



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi
Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**



Csernobil leckéje (Csernobil 30)



Dr. Sükösd Csaba
c. egyetemi tanár



Miről lesz szó?

- **Néhány (reaktor)fizikai jelenség, ami a megértéshez kell**
- **A csernobili erőmű néhány sajátossága**
- **A baleset lefolyása**
- **A baleset következményei**
- **Magyarországi helyzet**
- **A tájékoztatás manipulációja...**
- **Kitekintés**



1. Fermi kísérletei – lassú/gyors neutronok hatása (1934)

1932 után a neutron a kísérletek fő „eszköze” lett, mivel nem taszítják el az atommagok

(Pl. F. Joliot-Curie és I. Curie: első mesterséges radioaktivitás)

Ismert volt, hogy β -bomláskor:



„Neutronfelesleggel” rendelkező atommagok teszik!

Enrico Fermi ötlete: az urán a legnagyobb rendszámú

Vigyünk be neutronot \longrightarrow n-felesleg lesz \longrightarrow β -bomlás

$Z = 93$ rendszámút is előállíthatunk mesterségesen!!

Honnan tudjuk, hogy előállítottuk? A radioaktivitásából.



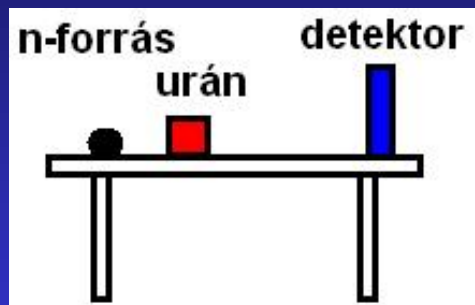
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék



E. Fermi kísérlete:

Eredmény:

VAN radioaktivitás



Probléma: „diákoknak jobban sikerül”!?

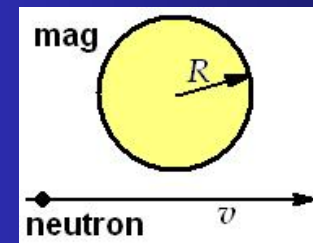
Megoldás: különböző energiájú neutronok másképp viselkednek.

NEUTRONLASSÍTÁS!

Lassú neutronok „hatékonyabbak” !

$$t \sim \frac{2R}{v}$$

(hosszabb ideig van közel a maghoz,
több idő van a kölcsönhatásra)



- **n-lassítás**: könnyű atommagokkal való ütközéssel (moderátor)
- Legjobb moderátorok: nehézvíz, **grafit** (könnyű víz el is nyel)

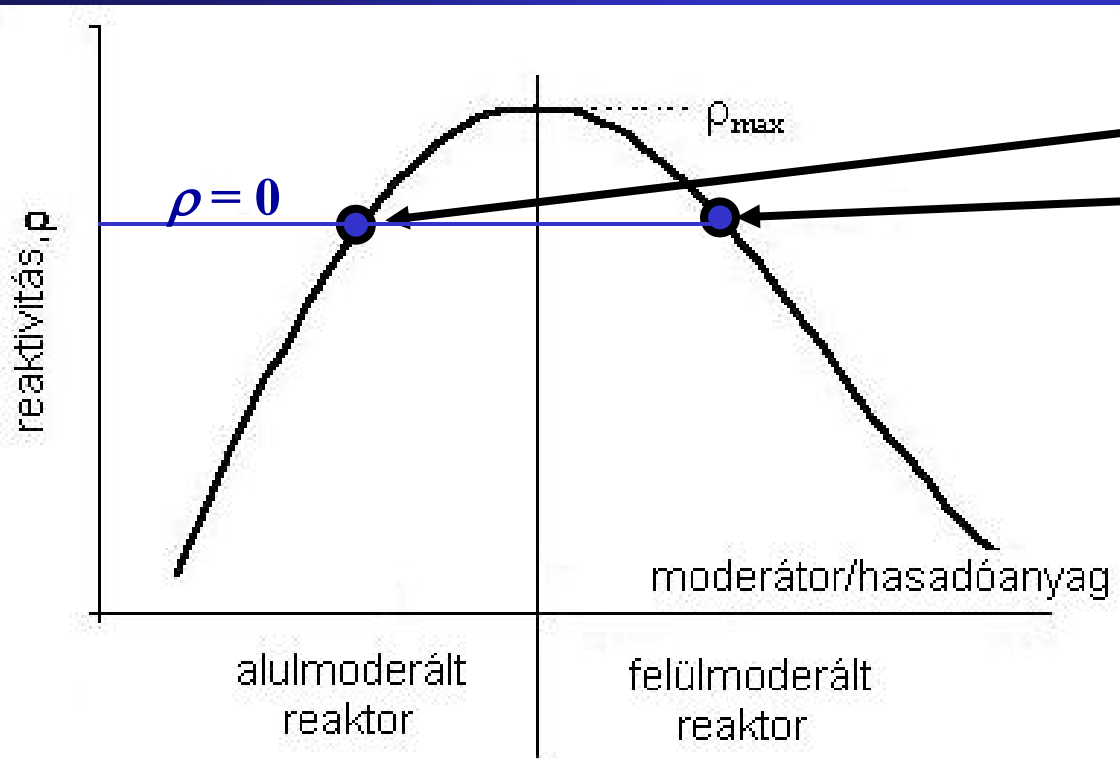
A moderátor SEGÍTI a láncreakciót!!



2. A **moderáltság** szempontjából fontos a rácsparaméter

Túl sűrű rács \longrightarrow A neutronok nem lassulnak le eléggé a pálcák között

Túl ritka rács \longrightarrow A moderátor-fölösleg már nem lassít tovább, csak elnyel



Alulmoderált munkapont
Felülmoderált munkapont

**Biztonságos üzem
szempontjából
fontos !**

(üzemzavarban/balesetben
a moderátor hamarabb
elvész, mint az üzemanyag,
a **moderáltság csökken**)

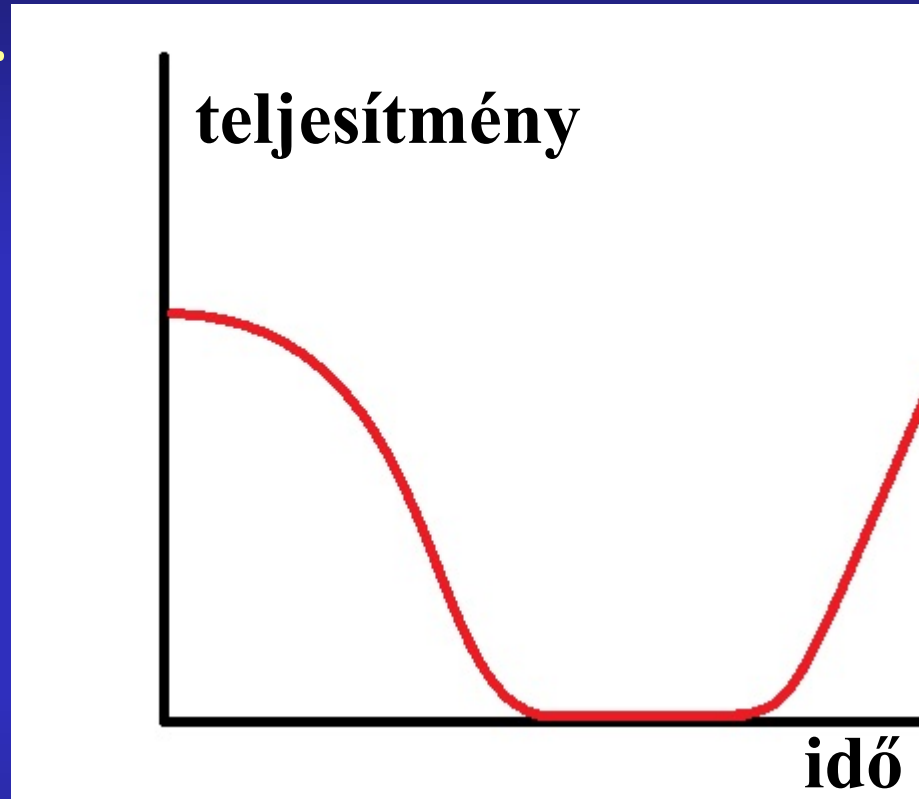


3. Hanfordi reaktor

1944. szept. 27:

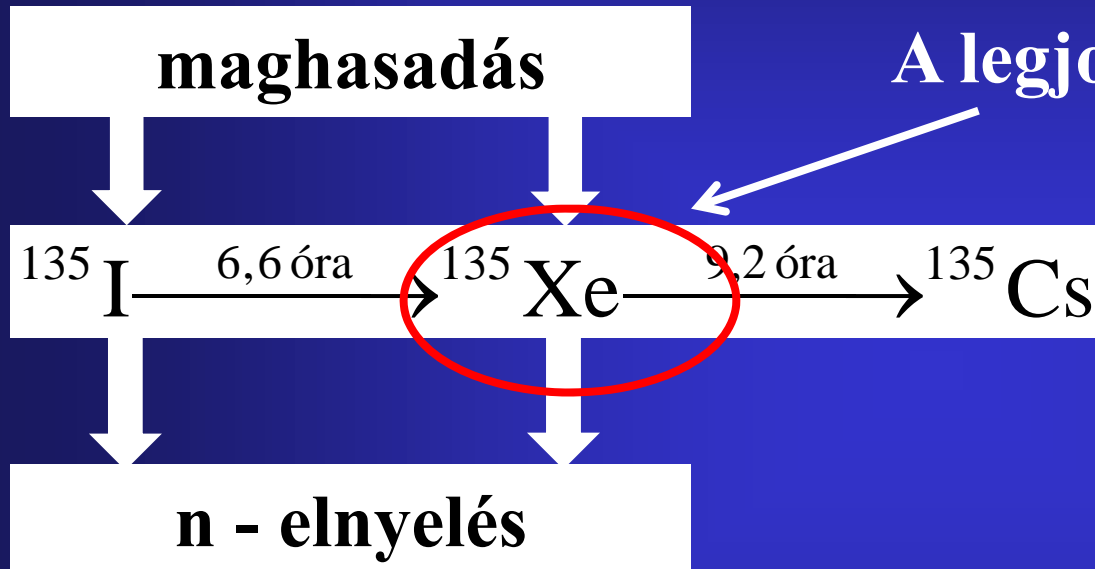
Anélkül, hogy
hozzányúltak
volna a
reaktorhoz!!

MI LEHET EZ?

