

*Az atomoktól a csillagokig:*

**Az energiaellátás és az  
atomenergia**

**Kiss Ádám**

**2009. február 26.**

# **Miért van szükség az energiára?**

- **Energia nélkül a társadalmak nem működnek: a bonyolult kapcsolatrendszer fenntartásához mindenütt energia kell!**
- **Közvetlenül nyilvánvaló: közlekedés, térfűtés, erőgépek stb.**
- **Mindennek van energiataralma, pl. téglá, tartószerkezet stb.**

**Energetika: központi jelentőségű →  
társadalmi lét e nélkül nincs**

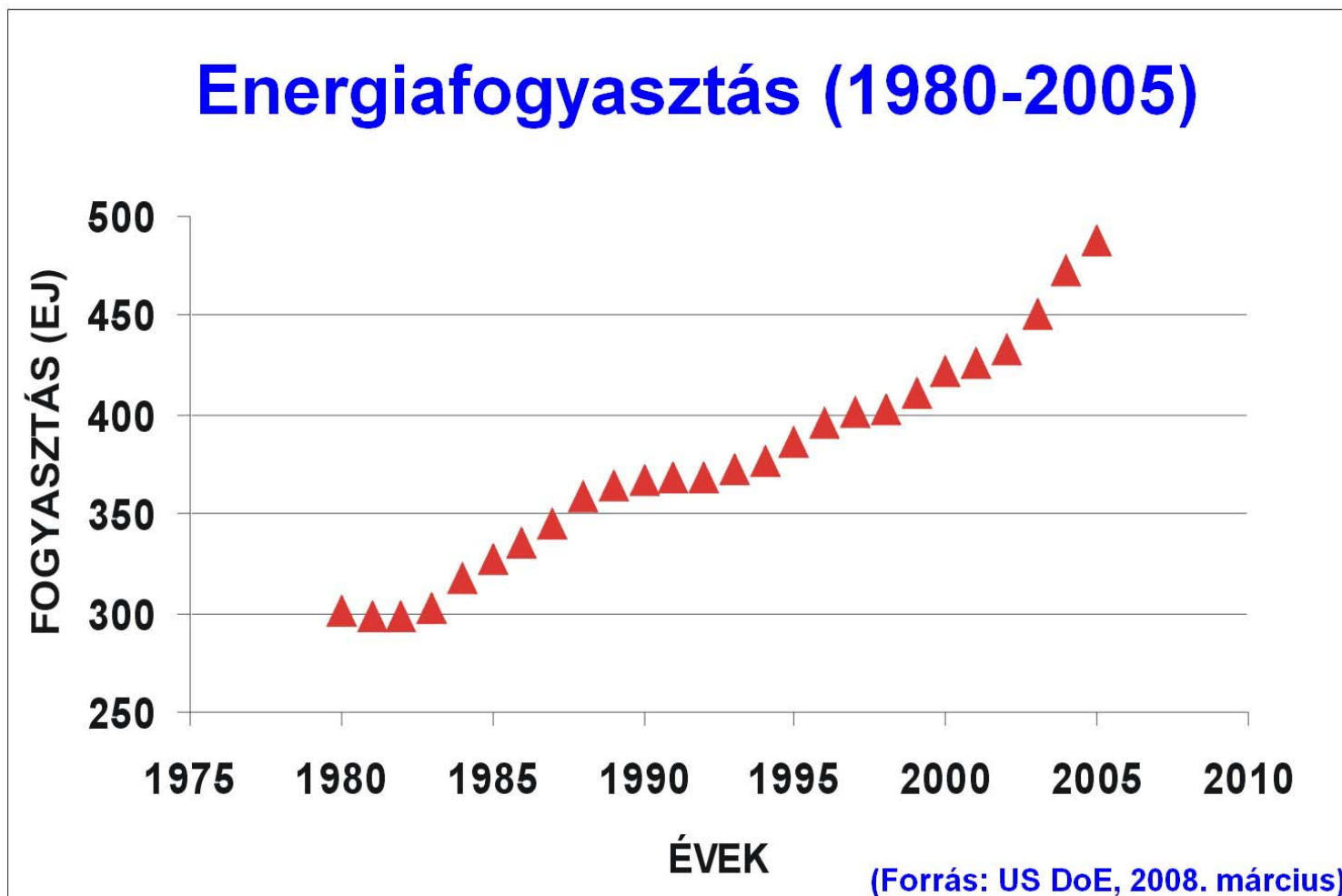
*A társadalmak energiafogyasztása  
óriási:*

