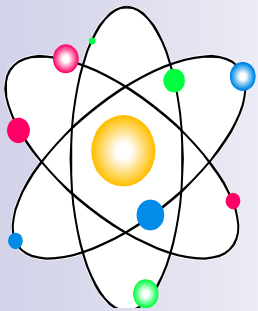




Csernobili látogatás 2017

A nukleáris technika múltja, jelene, jövője?



Radnóti Katalin

rad8012@helka.iif.hu

<http://members.iif.hu/rad8012/>

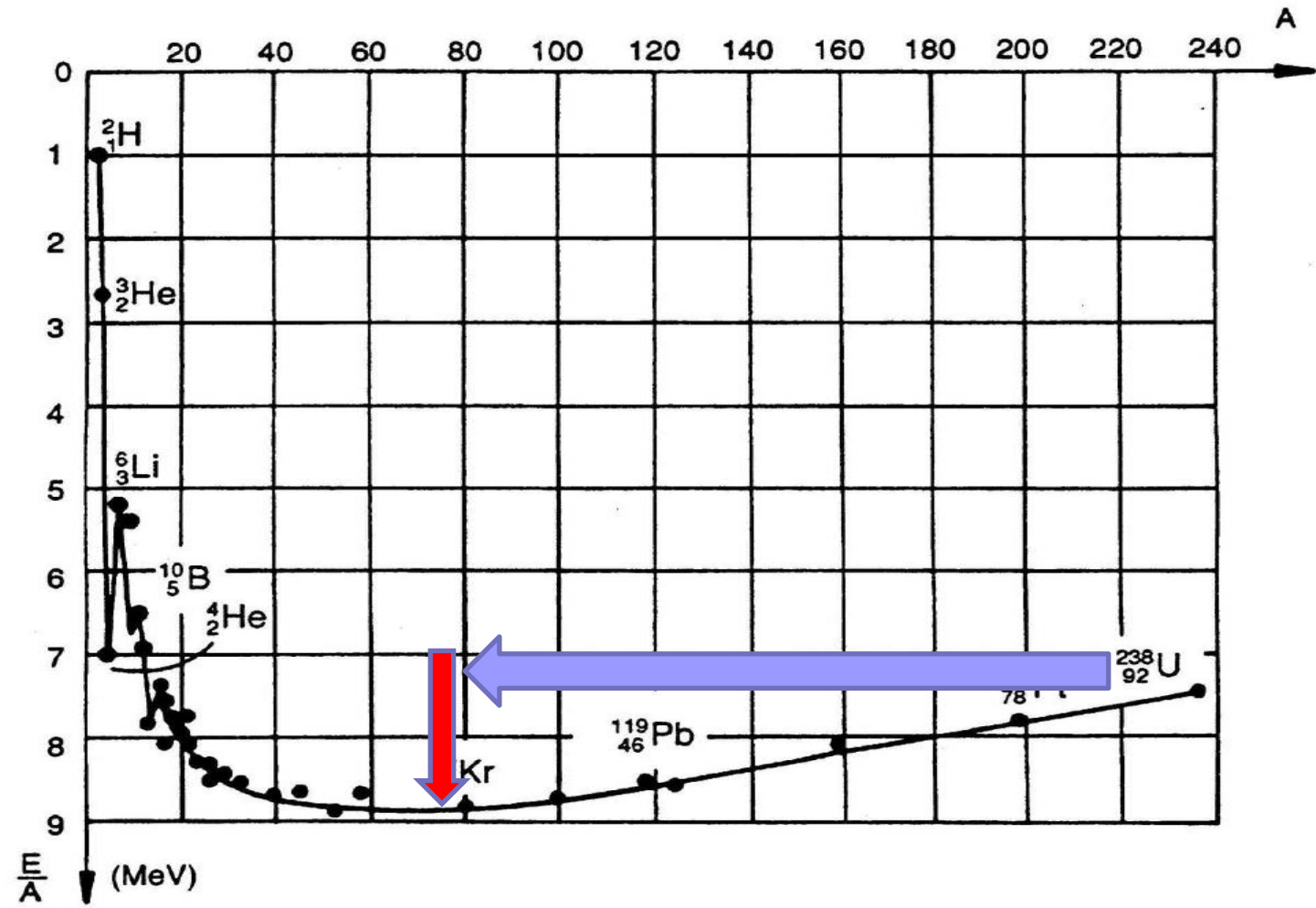
Érintendő témakörök

- Főbb reaktortípusok
- **A csernobili baleset lefolyása és hatásai**
- A látogatás
- Hogyan tovább?



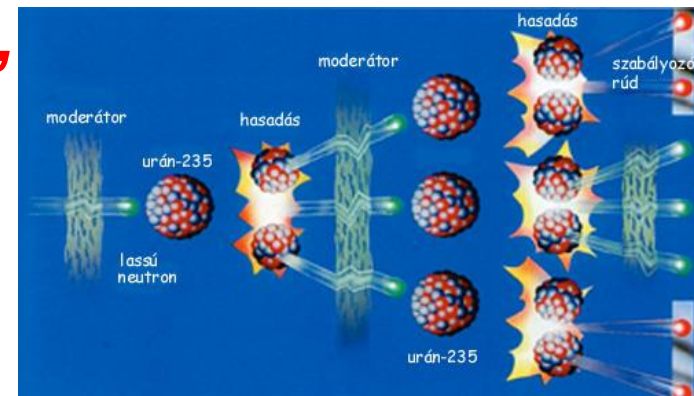
Egy nukleon energiája a különböző atommagokban

nukleáris energiavölgy, *maghasadás*, fúzió



Láncreakció

- **Bomba:** láncreakció *nem szabályozott*, dúsítás kb. 100%, urán-235, illetve Pu-239, mely az urán-238-ból keletkezik neutronbefogással.
- **Erőmű:** láncreakció *szabályozott*, dúsítás 4-5%, illetve 1,8% az urán-235-re, moderátor szükséges (víz, *grafit*, nehézvíz).
- Prompt (1-2 μ s) és késő neutronok (10 s)
- ***A hasadványok radioaktívak, mert neutronfeleslegük van!***

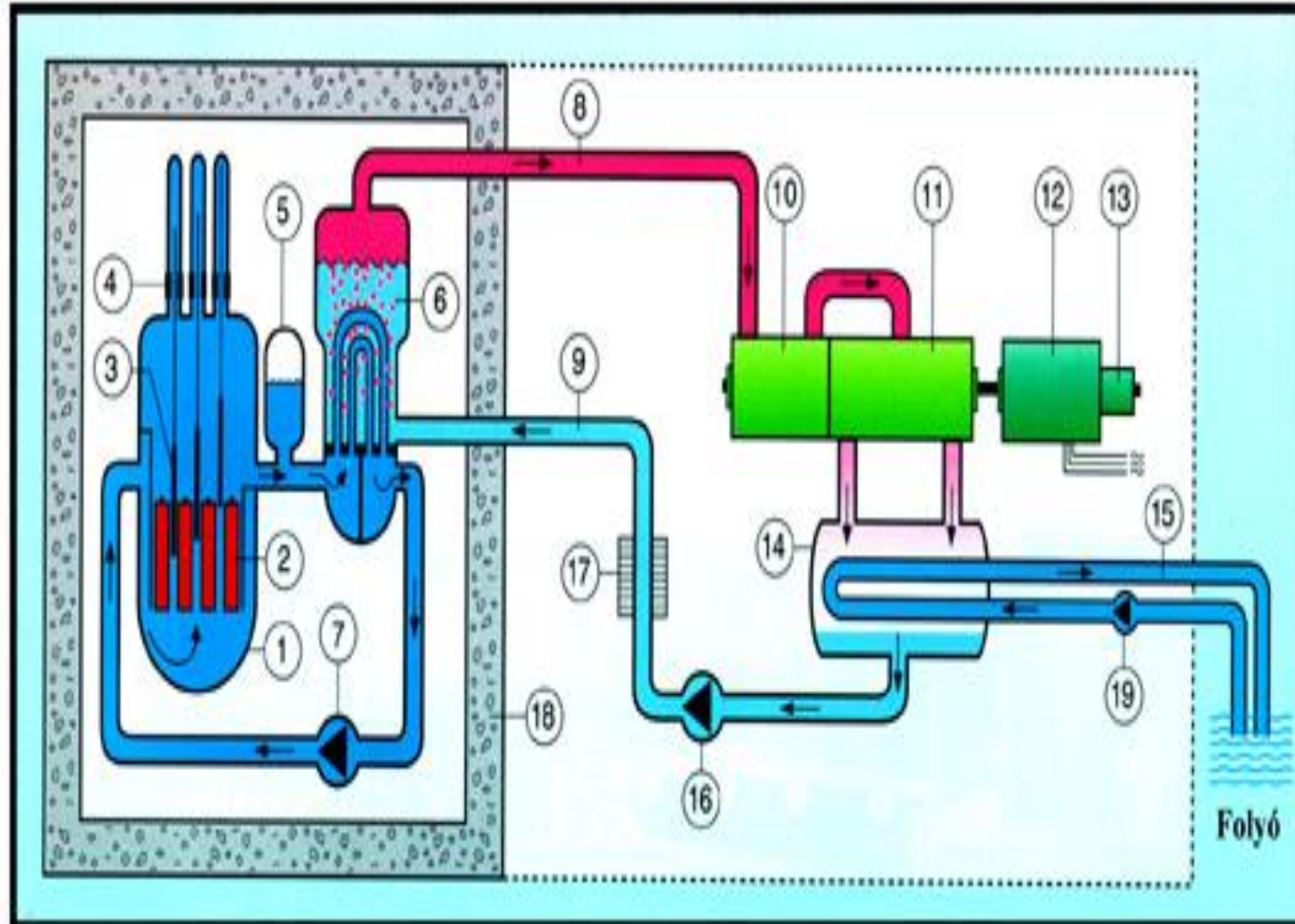


Főbb erőművi reaktortípusok

- Vizes, könnyűvíz 12-15 MPa nyomáson (Paks), kb. 65%
- Forralóvizes (Japán), kb. 100 darab, 22%
- Grafit moderátoros, vízhűtéses, csatorna típusú, mely plutónium előállítására is alkalmas (Csernobil)...
- Nehézvizes (Kanada), 5%

