



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi
Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék



Csernobil



Dr. Sükösd Csaba
c. egyetemi tanár

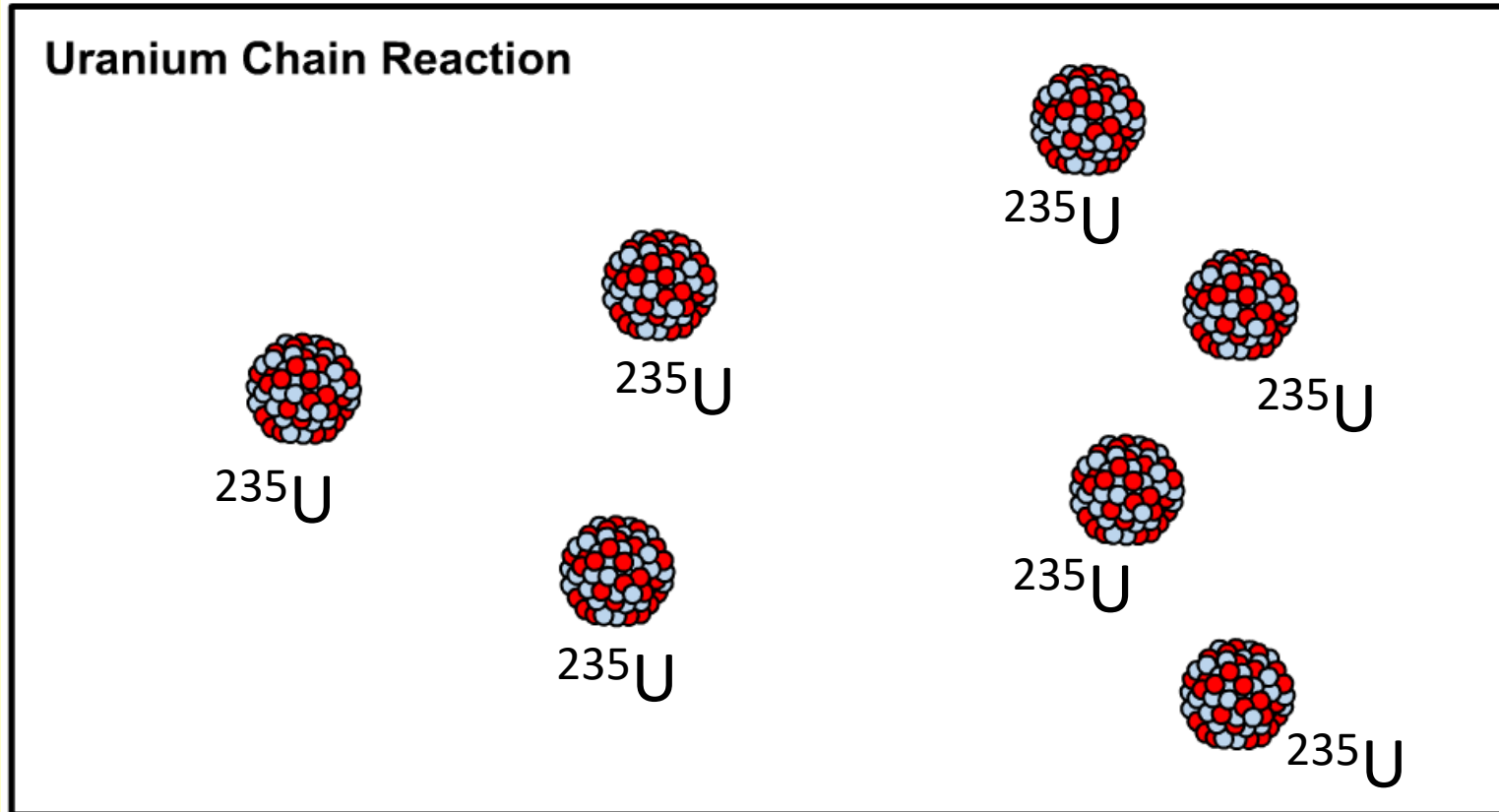


Miről lesz szó?

- **Néhány (reaktor)fizikai jelenség, ami a megértéshez kell**
- **A csernobili erőmű néhány sajátossága**
- **A baleset lefolyása**
- **A baleset következményei**
- **Magyarországi helyzet**
- **A tájékoztatás manipulációja...**
- **Hogyan tovább Csernobil? (Az új fedél)**
- **Csernobil és a háború**



Maghasadáson alapuló láncreakció neutronokkal



A láncreakció szabályozása a neutronokkal lehetséges



A láncreakció **fékezése**: neutronok elnyelésével

Minden anyag nyel el neutronokat, de vannak, amelyek ezt nagyon nagy valószínűséggel teszik.

Ha ilyen anyagokat juttatunk be a reaktorba, az **fékezi**, és akár **le is állítja** a láncreakciót.

Nagyon **jó** neutron-elnyelő a kadmium (Cd), a bór (B), vagy a ^{135}Xe .

A normál **víz** is elnyel valamennyire

Rossz neutron-elnyelő a tiszta grafit és a **nehésvíz**



Bór-karbid, vagy kadmiumozott acél **szabályozó** rudak



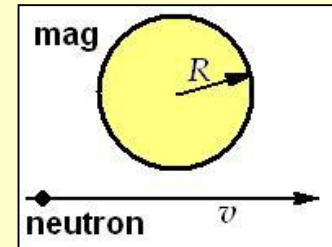
A láncreakció **segítése**: neutronok lassításával

A maghasadás során **gyors** neutronok keletkeznek.

Különböző sebességű neutronok másképp viselkednek.
Érdekes, hogy a lassú neutronok „hatékonyabbak” !

Magyarázat: hosszabb ideig vannak
közel a maghoz, több idő van a
köölcsönhatásra

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



- **n-lassítás**: könnyű atommagokkal ütköztetve (**moderátor**)
Persze általában több ütközés kell (elég széles anyagréteg)
- Legjobb moderátorok: **nehésvíz**, **grafit** (könnyű **víz** el is nyel)

Fontos!

A moderátor SEGÍTI a láncreakciót!!



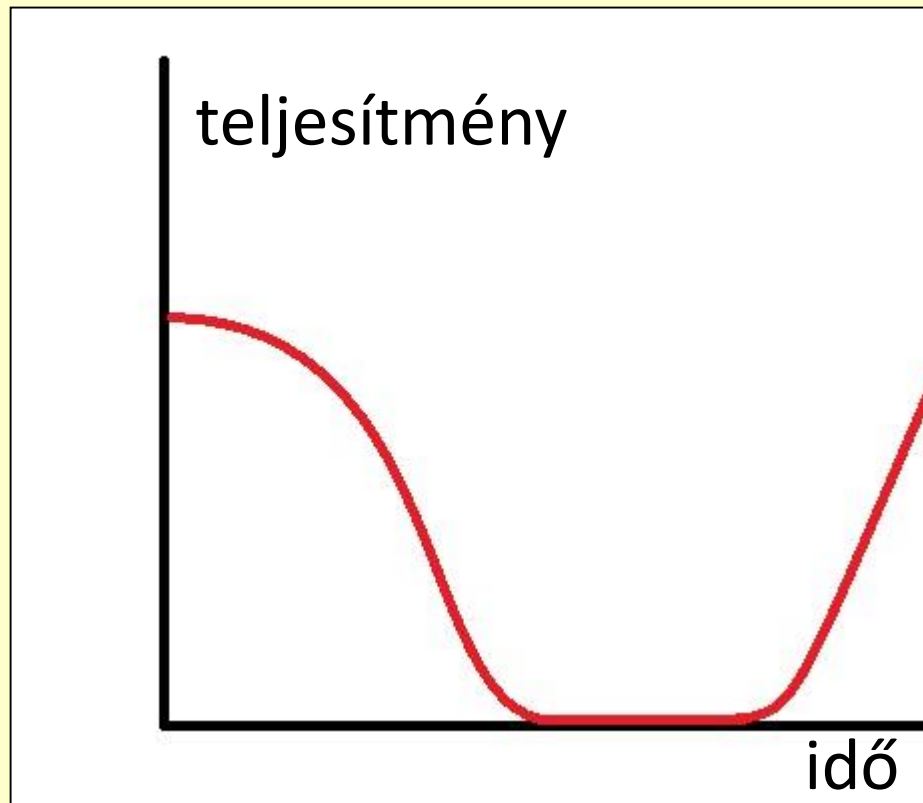
Hanfordi rejtély

Hanfordi reaktor

1944. szept. 27:

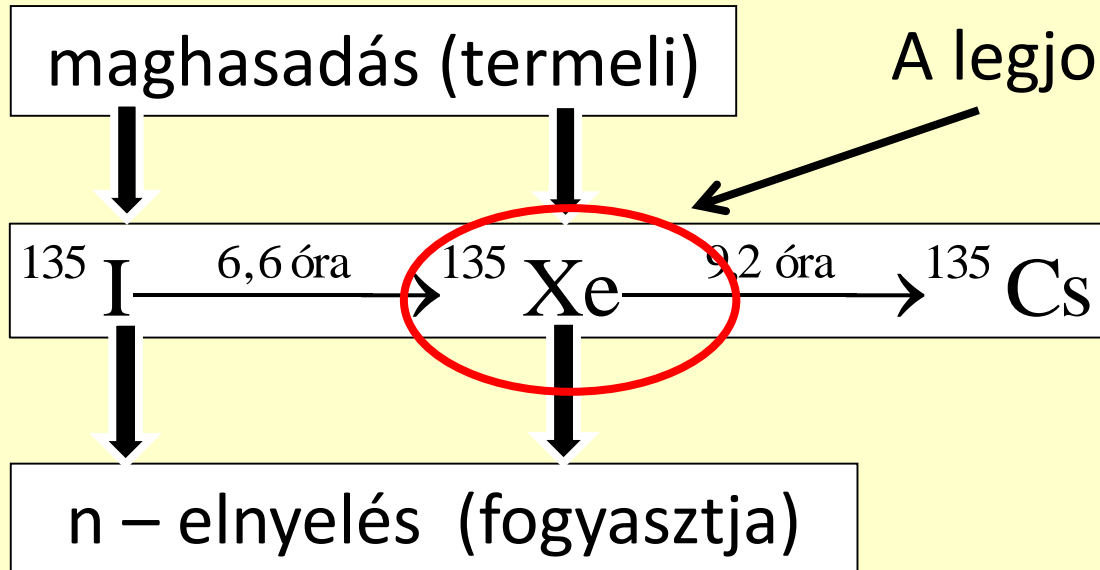
Anélkül, hogy
hozzányúltak
volna a
reaktorhoz!!

