

---

# Csernobil fizikája és szociológiája

---

Kulacsy Katalin

MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet

---

# Források és köszönet

- Forrásaim:
  - NAÜ kiadványok ([www.iaea.org](http://www.iaea.org))
  - AEKI-s jelentések
  - dr. Aszódi Attila és dr. Pázmándi Tamás korábbi előadásai, köszönet az anyagokért
- Köszönet gimnáziumi klasszis fizikatanáromnak, Zsigri Ferencnek, aki felkeltette az érdeklődésemet a fizikusi pálya iránt.
- Köszönet az ELTE TTK kiváló oktatóinak, akiktől sokat tanultam és külön is Dávid Gyulának, aki amellet, hogy kimeríthetetlen energiával tanított, a pezsgő egyetemi fizikus élet motorja volt és máig az.
- És a szüleimnek. Mindenért.

---

# Az előadás témája

- a történelem legsúlyosabb atomerőművi balesete
- időpont: 1986. április 26.
- helyszín: Csernobil, Kijevtől nem messze, a Szovjetunióban, a mai ukrán – fehérorosz határ közelében; az erőmű 4. blokkja



---

# Az előadás felépítése

- a baleset
- következmények
- tapasztalataim
  
- háttérismeretek
- néhol kitekintés a paksi erőműre
- ismertetés



# Alapismeretek

# Mi is az az „*atomerő*”, amit *művelünk*?

- atom = atommag + elektronok
- atommag = protonok + neutronok =  $p^+ + n^0$

$p^+ - p^+$

$n^0 - n^0$  (erős kh.)

$p^+ \leftrightarrow p^+$  (Coulomb)

$p^+ - n^0$

Pl.  $^{16}\text{O}$ :  $8p^+ + 8n^0$

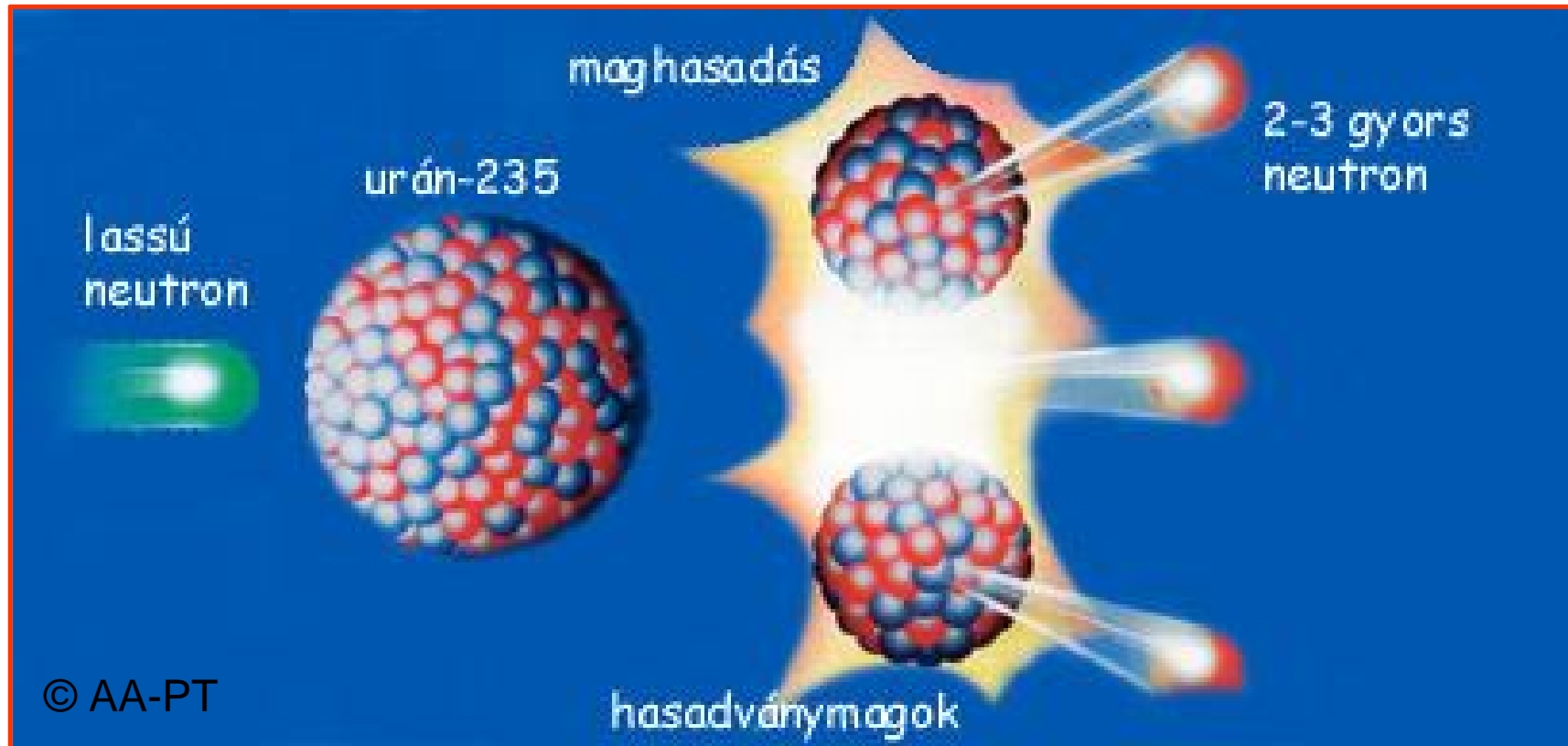
- Ha sok a  $p^+$ , szétveti a taszítás  $\Rightarrow$  több  $n^0$  kell.

Pl.  $^{235}\text{U}$ :  $92p^+ + 143n^0$

Hatalmas mag  $\Rightarrow$  instabil, szét tud esni  $\Rightarrow$  hasadás.

- A Coulomb-taszítás pozitív energiája szabadul fel.

# Maghasadás



Egy uránmag elhasadása során 2,5 milliószor annyi energia szabadul fel, mint egy szénatom oxidációja során!