Nyomott vizes reaktorok (Paks)

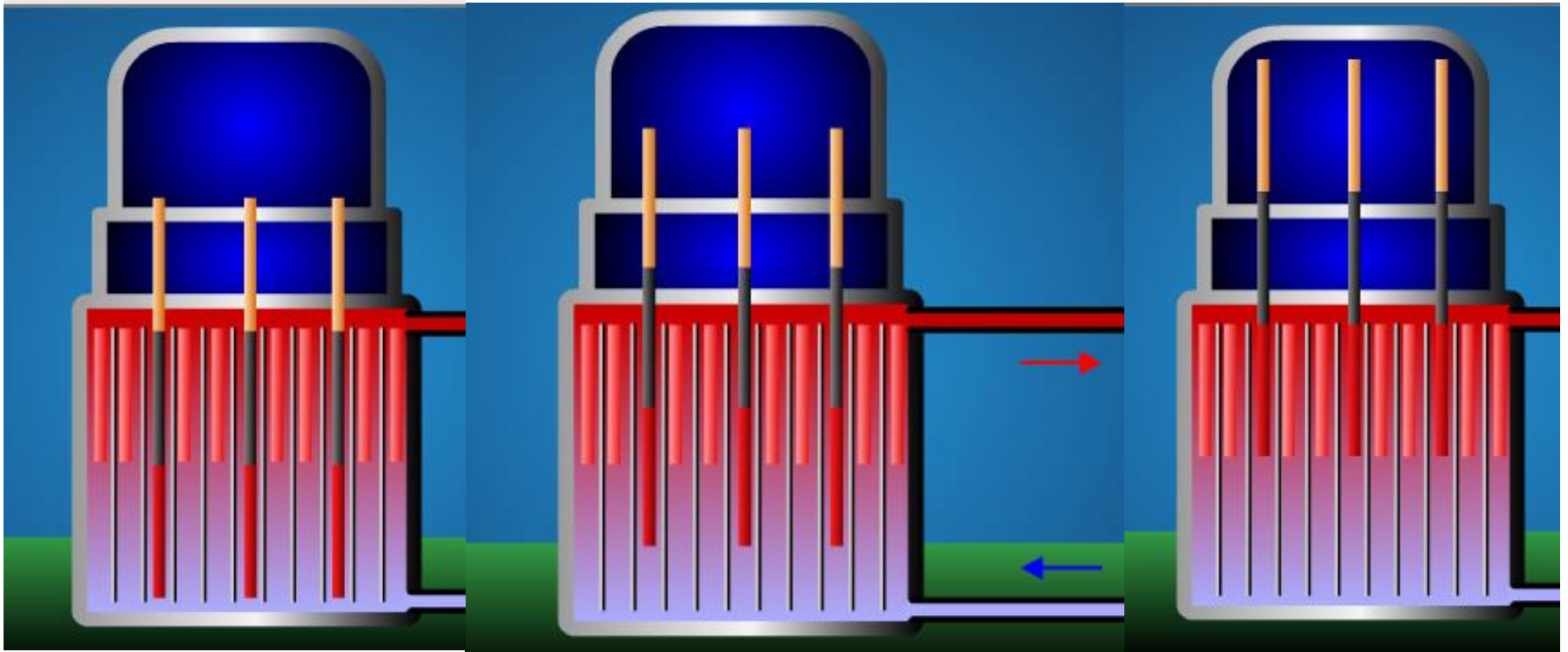
3 vízkör
42 tonna
Urán (4%)
37 db
szabályzó-
rúd
 $P=500$ MW
 $h = 3$ m
 $d = 2,5$ m



Követő kazetták

A szabályzórudak 2 részből állnak:

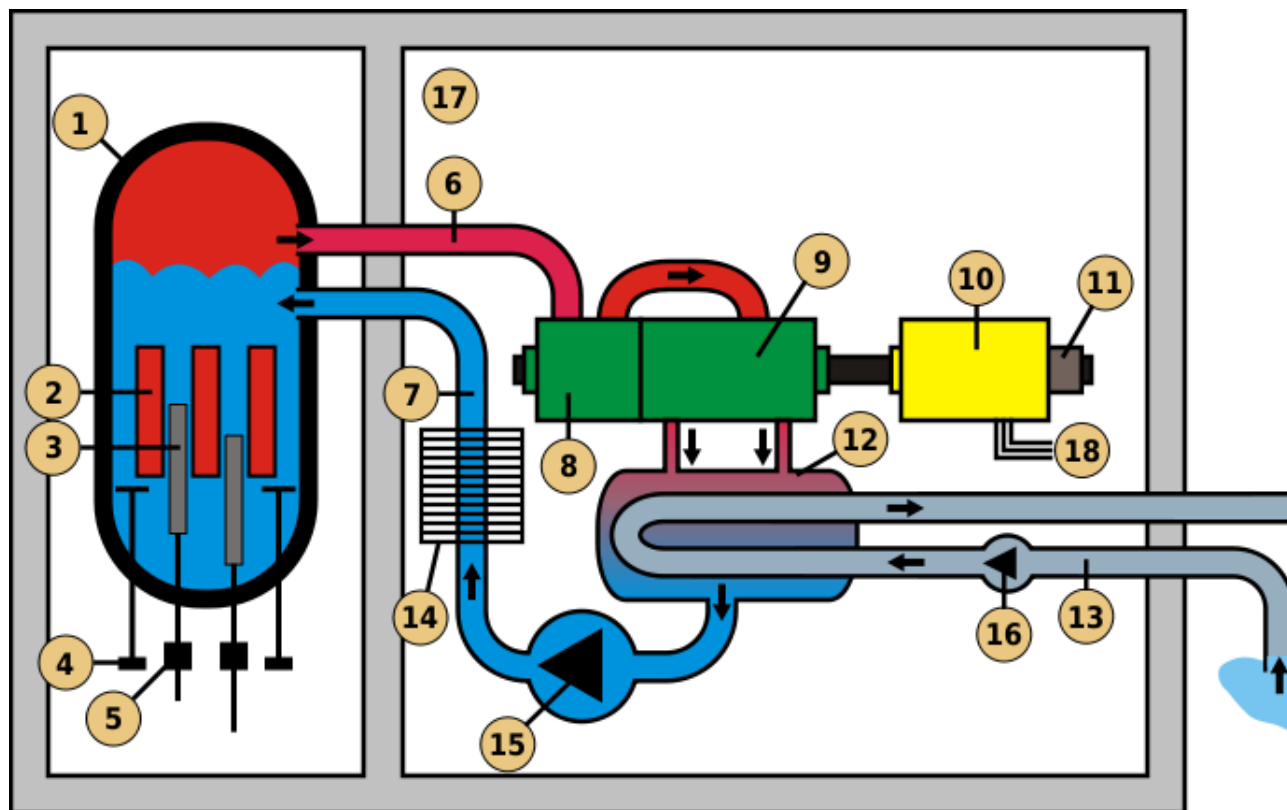
- alsó rész üzemanyagkazetta.
- felső rész bórt tartalmazó acél.



Forralóvízes reaktor

Boiling water reactor (BWR)

1. Reaktortartály
2. Fűtőelem
3. Szabályozórúd
4. Keringető szivattyú
5. Szabályozórúd hajtás
6. Friss gőz
7. Tápvíz
8. Gőzturbina nagynyomású ház
9. Gőzturbina kisnyomású ház
10. Generátor
11. Gerjesztőgép
12. Kondenzátor
13. Hűtővíz
14. Tápvíz előmelegítő
15. Tápvízszivattyú
16. Hűtővízszivattyú
17. Betonsugárvédelem



Grafit moderátoros reaktor

(Csernobil, *plutónium előállítás lehetősége*)

RBMK (oroszul: *РБМК – Реактор Большой Мощности Канальный*,
magyar átírásban: *Reaktor Bolsoj Mosnosztyi Kanalnij*,
magyar fordításban: *Csatorna-típusú, nagy energiakimenetű reaktor*)

1 vízkör

190 tonna

Urán (**1,8 %!**)