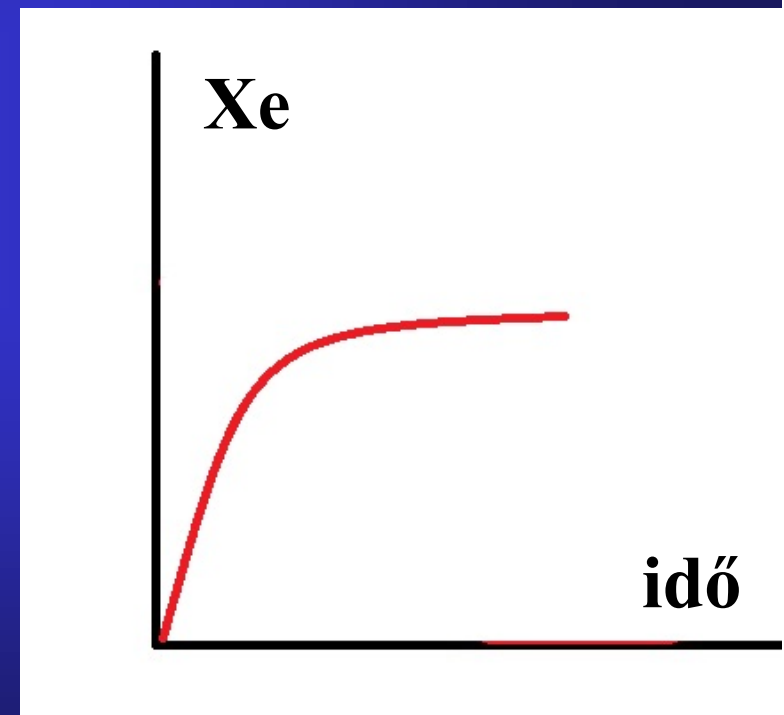




A megoldás: a Xe mérgeződés



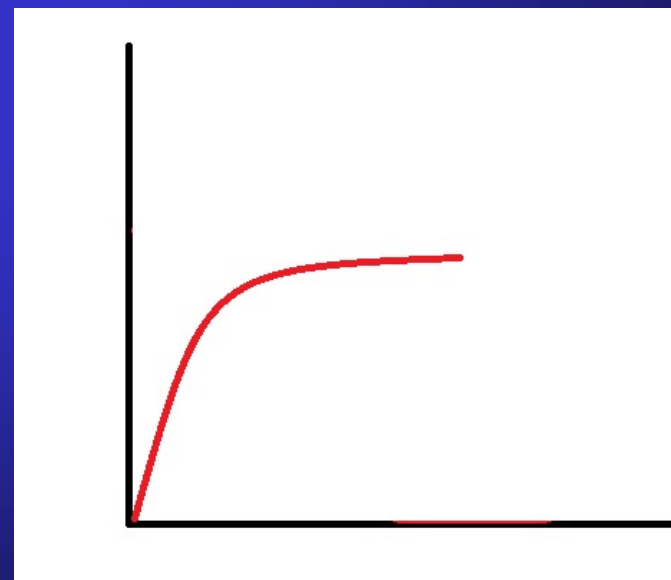
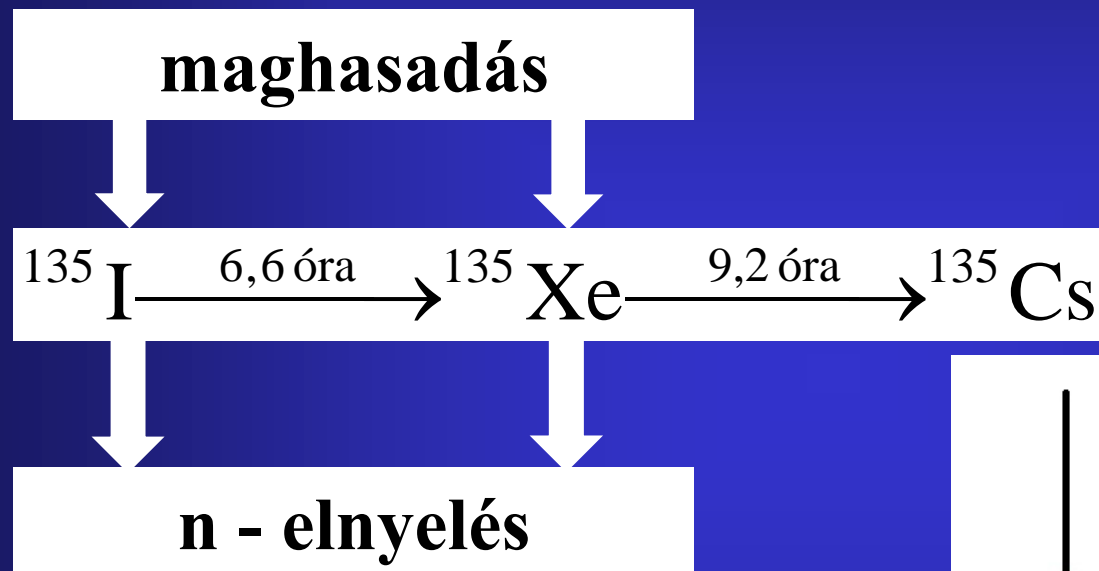
A legjobb n-elnyelő az összes
atommag között!



Amíg a reaktor megy,
egyensúly áll be (ha ki lehet
kompenzálni az elnyelést).



Amíg megy a reaktor:



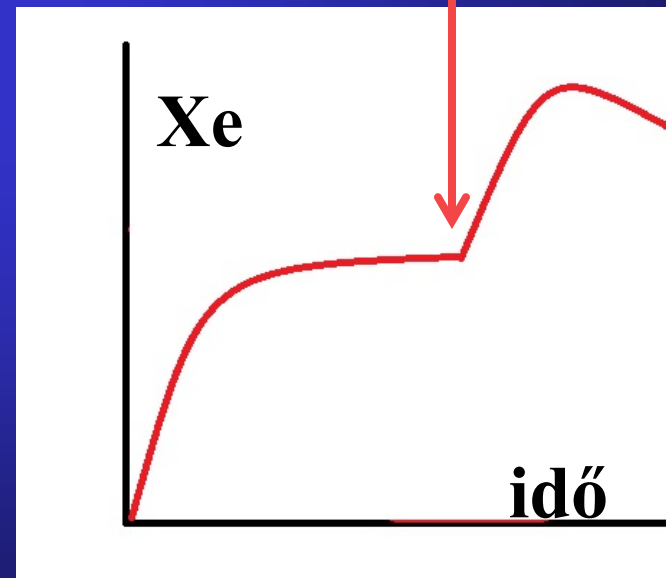


Amikor a reaktor leáll:

Itt áll le a reaktor



A jódd gyorsabban bomlik,
mint a Xe, ezért a Xe
mennyisége megnő!!!





Súlyos következmény:

1) Itt nem lehet (nehéz) újraindítani!

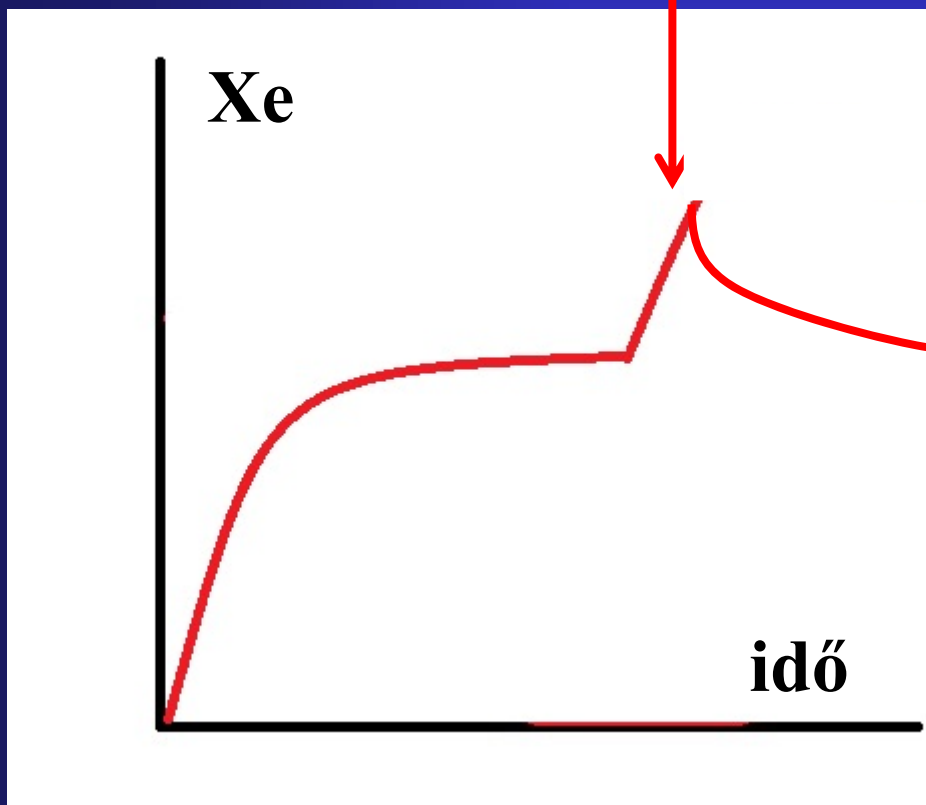
2) Ha mégis sikerül...

Vissza akar állni a korábbi
egyensúly:

Növekvő teljesítmény →
csökken az elnyelés →
még tovább növekszik a
teljesítmény...

Pozitív visszacsatolás!!!

Instabilitás!!