MI LEHET EZ?

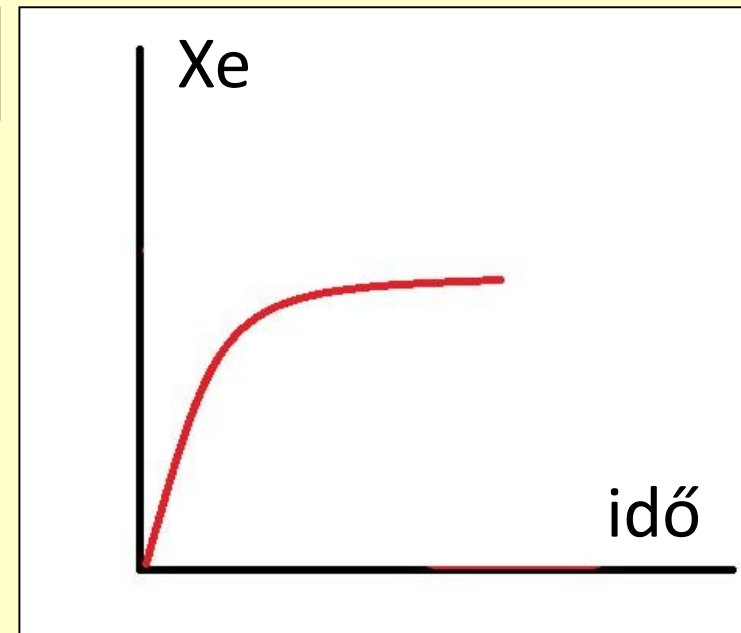




A megoldás: a Xe mérgeződés

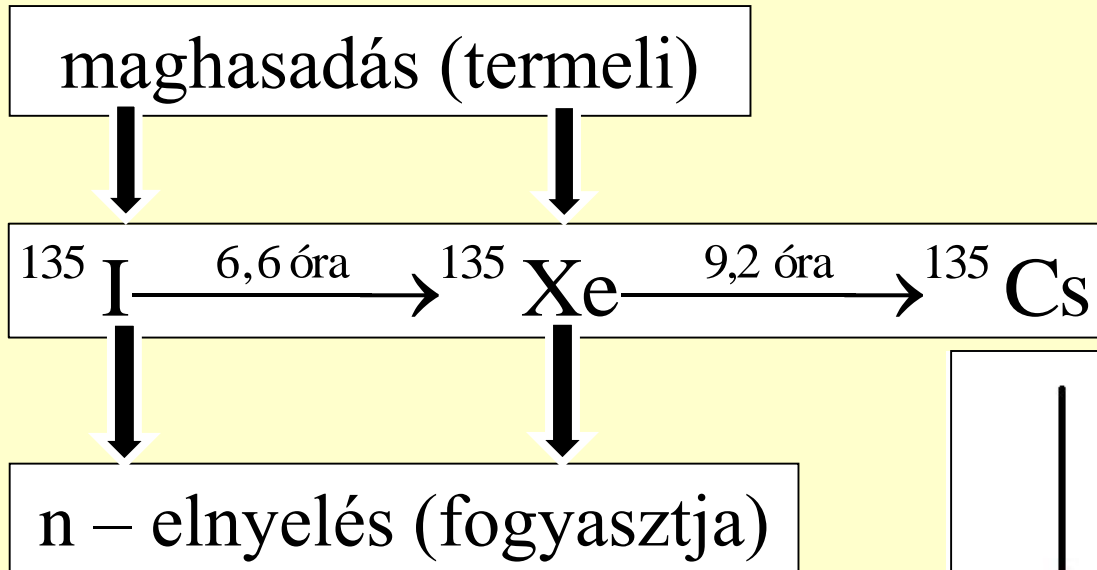


Amíg a reaktor megy,
egyensúly áll be (ha ki lehet
kompenzálni az elnyelést).

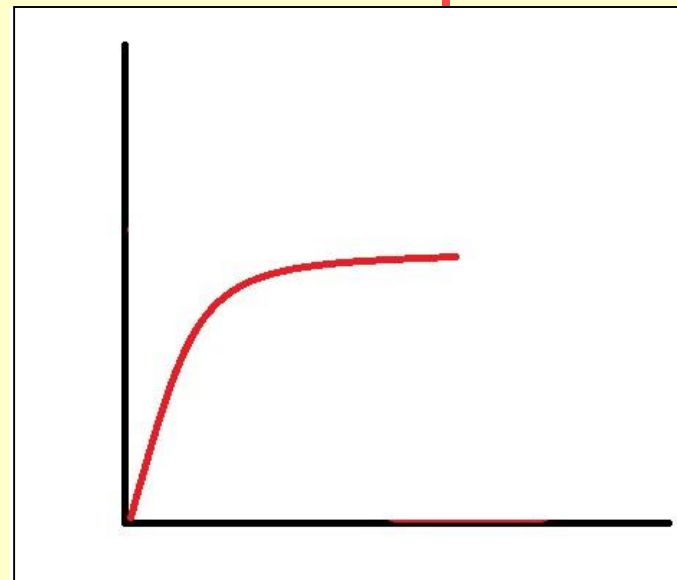




Amíg nagyreaktoron áll:



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:

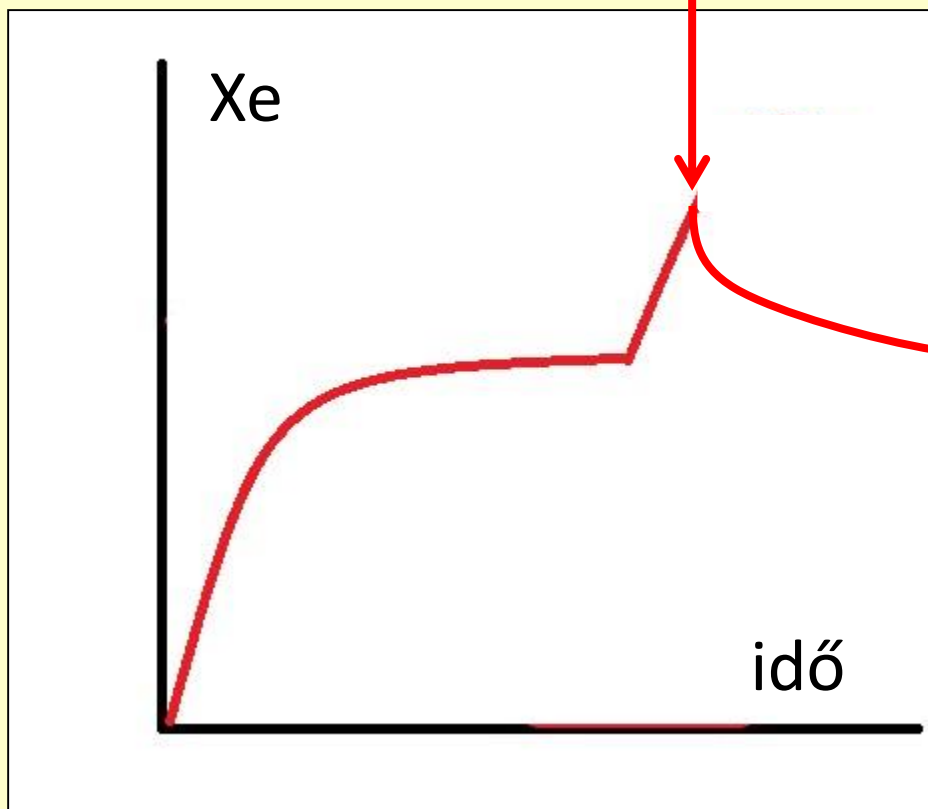
Növekvő teljesítmény →

csökken az elnyelés →

még tovább növekszik a
teljesítmény...

Pozitív visszacsatolás!!!

Instabilitás!!