**~ 488 EJ/év (2005) → 15.5 TW**

**1 MJ ára ~ 2 c → 10<sup>4</sup> mrd \$/év  
→ 10<sup>9</sup> \$/óra**

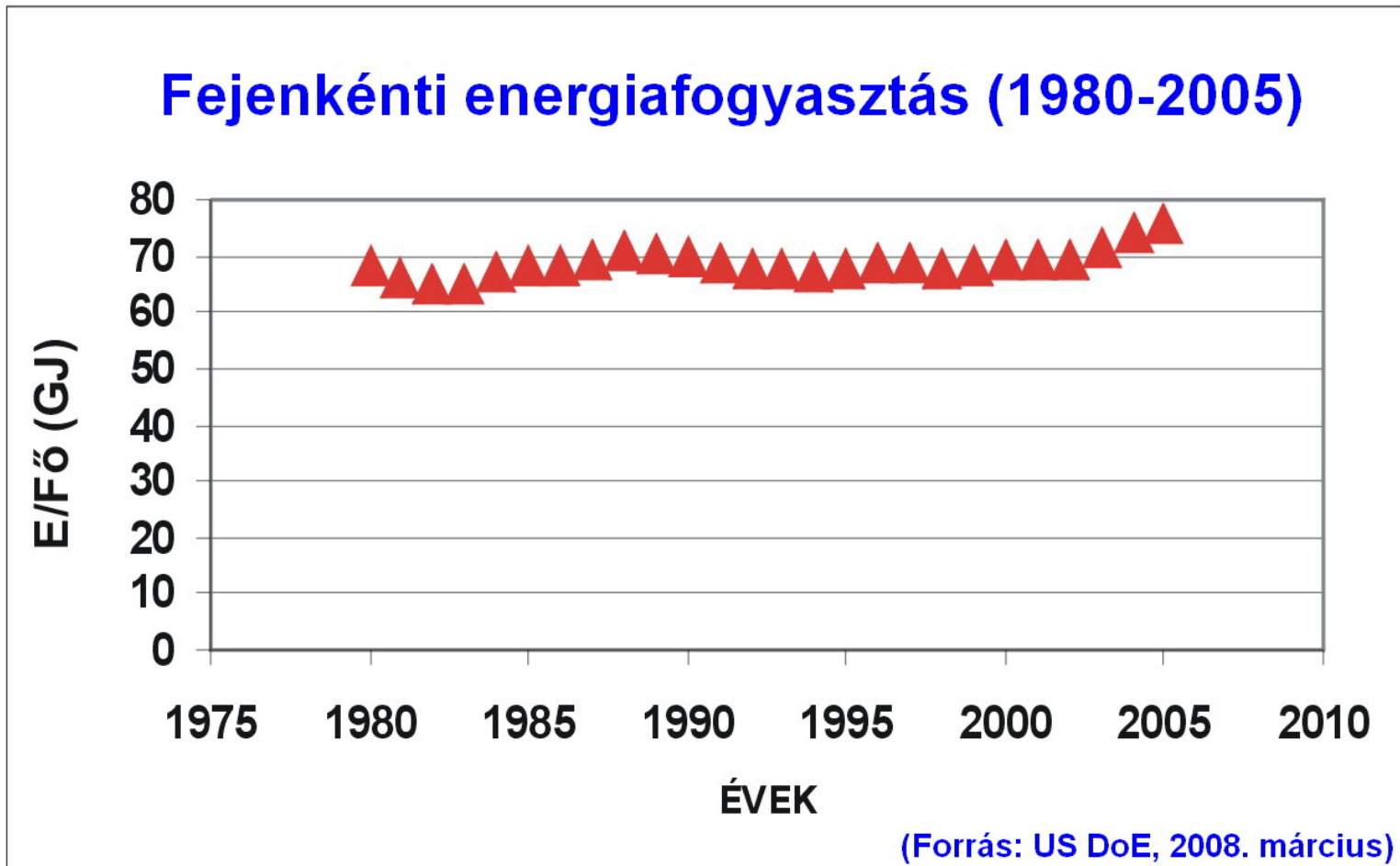
***Ez a világ legnagyobb egycélú  
üzlete!***