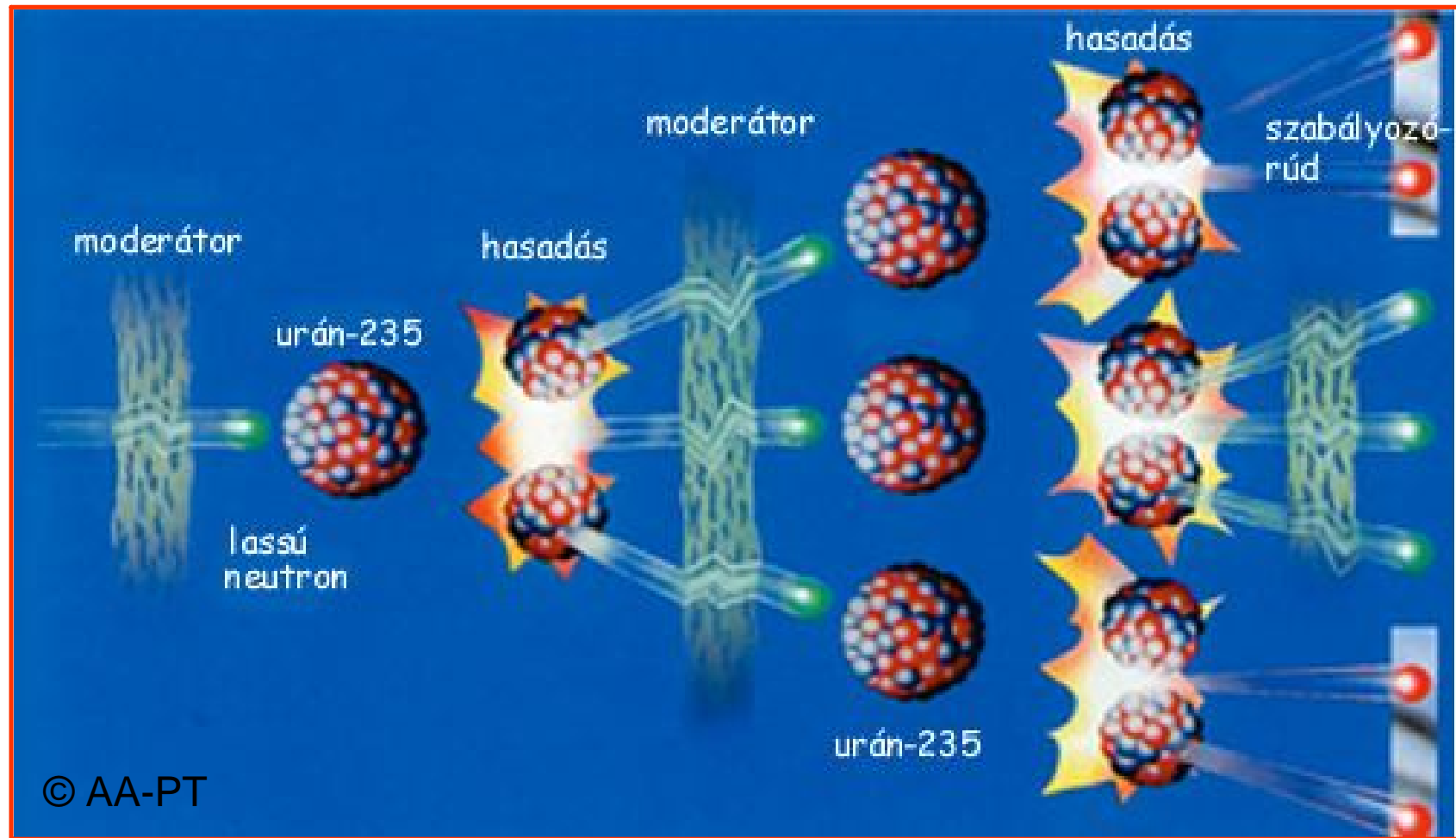
---

# Mi keletkezik?

- hasadási termékek (ált. 2 kisebb mag, ált. radioaktívak)
- neutronok
- egyéb részecskék
- energia

A maghasadások az atomreaktor aktív zónájában mennek végbe.

# Hasadási lánreakció



---

# Láncreakció

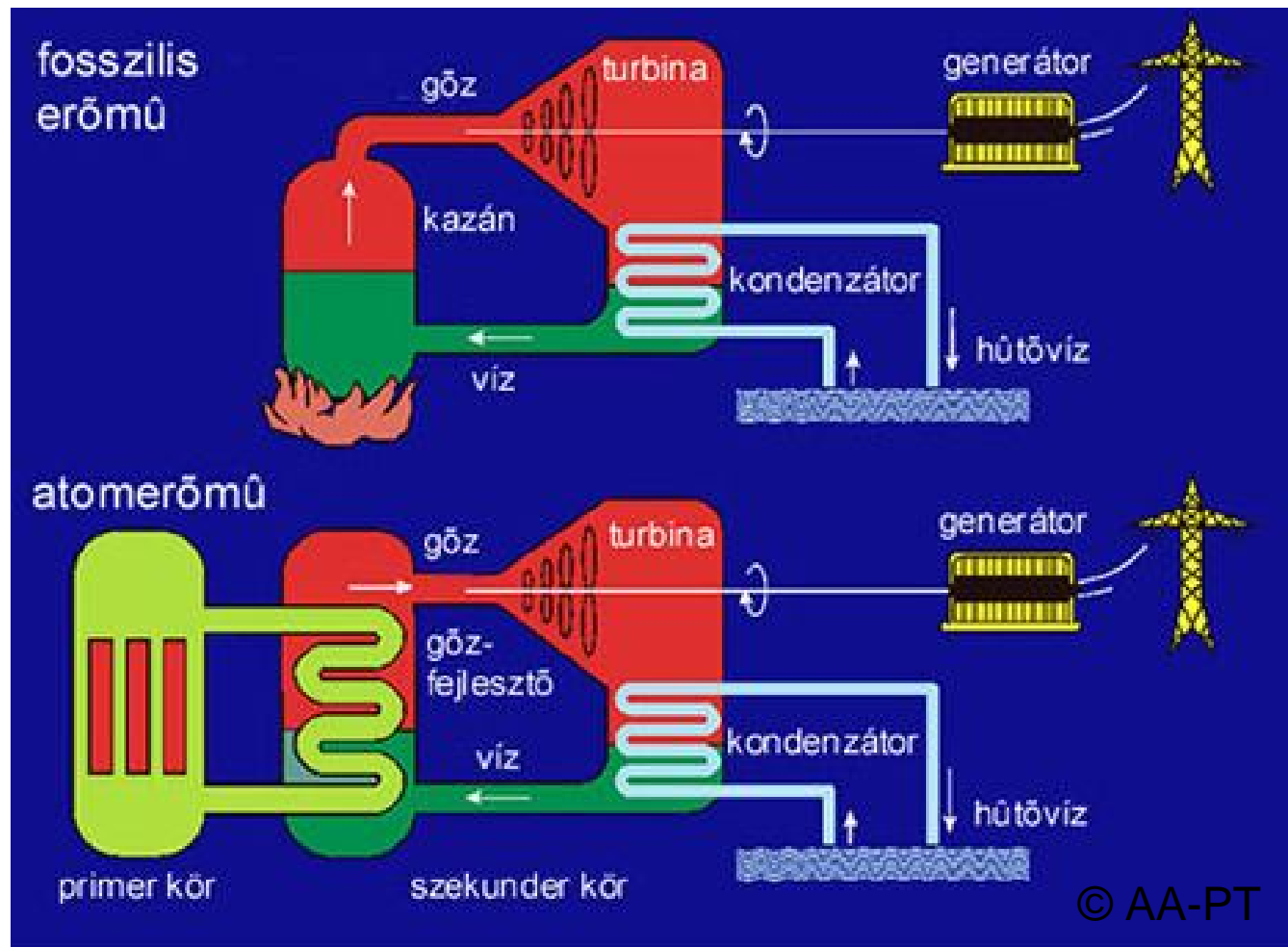
Lehetőségek:

- egyre kevesebb hasadás → leállítás
- időegységenként állandó számú hasadás:  
atomreaktor
- egyre több hasadás → megszaladás

Szabályozás:

a neutronok elnyeletésével pl.  
szabályozórudakban.

# Atomerőmű ↔ hagyományos erőmű





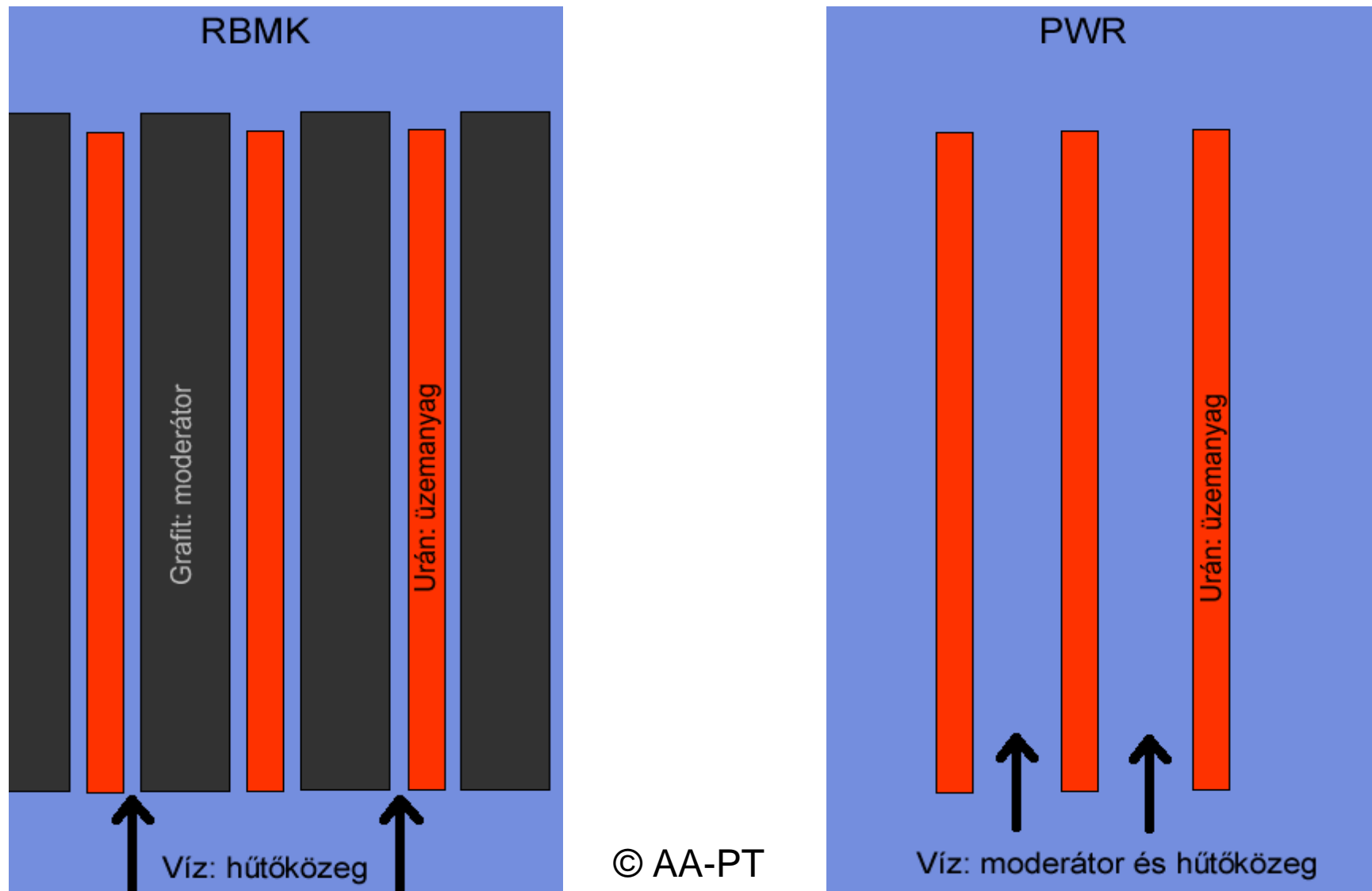
A baleset

---

# A baleset: fizikai háttér

- nyomottvizes reaktor (PWR = Pressurised Water Reactor) ↔ RBMK
- megszaladás RBMK-ban
- megszaladás nyomottvizes reaktorban (PWR)

# Az RBMK és a PWR közötti fizikai különbségek



---

# Megszaladás RBMK-ban

Ha a láncreakció megszalad:  
a hűtőközeg (víz) elforr



a lassítóközeg (grafit) megmarad

Alacsony teljesítményen a hűtőközeg (víz) elforrása nemhogy nem állítja le a láncreakciót, de még növeli is a hasadások számát:

**öngerjesztő folyamat!** Ez volt Csernobilban.



---

# Megszaladás nyomottvizes reaktorban

Ha a láncreakció megszalad:  
a hűtőközeg (víz) elforr

|

a lassítóközeg (víz) elforr

A hűtő- és lassító közeg (víz) elforrása minden teljesítményen csökkenti a hasadások számát és leállítja a láncreakciót:

**önszabályozó folyamat!** Ez van Pakson is.

---

# A baleset további fizikai okai

- óriási aktív zóna ( $d = 11,8 \text{ m}$ ,  $h = 7 \text{ m}$ ): részei gyakorlatilag külön életet élnek egymástól
- az elnyelőrudakat lassan lehetett beejteni (18 s)
- az elnyelőrudak alatt grafit toldat, hogy kiszorítsa a vizet: teljesen kihúzott helyzetből indulva a beejtés kezdetén nő a hasadások száma
- gyenge műszerezettség, kevés információ
- vészjelzések és védelmek fizikailag kikapcsolhatók voltak, ezt bizonyos esetekben a szabályzat is megengedte

# A baleset: szociológiai háttér

- hidegháború utáni időszak: az RBMK eredetileg katonai célú reaktor
- csak a szabályzat tilt bizonyos műveleteket, fizikailag végrehajthatók – de nem katonák az üzemeltetők
- biztonsági kultúra alacsony szintű (felismert konstrukciós hibákkal nem foglalkoztak, üzemeltetési „házi szabályok”) – termelési nyomás a tervgazdálkodás miatt
- az operátorok képzettsége nem terjedt ki a kísérlet körülményeire
- „abból dolgozunk, amink van” mentalitás (kísérlet nem a tervezett körülmények között)

---

# Biztonság Magyarországon?

- reaktor védelme gyors automatikákkal
- részletes engedélyezési eljárások
- nyugati előírások szerinti biztonsági elemzések
- gyenge pontok felderítése → biztonságnövelő intézkedések
- egymással egybehangzó, részletes üzemeltetési előírások
- kezelési utasítások az üzemzavari állapotokra
- operátorok képzése teljes léptékű szimulátoron
- lényeges védelmek emberi hiba ellen védettek

---

# A baleset előzményei

- Kísérletnek indult, célja: ellenőrizni, hogy teljes feszültségkieséskor a lassuló turbina (3500 tonna) elegendő feszültséget tud-e biztosítani bizonyos szivattyúknak. A tervezett karbantartási leállással egybekötve végezték volna.
- Leállítás megkezdése április 25. éjjel 1 óra körül: kb. 13 óra alatt a teljesítményt a felére csökkentik.
- A teherelosztó nem engedi a további teljesítménycsökkentést (kell a villany): kb. 9 órán keresztül 50%-os teljesítmény.
- Ezután kezdenek neki a kísérletnek.

---

# A baleset előtti állapotok

- A reaktor a tervezettől erősen eltérő állapotban van.
- Ez az állapot instabil.
- Április 26. 00:00 (műszakváltás) után kezdenek el felkészülni a kísérletre.

---

# Felkészülés a kísérletre

- A reaktor teljesítménye nagyon instabil, 1 óra leforgása alatt  $24\% \rightarrow 17\% \rightarrow 1\% \rightarrow 7\%$ , itt stabilizálódik 01:00-kor. Becslések szerint az operátor ez alatt az 1 óra alatt kb. 1000 műveletet hajt végre...
- **Bizonyos védelmeket kikapcsolnak.**

---

# A baleset lefutása

- A nagy nehezen stabilizált reaktorral megkezdik a kísérletet 01:23-kor.
- 40 s alatt a gőzfejlődés szabályozhatatlanná válik, az operátor vészleállítással próbálkozik, de a reaktor megszalad.
- 5 s alatt a reaktor teljesítménye a névleges 7%-áról a névleges 100-szorosára nő.



# Robbanások

- nagy energiafelszabadulás  $\Rightarrow$  térfogati forrás a vízben  $\Rightarrow$  gőzrobbanás  $\Rightarrow$  a vízcsatornák felhasadnak
- $\text{H}_2\text{O} + \text{C} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2 \Rightarrow$  2 s után gázrobbanás
- grafittűz (1850 t kb. fele  $\rightarrow$  10 napig)

A robbanások a 3000 tonnás reaktorfedelelet kb. 50 m magasra repítették. Kiszakította a tetőt, majd visszaesett.

---

# Helikopterről nézve



---

# Oldalról nézve



# A robbanások következményei

- Az üzemanyag 1,5-4%-a szétszóródott a környezetben.
- Az illékony hasadási termékek 20-50%-a kikerült a környezetbe. A nemesgázok 100%-a, a többi hasadási termék kb. 3,5%-a.
- A tűz és a hasadási termékek bomláshőjének hatására felmelegedett levegő nagy magasságba emelte a kiszabadult radioaktivitást.
- A kibocsátás körülbelül egy hónapig tartott.

---

# A következmények enyhítése

- tűzoltás vízzel (elsősorban 3. blokk teteje, később 4. blokk grafit), helikopterről szórás (homok, ólom, agyag, bór)
- a reaktor alatti víztartalékok leürítése
- a törmelék visszaszórása a 4. blokk romjai közé
- szarkofág építése 1986 decemberére
- kb. 800 000 ember vett ebben részt (likvidátorok)
- 340 000 ember kitelepítése

---

# A 3. blokk tetejének megtisztítása



---

# A 3. blokk tetejének megtisztítása



---

# A 3. blokk tetejének megtisztítása





---

# A 3. blokk tetejének megtisztítása



---

# A helyzet rossz felmérése, eltusolása

- Az erőmű üzemeltetői nem ismerték fel azonnal, hogy a 4. blokk súlyosan megsérült.
- Pripjatyban a lakosságot csak 36 órával a baleset után tájékoztatták és telepítették ki (3 napra...). A veszély mértékét nem fedték fel.
- Napokig semmilyen országos, hivatalos tájékoztatás nem történt.
- Április 28-án reggel észlelték a sugárzást Svédországban, délre tudták, merről jött.
- A hivatalos szovjet tájékoztatás csak ezután történt meg, de nagyon nehezen ismerték el a katasztrófa valódi súlyosságát.