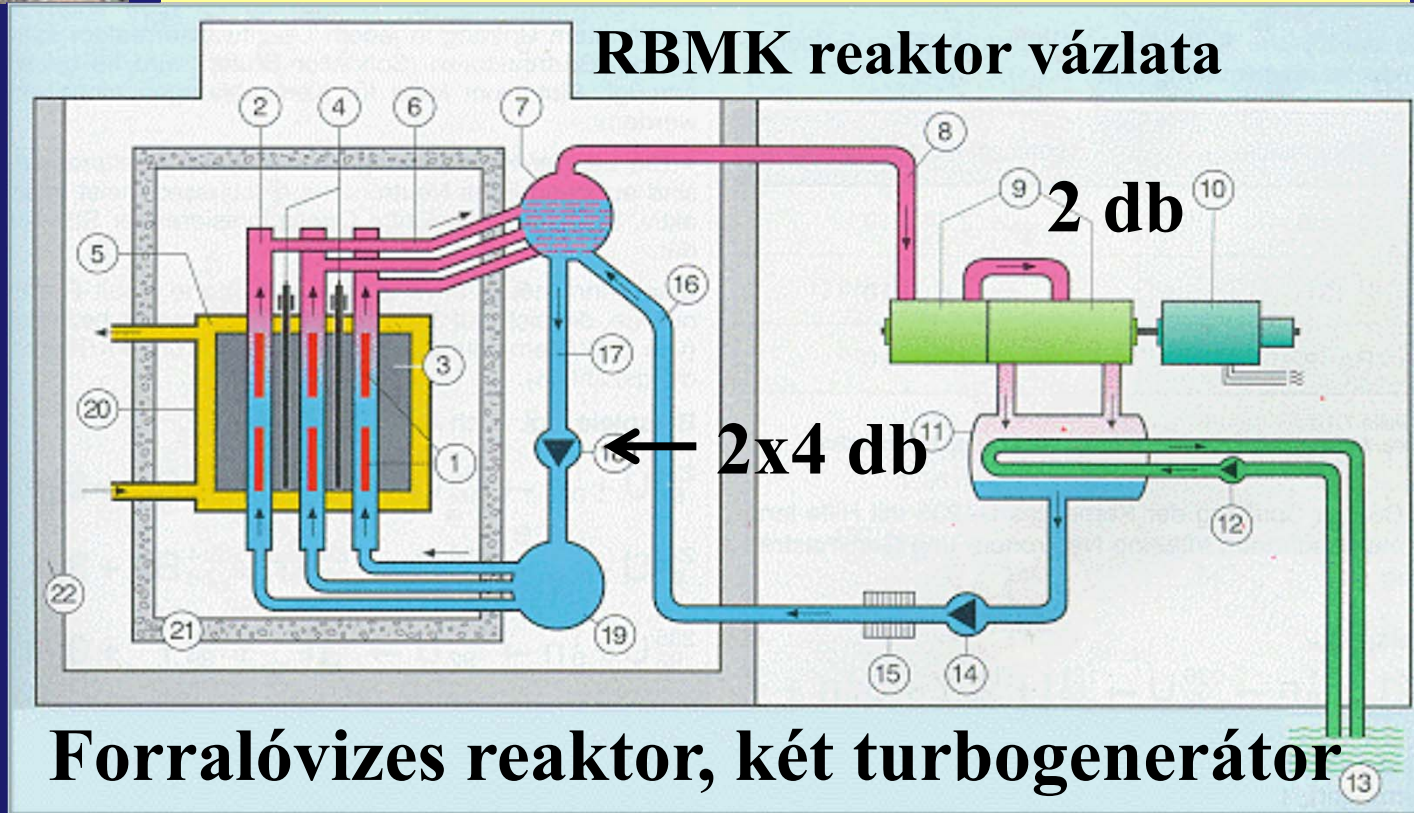




A csernobili (RBMK) reaktor néhány sajátossága



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék

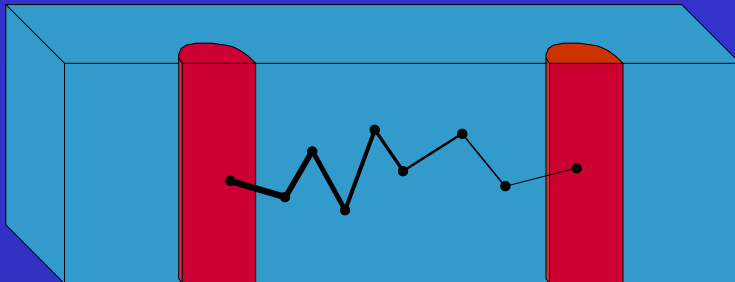


- | | | | |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1 Urán üzemanyag | 7 Csepleválasztó/gőzdob | 13 Hőelvezetés | 18 Keringtető szivattyú |
| 2 Hűtőcső | 8 Gőz a turbinához | 14 Tápvíz szivattyú | 19 Vízelosztó tartály |
| 3 Grafit moderátor | 9 Gőzturbina | 15 Tápvíz előmelegítő | 20 Acélköpeny |
| 4 Szabályozórúd | 10 Generátor | 16 Tápvíz | 21 Betonárnyékolás |
| 5 Védőgáz | 11 Kondenzátor | 17 Víz visszafolyás | 22 Reaktorépület |
| 6 Víz/gőz | 12 Hűtővíz szivattyú | | |

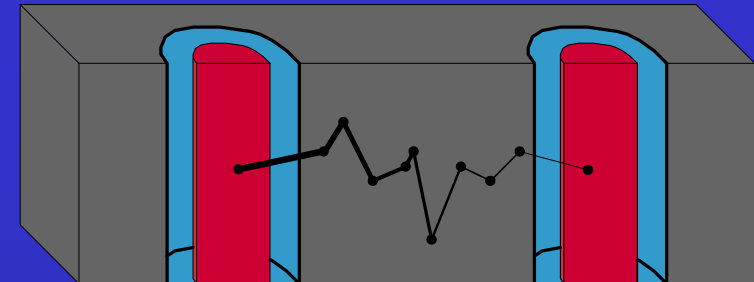
(Aszódi Attila, BME NTI)



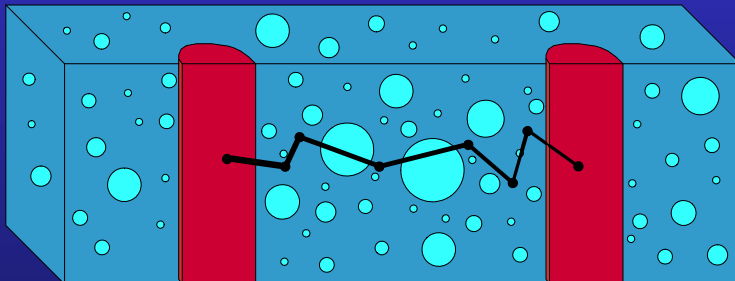
A PWR és az RBMK közötti fizikai különbségek



víz urán víz urán víz

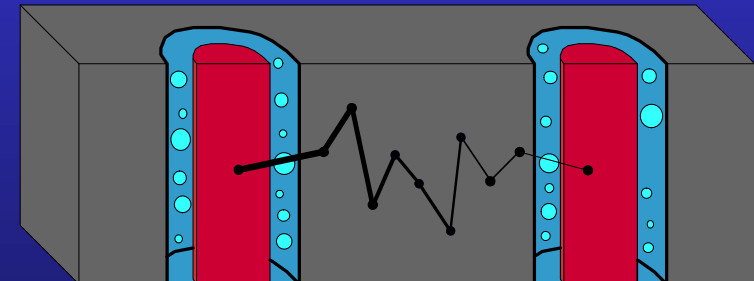


urán grafit urán
víz víz víz víz



víz urán víz urán víz

Nyomott vizes reaktor

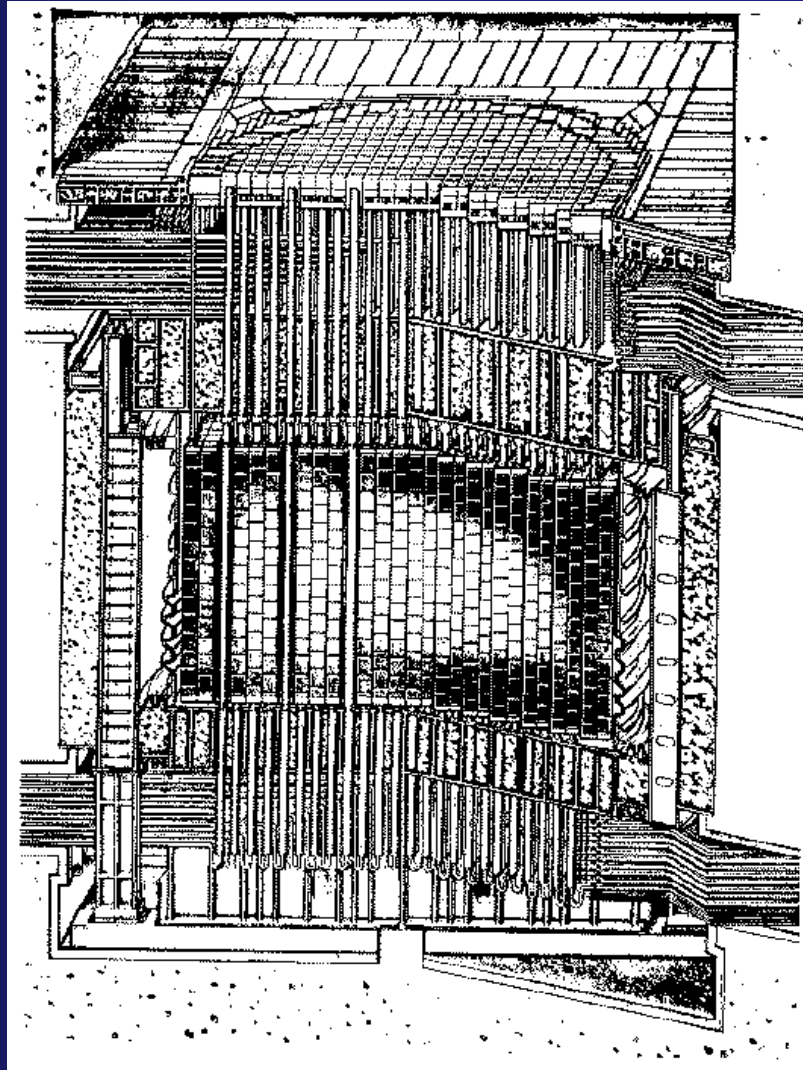


urán grafit urán
víz víz víz víz

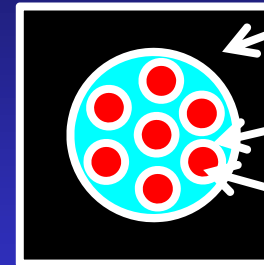
Csernobili reaktor



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék



Csernobil leckéje



grafit, 25x25x700 cm

hűtővíz

üzemanyag pálcák
(18 db/köteg)

dúsítás: 2% UO_2

Szabályozó rúd

bór-karbid

víz

grafit

víz

A víz miatt lassú
mozgás! ~18 s



A baleset lefolyása



Motiváció a „kísérletre”:

Atomerőművek egyik legsúlyosabb üzemzavara amikor megszűnik a hálózat : „black out”. (ld. Fukusima)

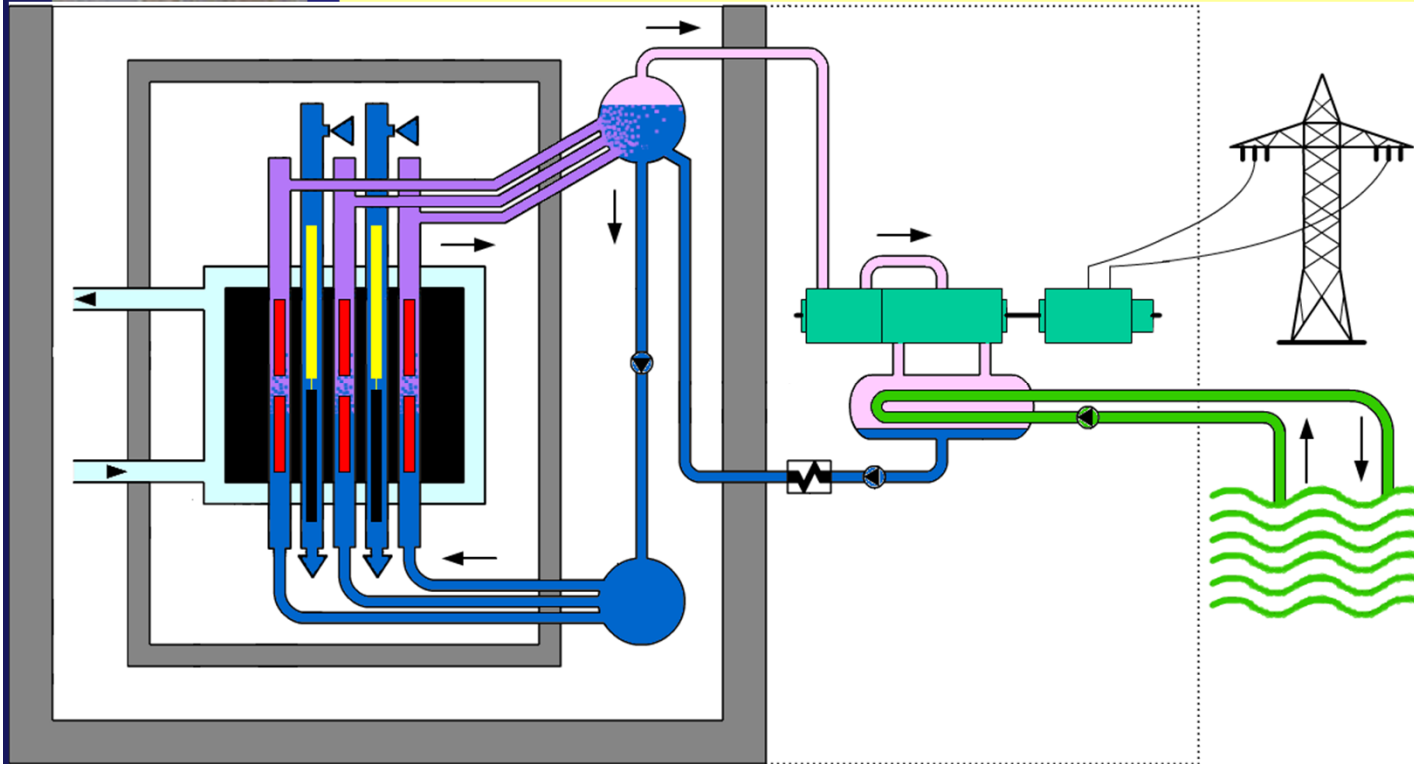
Ilyenkor diesel-generátorok indulnak be, de ez néha hosszú percekig is tarthat. (ez Fukusimában is megtörtént, de...)