# Mindenki tudja: csökkenteni kell!



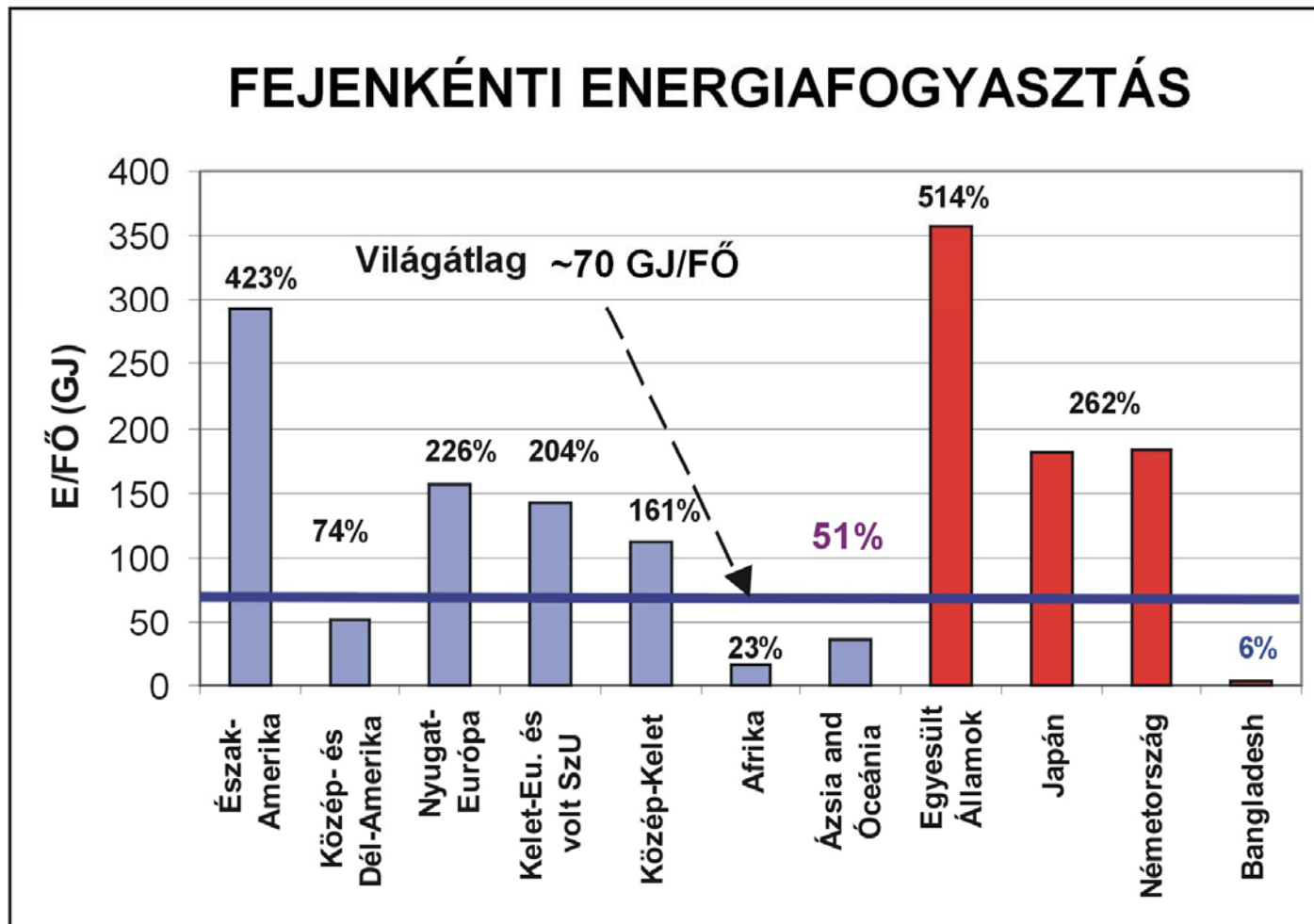
**Az energiaigény folytonosan nőtt!**

# Miért nő az energiafogyasztás?



**Nő a népesség → nő az energiafogy.**

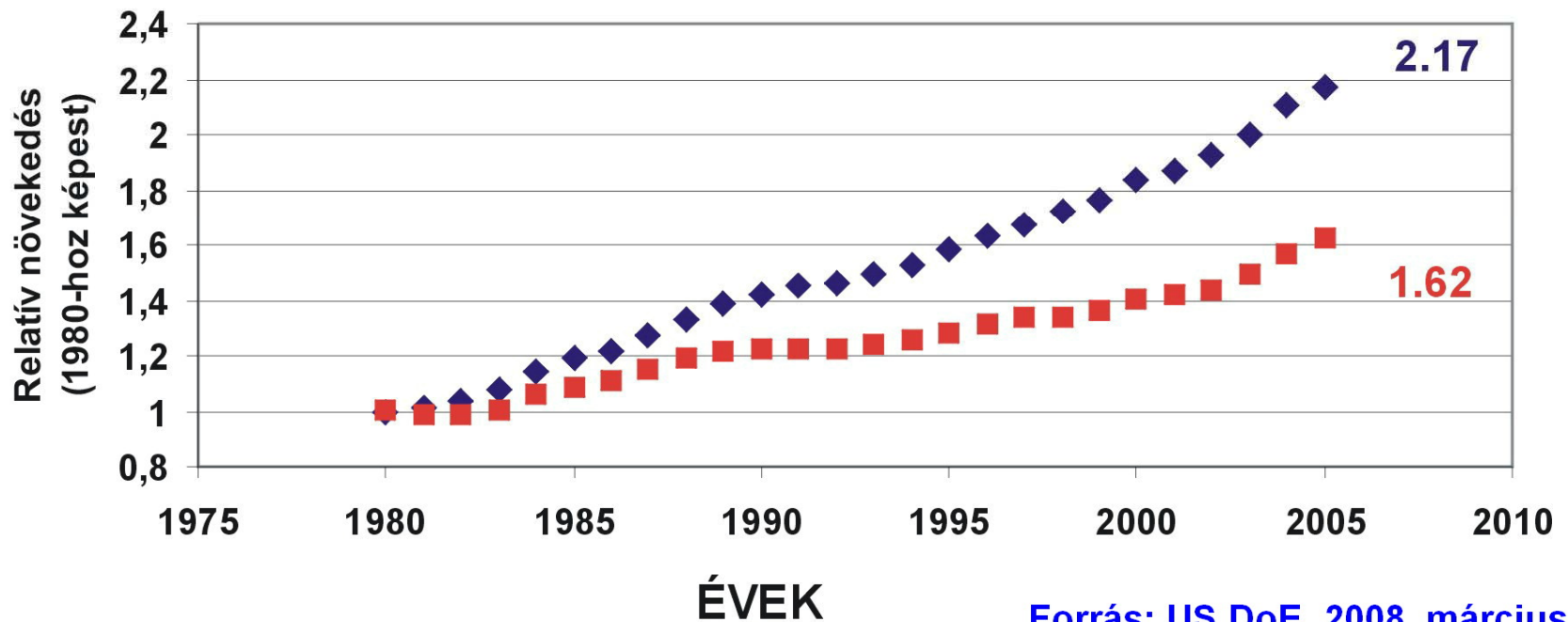
# Területi megoszlás:



**Mai politikai feszültségek forrása!**

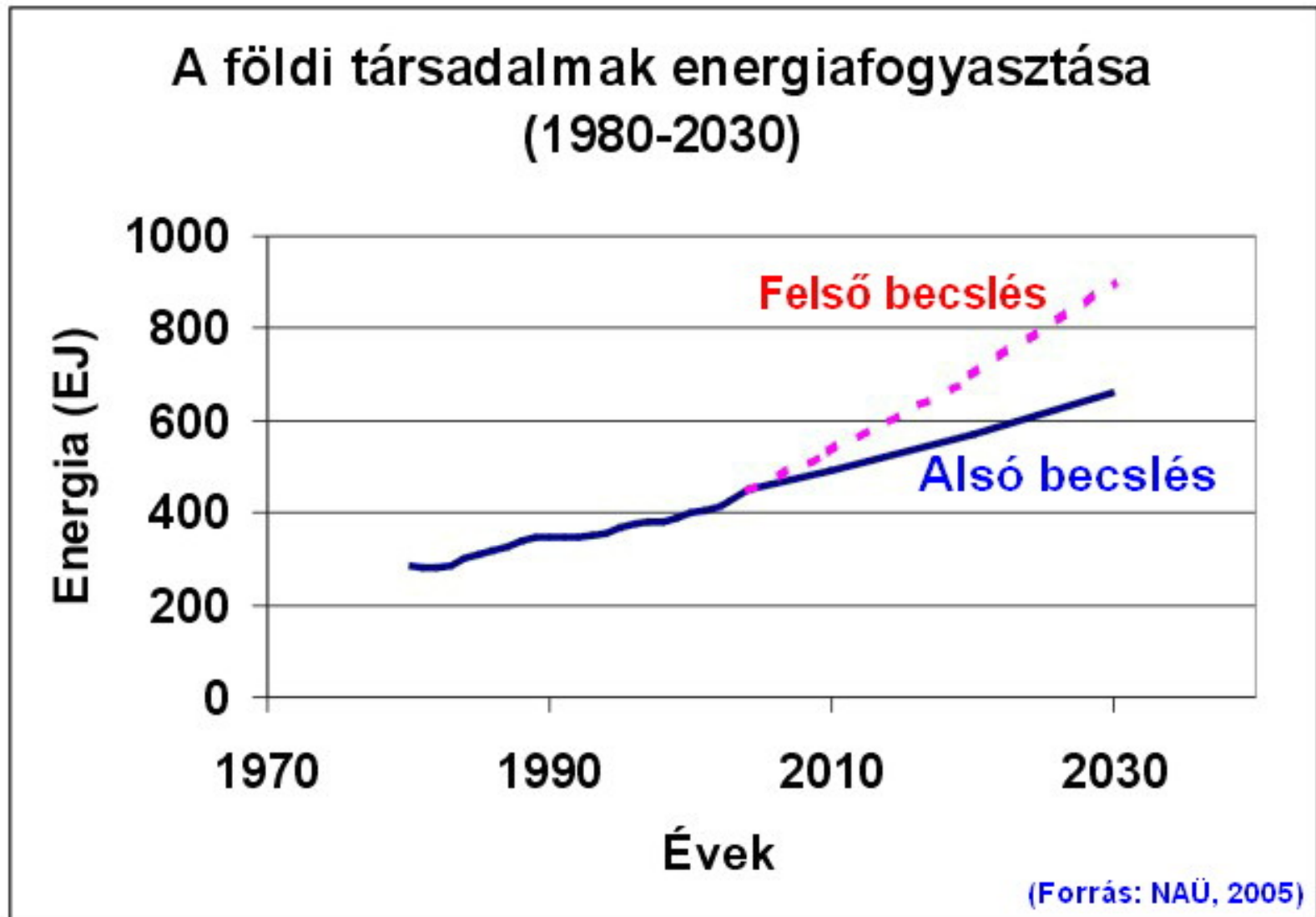
# El. energia → nő a jelentősége

## Összenergia és elektromos energia növekedése (1980-2005)



**A GDP ~ (általában) ezzel nő!**

# Energia a jövőben: biztosan nő!





## *Az energetika jelenlegi tényei:*

- *energiatakarékosság nehéz*
- *ásványi ~85%, készletek végesek*
- *környezeti problémák (CO<sub>2</sub> stb.)*
- *megújulók mindegyikével valami nehézség van → a teljes energiaigény kielégítése nem lehetséges*

**Energiatermelés több forrásból!**

# **Az atomenergetika jelenlegi helyzete:**

- **a főleg ásványiakra épülő termelés mellett az egyetlen bizonyított nagytechnológia**
- **atomenergia: ma csak elektromos energiát termel**
- **Komoly erők ellenzik!**

## 2009. február:

- 439 egység, 372 GW<sub>e</sub> kapacitás  
*(építés alatt 42 egység)*
- 2005-ben: 2626 mrd kWh →  
~300 GW átl. teljesítmény (~81%)
- az összelektr. energia ~15-16%-a
- U igény: ~ néhányszor 10 kt