1850 tonna

grafit

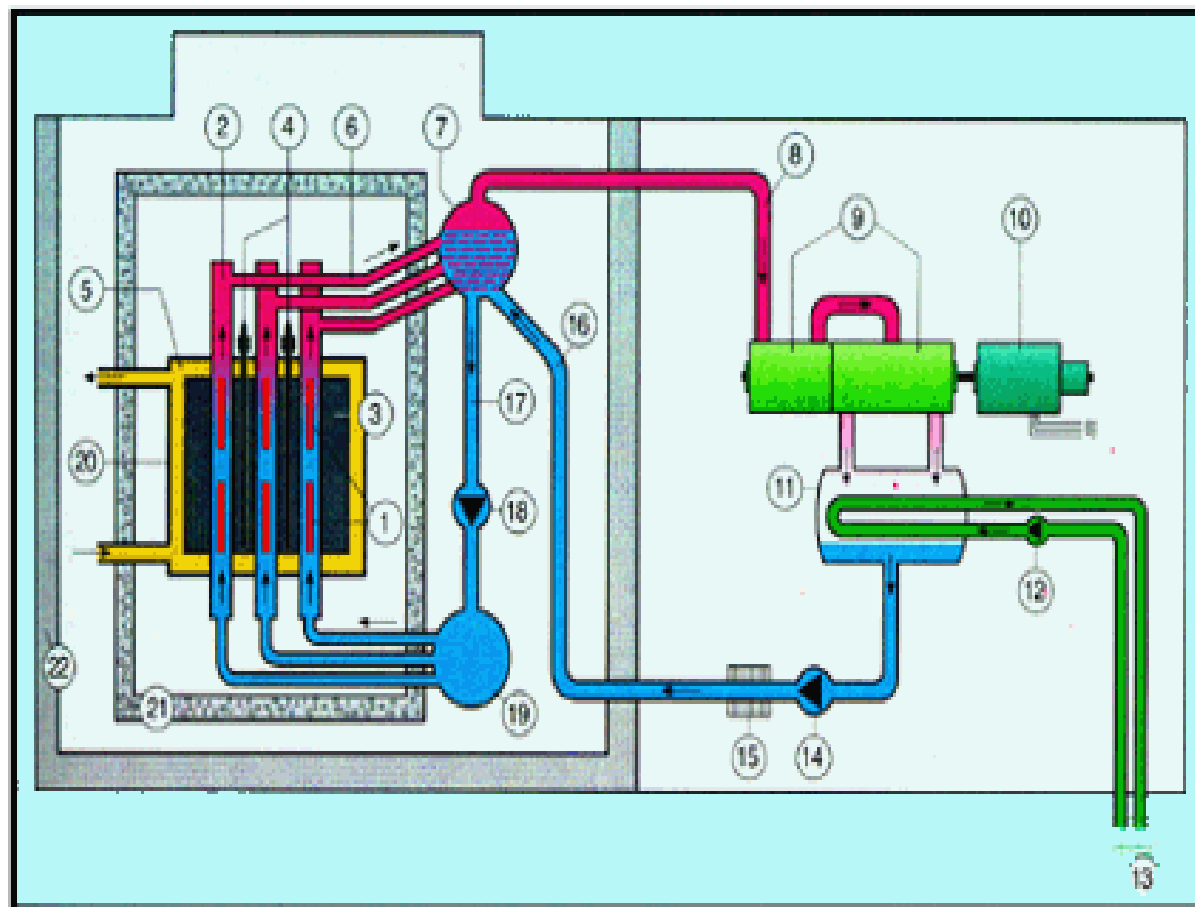
200 db

szabályzó-
rúd

$P = 1000$ MW

$h = 11,8$ m

$d = 7$ m



A reaktor teteje



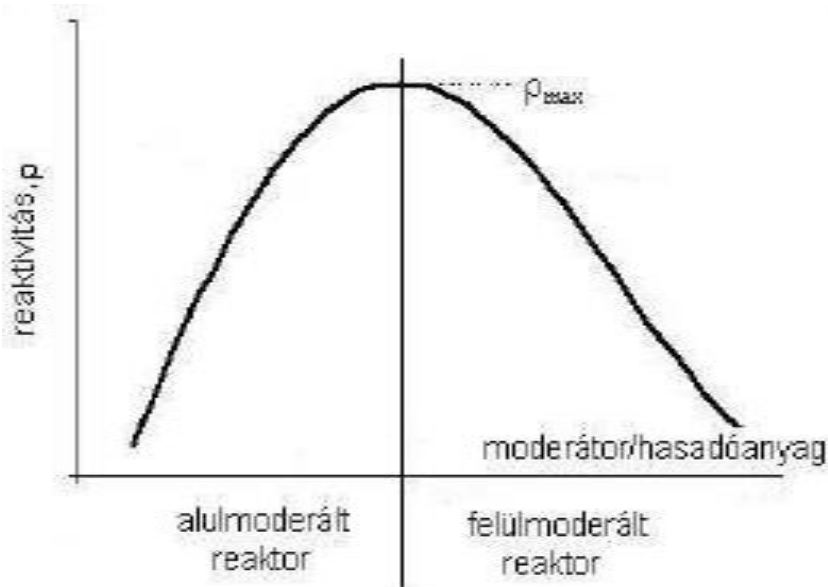
1661 darab víztartalmú csőben, összesen 3322 darab üzemanyagköteg található.

Egy köteg 18 darab 7 m hosszúságú uránrúdból áll.

- 1.Reaktor mag
- 2.Gőz-víz vezetékek,
- 3.Dob szűrő,
- 4.Fő keringető szivattyúk,
- 5.Szabályzó fejek,
- 6.Víz vezetékek,
- 7.Felső biológiai pajzs,
- 8.Újratöltő szerkezet,
- 9.Alsó biológiai pajzs.

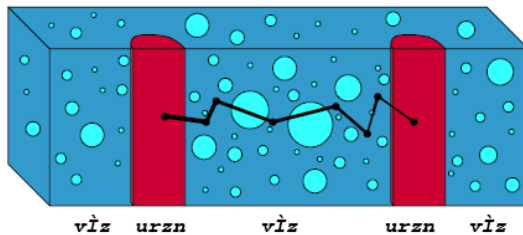


Alulmoderált, felülmoderált rendszer

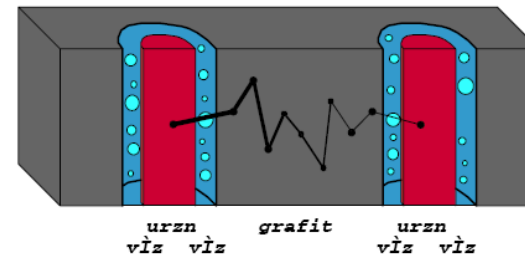


**Biztonságos üzem
szempontjából
fontos !**

**Üzemzavarban/balesetben
a moderátor hamarabb
elvész, mint az üzemanyag,
ezért a moderáltság csökken.**



Nyomott vizes reaktor



Csernobili típusú reaktor

A nukleáris reaktorok biztonsága

- *Mi lehet az elképzelhető legnagyobb baleset?*
- **Több reaktort leállítatott!**
- A **grafit** moderátoros és **vízűtéses** reaktorok nem stabilak!!
- Később a volt Szovjetunióban több ilyen épült, például **Csernobilban.**



- Előírták, hogy az atomerőműveket **védőburkolattal** (konténment) kell körülvenni, mely megakadályozza, hogy a reaktorból esetleg kikerülő radioaktív anyagok a környezetbe kijussanak.
- Megfogalmazták a reaktorok **telepítésének környezeti**, geológia, szeizmológiai stb. főbb szempontjait.
- Alapvető **üzemviteli szabályokat** fogalmaztak meg.
- Kimondták, hogy a sokszorozási tényező minden paraméter szerinti deriváltjának **negatívnak** kell lennie (mint hőfoktényező, üregegyütthető, teljesítménytényező stb.)
- A reaktort csak tudatos, az üzemi szabályok szerinti műveletekkel lehessen **elindítani**.
- Felhívták a figyelmet az **emberi tényező** fontosságára.

Leállítás, kísérlet/teszt Csernobilban

Az erőmű mérnökei azt szerették volna megoldani, hogy egy **esetleges vészleállítás, az elektromos hálózatról való leszakadás** esetén a tartalék elektromos rendszer (*dízelgenerátorok...Japán*) beindulásáig a blokk **hűtését** a lassuló gőzturbina-generátor rendszer által termelt villamos energiával üzemeltessék (kb. 30-60 másodperc).

