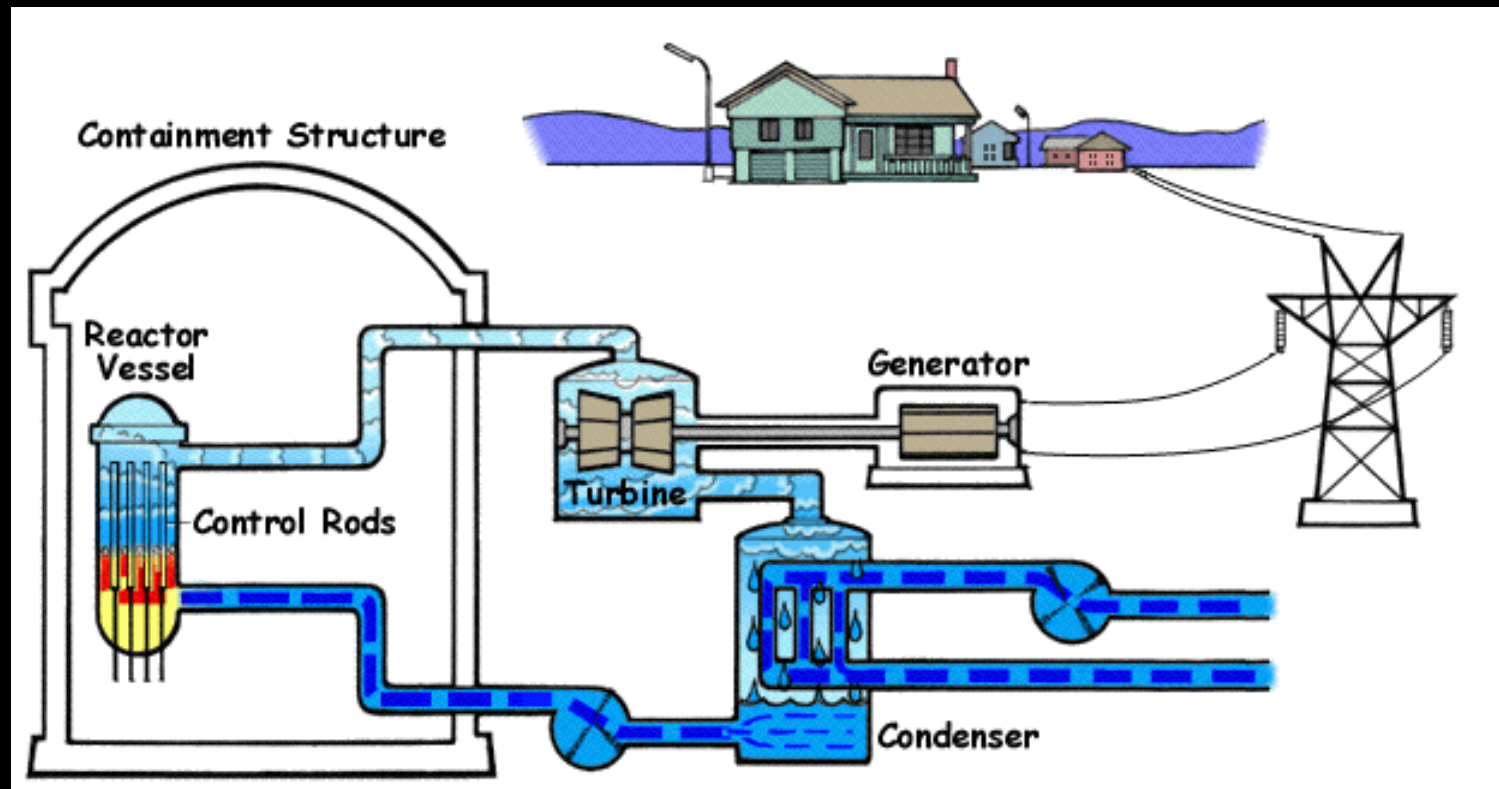
A primer körben (sötétkék) a vizet nagyon nagy nyomáson tartják (130-150 bar), emiatt az még a magas üzemi hőmérsékleten (300-330 °C) sem forr fel.