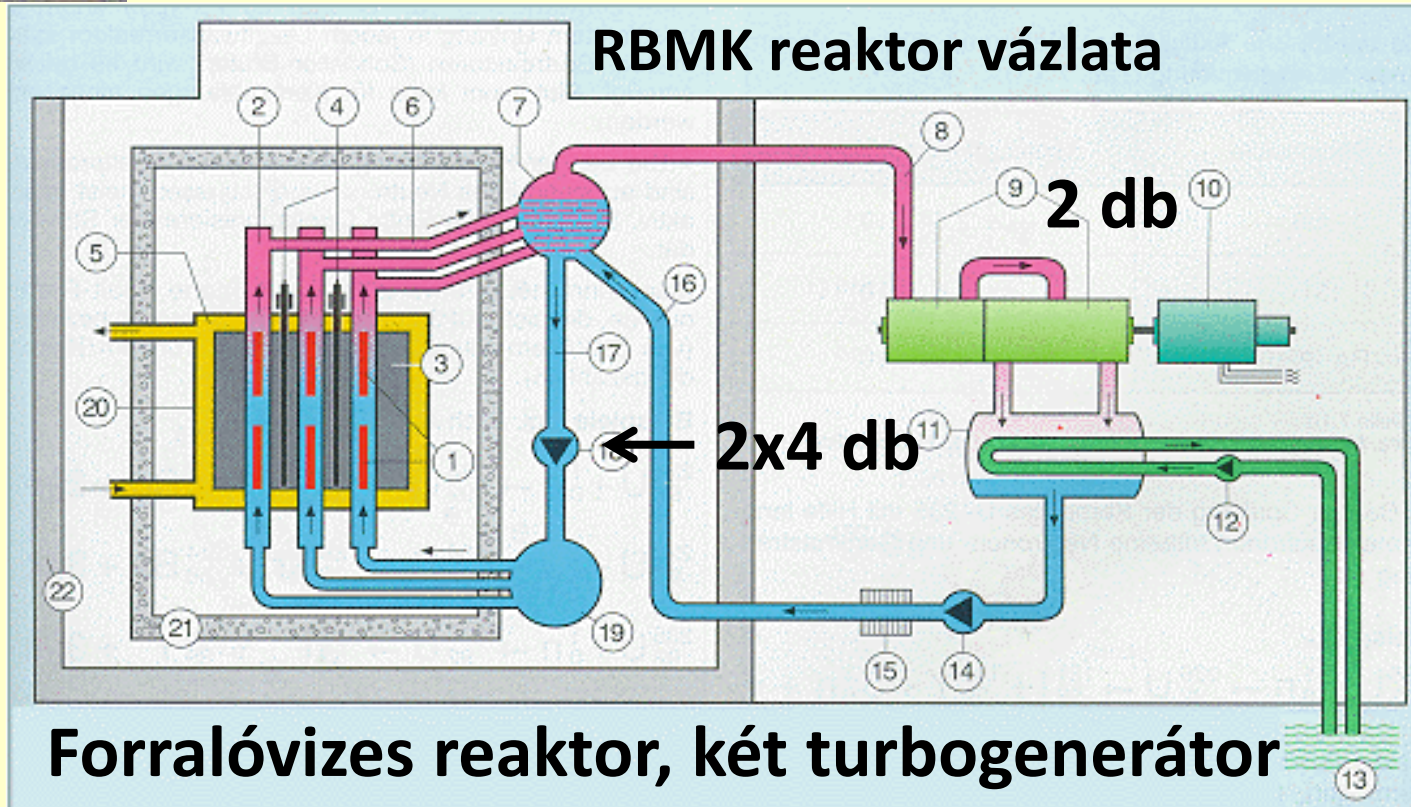




Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék



A csernobili (RBMK) reaktor néhány sajátossága



- 1 Urán üzemanyag
- 2 Hűtőcső
- 3 Grafit moderátor
- 4 Szabályozórúd
- 5 Védőgáz
- 6 Vízfűtés

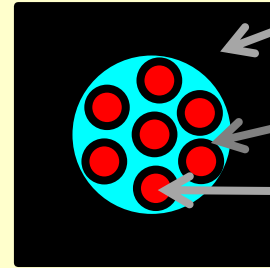
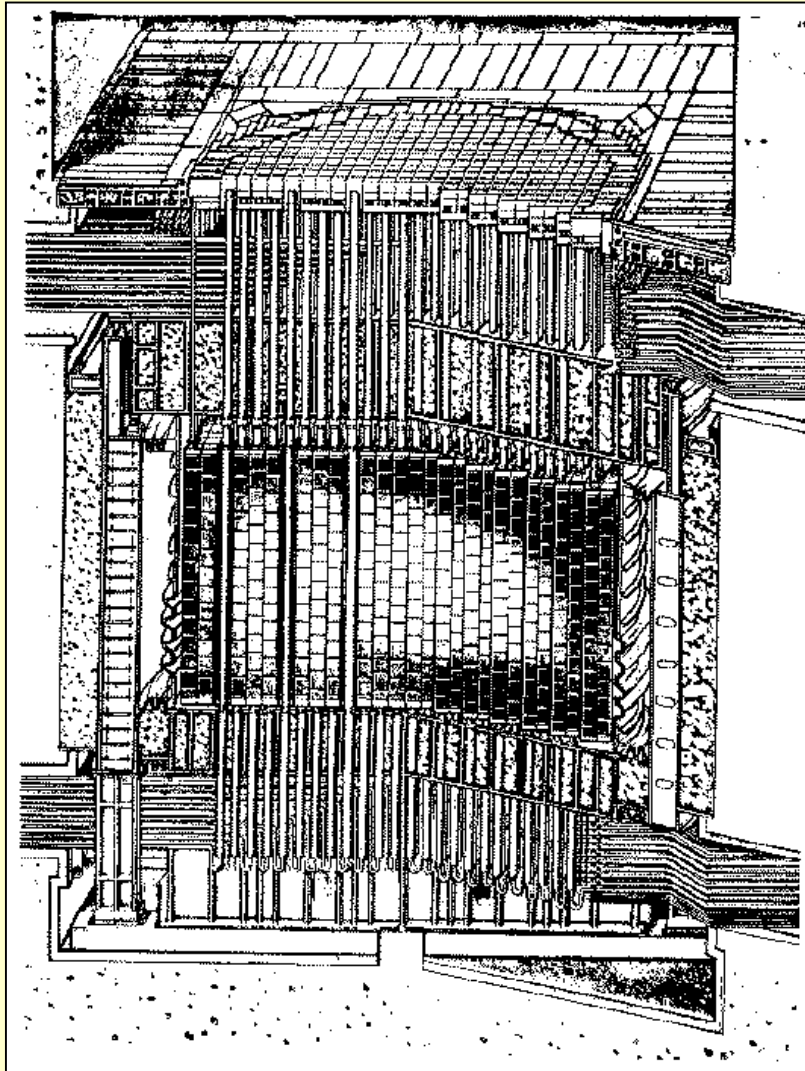
- 7 Cseppleválasztó/gőzdob
- 8 Gőz a turbinához
- 9 Gőzturbina
- 10 Generátor
- 11 Kondenzátor
- 12 Hűtővíz szivattyú

- 13 Hőelvezetés
- 14 Tápvíz szivattyú
- 15 Tápvíz előmelegítő
- 16 Tápvíz
- 17 Víz visszafolyás

- 18 Keringtető szivattyú
- 19 Vízelosztó tartály
- 20 Acélköpeny
- 21 Betonárnyékolás
- 22 Reaktorépület



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék



grafit, 25x25x700 cm

hűtővíz

üzemanyag pálcák
(18 db/köteg) 1661 köteg

dúsítás: 2% UO_2

Szabályozó rúd (235 db)

bór-karbid (n-elnyelő)

víz

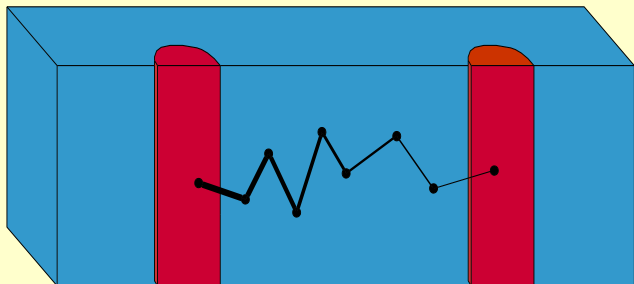
grafit (moderátor)

víz

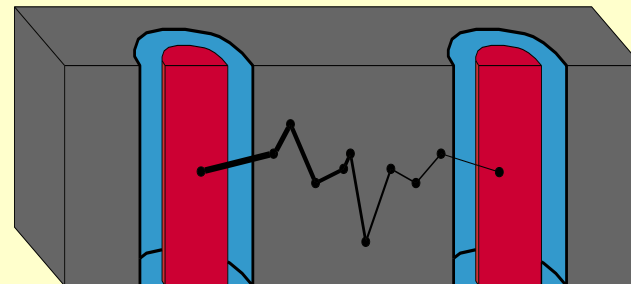
A víz miatt lassú
mozgás! ~18 s



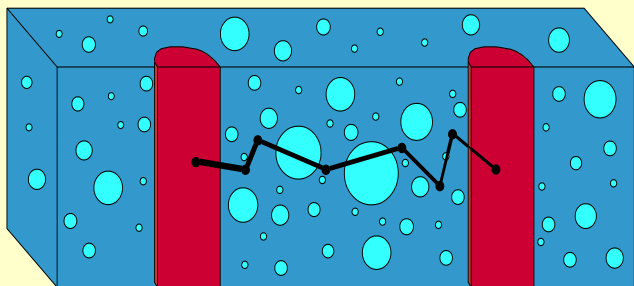
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék



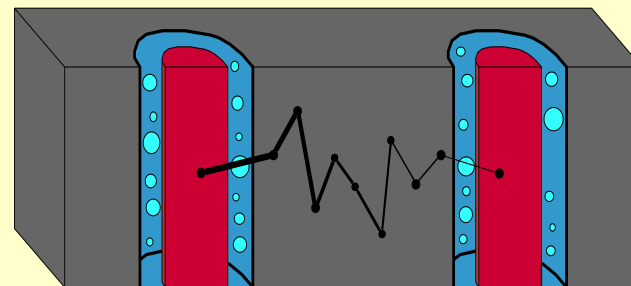
**A víznek kettős szerepe van:
főleg moderátor (és n-elnyelő)**



**A víz lényegében csak
n-elnyelő, a grafit a fő moderátor**



**Nyomott vizes reaktor
(pl. Paks)**



Csernobili reaktor

A moderátor segíti a láncreakciót, a n-elnyelő gátolja!