---

# „Gyakorlatozunk”



sugárzás nyoma a filmen

---

---

# Tájékozatlanság



---

# Tájékozatlanság



---

# „Csak három napra”



---

# Épül a szarkofág



---

# Már majdnem kész a szarkofág





---

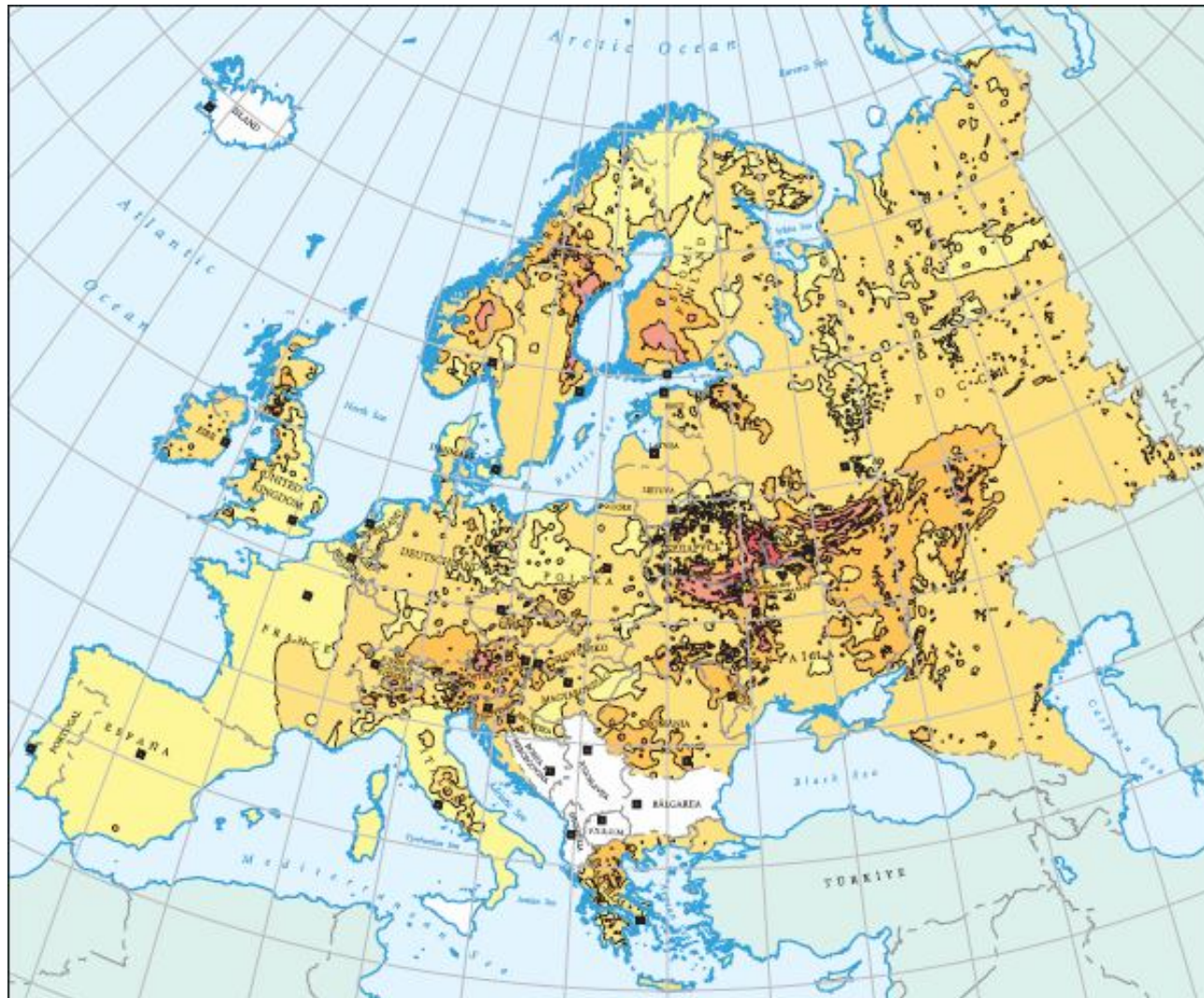
# Sugárzás elleni védelem





# Következmények

# Következmények: környezet

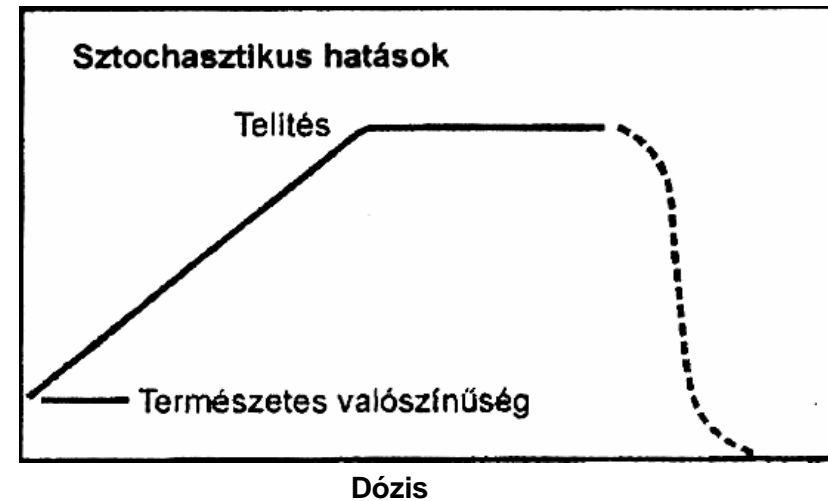
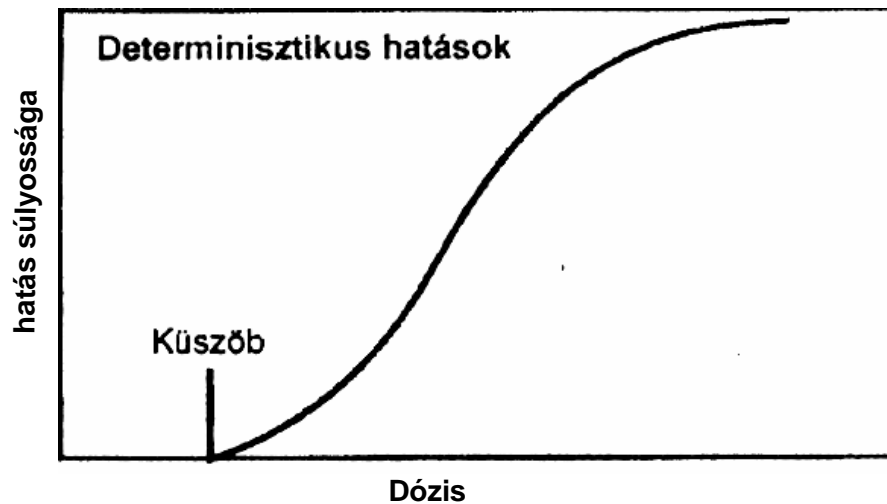


---

# Következmények: radioaktivitás

- kb. 400-szor annyi radioaktivitás került a környezetbe, mint Hiroshimánál
- kb. 1/100-a került ki annak, ami a kísérleti atomrobbantásokból származott
- az első csóva útjában: Vörös erdő