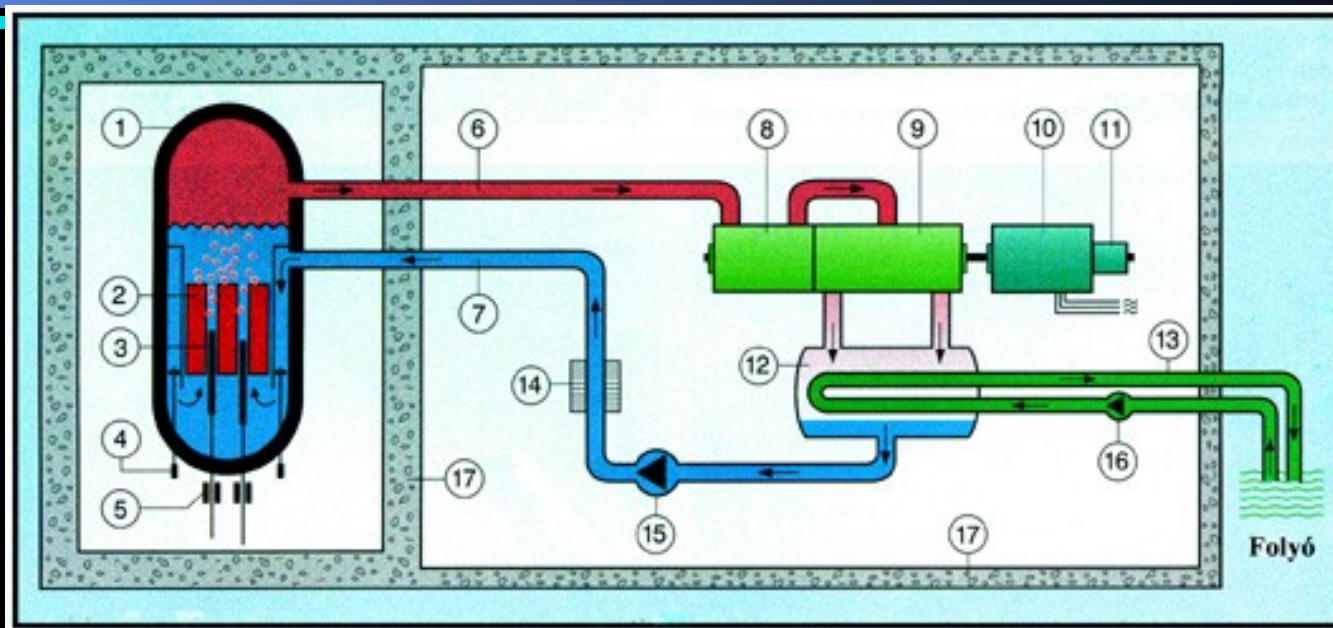
A szekunder körben levő víz nyomása sokkal alacsonyabb (40-60 bar), mint a primer körben lévőé, emiatt a gőzfejlesztőben a felmelegedett víz felforr (piros). Innen kerül (cseppleválasztás után) a gőz a nagynyomású, majd a kisnyomású turbinára. A turbinából kilépő gőz a kondenzátorban cseppfolyósodik, ahonnan előmelegítés után újra a gőzfejlesztőbe kerül.

A nyomottvizes reaktorokban az üzemanyag általában alacsonyan (3-4 %) dúsított urán-dioxid, néha urán-plutónium-oxid keverék (ún. MOX). A nyomottvizes a legelterjedtebb reaktortípus: a világon jelenleg üzemelő atomreaktorok összteljesítményének mintegy 63.8 %-át adják.

A paksi atomerőműben alkalmazott reaktorok is ehhez a típushoz tartoznak.

Forralóvízes atomreaktor (BWR)





1 Reaktortartály

2 Fűtőelemek

3 Szabályozórúd

4 Keringt. szivattyú

5 Szabályozórúd

hajtás

6 Frissgőz

7 Tápvíz

8 Nagynyom. turbina

9 Kisnyomású turbina

10 Generátor

11 Gerjesztőgép

12 Kondenzátor

13 Hűtővíz

14 Tápvíz előmelegítő

15 Tápvízszivattyú

16 Hűtővízszivattyú

17 Betonvédelem

Mivel a reaktorban megengedett a víz elforrása, a nyomás kisebb, mint a nyomottvizes reaktoroknál: kb. 60-70 bar.

Az üzemanyag többnyire urán-oxid.