*Megkerülhetetlen iparág!*

# *Hasadásos láncreakció megvalósítása*

**Term. urán:**  $^{238}_{92}\text{U}$  (99.3%),  $^{235}\text{U}$  (0.7%)

**Hasadáskor keletkezett gyors neutronokra:**

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_f^8 = 0.024 \text{ barn} \\ \sigma_f^5 = 1.28 \text{ barn} \end{array} \right\} \text{ val., hogy } \textit{hasad}: 11.6\%$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_c^8 = 0.25 \text{ barn} \\ \sigma_c^5 = 0.4 \text{ barn} \end{array} \right\} \text{ val., h. } \textit{befogódik}: 88.4\%$$

$$\nu \sim 2.5 < 1/0.116 = 8.66 \rightarrow n \text{ -t } U \text{ „megeszi”}$$

**A láncreakció így nem megy**

# Megoldás

## *termalizálás*

(termikus reaktor)

$$E_n \sim 0.025 \text{ eV}$$

$$\sigma_f^5 = 577 \text{ b} \quad f: 0.54$$

$$\sigma_c^5 = 101 \text{ b} \quad \left. \vphantom{\sigma_c^5} \right\} c \sim 0.36$$

$$\sigma_c^8 = 2.73 \text{ b} \quad \left. \vphantom{\sigma_c^8} \right\} c \sim 0.1$$

$$\sigma_f^5 = 577 \text{ b} > 1/0.54 = 1.84$$

- működhet

**Kissé dúsít + moderál  
termikus reaktor**

## *dúsítás*

(gyors, tenyész reaktor)

**A neutronháztartás-nak  
jónak kell lennie**

**(100%  $^{235}\text{U}$   $\rightarrow$  76.19%  
hasad)**

**„nagyon” dúsít, nem  
moderál**

**$\rightarrow$  gyors reaktor**

**Ez tud tenyészteni**



## **Ezért a reaktortípusok:**

- termikus reaktorok:  $^{235}\text{U}$  kis dúsítása, gyors neutronok moderálása, hűtés legtöbbször vízzel**

***Ma 439 db (265 PWR, 94 BWR)***

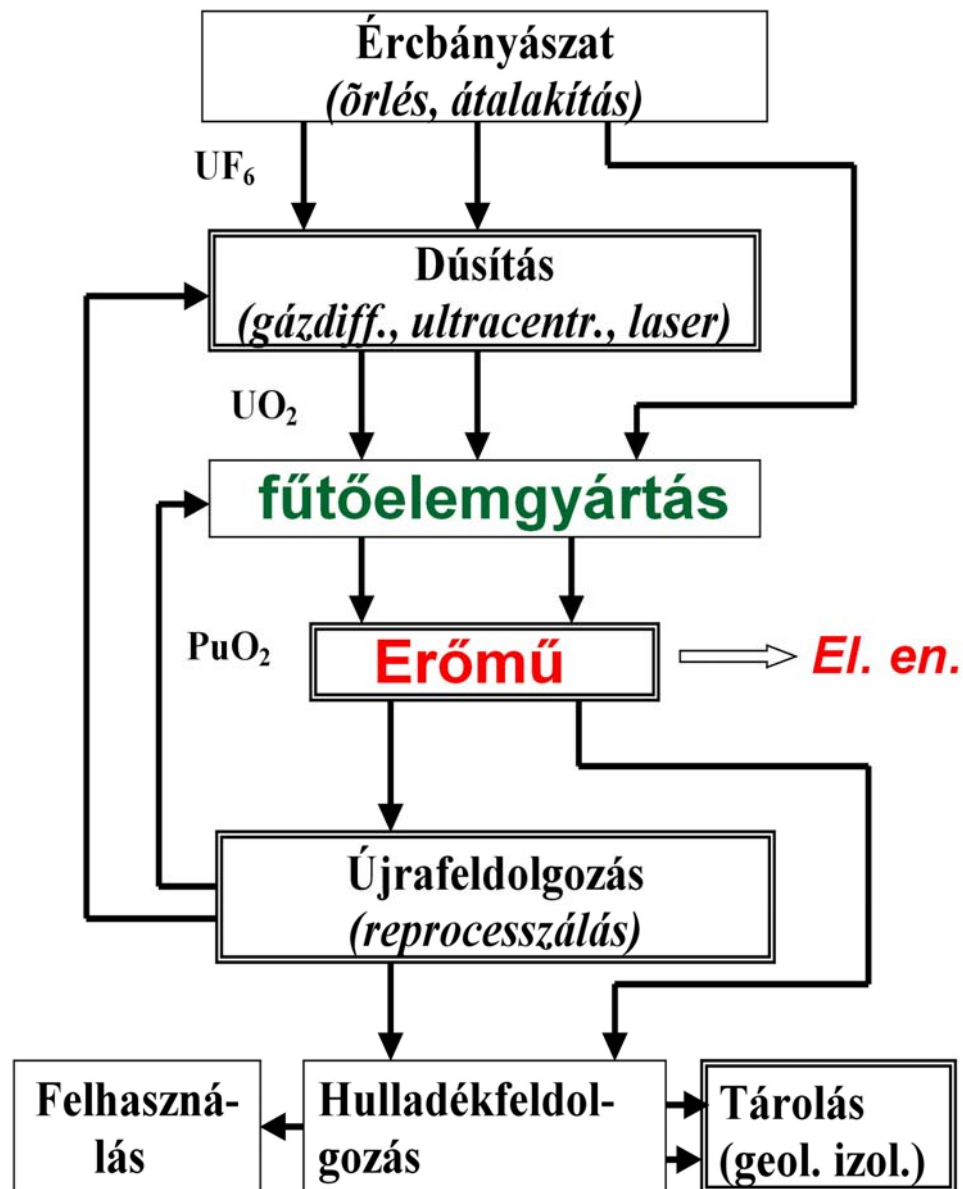
- gyors (tenyésztő) reaktorok: magas dúsítású  $^{235}\text{U}$  és Pu, nincs moderálás, hűtés Na (Na-K) – 2db**