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék



A baleset lefolyása



Motiváció a „kísérletre”:

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

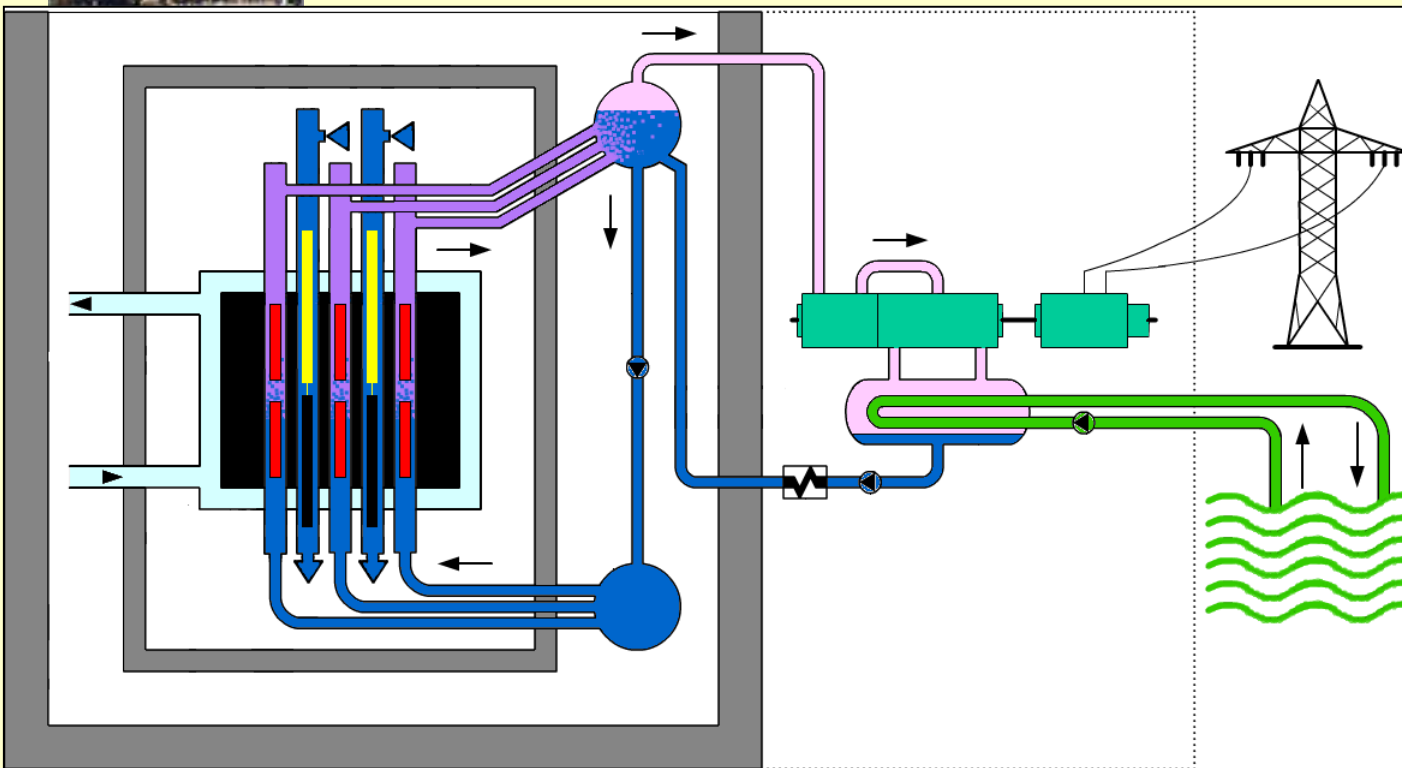
Ilyenkor diesel-generátorok indulnak be, de ez néha hosszú percekig is tarthat. (Ez Fukusimában is megtörtént, de...)

Át kellene hidalni ezt az időt!

Ötlet: a turbinák meglévő forgási energiáját lehetne hasznosítani, és azzal termelni villamos energiát.

Ehhez megfelelő gerjesztési profilt kell kikísérletezni...

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



01:06



100%

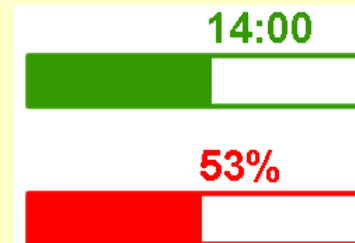
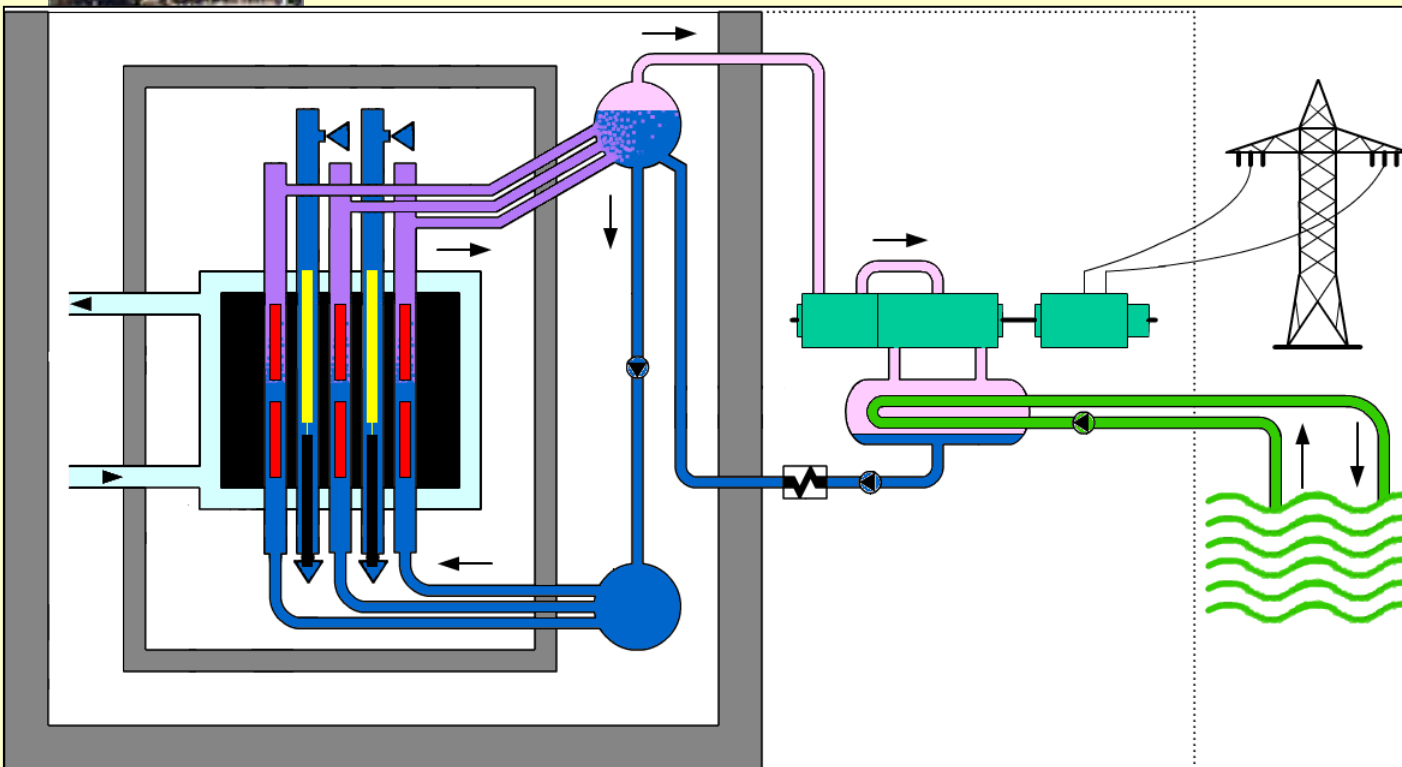


ELŐZMÉNYEK 1986.04.25

Tervezett karbantartási leállítás 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



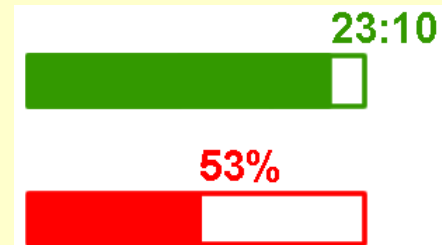
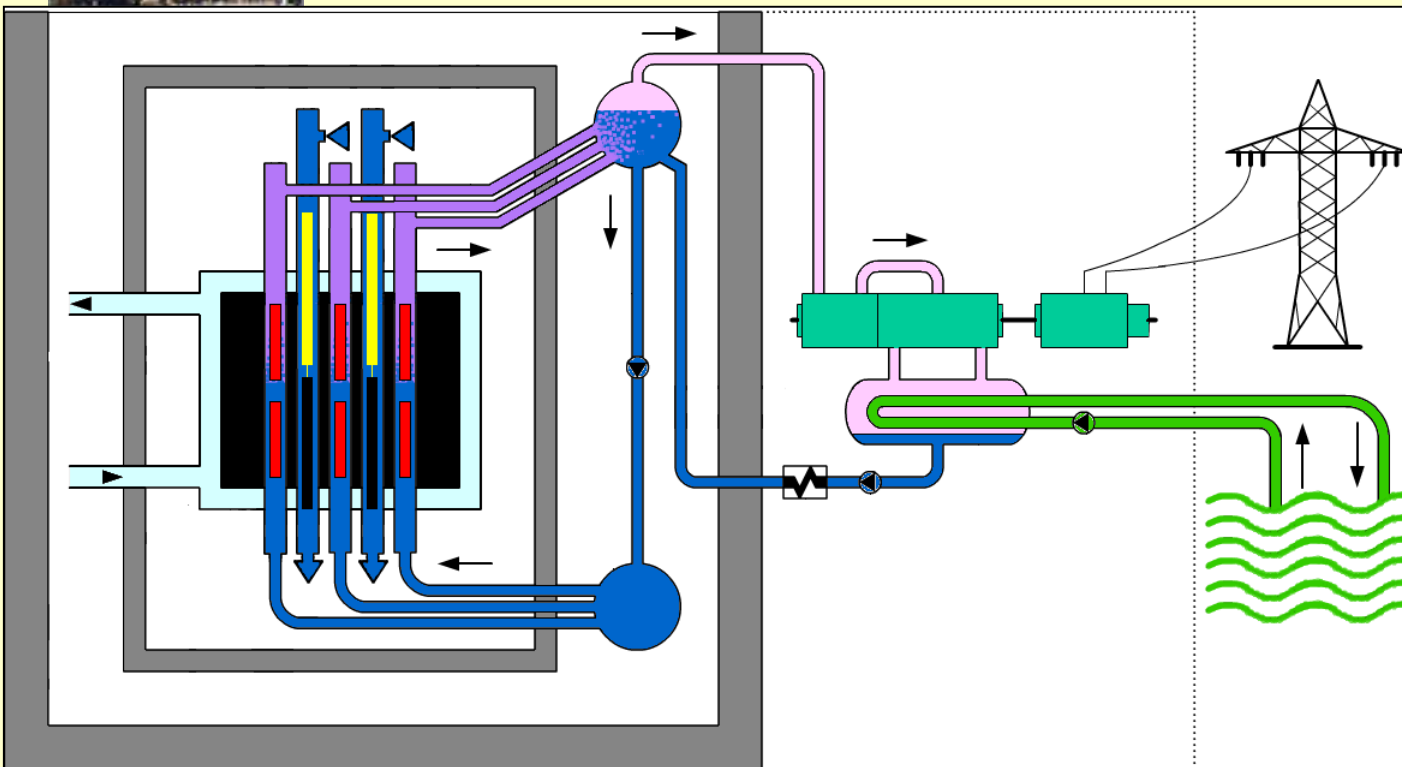
ELŐZMÉNYEK 1986. 04.25