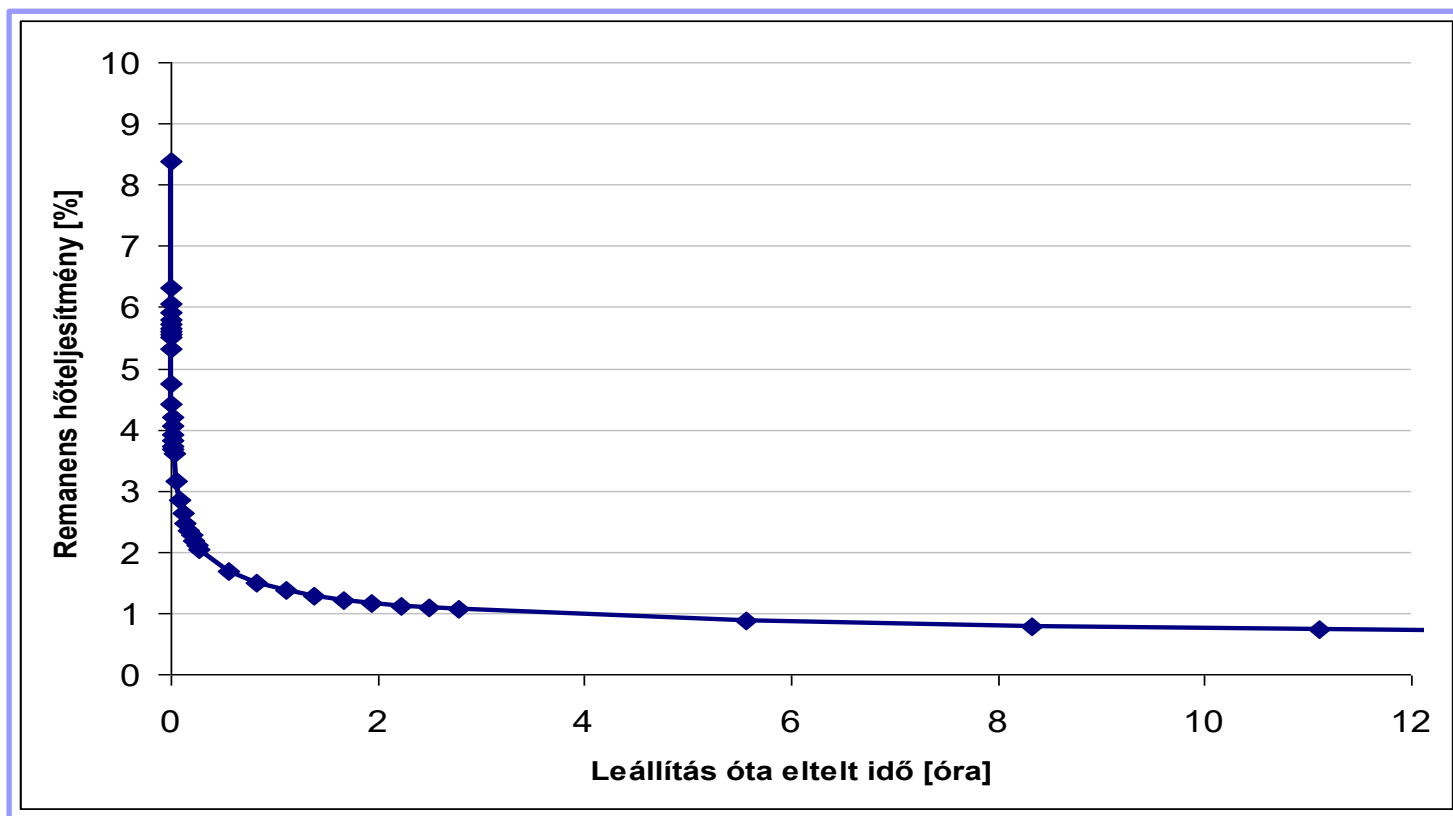
A **kísérletet/tesztet** a négyes blokk tervezett tavaszi karbantartása előtt, a blokk első leállítása közben akarták végrehajtani.

Az 1-3. blokkoknál ez korábban sikertelen volt.

Az atomreaktorok remanens hőteljesítményének változása a leállítás után eltelt idő függvényében

Ok: a hasadványok radioaktivitása

Japánban 1 óra múlva érkezett a 10 m –es cunami, mely tönkretette a hűtőrendszert. Megoldás: tengervíz + bór (10-es izotóp neutronelnyelő)



A csernobili baleset okai és lefolyása

- **1986. április 25. péntek 1.00 óra:**
Csökkenteni kezdik a reaktor teljesítményét.
- **13.05:**
1,6 GW a hőteljesítmény, a két turbina közül az egyiket lekapcsolják.
- **14.00:**
Lekapcsolják a vészleállító rendszert, amely bóros (*B-10* izotóp jó neutronelnyelő) vízzel árasztaná el a reaktort, hogy a neutronok elnyelése által megszakítsa a láncreakciót. Az operátorok akarják kizárólagosan kezelni a reaktort.

■ 14.05:

Az energia-felügyelet váratlanul további elektromos teljesítményt kér a hálózatba. Megszüntetik a teljesítmény további csökkentését és 0,5 GW-ot juttatnak a hálózatba. (A reaktor teljesítménye egyébként 1 GW.)

■ 23.10:

Az operátor engedélyt kap a reaktor leállítására, elkezdi csökkenteni a teljesítményt.

■ Szombat 0.28:

Lekapcsolják a neutronsűrűség lokális ellenőrzését, így a biztonsági automatika csak globális szabályozást szolgáltat. (Az ilyen típusú reaktorokban a neutronsűrűség elég nagy eltéréseket mutathat a hely függvényében.)

Továbbá **szabályellenesen felfokozzák a vízáramlás sebességét** a megengedett maximális érték fölé, így annak nincs ideje lehűlni és hőmérséklete e miatt megközelíti a forráspontot. A reaktorban instabilitás jelei mutatkoznak, teljesítménye hirtelen 0,03 GW-ra esik le.

1.07:

A reaktor 0.2 GW hőteljesítményen stabilizálódik, mérséklük a hűtővíz áramoltatását.

1.22:

A neutronelnyelő rudak magasan ki vannak húzva, mivel az üzem során az urán hasadásakor, illetve a hasadványok további bomlása során elég sok Xe-135 izotóp is keletkezik, mely elnyeli a neutronokat.

$$\square \frac{dN_{Xe}}{dt} = \frac{\ln 2}{T_1} N_I - \frac{\ln 2}{T_{Xe}} N_{Xe} - \sigma I N_{Xe} \quad {}^{135}I \rightarrow {}^{135}Xe \rightarrow {}^{135}Cs \rightarrow {}^{135}Ba$$

Az erősen xenonmérgezett reaktor instabil állapotú, mivel ha megugrik hirtelen a neutronsűrűség, az eltünteti ezt a mérget, így a neutronsokszorozás megnő. Ez viszont pozitív visszacsatolást jelent. Ha a neutronelnyelő rudak magasan ki vannak húzva, akkor leesésükhöz hosszabb idő szükséges, mint a reaktor reakcióideje a pozitív visszacsatolással szemben.

Xenonmérgezett reaktorban tilos mindenféle

A xenon, mint reaktorméreg

A **Xe-135** nagyon jó neutron elnyelő, ezért nevezik reaktorméregnek.

Oka: a neutronok száma 81, majdnem mágikus (82).

- A neutronelnyelés során keletkező Xe-136 gyakorlatilag stabil (a természetes előfordulás 8,9%-a).
- A Xe-135 $T = 9,1$ óra felezési idővel Cs-135-re bomlik.

A **Hanford-reaktor** (plutóniumgyártás) 1944-es beindítása után könnyedén elérte a 30000 kW teljesítményt, de utána a láncreakció lassan leállt. Ezzel az egész Hanford-program léte bizonytalanná vált. Kiderült, hogy a ^{135}Xe **neutronbefogási hatáskeresztmetszete** óriási: 2,5 millió barn, azaz minden ismert atommagénál nagyobb. 33%-kal több uránt tettek a reaktorba.

Magyar „maffia”: Szilárd Leó 120, **Wigner Jenő** 116, Teller Ede 110 éve születtek.

- **1.23.04:**

Elkezdik a kísérletet és **kikapcsolják a vészleállítási automatikát.**

- **1.23.20:**

Emelkedik a hőmérséklet. **A vészleállítási automatika a szabályzórudak beejtésével leállítaná a reaktort, de azt már előbb kikapcsolták.**

- **1.23.21:**

A szabályzórudakat kézi vezérléssel lefelé mozgatják, de lassan. Az alsó része ráadásul **grafitból készült** és amint az behatol a reaktorba, vizet szorít ki. A víz kis mértékben ugyan, de elnyeli a neutronokat, a grafit azonban nem. Így a sokszorozási tényező **emelkedik.**

Szabályzó rudak

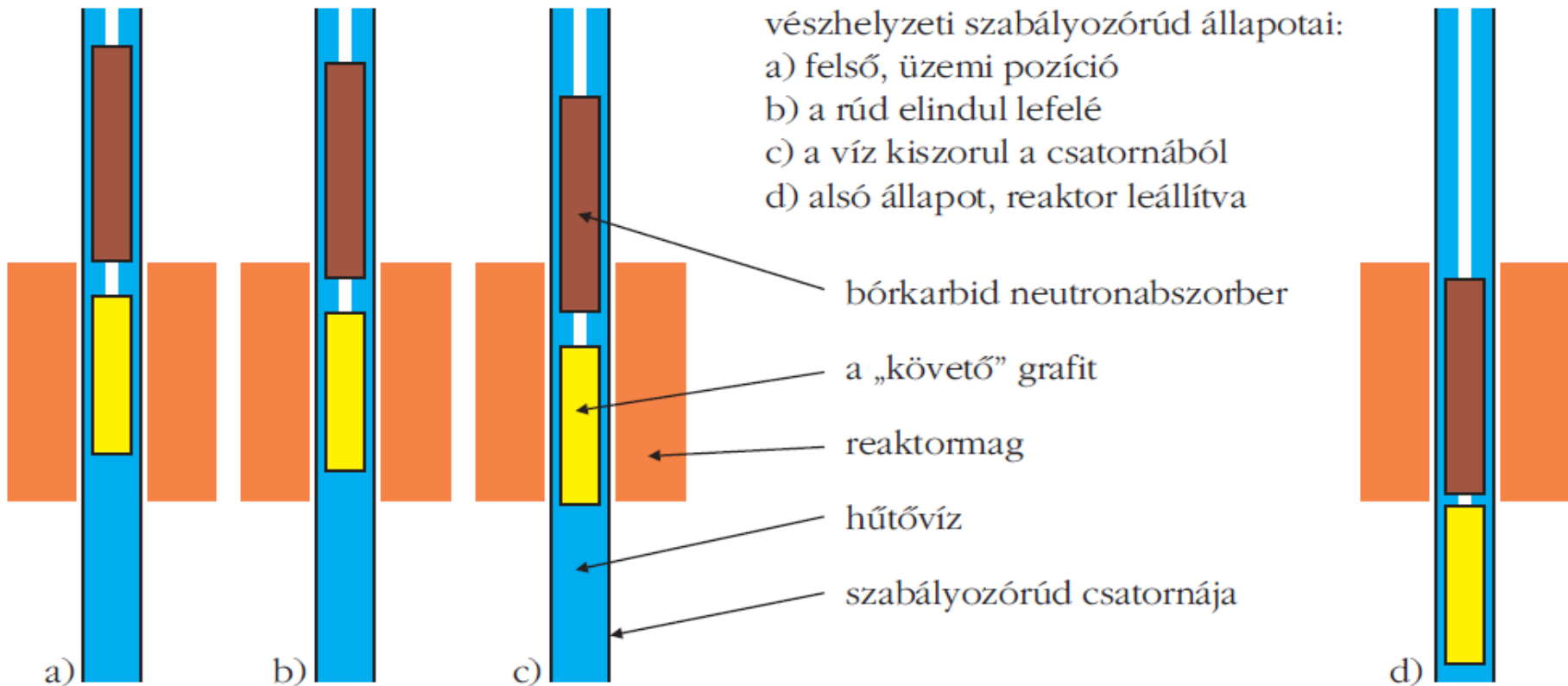
vészhelyzeti szabályozórúd állapotai:

a) felső, üzemi pozíció

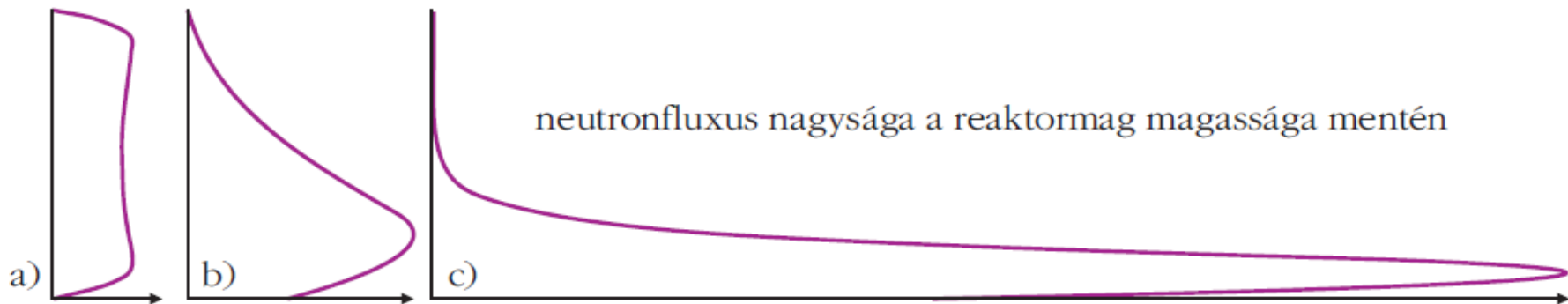
b) a rúd elindul lefelé

c) a víz kiszorul a csatornából

d) alsó állapot, reaktor leállítva



neutronfluxus nagysága a reaktormag magassága mentén





■ **11.23.31:**

Lokálisan gyorsan növekszik a neutronsűrűség, azonban a lokális ellenőrző rendszert már előzőleg kikapcsolták.

■ **1.23.40:**

Fél perc alatt 0,32 GW-ra növekedett a hőteljesítmény, ezért az operátor a vészleállítás mellett dönt.

■ 1.23.43:

A hőteljesítmény 1.4 GW és másodpercenként duplázódik. **A reaktor lokálisan kritikussá vált.** A hirtelen felmelegedés folytán a szabályzórudak elgörbülnek, így nem érnek le a reaktor aljára.

■ 1.23.45: A hőteljesítmény 3 GW, **a reaktor globálisan megszaladt.**

■ 1.23.46: A hűtővíz elforr, a neutron sokszorozás tovább fokozódik.

■ 1.23.47: Az urán **fűtőelemek felrepednek** a magas hőmérséklet miatt, leáll a láncreakció.

A magasabb hőmérséklet miatt az U-238 rezonancianívója kiszélesedik és e miatt több neutront nyel el, és ezért áll le a láncreakció.

■ 1.23.48:

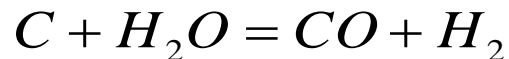
Felrepednek a hűtőcsövek.

■ **1.23.49:**

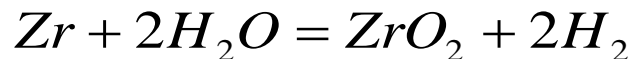
Kinyílik a reaktor belseje, a víz forrása **termikus robbanást** okoz.

■ **1.24:**

Kémiai reakciók indulnak be:

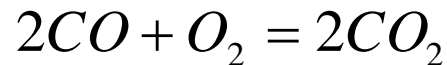
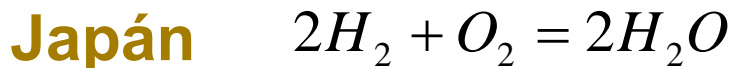


Japán



Az **első robbanás**

Továbbá a külső levegővel keveredve bekövetkezik a **második robbanás:**



Mivel a reaktor nem volt biztonsági épületbe zárva, a robbanás következtében beomlik a tetőszerkezet, radioaktivitás kerül a levegőbe.

3000 tonnás reaktorfedél 50 m magasra repül, majd vissza.

■ április 26 - május 5.

Az épületben keletkező tüzet hamar eloltják, de a felnyílt reaktorban a grafit mind nagyobb részére terjed ki a tűz. A füsttel **a légkörbe kerül minden illékony hasadási termék.** A baleset következtében főleg a következő hasadási termékek kerülnek ki: számos rövid felezési idejű, mint

Te-132, I-131, Ba-140, La-140, és Cs-136,

I-132 Japánban jódtablettákat adtak + azonnali megelőző kitelepítés!!!

melyek azóta már gyakorlatilag lebomlottak.

Ma a **Cs-137** a jelentős, melynek felezési ideje csaknem 30 év, de ezen izotóp által kisugárzott gammasugárzás energiája szerencsére csekély.

■ május 5.

Elfojtják a tüzet, a reaktort homokkal, ólommal, bórral takarják le. Gyakorlatilag megszűnik a radioaktivitás kiáramlása.

- A baleset hétfvégén, hajnalban történt, s nem adtak ki megfelelő tájékoztatót.
- A balesetet épülettűzként értelmezték.
- A lakosság kitelepítése, kb. 350 ezer ember, és későn indult meg.

Nem következett volna be a baleset, ha az akkor meglévő és üzemképes biztonsági rendszereket nem helyezik üzemem kívül!



Nukleáris eseményskála

(INES - International Nuclear Event Scale)



7. Nagyon súlyos baleset	Csernobil 1986.
6. Súlyos baleset	Reprocesszáló üzem, Oroszország, 1957.
5. Telephelyen kívüli hatás zónaolvadás	Windscale reaktor Anglia 1957. TMI-2, USA 1979. Tokai Mura, Japán 1999. Fukushima Daiichi 1,2,3
4. Telephelyen kívül nincs hatása	Japán 2011. Windscale reprocesszáló üzem, Anglia 1973.
3. Súlyos üzemzavar	Paks 2003. Fukushima Daiichi 4 Fukushima Daini 1,2,4
2. Üzemzavar	



A csernobili baleset következményei

Az elhárítási munkálatokban **800 ezer** fő vett részt!

- Közvetlen haláleset: **50** fő.
- Pajzsmirigy megbetegedések száma: **4000** fő.
- Várható halálesetek becslése (leukémia-, pajzsmirigyrák): **4000** fő.
- Hány embert érintett: **7** millió.
- Pszichikai, **mentális problémák** jelentkezése (információhiány, kitelepítések, túlzások stb.).
- Hazánkban nincs statisztikailag kimutatható probléma.

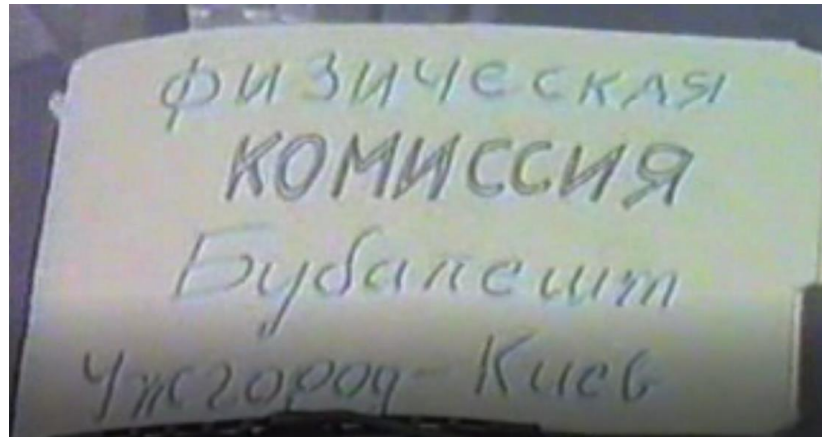
A lakosság csernobili eredetű átlagos többlet sugárterhelése a balesetet követő első évben Európa országaiban



A leglényegesebb különbségek

Csernobil	Fukusima
a robbanások pillanatában üzemelt	a robbanások pillanatában órák/napok óta nem volt hasadás
a pálcák nyomástartó csőben voltak → a csövek kinyíltak	a pálcák reaktortartályban vannak → a tartály ép
nem volt konténment	van konténment (ép vagy csak mérsékelten sérült)
a robbanás a hasadóanyag között történt	a robbanás a hasadóanyagtól távolabb történt
10 napig grafittűz → magasra (tehát messze) jutott a szennyezés	nincs grafit
ok: emberi hiba	ok: természeti katasztrófa
rögtönzés	baleseti kezelési utasítások
titkolózás a lakosság előtt	azonnali tájékoztatás, kitelepítés