Át kellene hidalni ezt az időt!

Ötlet: a turbinák meglévő forgási energiáját lehetne hasznosítani.

Ehhez megfelelő gerjesztési profilt kell kikísérletezni...

**Kísérleti terv: egyik turbógenerátoron, (másik áll),
27% reaktorteljesítményen (ez alatt instabil)**



01:06



100%

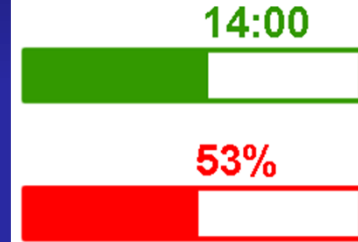
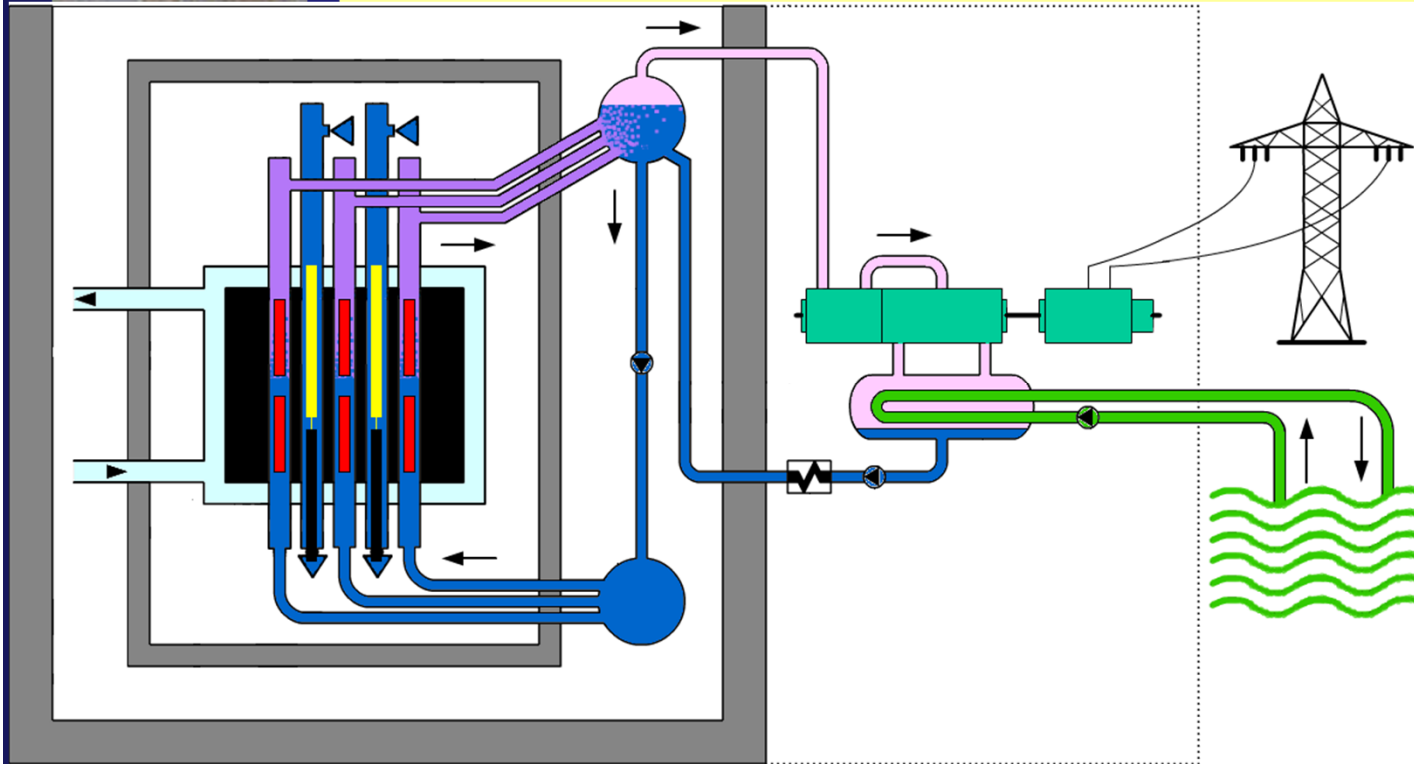


ELŐZMÉNYEK 1986. 04.25

Tervezett karbantartási leállás a Csernobil-4 blokkban,
egybekötve az egyik turbógenerátor kifutási próbáival.

01:06 - elkezdik csökkenteni a reaktor teljesítményét

13:47 - a reaktor teljesítménye 53%-on stabilizálódik



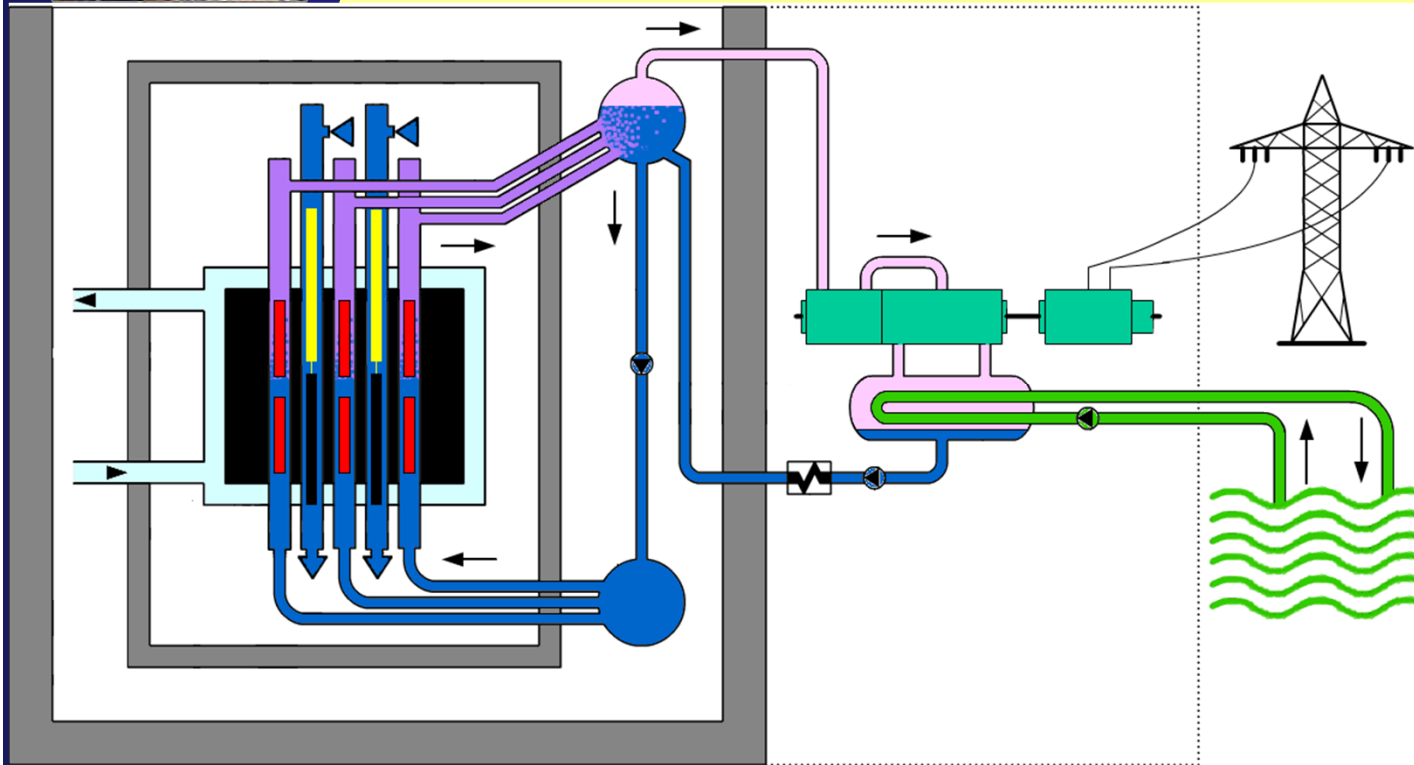
ELŐZMÉNYEK 1986. 04.25

14:00 - **zóna üzemzavari hűtőrendszer bénítása** 

14:00 - a teherelosztó utasítja az erőművet a további teljesítménycsökkentés elhalasztására - **Xenonmérgeződés!**
Szabályozó rudakat kifelé kell húzni kompenzálásra



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék



23:10



53%



FELKÉSZÜLÉS A KÍSÉRLETRE 1986. 04.26

23:10 - a teherelosztó engedélyt ad a leállásra

24:00 - **műszakváltás**

00:05 - a reaktor teljesítménye 24%-on -

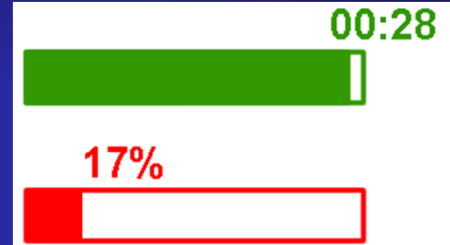
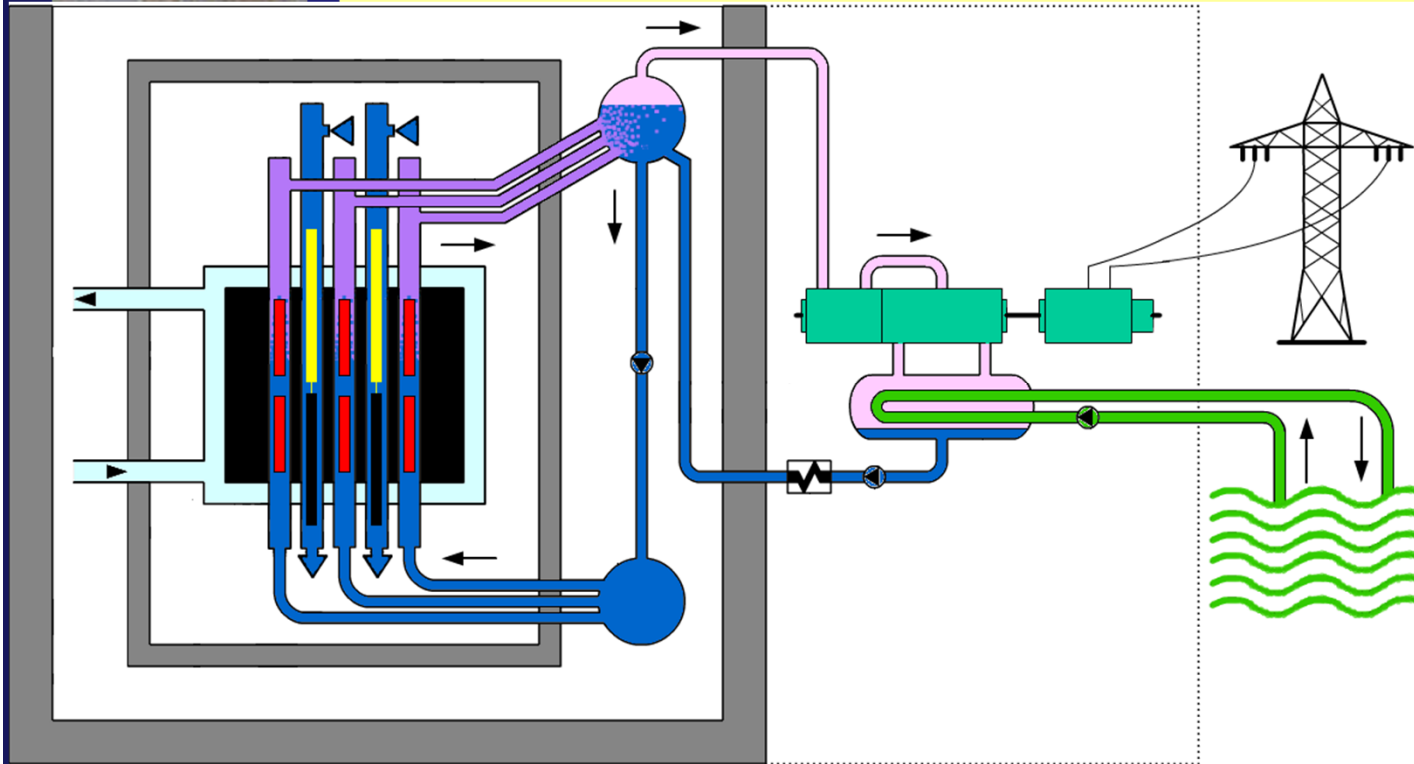
ezen teljesítmény alatt pozitív a visszacsatolás!