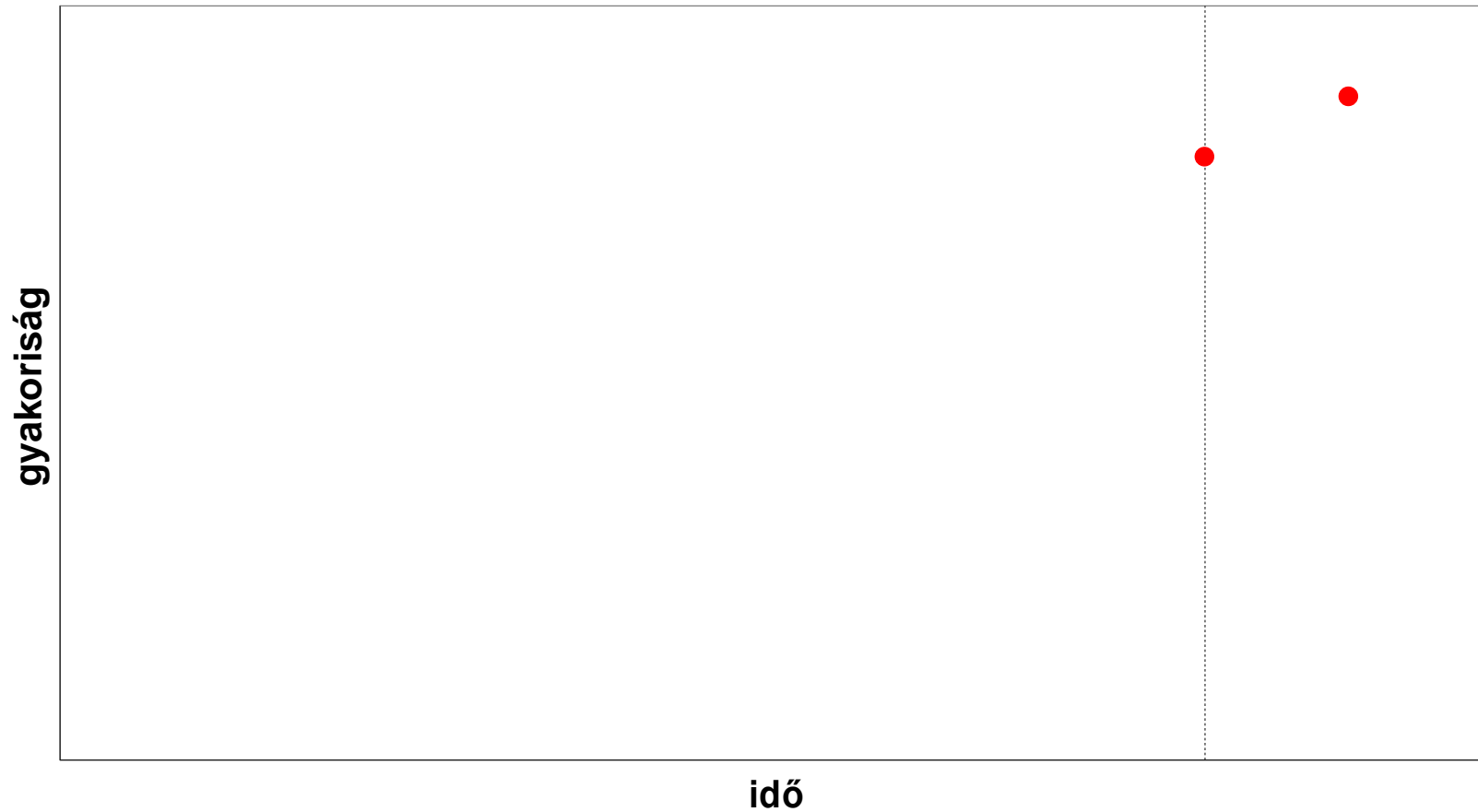
# E.ü. következmények: orvosi háttér



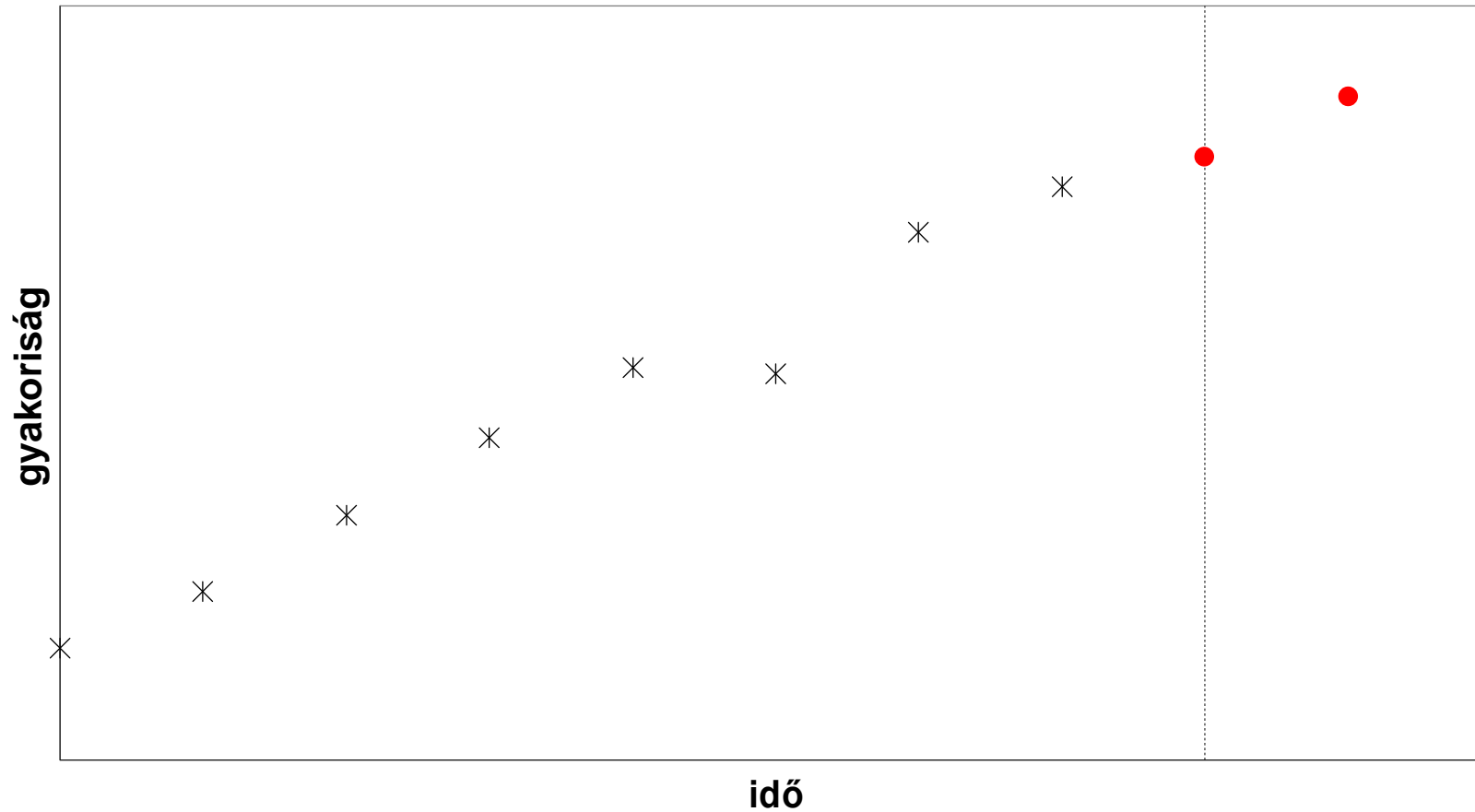
- szövetek, szervek, szervezet károsodása
- több sejtől kiindulva
- sugárbetegség