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



FELKÉSZÜLÉS A KÍSÉRLETRE 1986. 04.26

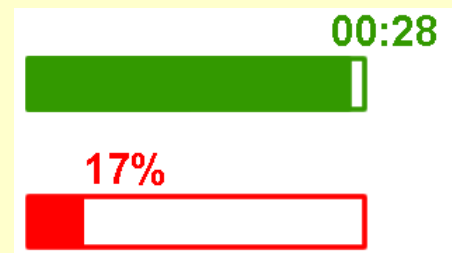
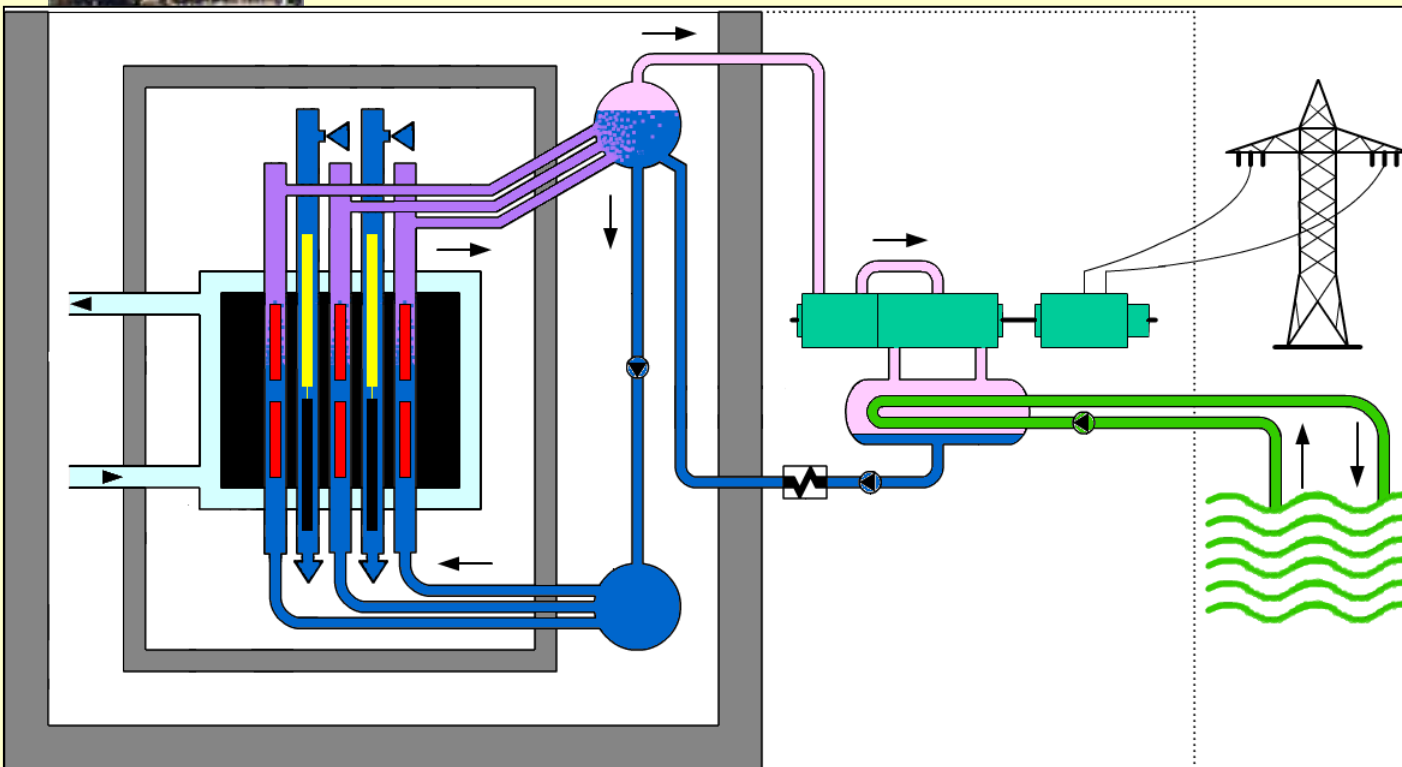
23:10 - a teherelosztó engedélyt ad a leállásra

24:00 - műszakváltás

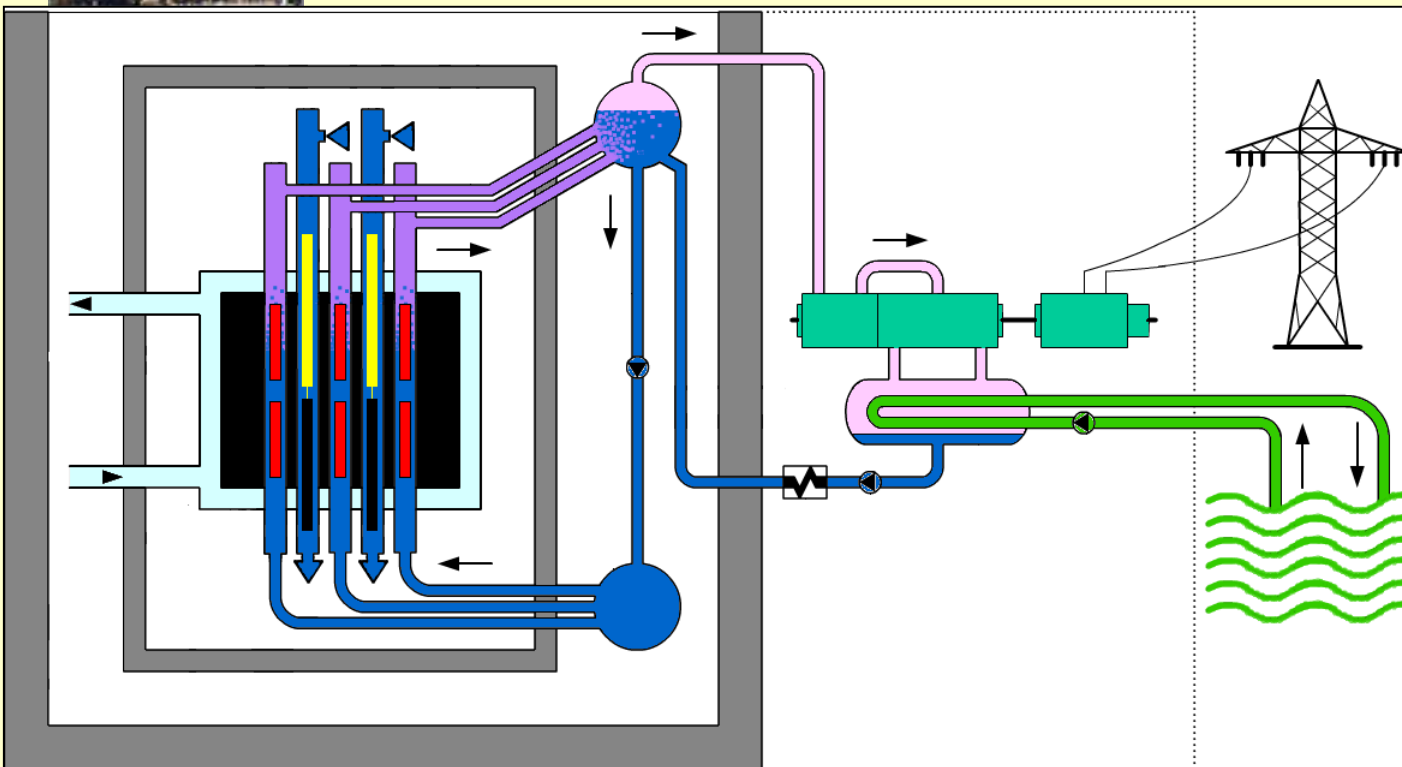
00:05 - a reaktor teljesítménye 24%-on -

e teljesítmény alatt pozitív a visszacsatolás!