(Aszódi Attila, BME NTI)



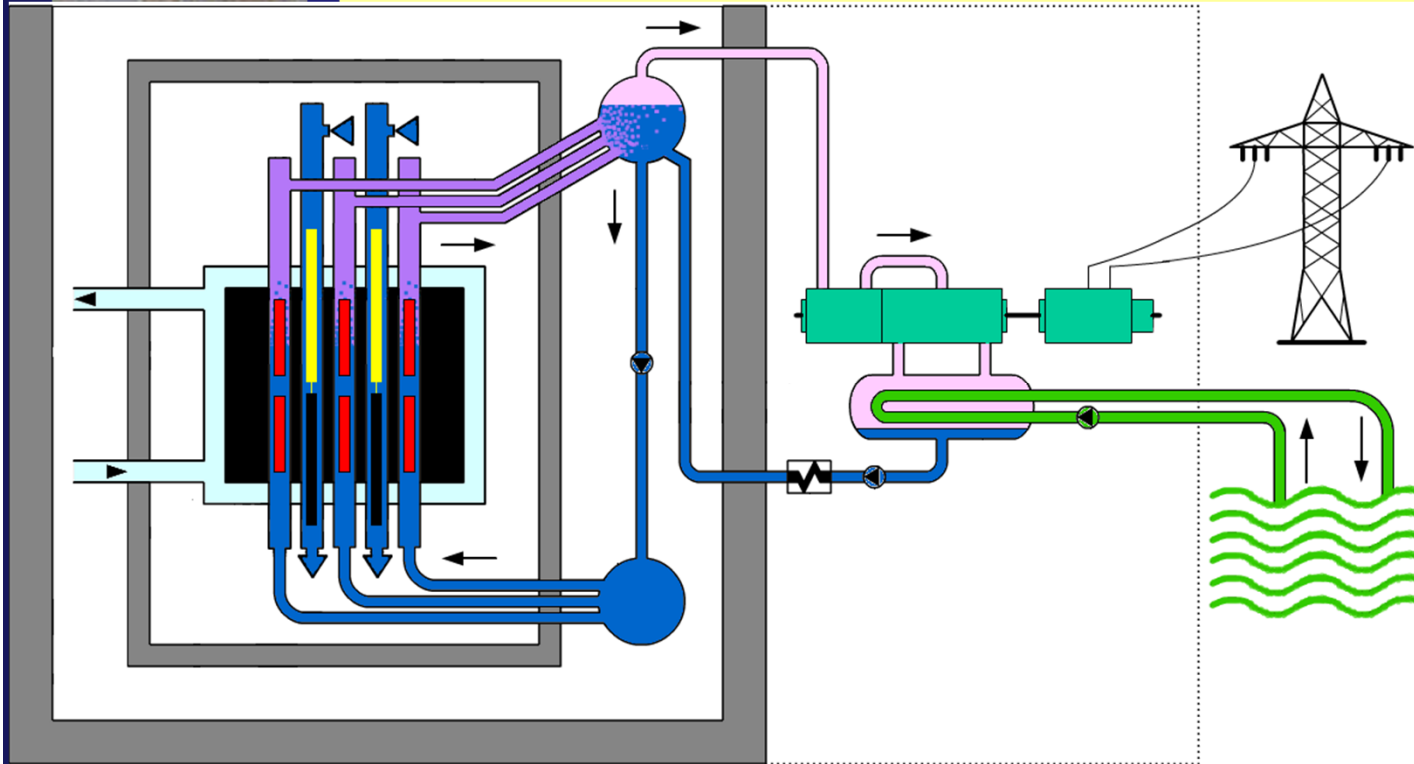
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék



FELKÉSZÜLÉS A KÍSÉRLETRE 1986. 04.26

00:28 - a reaktor teljesítménye 17%-on

00:30 - operátori vagy műszerhiba miatt a reaktor teljesítménye 1%-ra esik



00:32

1%

FELKÉSZÜLÉS A KÍSÉRLETRE 1986. 04.26

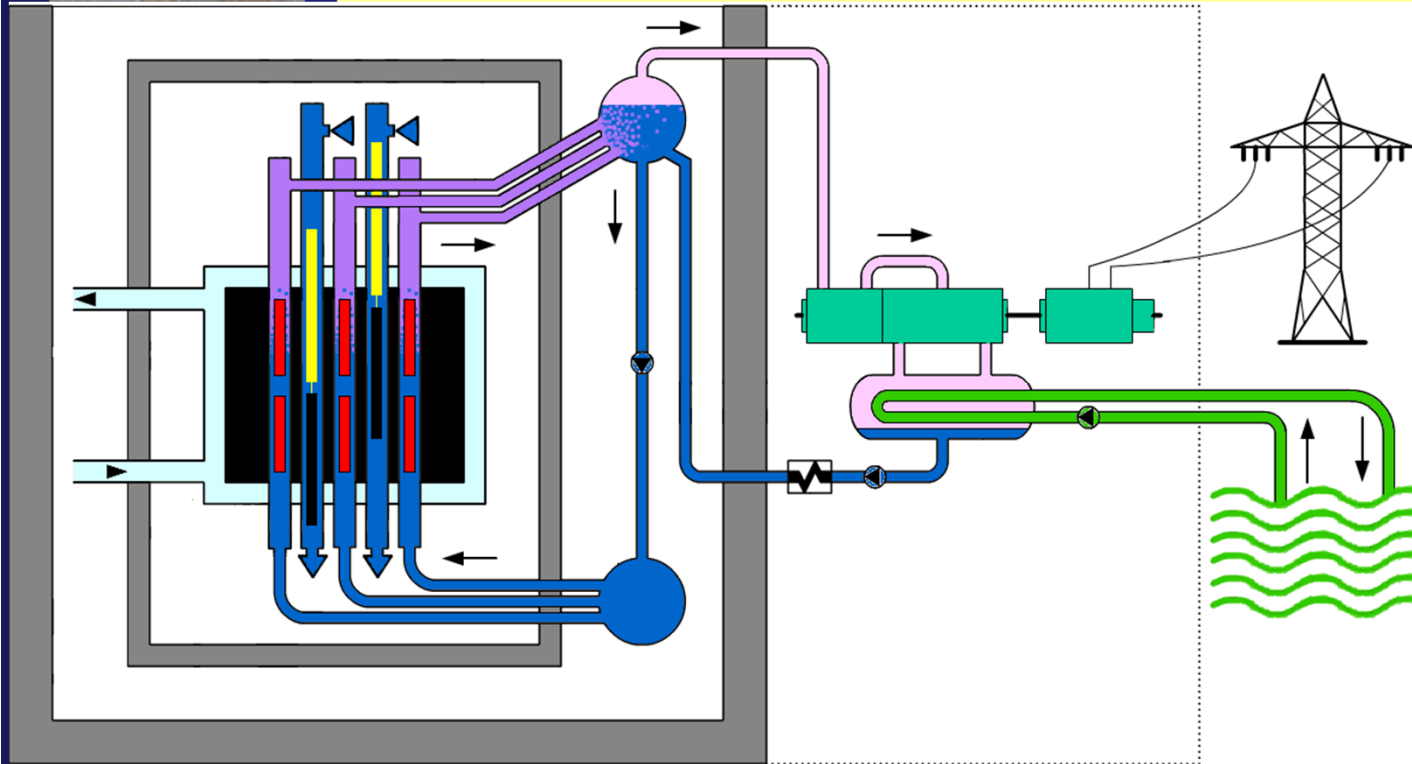
00:32 - az operátor a teljesítménycsökkenés

ellensúlyozására szabályozórudakat húz ki a zónából

Az engedélyezettől kevesebb rúd van a zónában!



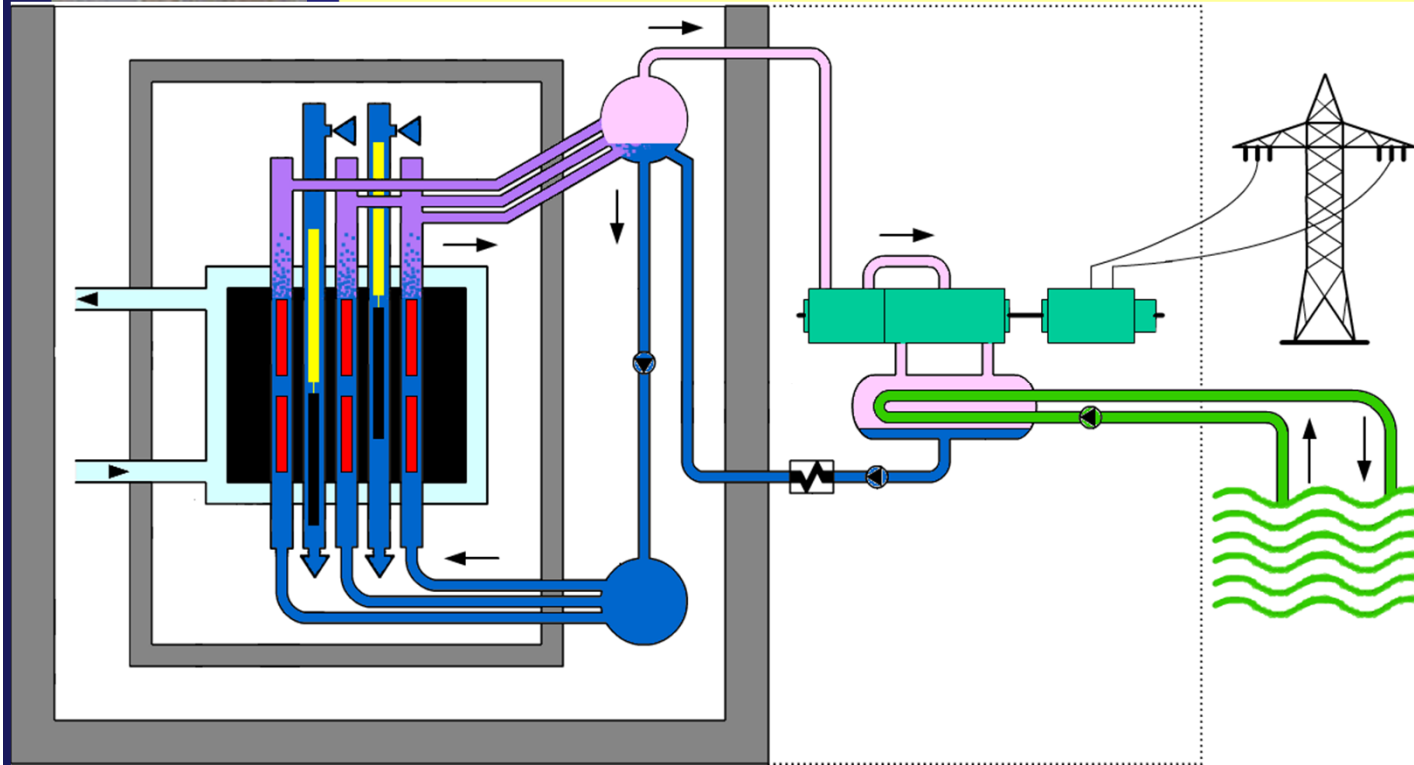
01:00 - a reaktor teljesítménye 7%-on (!) stabilizálódik