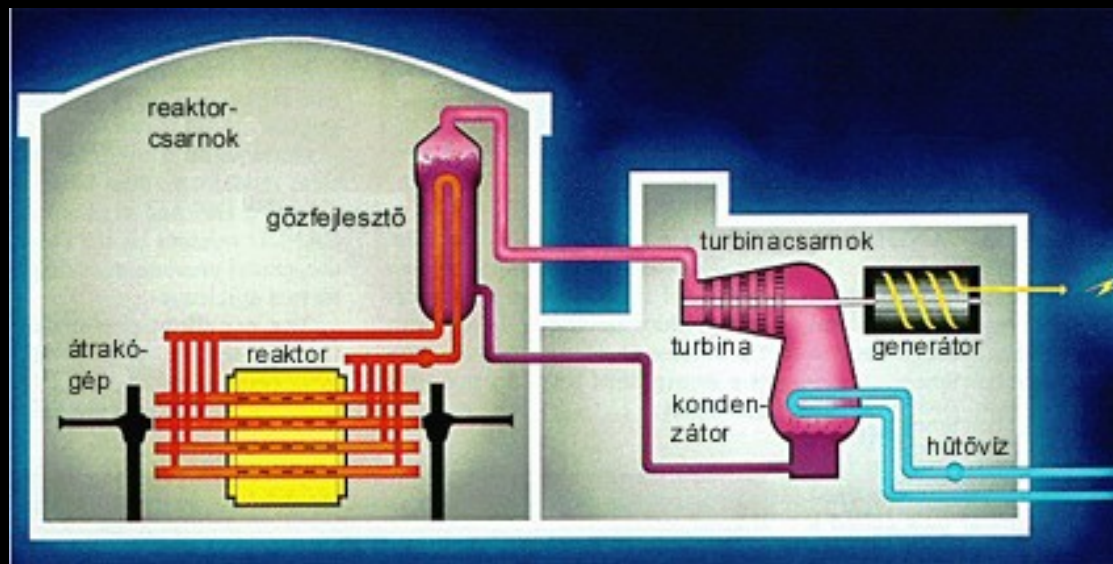
A friss üzemanyag dúsítása általában kisebb, mint a nyomottvizes típusnál.

Hatásfokuk 33-35 %.

Előnye ennek a típusnak, hogy - mivel ez a legegyszerűbb elvi felépítésű típus - a beruházási költségek viszonylag alacsonyak.

A világon ma működő atomreaktorok összteljesítményének 22.5 %-át adják forralóvizes reaktorok.

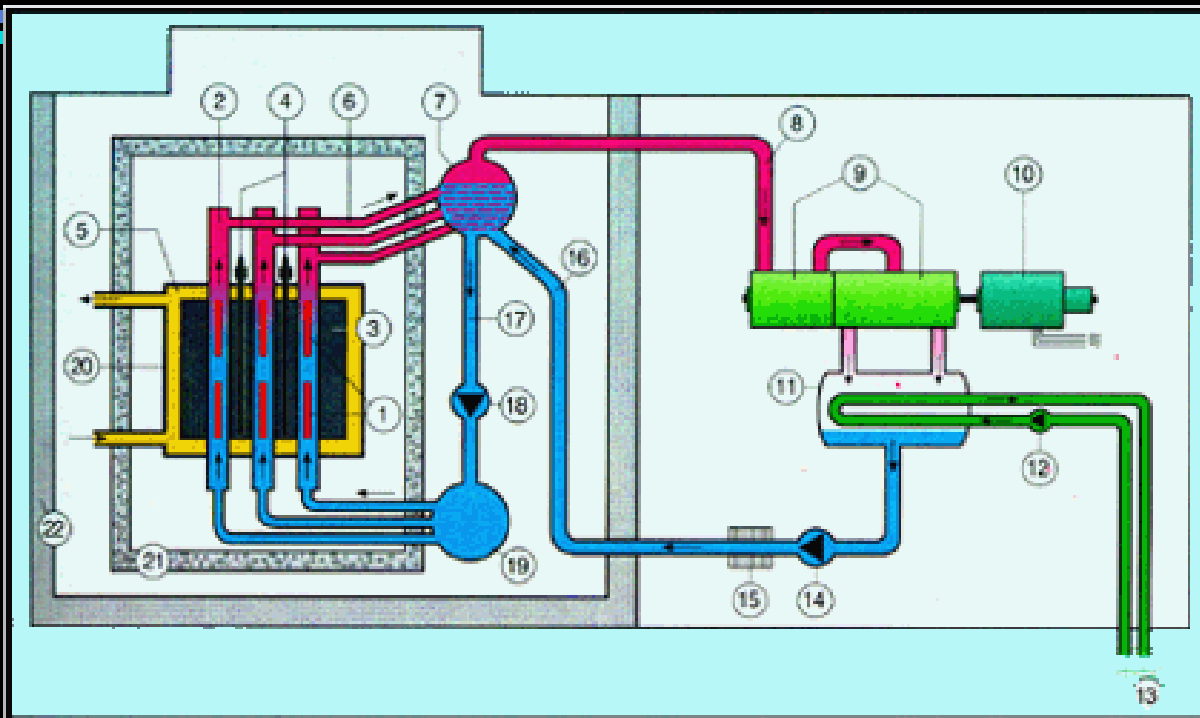
Nehézzvizes reaktorok (HWR)



A nehézvizes típus fő képviselője a kanadai CANDU reaktor. A CANDU-ban a moderátor és a hűtőközeg egymástól térben el van választva: a moderátor egy nagyobb tartályban van, amelyen belül helyezkednek el a vízszintes fűtőelem kötegeket körülvevő csövek. Ezekben a csövekben áramlik a hűtőközeg.