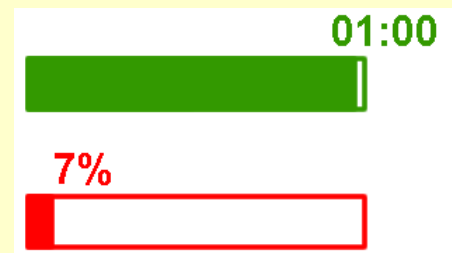
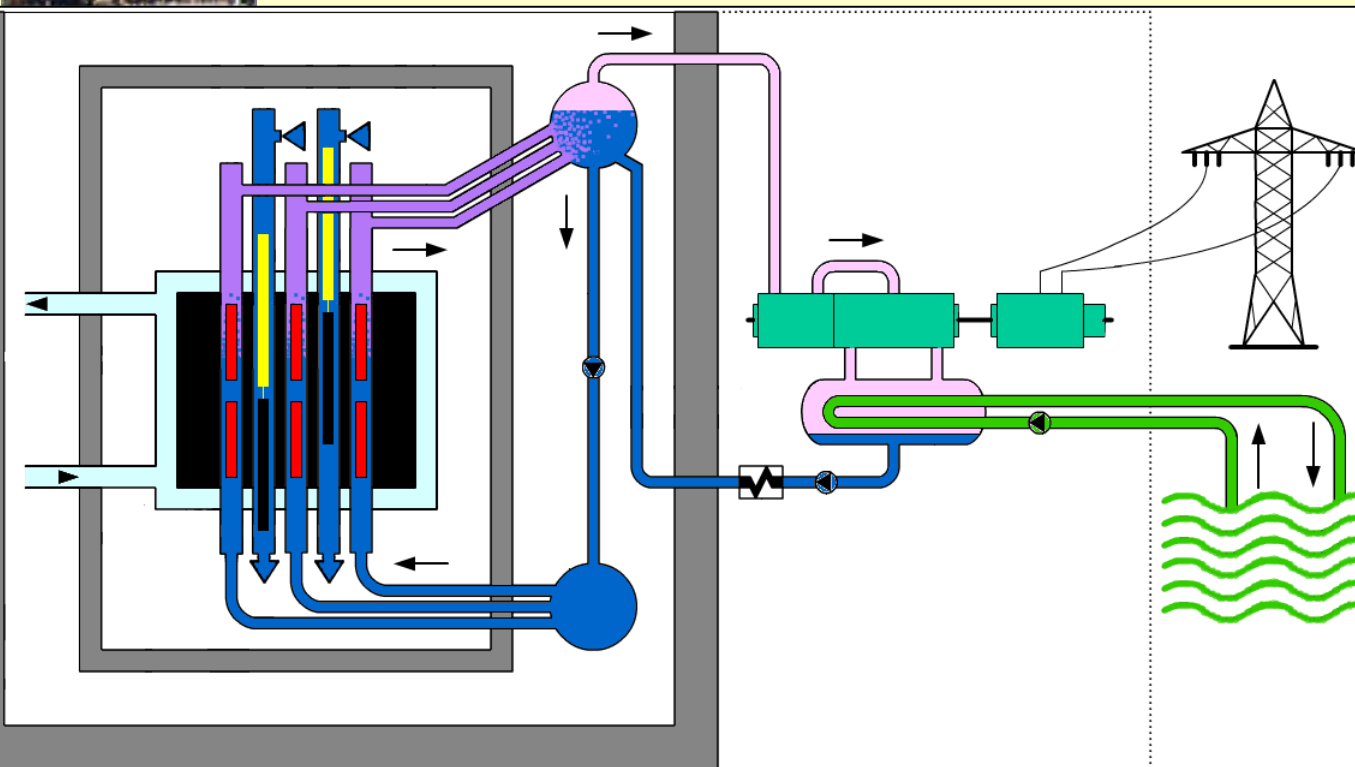
FELKÉSZÜLÉS A KÍSÉRLETRE 1986. 04.26
00:28 - a reaktor teljesítménye 17%-on
00:30 - operátori vagy műszerhiba miatt a reaktor teljesítménye 1%-ra esik



00:32

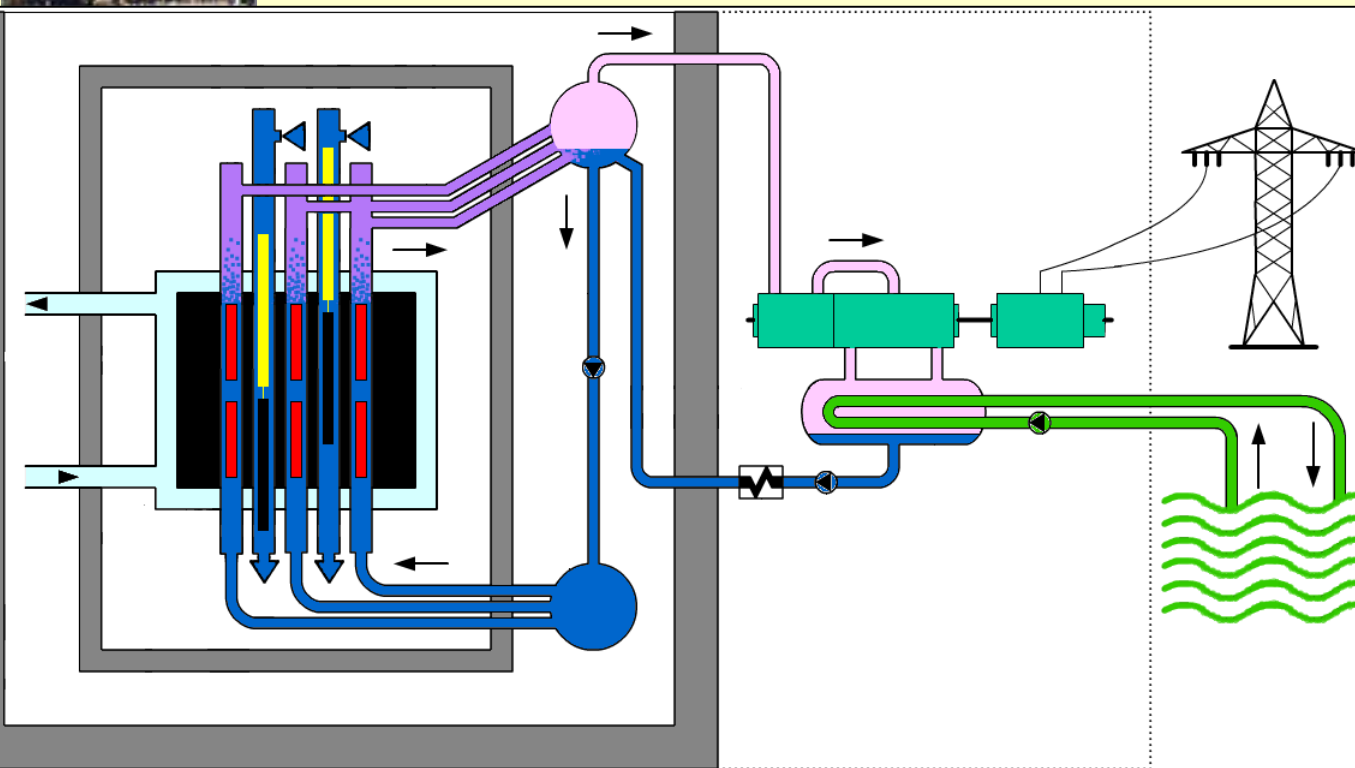
1%

FELKÉSZÜLÉS A KÍSÉRLETRE 1986. 04.26
00:32 - az operátor a teljesítménycsökkenés ellensúlyozására szabályozó rudakat húz ki a zónából
Az engedélyezetttnél 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%