FELKÉSZÜLÉS A KÍSÉRLETRE 1986. 04.26

01:03, 01:07 - a 6 működő mellé további két fő keringető szivattyút kapcsolnak be, vízszint csökken a gőzdobban

01:15 - „gőzdob vízszint alacsony” jelre az üzemzavari,  védelem bénítása



01:22



7%

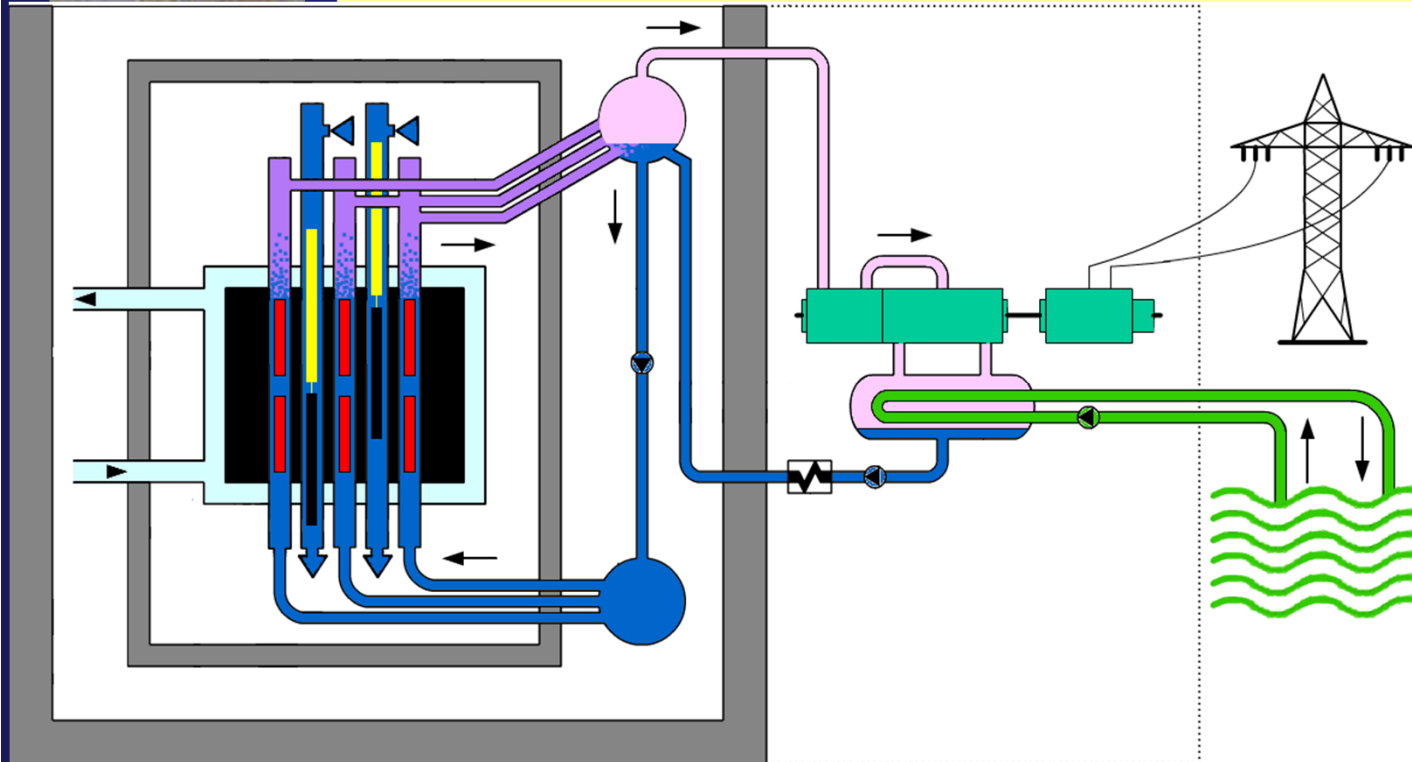


FELKÉSZÜLÉS A KÍSÉRLETRE 1986. 04.26

01:22 - az operátor további szabályozó rudakat húz ki a zónából, hogy növelje a gőzdobban a nyomást

01:22 - az operátor észleli, hogy a reaktivitás-tartalék a megengedett fele





01:22



7%



A KÍSÉRLET 1986. 04.26

01:23 - „második turbina gyorszáró zár” jelre
az üzemzavari védelem bénítása

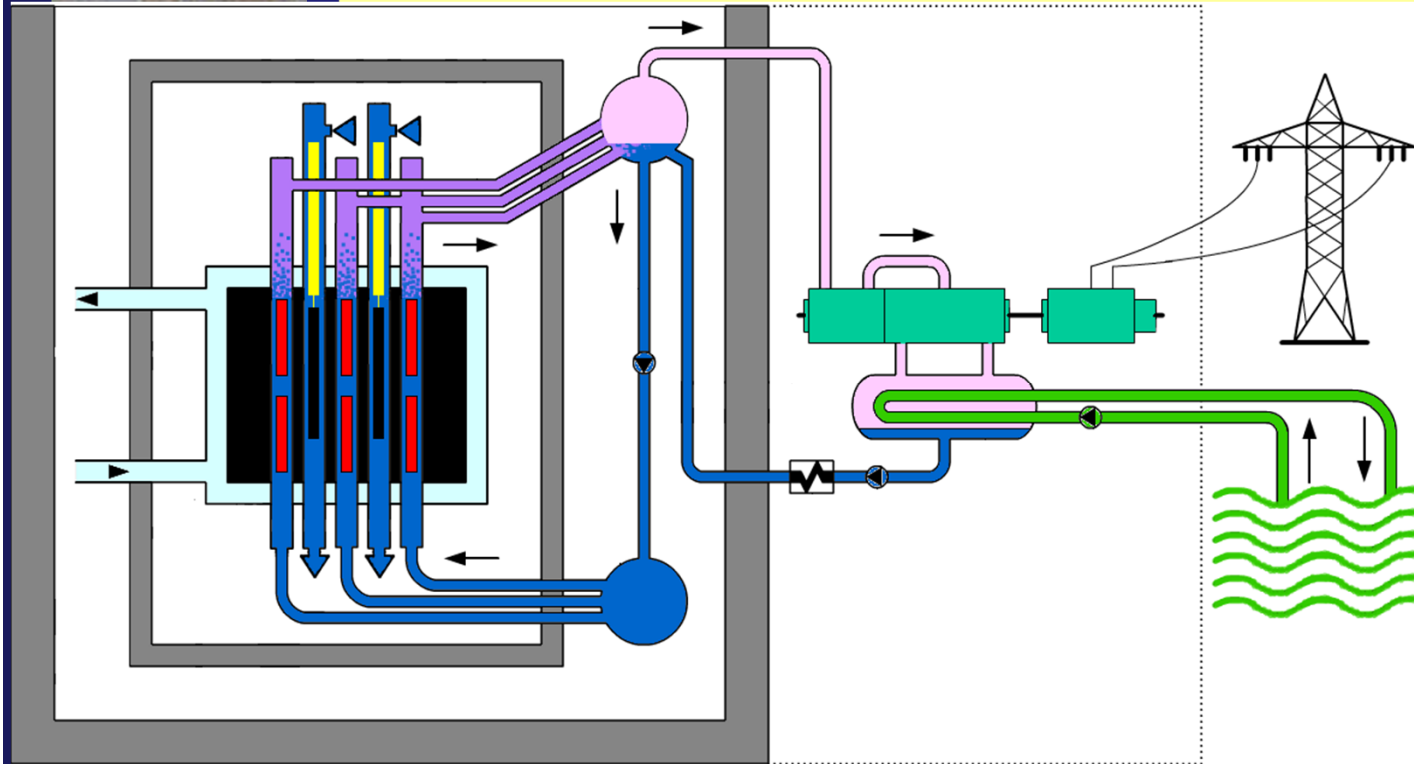


01:23:04 - lezárják a második turbina gyorszáróit

01:23:10 - az automatika szabályozórudakat húz ki



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék



01:23



7%



A KÍSÉRLET 1986. 04.26

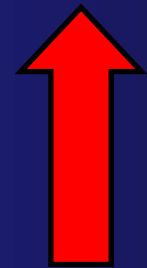
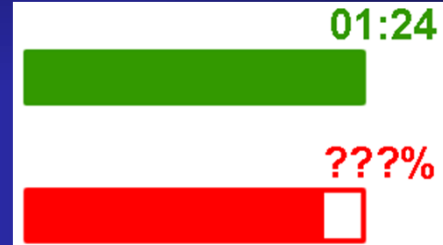
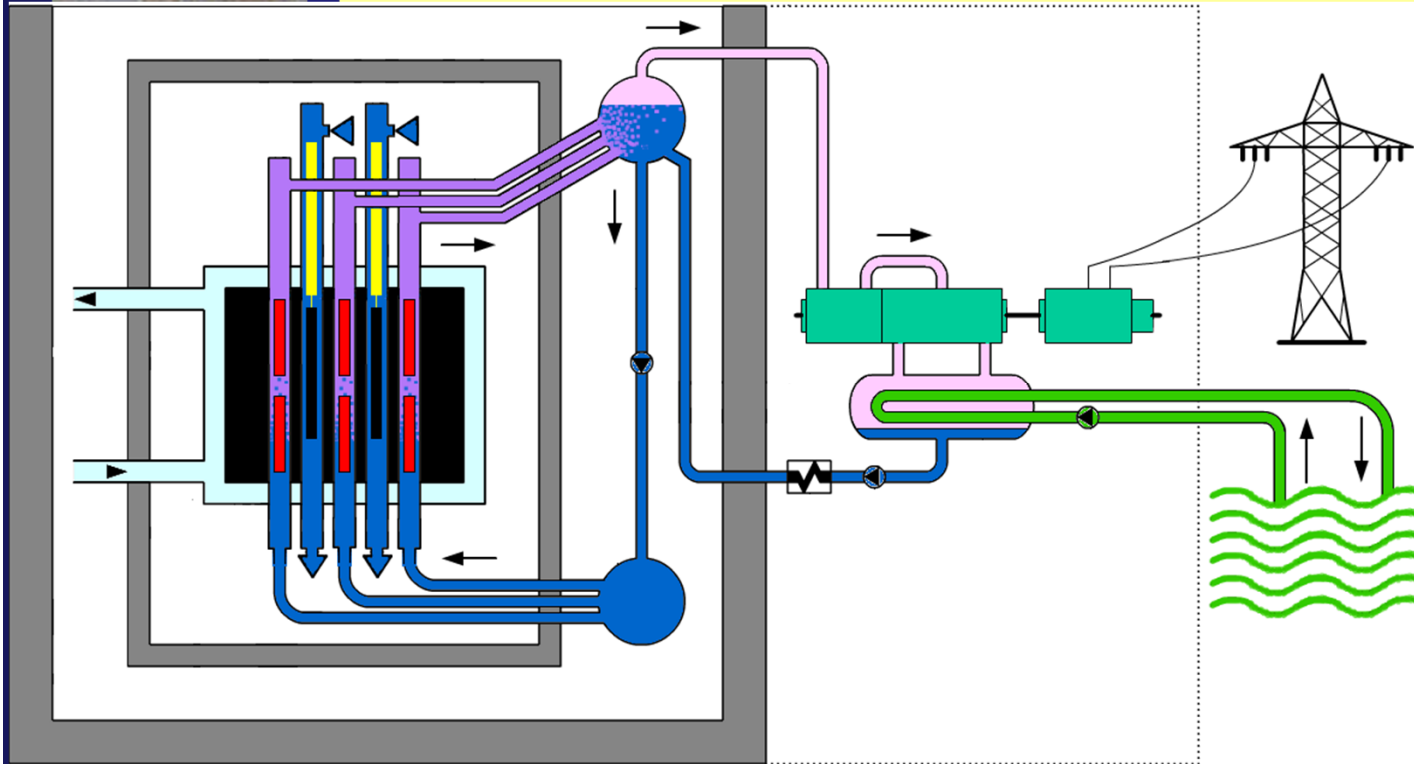
01:23:35 - a zónában a gőzfejlődés **szabályozhatatlanná** válik