Korábbi látogatás 1991. 3-as blokk vezénylőterme



2017. Június 19-i látogatás

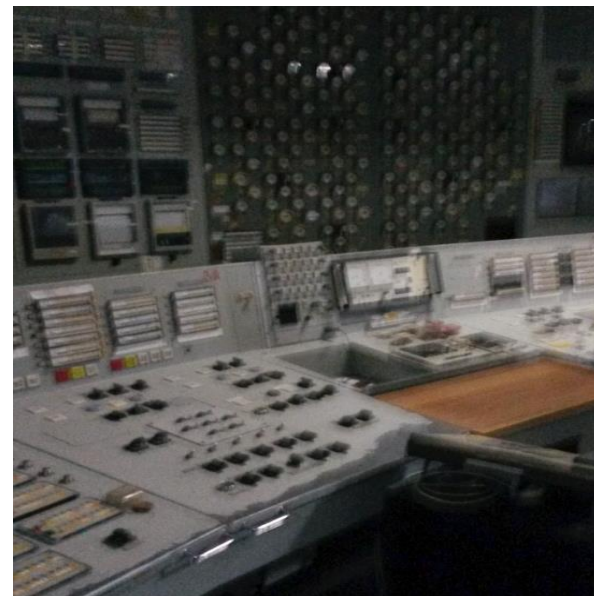




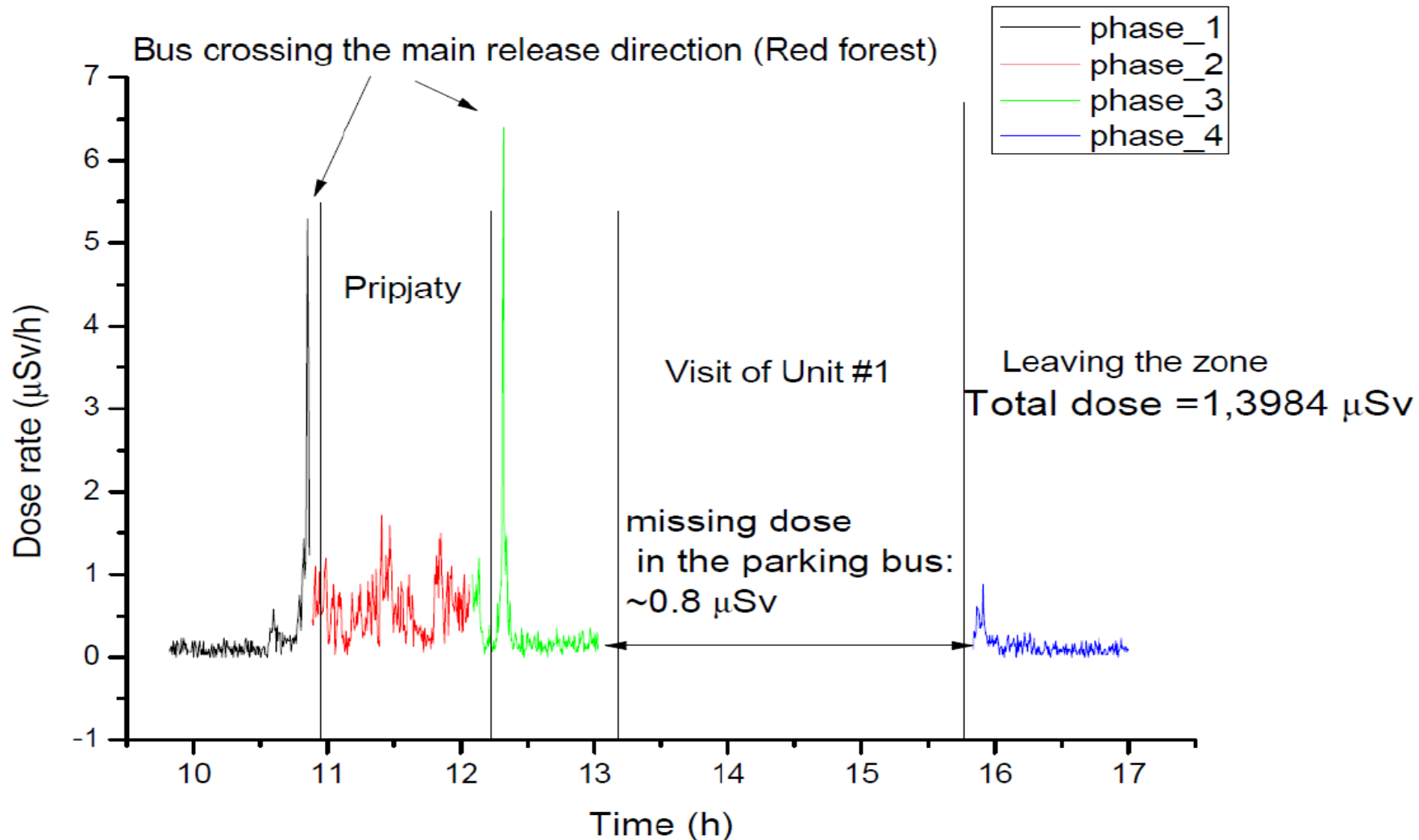
Pripjaty



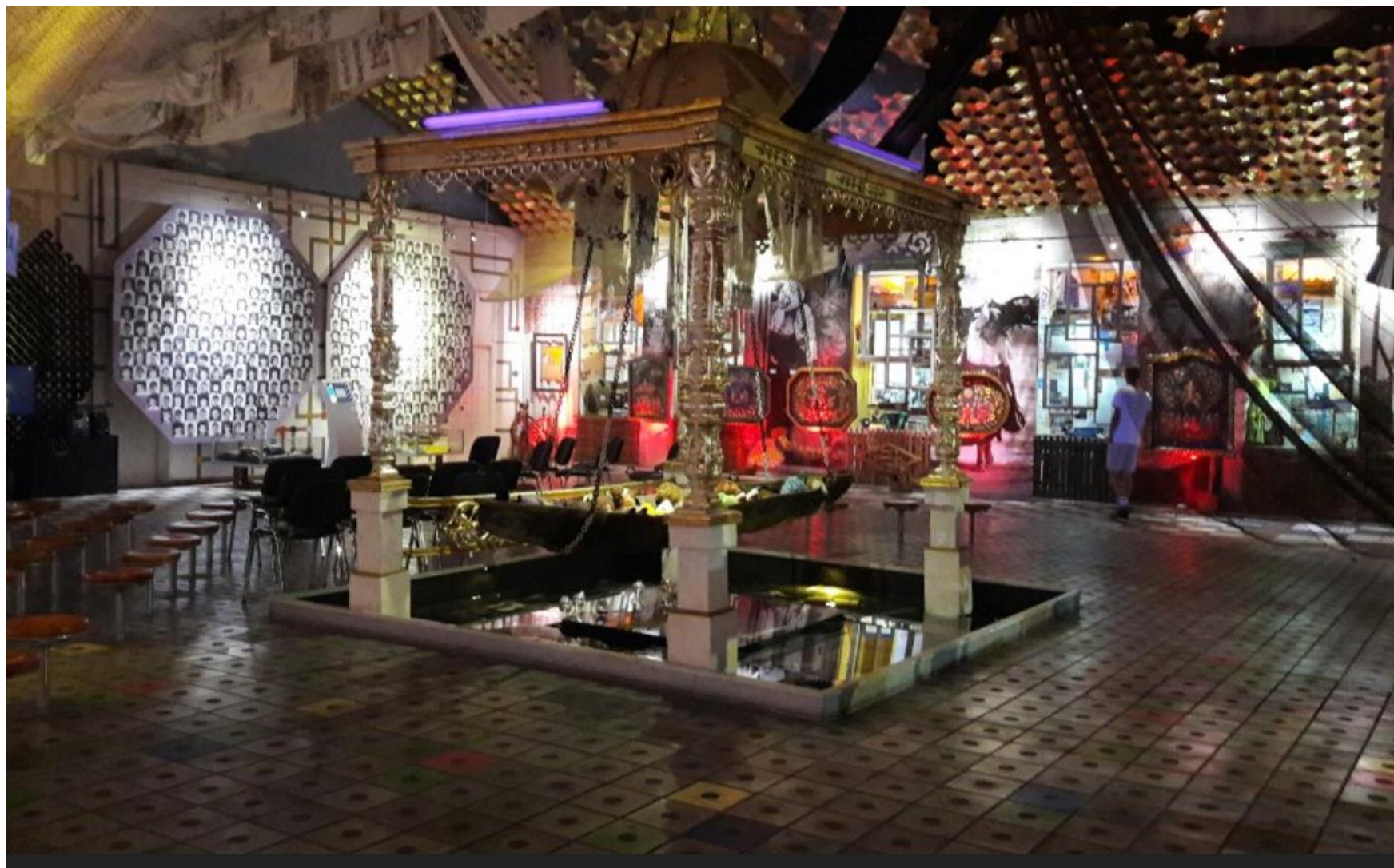
1-es blokk



A kapott dózisteljesítmény az idő függvényében (normál éves 2,5-3 mSv)