- rosszindulatú daganat
- egy-egy sejtől kiindulva

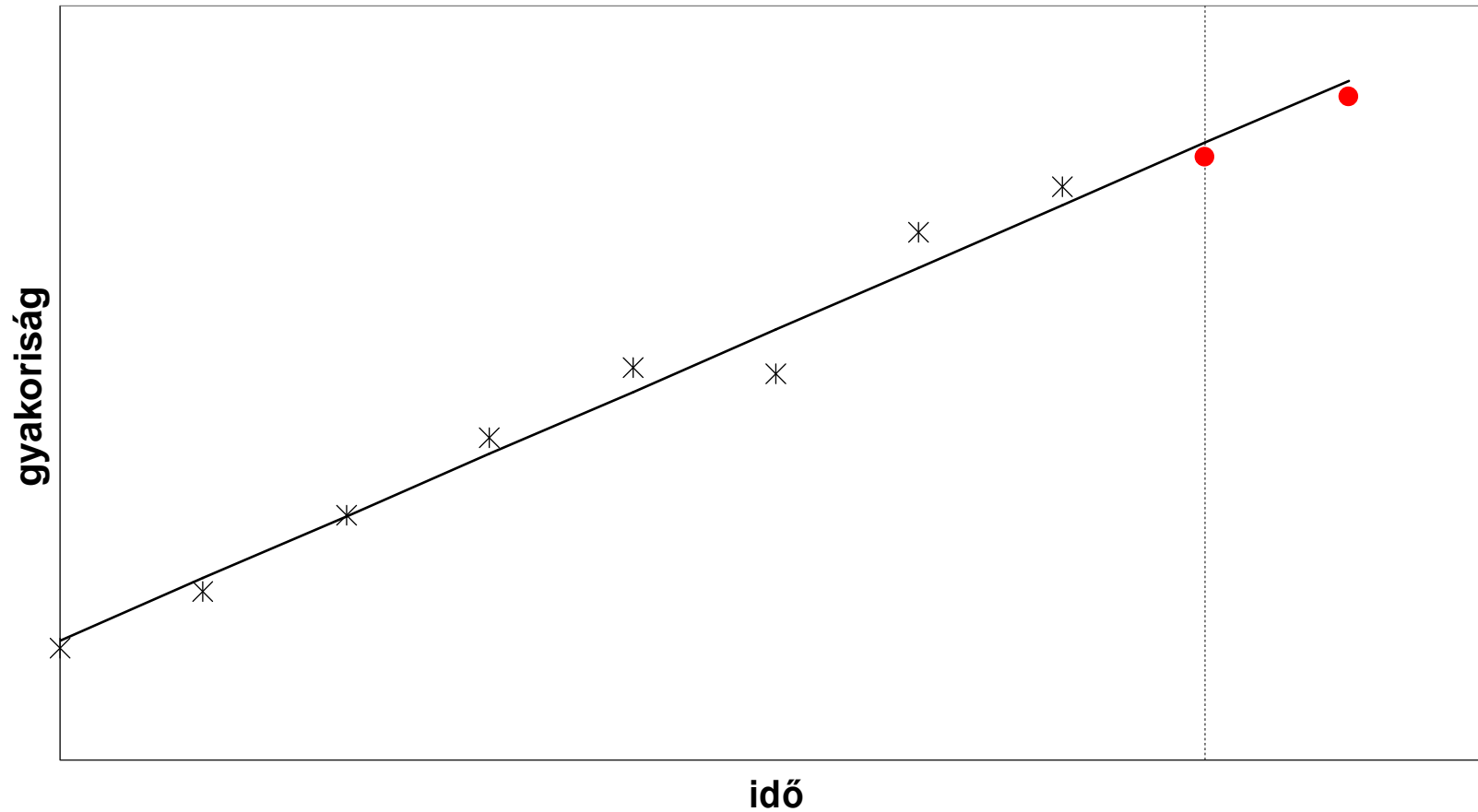
# Következmények: statisztikai háttér



# Következmények: statisztikai háttér



# Következmények: statisztikai háttér





---

# Következmények: emberek egészsége

- A baleset közvetlen áldozata 3 fő.
- Több száz embert szállítottak kórházba akut sugárbetegség miatt, közülük 50 halt meg.
- 2004 decemberéig 4 000 pajzsmirigyrákos gyermek, közülük 9 halálos áldozat (korai felismerésnél 99%-ban gyógyítható).
- A nagy dózist kapott likvidátorok között duplájára nőtt a leukémia gyakorisága (néhányszor 10 eset).
- Egyéb daganatos megbetegedések statisztikailag nem kimutathatók: kb. 4 000 többlet eset várható a „normális” 150 000 rákos megbetegedésen túl.
- Genetikai hatás az utódokban nem kimutatható.

# E.ü. következmények Magyarországon

- Az éves háttérdózis kb. 20%-a volt az okozott többlet az első félévben.
- Utána 70 éven keresztül összesen még 20% többletet okoz a baleset.
- (Vö.: az orvosi sugárterhelés a háttérnek kb. 16%-a.)
- Nem mutatható ki sem a gyermekkori pajzsmirigyrák, sem a gyermekkori leukémia, sem egyéb daganatos megbetegedések, sem a születési rendellenességek gyakoriságának növekedése a baleset miatt.
- Nem mutatható ki a balesetnek semmilyen káros egészségügyi hatása Magyarországon.