01:23:40 - az operátor megnyomja a vészleállító gombot

Az abszorberok alatti grafit vizet szorít ki a csatornákból

⇒ **A pozitív visszacsatolás hatására a reaktor megszalad**



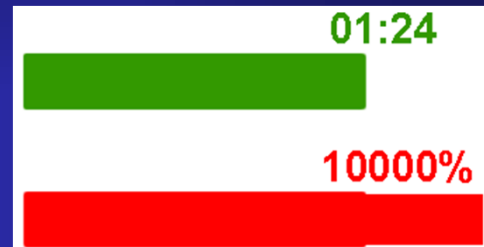
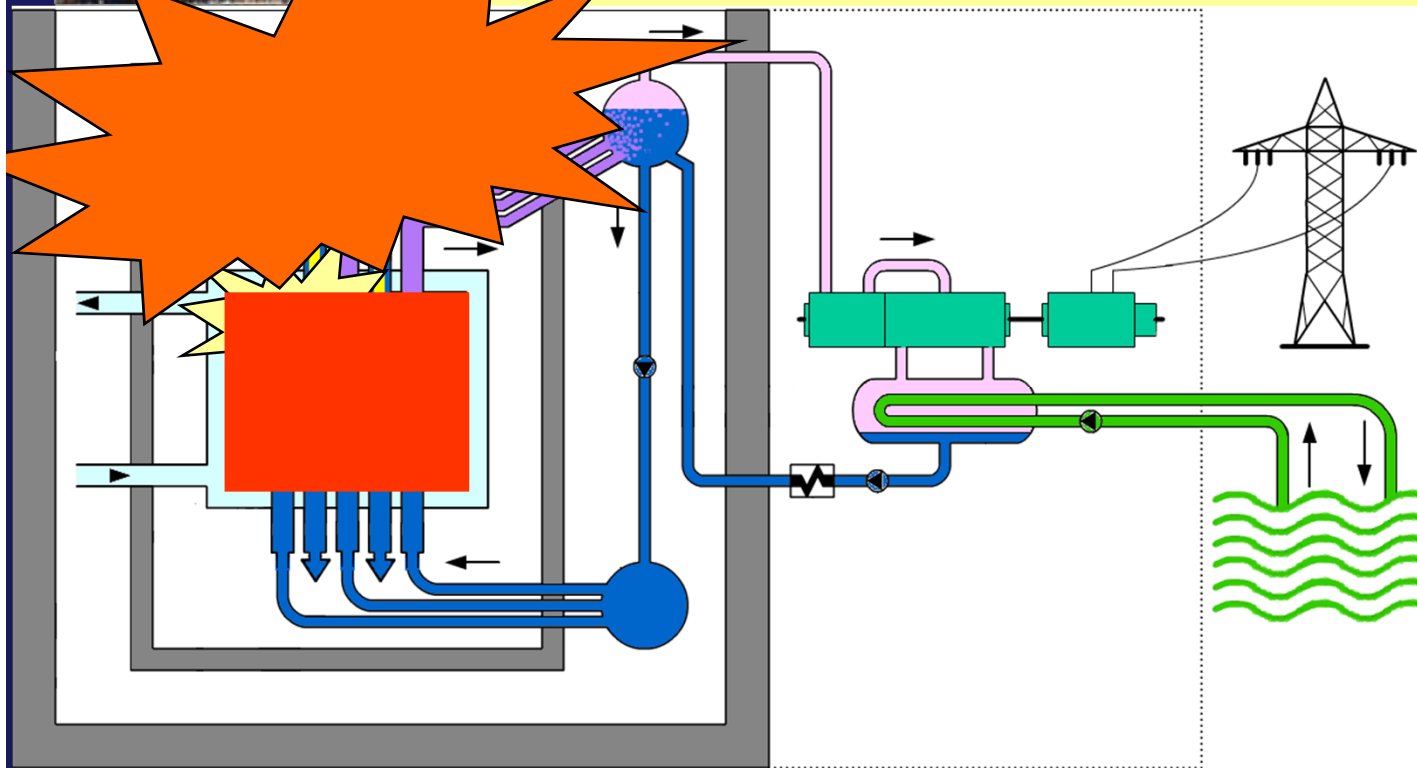


A KÍSÉRLET 1986. 04.26

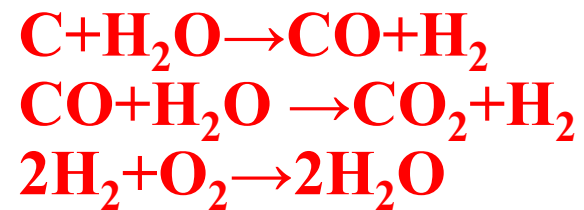
01:23:44 - a reaktor teljesítménye a névleges érték százszorosára nő

01:23:45 - a fűtőelem pálcák felhasadnak

01:23:49 - az üzemanyag csatornák fala felnyílik



A KÍSÉRLET 1986. 04.26
01:24
 gőzrobbanás
 gázrobbanás
 grafittűz





Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék

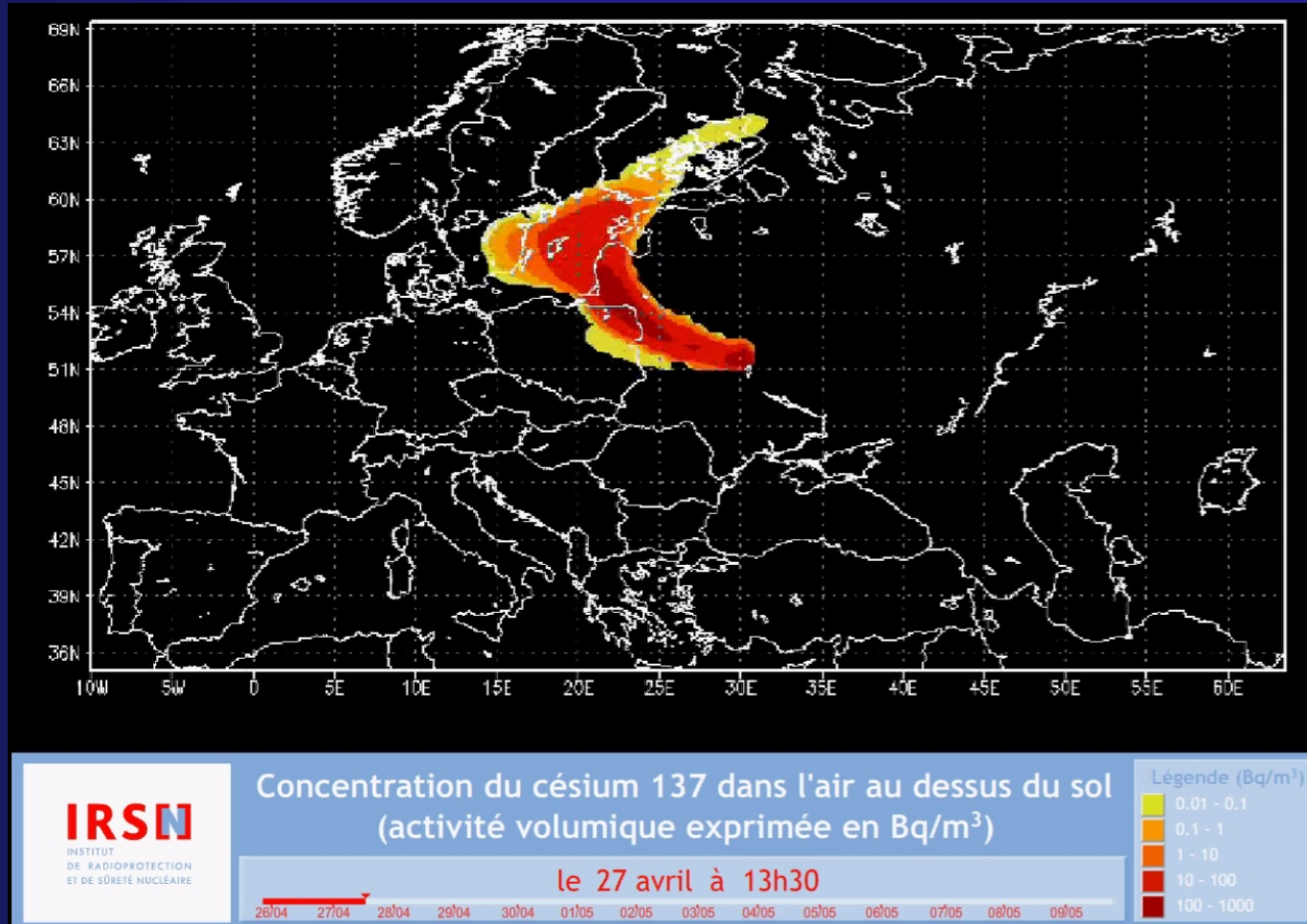


Csernobil leckéje

Középiskolai Fizikatanári Ankét
Nyíregyháza 2016. 11-14



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék



A radioaktív
felhőt vitte a
szél...