A múzeum

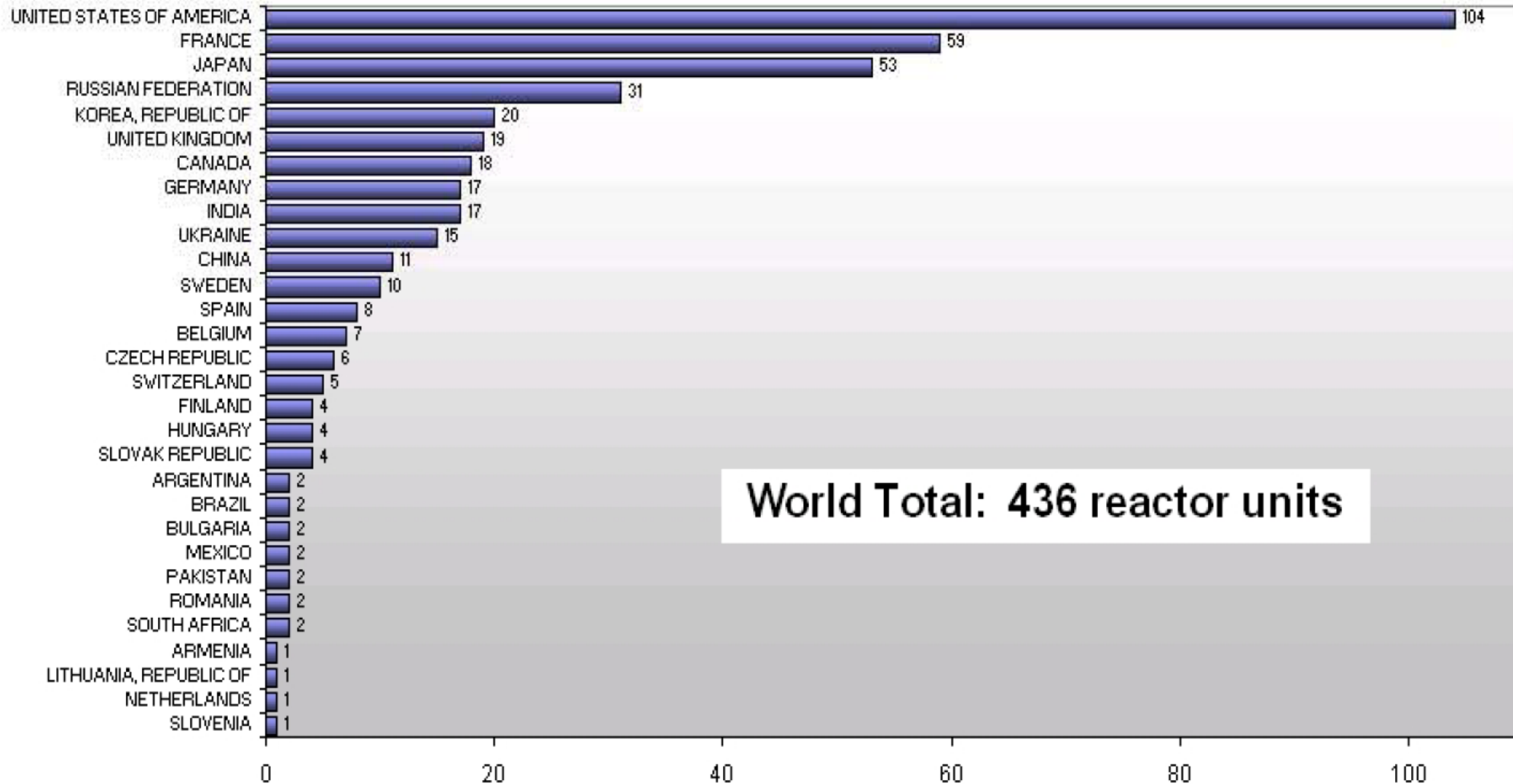


Nem gondolták, hogy bármi baleset történhet!

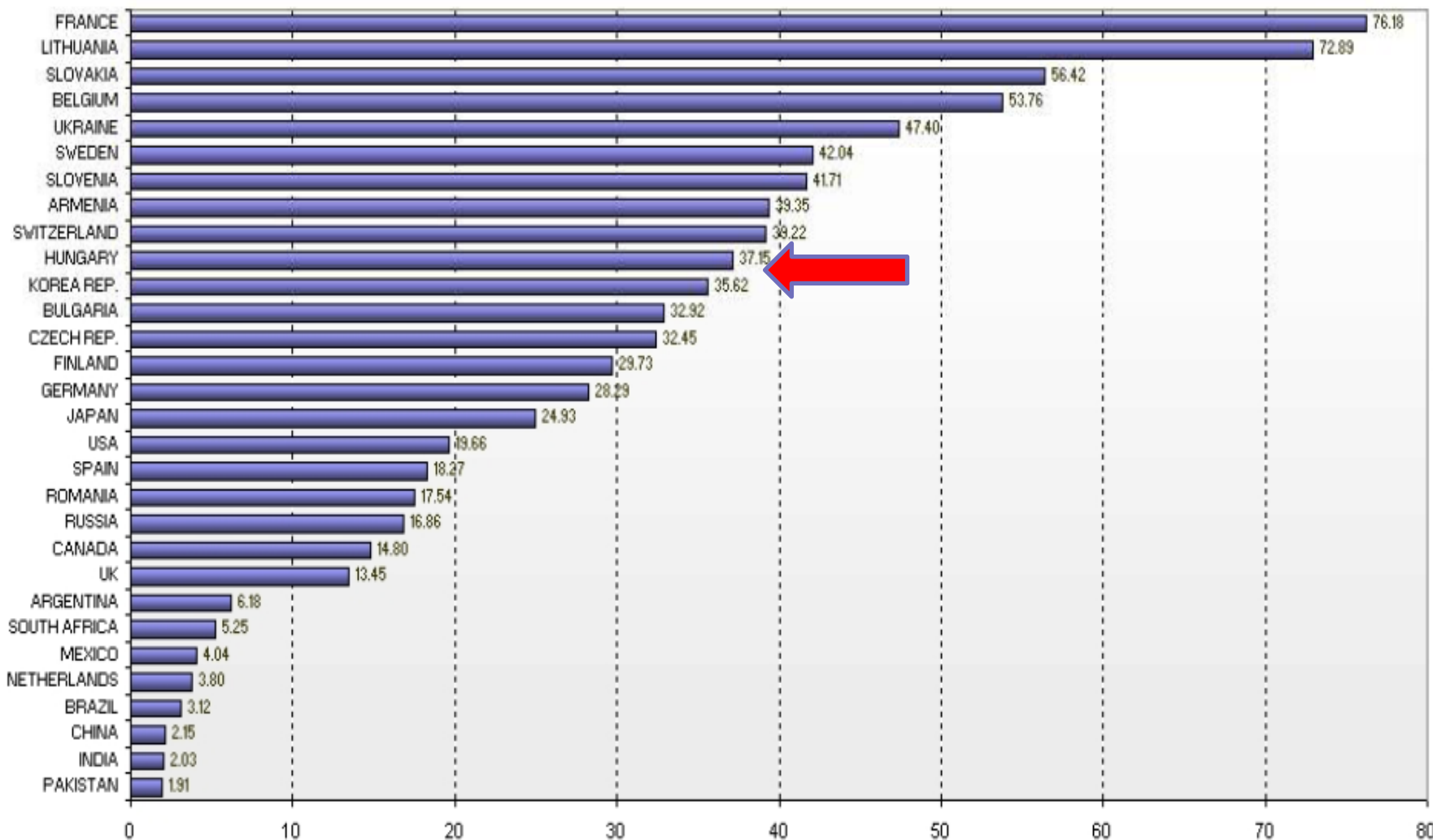


Hogyan tovább?

Jelenleg **436** atomerőmű működik **30** országban.



A nukleáris energia részesedése az elektromos energia előállításából



Oroszországban üzemelnek RBMK reaktorok

Telephely	szám	üzembe-helyezés-éve	teljesítmény· (MW)	meddig-tervezik- üzemeltetni
<u>Kursk</u>	1	1976	925	2021
	2	1979	925	2024
	3	1984	925	2029
	4	1986	925	2030
Leningrád	1	1973	925	2019
	2	1975	925	2021
	3	1979	925	2025
	4	1981	925	2026
<u>Smolensk</u>	1	1983	925	2028
	2	1985	925	2030
	3	1990	925	2034

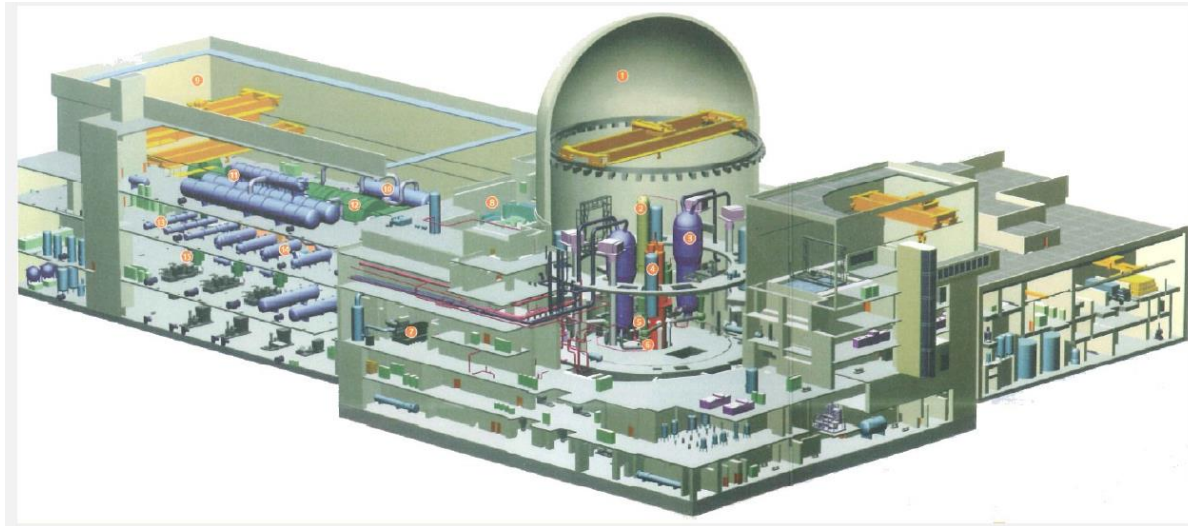
Élettartam meghosszabítások, Paksi blokkoknál is

Már épülő atomerőművek:

- USA -4
- China -20
- Japan -1
- Russia -6
- Korea -5

Tervezik (60 ország):

- *Emirátusok*
- Afrika 20
- Latin Amerika 12
- Ázsia 20
- Európa 9



Kérdések ??????????????????????