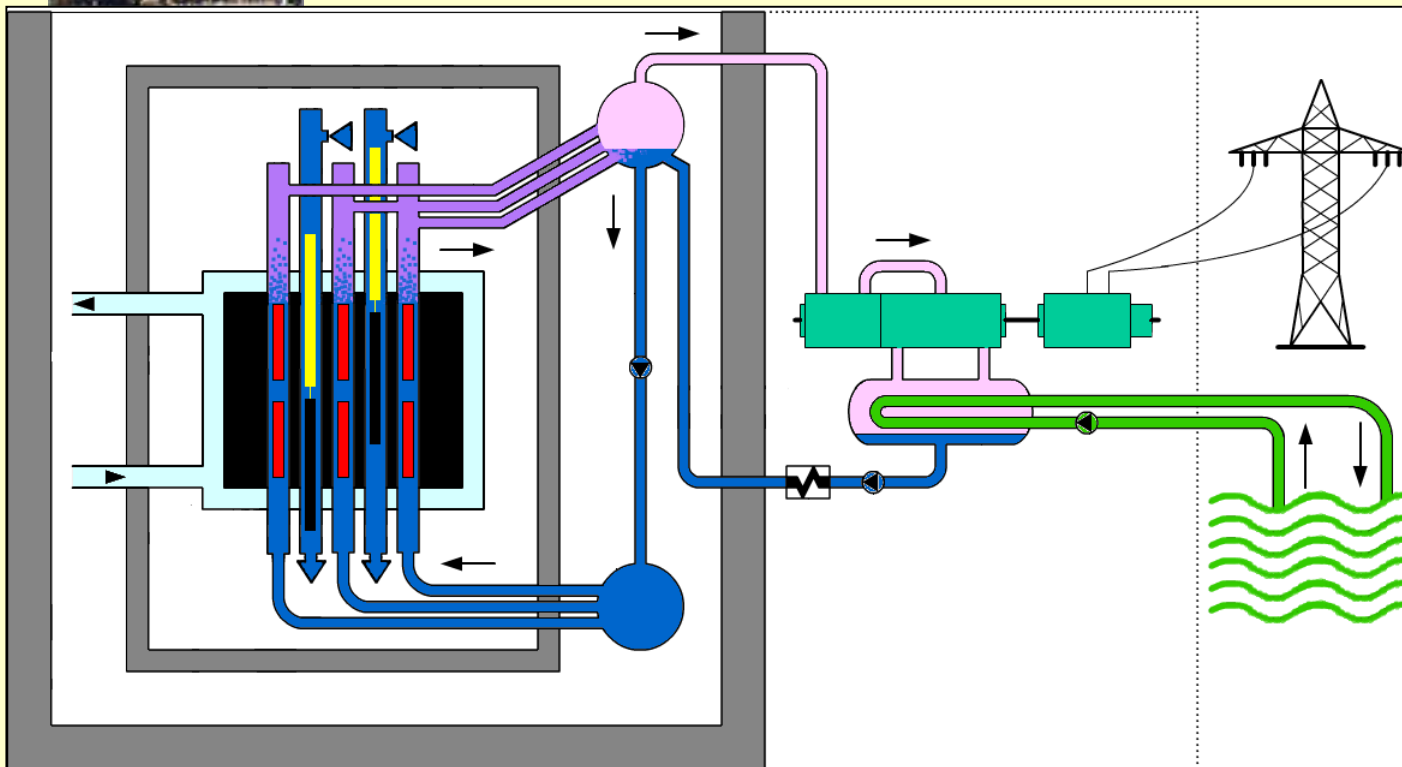


FELKÉSZÜLÉS A KÍSÉRLETRE 1986. 04.26

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%



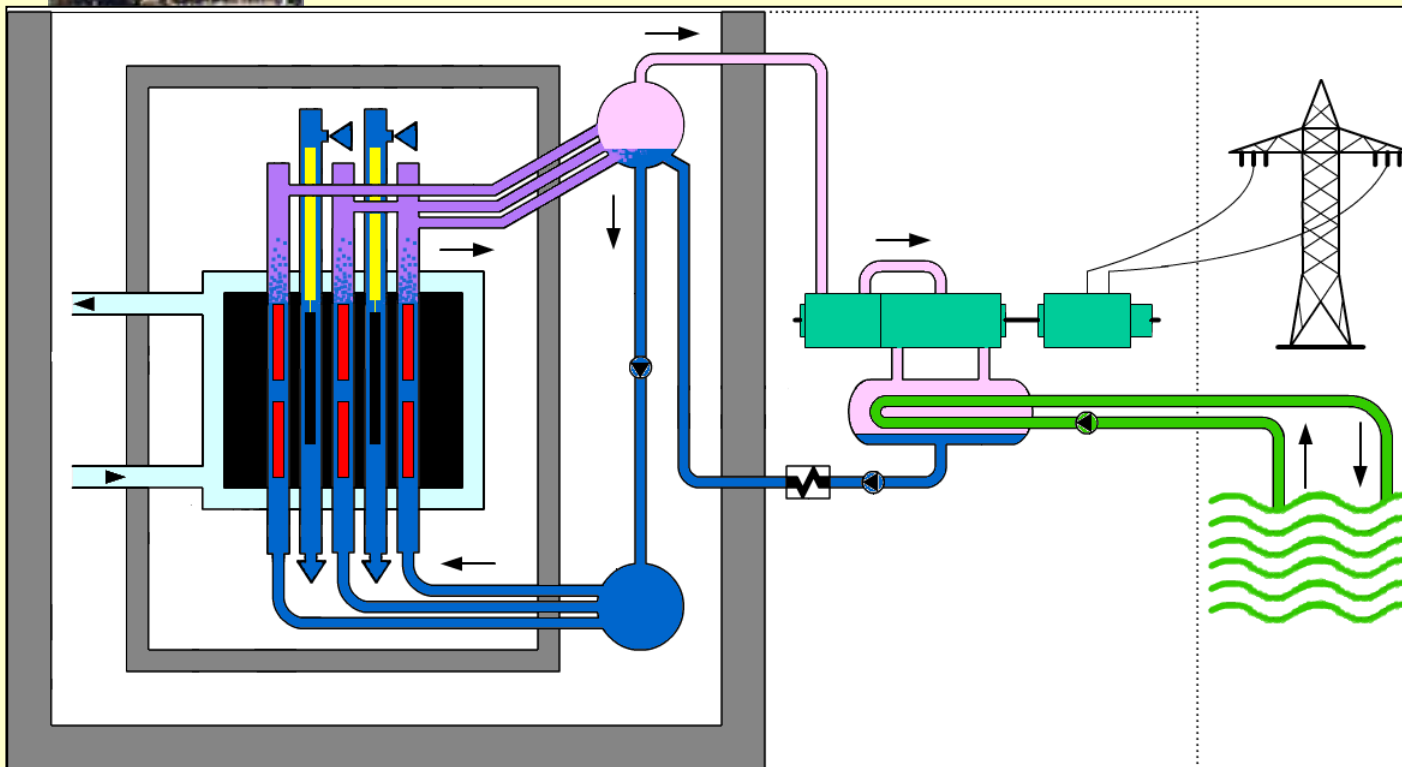
A KÍSÉRLET 1986. 04.26

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



01:23:04 - lezárják a második turbina gyorszáróit

01:23:10 - az automatika szabályozó rudakat húz ki



01:23



7%



A KÍSÉRLET 1986. 04.26

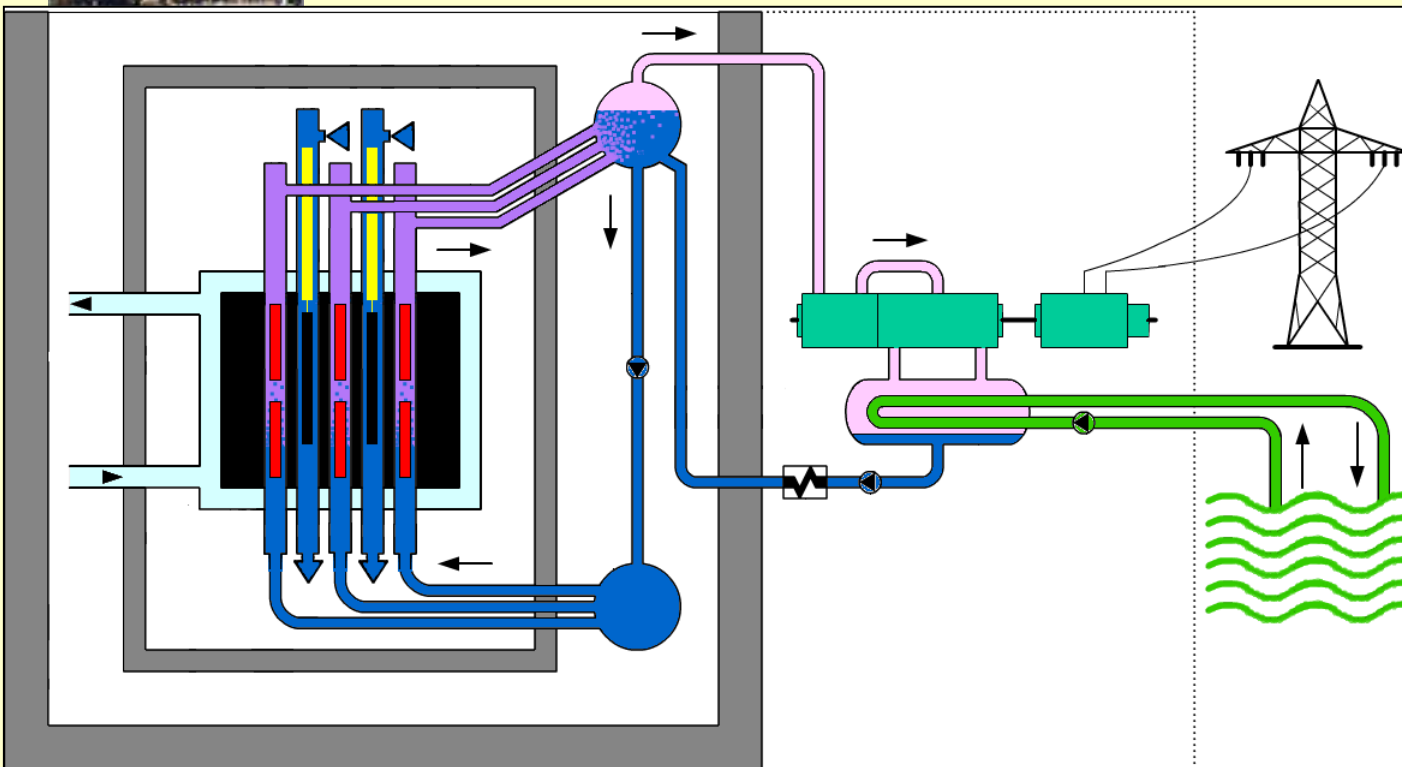
01:23:35 - a zónában a gőzfejlődés **szabályozhatatlanná** válik

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

Az abszorberek alatti grafit vizet szorít ki a csatornákból

⇒ A pozitív visszacsatolás hatására a reaktor megszalad

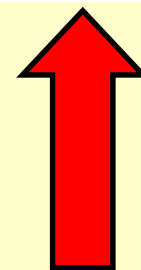




01:24



???



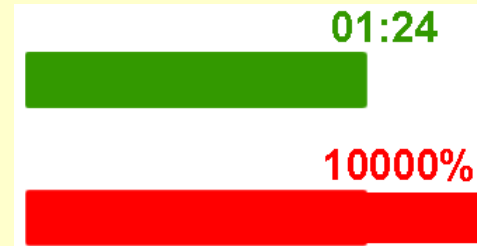
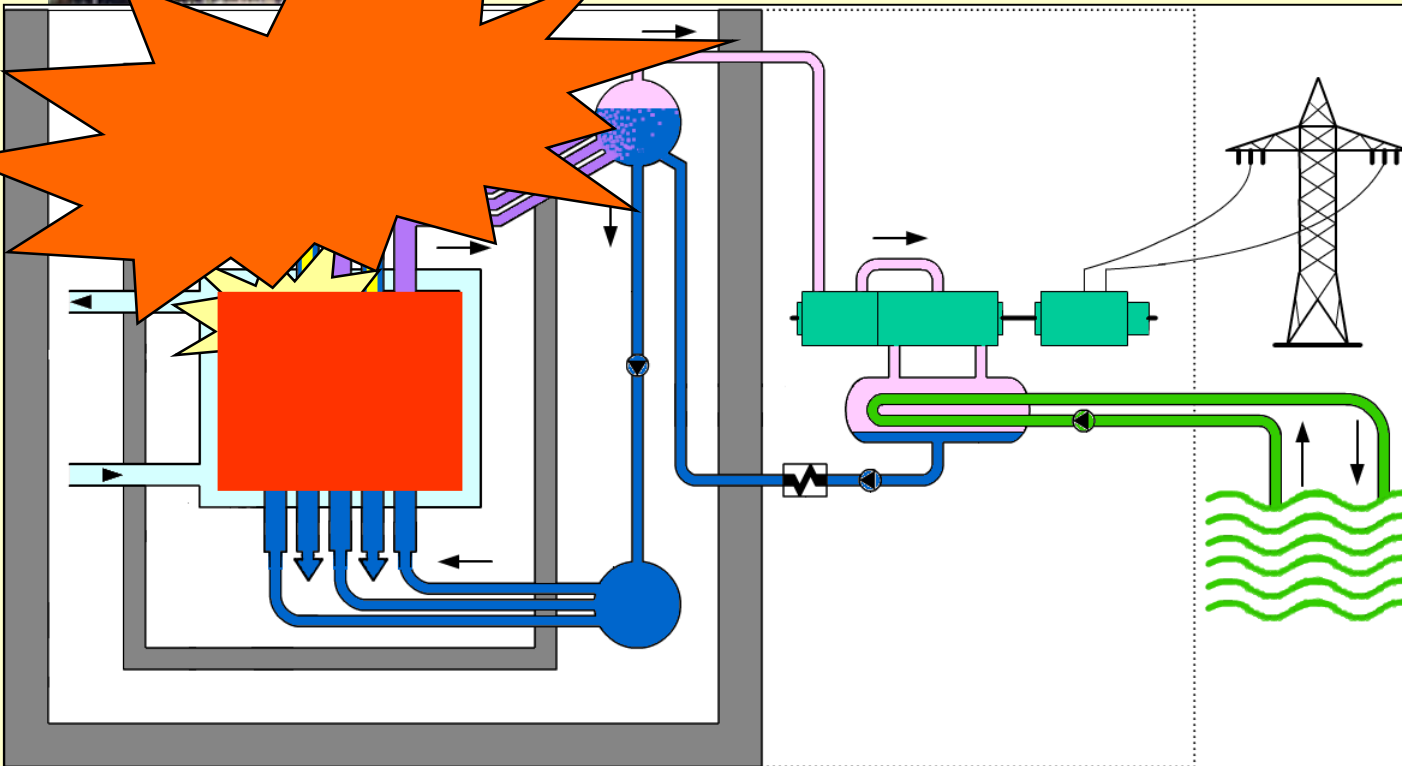
A KÍSÉRLET 1986. 04.26