***Ez a típus képes érdemben dúsítani!***

# Nukleáris fűtőanyag- ciklus

Nukleáris vita:

A vastagon  
bekeretezett  
pontok



# *Nukleáris reaktor: komoly bírálatok*

- 1. Az atomfegyverek elterjedése**
- 2. Erőmű: baleseti félelmek**
- 3. Nukleáris hulladékok elhelyezése**
- 4. Nem „túl nagy” U készletek**
- 5. Nagy gazdasági kockázatok: nagy tőke kell az építésnél, leszerelési kockázatok, túl nagy egységek**



# Példák:

- **Németország (2020-ig), Svédország kiszáll**
- **népszavazás ellene (pl.: Ausztria)**
- **tüntetések ellene**
- **több helyen a politikai harc egyik eszköze**

# 1. Erőművek baleseti biztonsága:

- óriási aktivitások:  $\sim 10^{21}$  Bq
- nagy telj. sűrűség:  $\sim 10 \text{ MW}_{\text{th}}/\text{m}^3$

→ hőtermelődéés leállítás után is:

$\sim 6\%$ , 6 óra:  $\sim 1-2\%$ , 10 év:  $\sim 1\%$

komoly hőtelj. → kötelező a hűtés

- emberi, szervezési hiányosságok

Pl.: TMI (1979), Csernobil (1986)

## 2. Nukleáris hulladékok:

- **kis és közepes aktivitás ( $T_{1/2} < 30\text{y}$ )**

**kis aktivitás:  $A < 5 \cdot 10^4 \text{Bq/kg}$**

**közepes:  $5 \cdot 10^4 < A < 5 \cdot 10^8 \text{Bq/kg}$**

**Elhelyezés  $\rightarrow$  nemzeti feladat**

**Felszíni és felszín alatti tárolók:**

**Ma megoldottnak tekinthető**

**Magyarország: Bábaapáti (2010)**

# • Nagy aktivitás

( $> \text{GBq/kg}$ ,  $T_{1/2} > 30 \text{y}$ )

**ma ~300 et kiégett fűtőelem**

- ebben 3 et Pu (~250t tiszta  $^{239}\text{Pu}$ ),

- 260 t aktinída (transzuránok)