Koreai atomerőmű az Öböl partján

Cserhádi András

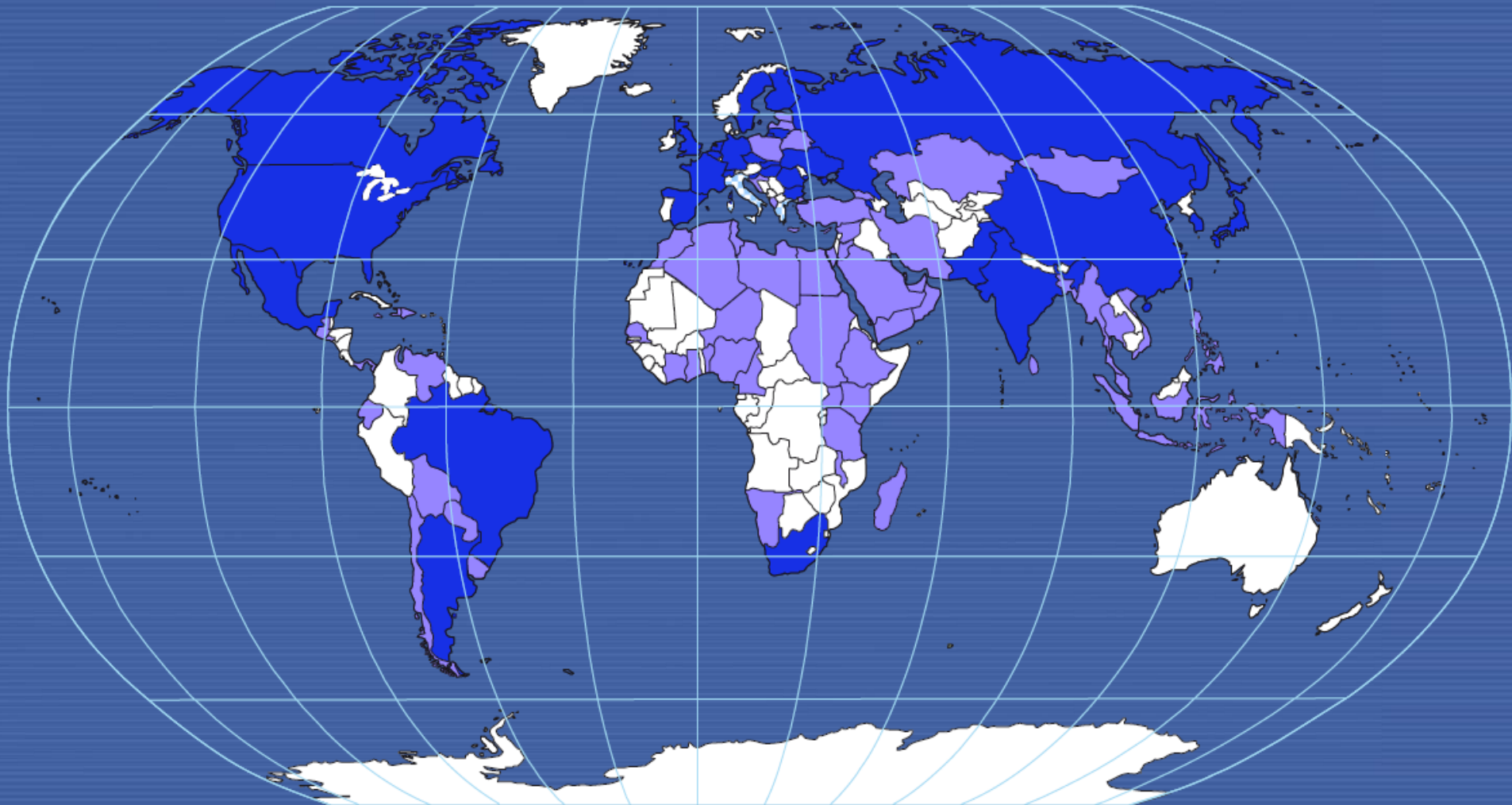
Paksi Atomerőmű Zrt., Kapacitásbővítési Igazgatóság, Műszaki és Engedélyezési Főosztály
7031 Paks, Pf. 71., +36 75 508 518,

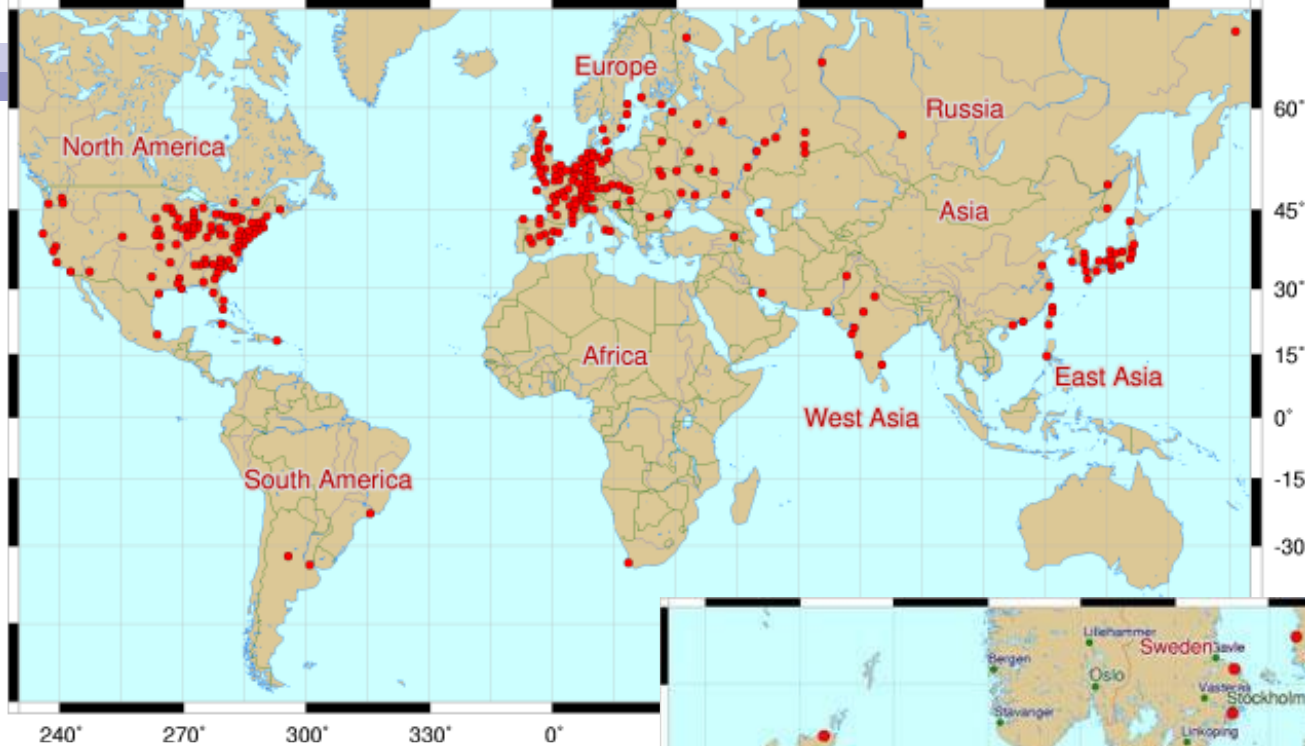
Többen felkapták a fejüket 2010 elején arra a hírre, hogy koreai szállítók építhetik fel az Egyesült Arab Emírségek első négyblokkos atomerőművét, nagy világcégek, konzorciumok elől elnyerve a tendert. Részletesebben tájékozódva e döntés már nem tűnik olyan hatalmas meglepetésnek, de továbbra is szakmai viharokat kavar, éles reakciókat generál. Az Arab Emírségek és Dél-Korea szemszögéből is áttekintjük a hátteret, kitérünk az APR1400 típus legfontosabb jellemzőire, megemlítünk néhány – döntést követő és várható – vélekedést, következményt. Végül megkíséreljük értékelni koreai blokkok magyarországi esélyeit.



1. ábra: A Yonggwang Atomerőmű blokkjai (az első blokk balra) [6]

Kék: működő, lila: tervezzi





Oktatás, megbeszélhető témák

- Milyen tevékenységekhez használunk fel energiát?
- Milyen forrásokból fedeznék a jövő energiaszükségletét? Milyen arányban?
- Különböző energiaforrások felhasználásának előnyei ↔ hátrányai?
- Hogyan lehet takarékoskodni az energiával? Milyen módon teszik ezt a hétköznapiakban?



Köszönöm a figyelmet!