---

# Következmények: gazdaság

- Mezőgazdasági területeket ért a legnagyobb szennyezés.
- Az onnét származó élelmiszereket betiltották, a fakitermelés szünetelt  $\Rightarrow$  gazdasági visszaesés, munkanélküliség.

---

# Következmények: társadalom

- Trauma utáni tünetegyüttes (oka: hirtelen elköltözés, kapcsolatok felbomlása, félelem pl. e.ü. kérdések miatt): depresszió, szorongás → testi tüneteket okozhat.
- „Csernobili áldozatok”, segélyek → rokkantságtudat → testi tünetek.
- Pánikkeltés világszerte → félelem → testi tünetek.
- A térségbeli átlagnál gyakoribb az öngyilkosság.
- A megélhetési nehézségek nyomasztó hatással vannak a lelkiállapokra → testi tünetek.
- Összesen 340 000 embert telepítettek ki. Közülük 116 000-t azonnal, a többit később – nem volt számukra nyilvánvaló, hogy miért. Nem találják a helyüket a társadalomban, nem urai az életüknek.
- Fiatalok elmennek, elszegényedik a környék, kevés a szakképzett munkaerő, sok az öreg. Statisztikailag magas a halálozási arány, mintha a sugárzástól lenne: elrettentő hatás.

---

# A 2005-ös magyar expedíció

---

---

# Az expedíció

- szervező: Magyar Nukleáris Társaság és annak FINE (Fiatalok a Nukleáris Energetikáért) szakcsoportja
- résztvevők: 33 fő, ebből 28 fő nukleáris szakember, 3 fő fotós és TV-s, 2 fő buszvezető
- meglátogatott helyszínek: Szlavutics (az üzemeltetők városa), csernobili atomerőmű, szarkofág látogatóközpont, Pripjaty (a kitelepített város), Csernobil (az élő város), elhárításban használt járművek roncstelepe, akkreditált terepi referencia mérőhely, Vörös-erdő, Nemzetközi Csernobil Központ szlavuticsi laboratóriuma

# A lezárt zóna kezdete





# Kísért a múlt





# Műszerezettség





# Irányítástechnika

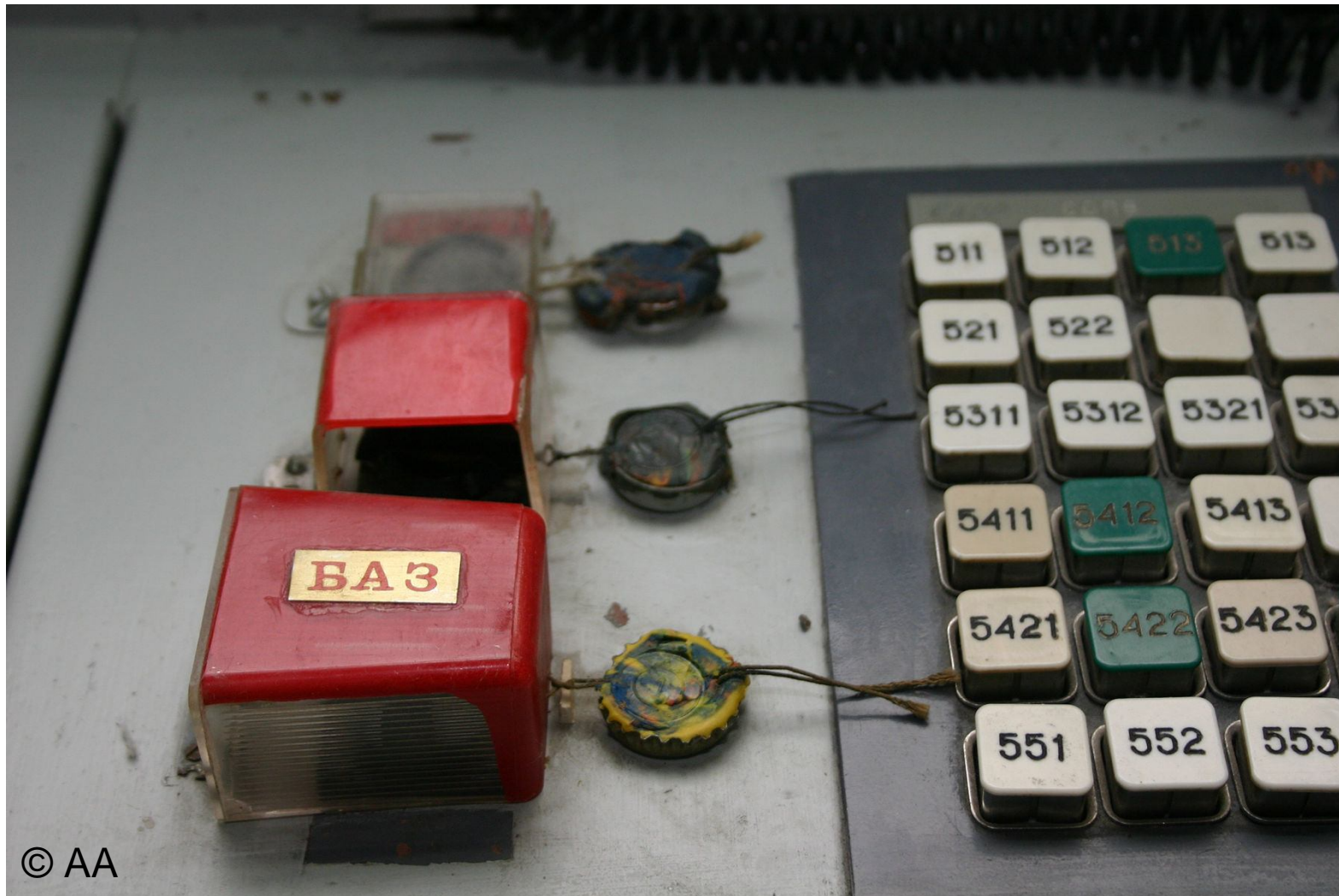




# „Védelmek”



# Laplombált gombok



© AA

---

# Üzemeltetési kultúra



© YB



# Turbinacsarnok



© AA



# A szarkofág



# A szarkofág oldala





---

# A radioaktív „roncstemető”



---

# Roncok





# Roncok



© YB



# Mintavételezés



---

# Bemerészkedés a Vörös erdőbe





---

# A Vörös erdő ma





---

# Pripjaty, a kihalt város





# Élet Pripjatyban





---

# Élet Szlavuticsban



---

# Köszönöm a figyelmet!

---

Információforrások jegyzéke elvihető!