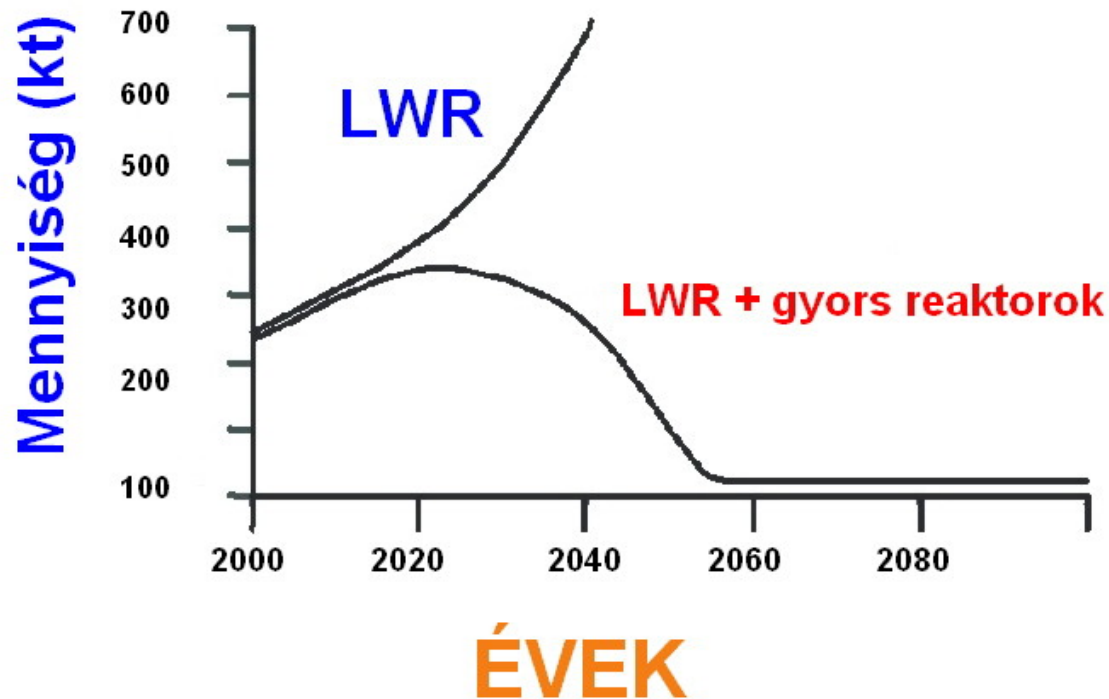
- 400 t nagy  $T_{1/2}$ -ű hasadvány

*Végső elhelyezés **nincsen** megoldva!*

*M.o.: KKÁT (Pakson) → várakozás*

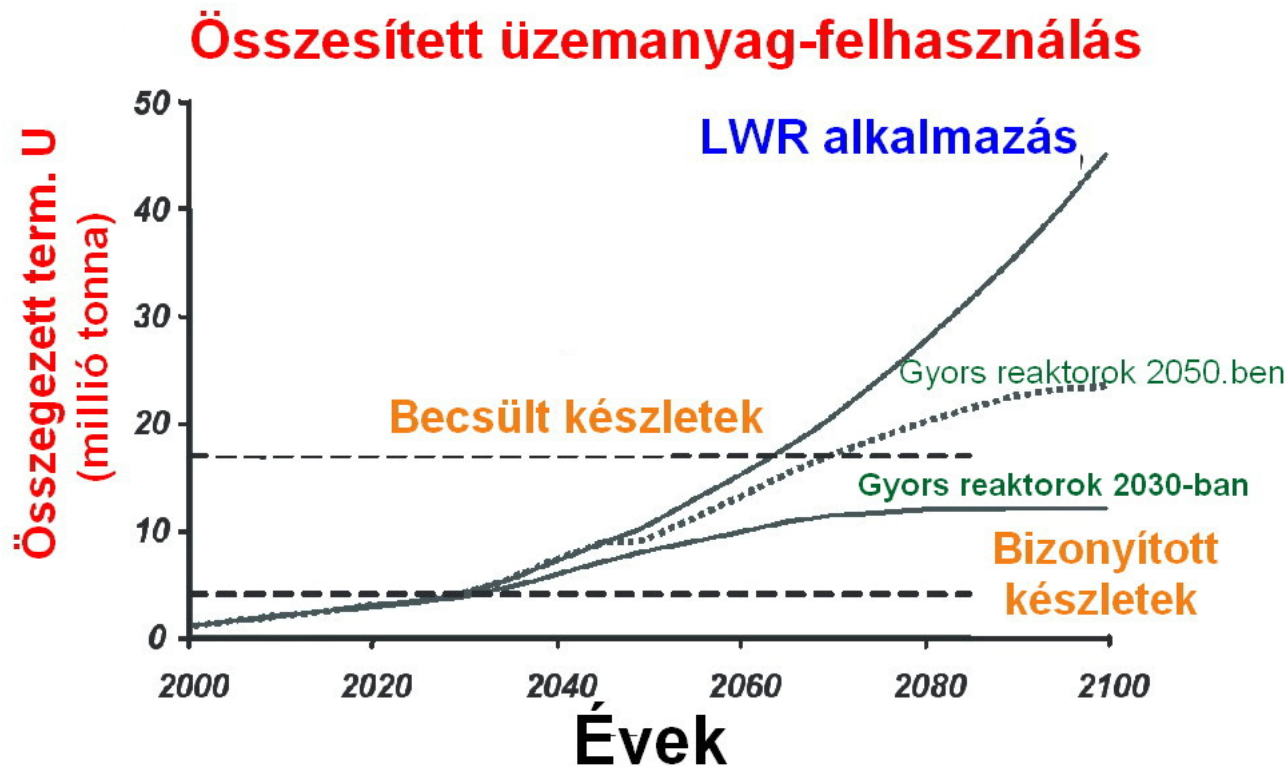
# Nagy aktivitás: függ a rendszertől

## Kiégett fűtőelemek összesen



**Folyamatosan gyűlik. Kezelendő!**

# 4. Uránkészlet: függ attól, hogy milyen típusú reaktorban égetjük el

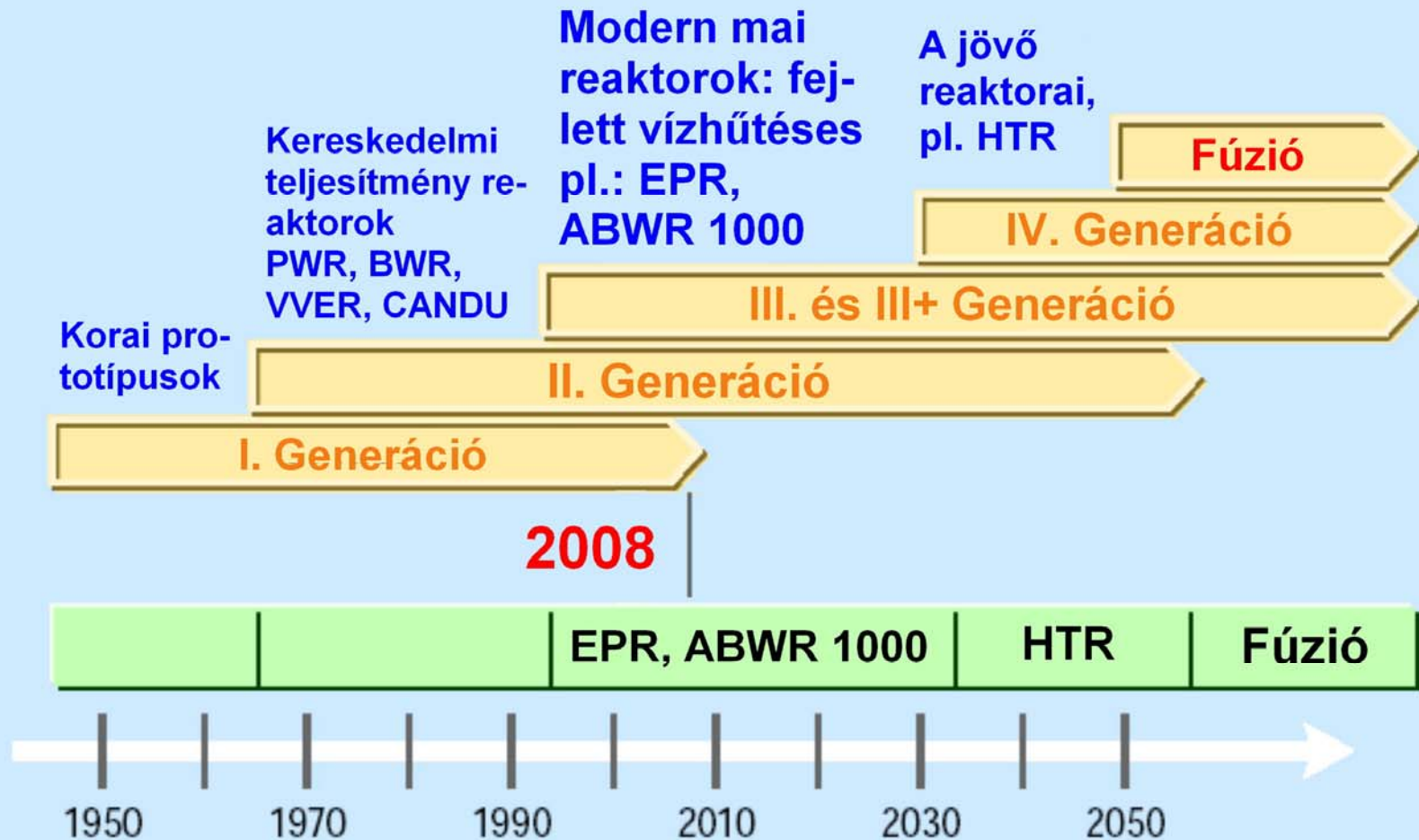


**LWR-ben ~6000EJ: ~2030 kimerül**

## *Nukleáris ipar története:*

- **Kezdet → atomfegyver-gyártás**
- **Energiatermelés, a tapasztalatok folyamatos értékelése**
- **Fejlesztések: választ próbálnak adni a kihívásokra**
- **Megítélés: csak a többi energia-termelési móddal és a szükségletekkel egyszerre történhet**

# Atomerőművek generációi





## **Fejlesztési szempontok:**

- **válaszoljanak mindarra, amiért ma félnek a nukleáris energiától**
- **a hosszú távú energetikai megoldásokat támogassa**
- **segítsen a környezeti problémák kezelésében**
- **legyen gazdaságos máshoz képest**

***Nem lehet teljesen a piacra bízni!***

# **Erőművi biztonság:**

- **Belső biztonság növelése → fizikai törvények biztosítsák**
- **alacsony legyen a mag sérülésének valószínűsége**
- **ne követeljen meg külső szükségintézkedésekre való felkészülést**
- **terroristákkal szemben felkészült**

# **Nagy aktivitású aktinidák: nincs megoldva az elhelyezésük**

- **olyan megoldásokat keres, amely lényegesen kisebb mennyiséget termel**
- **újrafeldolgozás elkerülhetetlen**
- **legyen ez a nukleáris farm területén, ne kelljen szállítani**

# **Gazdaságosság: ma nagy kockázat**

- **legyen világos az előnye más energiatermelési móddal szemben**
- **kisebb legyen a bevetendő tőke**