A nehézvizes reaktorok a világ mai atomerőmű-
összteljesítményének 5.3 %-át adják, az építés alatt levőknek
13.2 %-át, tehát erősen elterjedőben vannak.

Ennek egyik oka a típus biztonságossága, a másik pedig a
magas konverziós tényezője, vagyis a reaktor maga is sok
hasadóanyagot állít elő az üzemanyagban lévő 238-as urán
izotópból.



1 Urán-üzemanyag

2 Nyomócső

3 Grafit moderátor

4 Szabályzórod

5 Védőgáz

6 Víz/gőz

7 Cseppleválasztó

9 Gőzturbina

10 Generátor

11 Kondenzátor

12 Hűtővíz szivattyú

13 Hőelvezetés

14 Tápvízszivattyú

15 Előmelegítő

16 Tápvíz

17 Víz visszafolyás

18 Keringtető szivattyú

19 Vízelosztó tartály

20 Acélköpeny

21 Betonárnyékolás

22 Reaktorépület

10-11-09

Dr. Krasznahorkay Attila

8 Gőz a turbinához

Az RBMK hátrányai közül ki kell emelni a zóna nagy mérete és a sok csatorna miatt szükséges nagyon nehézkes szabályozást: Csernobilban például reaktoronként 200 szabályozórúd volt (Pakson sokkal kevesebb, csak 37 szükséges). A csernobili balesetben azonban még ennél is nagyobb szerepet játszott a típus egy másik sajátossága: bizonyos állapotokban pozitívvá vált az ún. üregegyütthető. Ez azt jelenti, hogy szélsőséges körülmények között a hűtővíz elforrása reaktivitásbevitelt, azaz pozitív visszacsatolást jelent. Ennek oka, hogy az RBMK típusnál a könnyűvíz hűtőközeg sokkal több neutronot nyel el, mint a grafit moderátor. Forráskor a víz (azaz a neutronelnyelő közeg) sűrűsége nagyon lecsökken, így elgőzölgéskor megnő a neutronok száma. (Pakson az üregegyütthető mindig negatív, aminek az az oka, hogy a VVER-ekben a víz a moderátor szerepét is betölti, ezért az esetleges elforrásakor a neutronok a moderátor hiányát is megérik: nem lassulnak le, így nem hasíthatnak újabb magokat. Emiatt a láncreakció is leáll.) Az RBMK reaktorok egy részében ma már elérték, hogy az üregegyütthető gyakorlatilag nulla legyen, ezzel kiküszöbölve ezt a biztonság szempontjából hátrányos tényezőt.

A paksi atomerőmű

- A Paksi Atomerőmű Vállalat 1976-ban alakult meg, és 1992 óta részvénytársaságként működik.
- Magyarország közepén, Paks városától 5 km-re lévő telephelyén 4 db VVER-440/213 típusú atomerőművi blokk üzemel, több mint 1860 MW beépített teljesítménnyel.
- Ezen a telephelyen termelik meg a Magyarországon előállított villamos energia közel 40 százalékát.
- A paksi blokkok a teljesítmény-kihasználási mutató alapján a világ élvonalába tartoznak, és évek óta az első huszonöt blokk között szerepelnek.