Csernobil következményei



1. Radioaktív szennyeződés

- Szétszóródott $3 \cdot 10^{18}$ Bq (az aktív zóna $3,5 \pm 0,5\%$ -a); a hirosimai bomba 100-szorosa; a magas légköri atomfegyver-kísérletek 1%-a (!)
- Legjobban elszennyeződött országok: Oroszország, Fehéroroszország, Ukrajna, Lengyelország, Skandináv országok, Németország, Ausztria, Románia stb.
- Élelmiszer elszennyeződése
- Termőföld elszennyeződése



2. Anyagi kár a volt Szovjetunióban

- **Elhárítás költsége: 35–45 Mrd rubel**
- **A reaktor értéke: 1 Mrd rubel**
- **Szennyezett földek teljes területe: 31500 km²**
- **Szigorúan ellenőrzött terület: az erőmű 30 km-es sugarú körzete**
- **Leállítottak 18 reaktort; együttes teljesítményük 31400 MW (4-szer a teljes magyar rendszer)**
- **Teljes kár 30-130 Mrd dollár**



3. Egészségügyi következmények

- **Likvidátorok (860 ezer):**

- **Az elhárításban közvetlenül résztvevő 237 ember közül 134 akut sugárbeteg (28 meghalt).**
- **3 halott a robbanáskor.**
- **A balesethez biztosan köthető (legfeljebb) 50 ember halála.**
- **Az utóhatásként jelentkező végzetes rákos megbetegedések száma csak becsülhető: 2200 (a mentésben résztvevők közül).**



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék



- **Lakosság:**
 - **Kitelepítettek száma 350 ezer.**
 - **Szennyezett területen élők száma 4,5 millió.**
 - **Az utóhatásként jelentkező végzetes rákos megbetegedések száma 1800-ra becsülhető.**
 - **4000 gyermekkori pajzsmirigyrákos eset (15 meghalt).**
 - **Sem genetikai, sem többlet fejlődési rendellenességet kimutatni nem sikerült.**



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék



- **Általános vélemény, hogy a legtöbb áldozat a lakosság pszichés állapotának tulajdonítható.**
- **Példa: amikor a likvidátorokat hivatalosan „csernobili rokkantnak” minősítették, legtöbbjük összeomlott, inni, kábítószerrezni kezdett, mentális betegségek léptek fel, sokan öngyilkosok lettek.**
- **NAÜ adatok szerint 100-200 ezer nő vetette el a gyermekét Európában (teljesen feleslegesen).**



Magyar helyzet

- **A legszerencsésebbek közé tartozunk: a lekötött dózis 1 mSv alatt van **70 év** alatt.
(a természetes háttérsugárzásé: 2,4 mSv/év)**
- **Rákos esetek nem lesznek kimutathatók.**
- **Magyarország átlagos felületi szennyezettsége 100-szor kisebb, mint azoké a volt szovjet területeké, ahonnan embereket kitelepítettek.**
- **A legszennyezettebb Budapest volt.**



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi
Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**



A tájékoztatás manipulációja



Csernobil leckéje

Középiskolai Fizikatanári Ankét
Nyíregyháza 2016. 11-14

(Szatmáry Zoltán prof. emeritus)

37



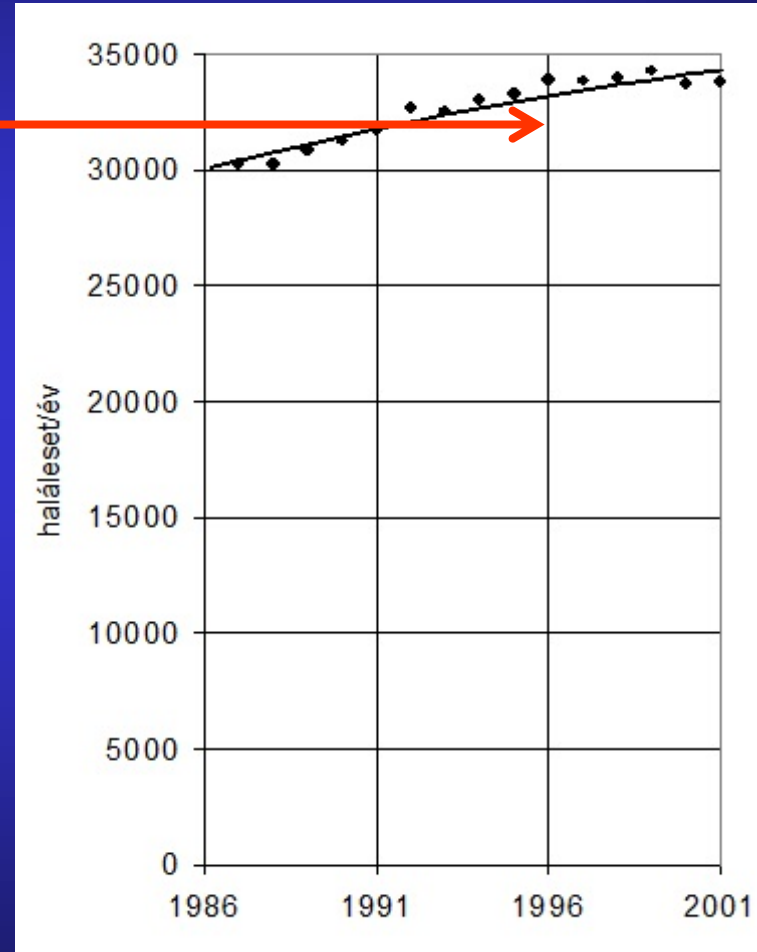
A tájékoztatás manipulációja

- „Magyarországon 1986 után jelentősen megnőtt a rákos halálesetek száma. A többletesetek száma kerekén 37 ezer. Ezek mind Csernobil áldozatai.”
- Számos orvos is így gondolkodik, és továbbmegy: „Ha 10 millióból ennyi áldozat van, a 440 milliós EU-ban 44-szer ennyi: 1,63 millió.”
- Többek között így keletkezik a sok millió áldozat mítosza. Nézzük, miről is van szó!



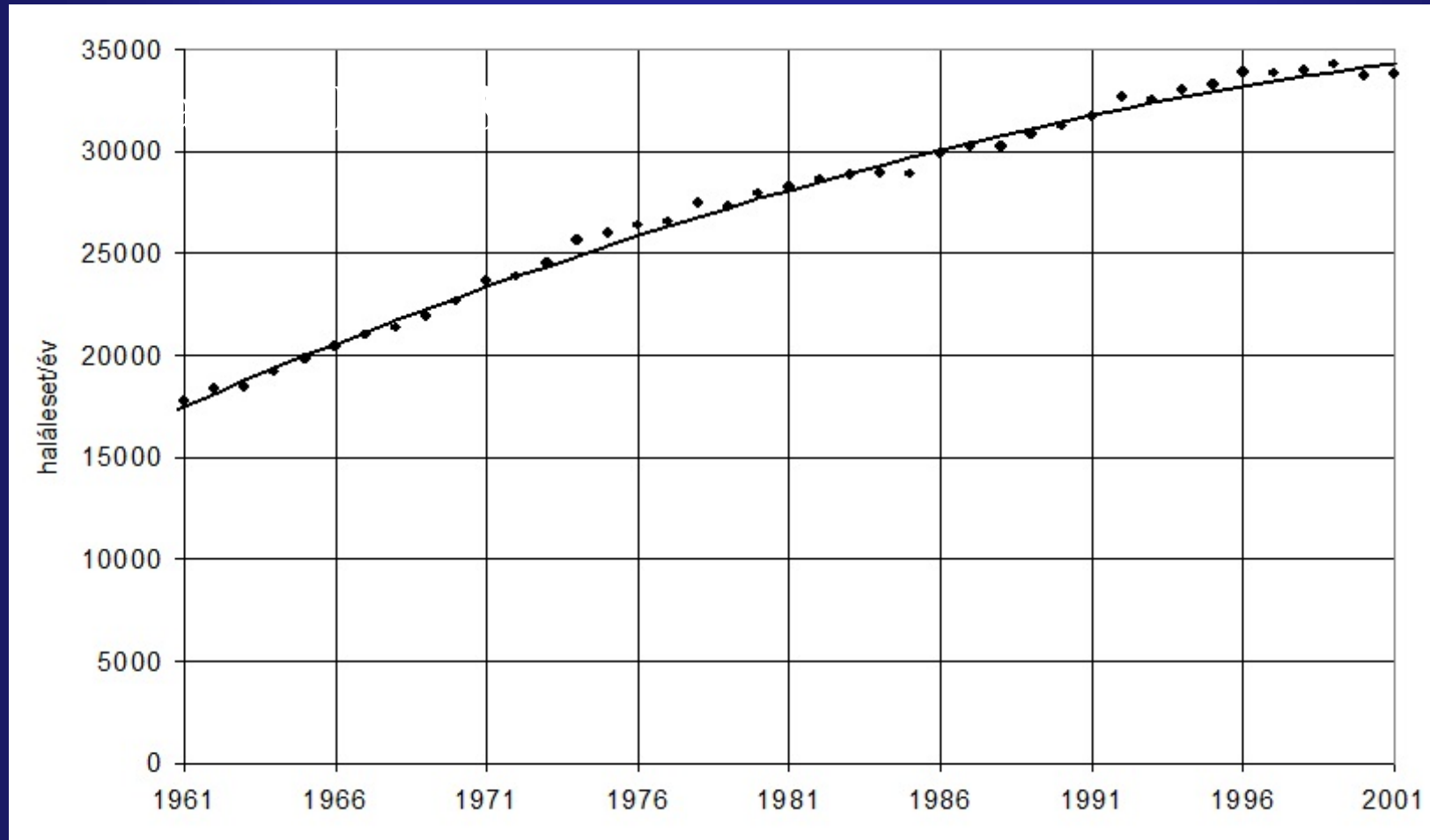
Magyarországi rákos halálozások számának alakulása

Ez a terület a 37000





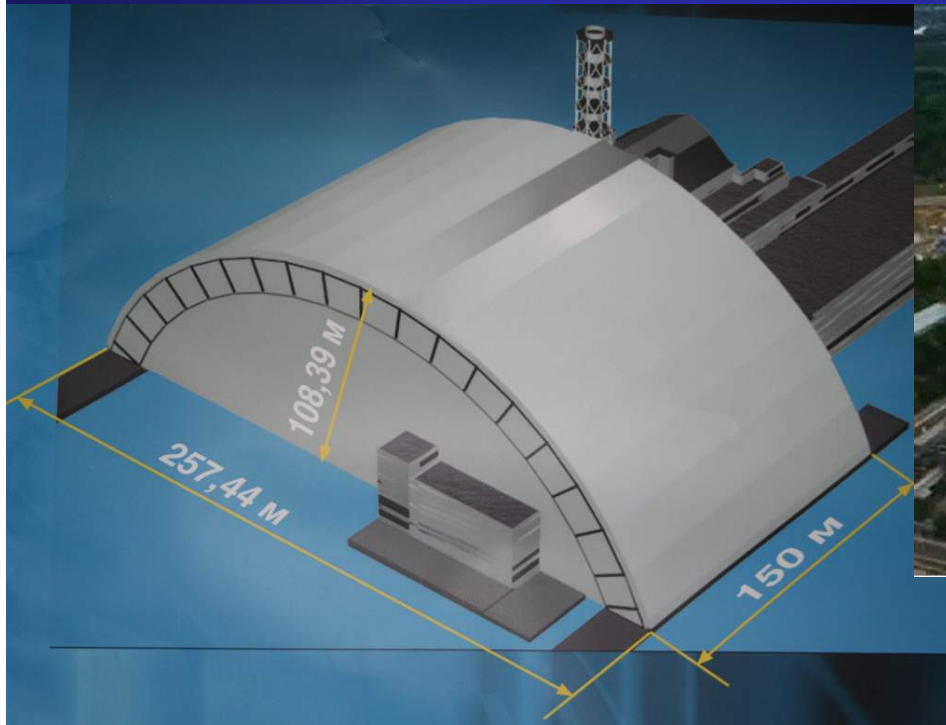
Magyarországi rákos halálesetek számának alakulása





Hogyan tovább Csernobil?

Az új fedél



Nemcsak hermetikusan lezárja a környezettől, de lehetővé teszi a sérült reaktor majdani biztonságos lebontását is.



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi
Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék**



**Sokat tanultunk Csernobilból és Fukusimából.
Az ott tanultak beépültek a modern atomerőművek
biztonsági rendszereibe, és biztosítják, hogy többé
ilyen baleset ne fordulhasson elő.**

**Felhívom a figyelmet a Magyar Nukleáris Társaság
„Csernobil 30” rendezvényére is:**

2016. április 21. csütörtök 17h

Bp. ELTE Északi tömb Pócza Jenő terem (1.71)

Köszönöm a megtisztelő figyelmüket!