- **üzemeltetés legyen biztonságos**
- **legyen alkalmas más, mint el. energetikai felhasználásra is (H, folyamathő)**

# **Fenntarthatóság: ez a legfontosabb**

- **U és Th vagyon „jó” felhasználása**
- **hosszú távú megoldások**
- **elterjesztés lehetősége világszerte**
- **levegőminőség javítása**
- **nukleáris hulladékoktól származó  
veszély jelentősen csökkenjen**
- **nukleáris fegyverek ne terjedjenek**

# **Generation IV International Forum**

- **2000-ben alakult: USA, UK, J, Br, Cd, Argentína, Dél-Afrika, Dél-Korea, Fr, Svájc**
- **2003-ban EU (EURATOM) csatlakozott**
- **OECD Nuclear Energy Agency látja el a titkárságot**

## **Szemponatok: foglalkoznak vele, ha:**

- **Fenntartható (üzemanyag legyen elég, környezeti hatások)**
- **Versenyképes (olcsó, rövid építés)**
- **Veszélytelen és megbízható rendszer (belsőleg biztonságos)**
- **Atomfegyver elterjedése, terrorista támadás ellen önvédett**

**Az elvek alapján hat fejlesztés →  
cél 2015 és 2025 között prototípus**

## **Termikus reaktorok:**

- **magas hőmérsékletű gázhűtéses termikus reaktor (VHTR)**
- **szuperkritikus hőmérsékleten működő vízű hűtéses reaktor (SCWR)**



# **Gyors, tenyésztő reaktorok:**

- **gázhűtésű gyorsreaktor (GFR)**
- **ólom-bizmut hűtéses gyorsreaktor (LFR)**
- **nátriumhűtéses gyorsreaktor (SFR)**
- **olvadéksós reaktor (MSR)**

**Mind tervezés fázisában (2015-25)!**

# Összefoglalás:

- a nukleáris energia egy emberöltő alatt az energetika szerves, megkerülhetetlen része lett
- gazdaságilag versenyképes lehet
- a környezeti problémák megoldását segítő fejlesztés lehetséges
- a bírálatokat komolyan kell venni
- előfeltétel: politikailag stabil világ!