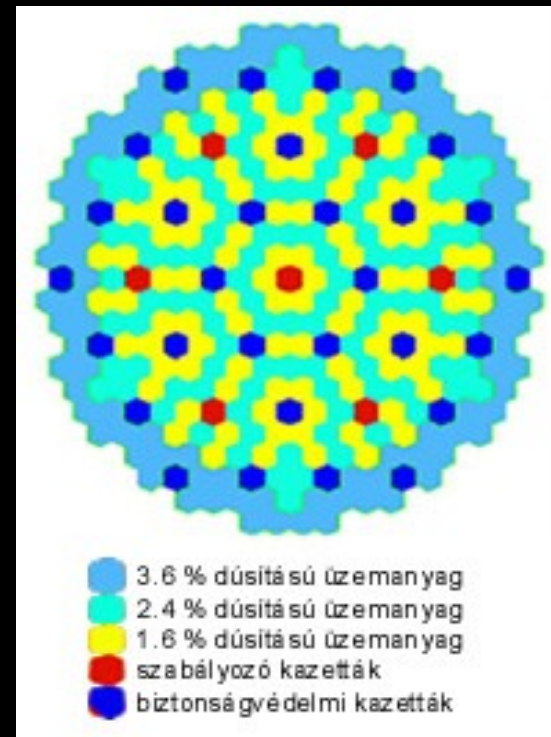
10-11-09

Dr. Krasznahorkay Attila

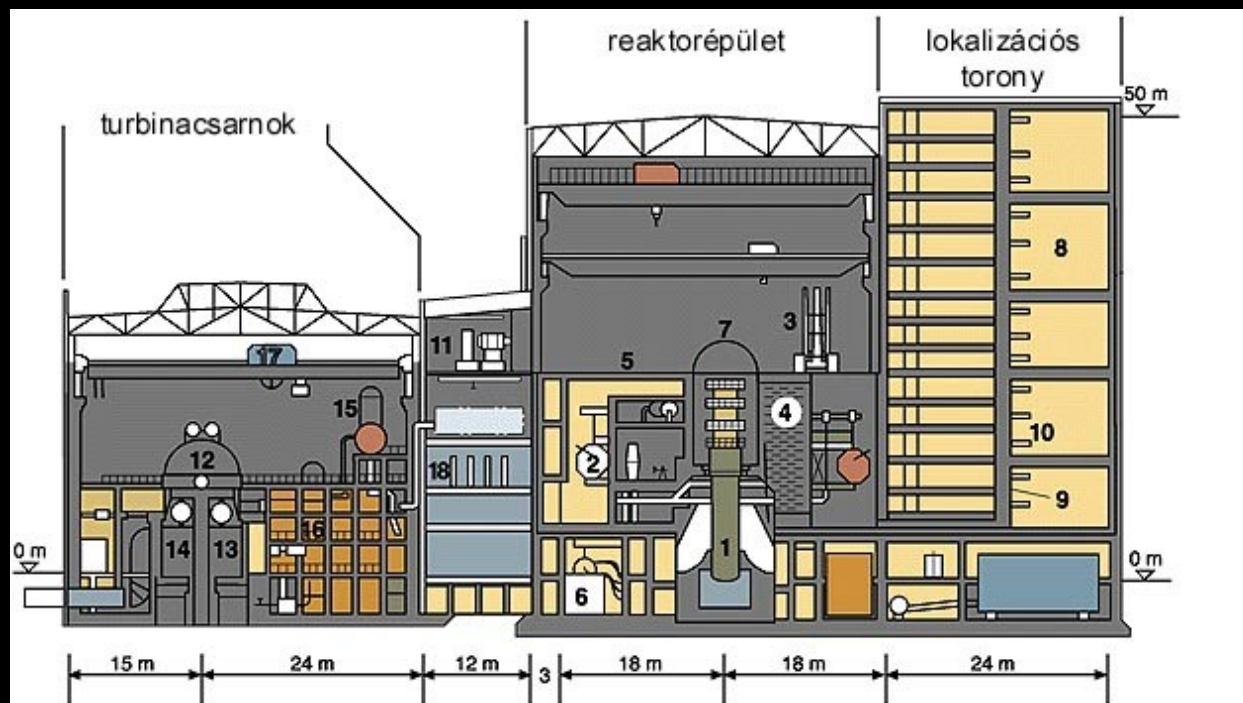
VVER-440/213 - Az aktív zóna



42 tonna urán,
3.6%-ra dúsítva,
urán-dioxid
formában



Az atomreaktor



1 Reaktortartály
4 Pihentető medence
7 Reaktor
10 Légcsapda
13 Kondenzátor
16 Előmelegítő

2 Gőzfejlesztő
5 Biológiai védelem
8 Lokalizációs torony
11 Szellőző
14 Turbinaház
17 Daru

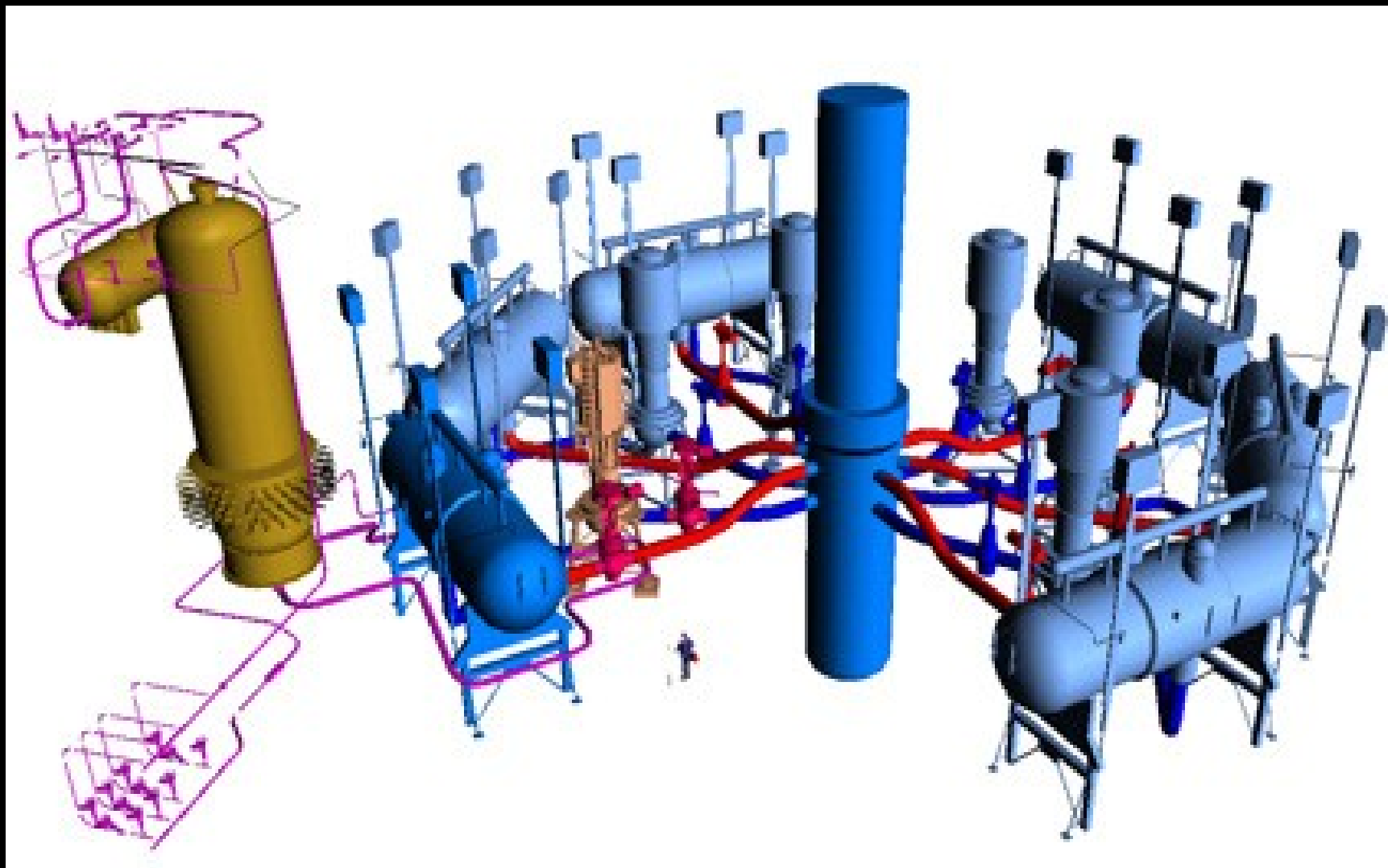
3 Átrakógép
6 Kieg. tápvízrendszer
9 Buborékoltató tálcák
12 Turbina
15 Gázáltalánosító v. tartály
18 Szabályzó helyiségek

Az aktív zóna



Az aktív zóna a függőleges elhelyezésű, hengeres reaktortartályban található, melynek teljes magassága 13.75 m, külső átmérője 3.84 m. A tartály acélból készült, falvastagsága az aktív zóna magasságában 14 cm, belülről pedig 9 mm vastag rozsdamentes acél bevonattal van ellátva a korrózióvédelem céljából. A tartályon különböző magasságban helyezkedik el a hűtőközeg be- és kivezetésére szolgáló hat belépő és hat kiömlő csomópont.