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

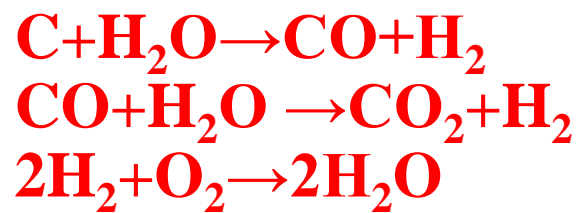
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék



A KÍSÉRLET 1986. 04.26

01:24

**gőzrobbanás
gázrobbanás
grafittűz**



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék



**A radioaktív
felhőt vitte a
szél...**



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nukleáris Technika Tanszék



A baleset 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 (~3000 km²)
- 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).



4. 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, kábítószerrel kezdték, mentális betegségek léptek fel, sokan öngyilkosok lettek.
- NAÜ adatok szerint 100-200 ezer nő vetette el a gyermekét Európában (teljesen feleslegesen).



Magyar helyzet

- A legszerecsésébbek 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.



A tájékoztatás manipulációja



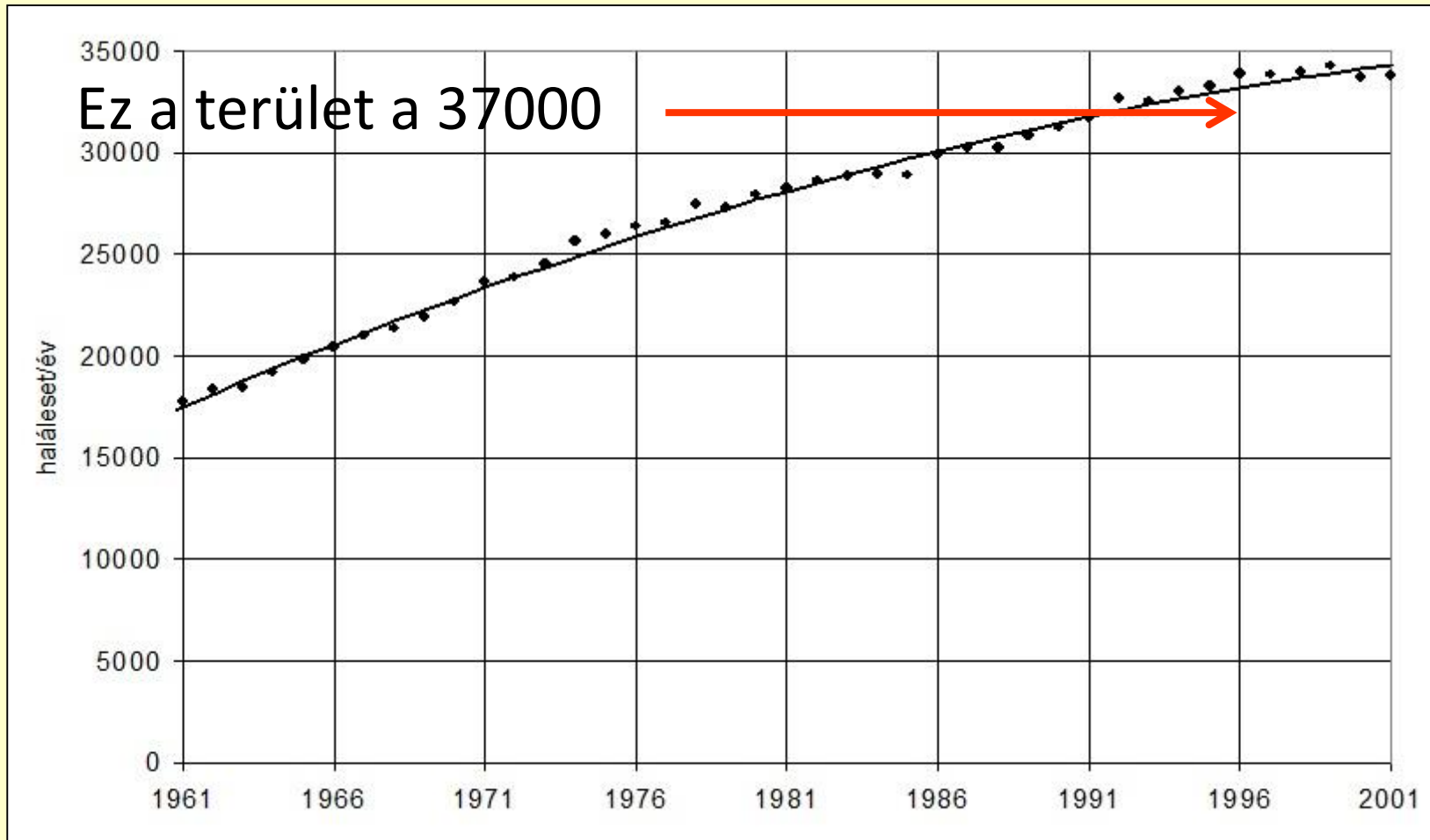


A tájékoztatás manipulációja

- „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!

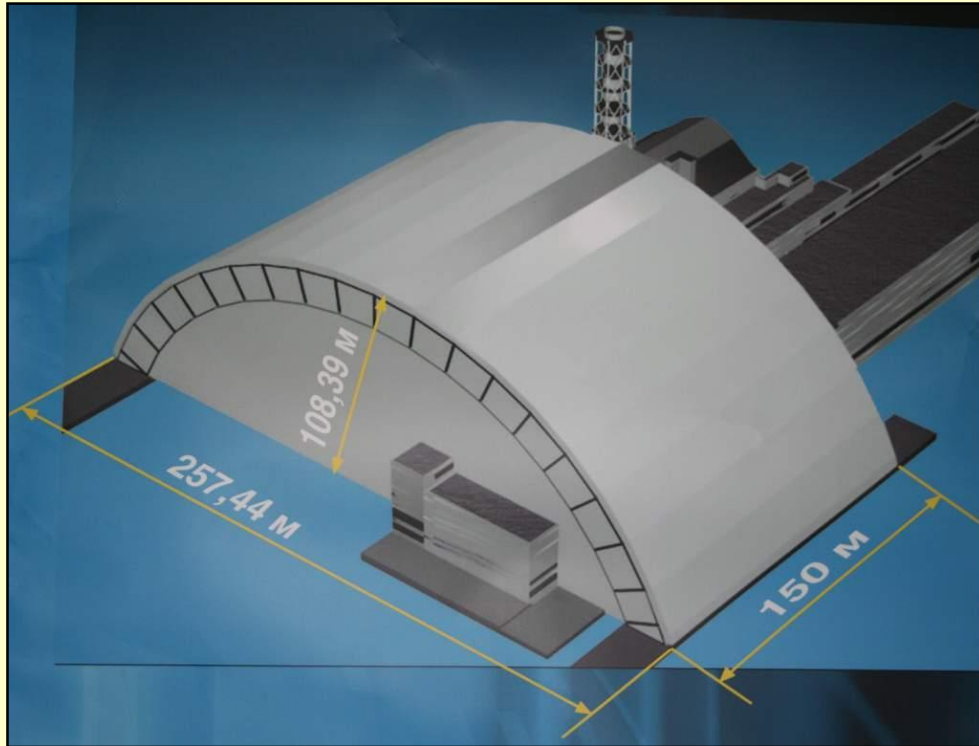


Magyarországi rákos halálesetek számának alakulása





Hogyan tovább Csernobil?



Az új fedél



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



Hogyan tovább Csernobil?

Az új fedél 2017. október 4-én elkészült. Az összköltség kb. 2150 millió euró, amiből az új fedél 1500 millió euró.

Az EU igen jelentős összegekkel járult hozzá.





Csernobil és a háború

A háború első napjaiban az oroszok elfoglalták.
A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség folyamatos figyelemmel kíséri az eseményeket.

Mindkét fél igyekszik
elkerülni azt, hogy az új
fedél megsérüljön.
Probléma az áramellátás
bizonytalansága (mint
Zaporozsje esetében is)

A screenshot of the IAEA website showing a news article titled "Nuclear Safety and Security in Ukraine". The page features the IAEA logo, navigation menus, and a search bar. The main headline is "Nuclear Safety and Security in Ukraine". Below the headline, there is a sub-headline "Nuclear Safety and Security in Ukraine" and a "PRESS RELEASE" label. The article text mentions "Update 204 - IAEA Director General Statement on Situation in Ukraine" and discusses the Zaporizhzhya Nuclear Power Plant (ZNPP) and the impact of the military conflict. A "Related resources" section is visible on the right side of the page.

Aggasztó a háborús helyzet, mert bármi történhet...



Sokat tanultunk Csernobilból és Fukusimából!

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

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

Források: Szatmáry Zoltán, Aszódi Attila: Csernobil

<https://www.iaea.org/>

sok egyéb internetes oldal.