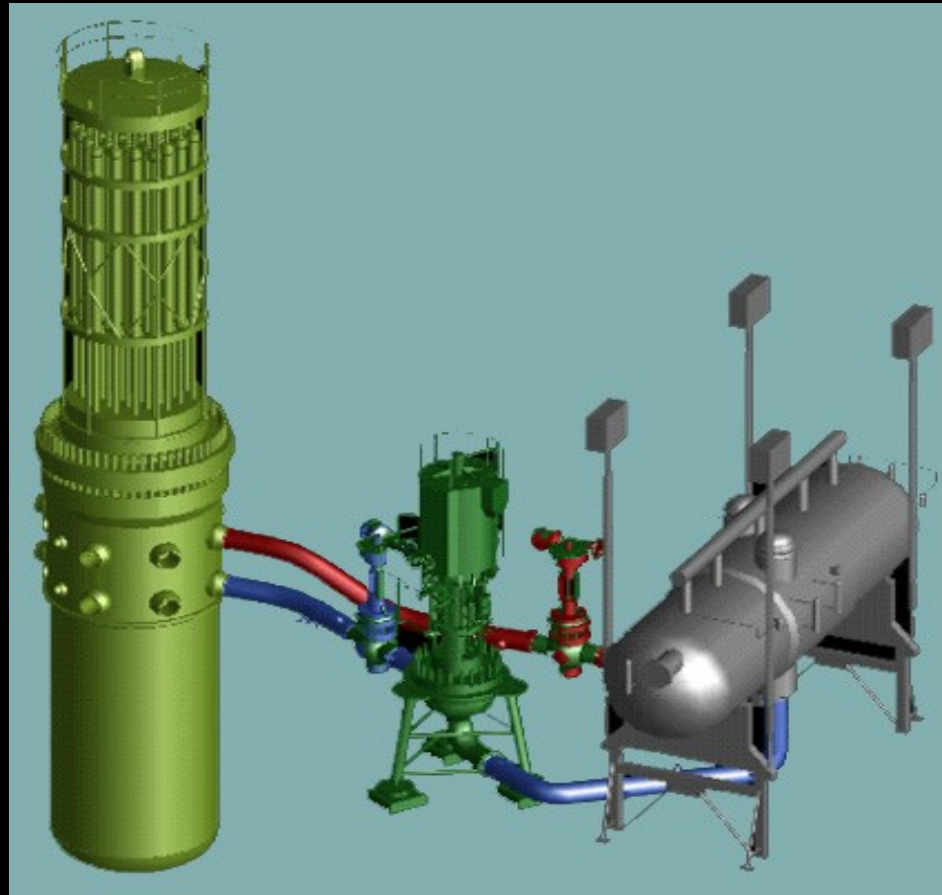
Hűtőkörök



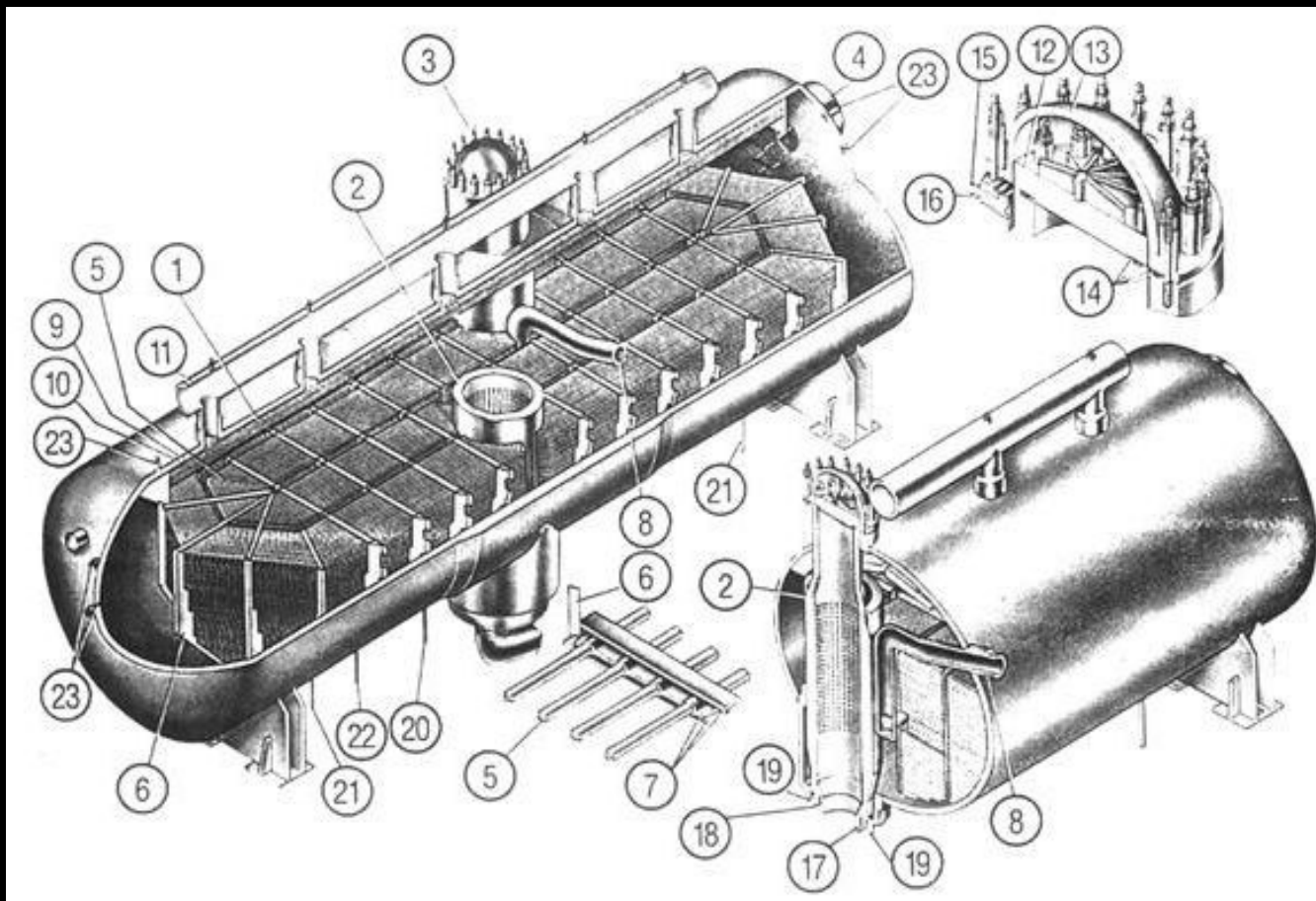
10-11-09

Dr. Krasznahorkay Attila

Egy hűtőkör működése

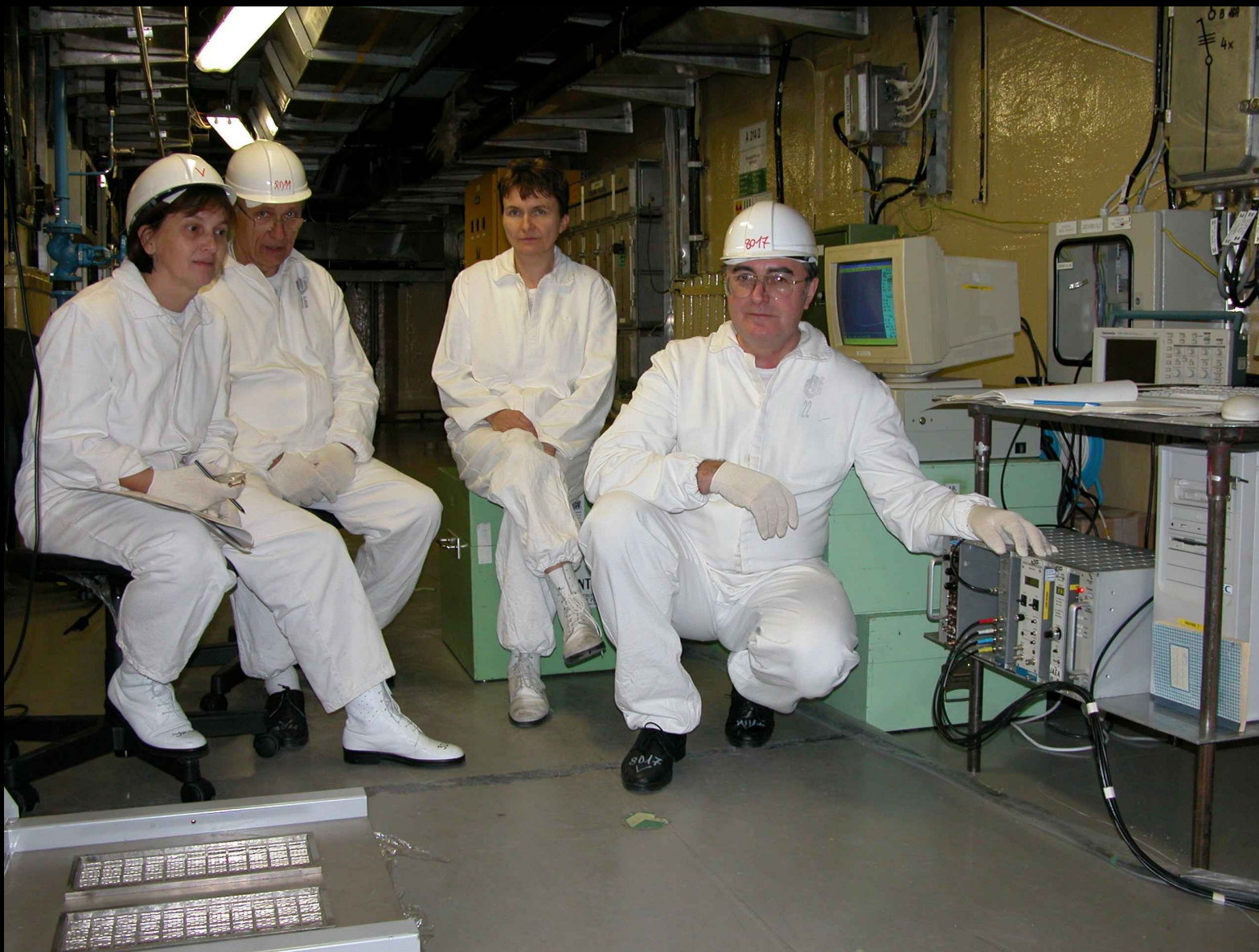


A szekunder kör



VVER-440/213 - Biztonságvédelmi rendszerek

- Üzemzavar esetén a szabályozórudak automatikusan beesnek az aktív zónába és 12-13 másodperc alatt leállítják a láncreakciót.
- A primer körí fővezeték törése az atomerőmű lehetséges leg súlyosabb tervezési üzemzavara. A radioaktív gőz kijutását feltétlenül el kell kerülni. Erre szolgál az ún. hermetikus tér és a lokalizációs rendszer. 1.5 m vastag betonfallal körülvett épületrész!!!



10-11-09

Dr. Krasznahorkay Attila



10-11-09

Dr. Krasznahorkay Attila



10-11-09

Dr. Krasznahorkay Attila