

Atomenergia ittthon és a világban

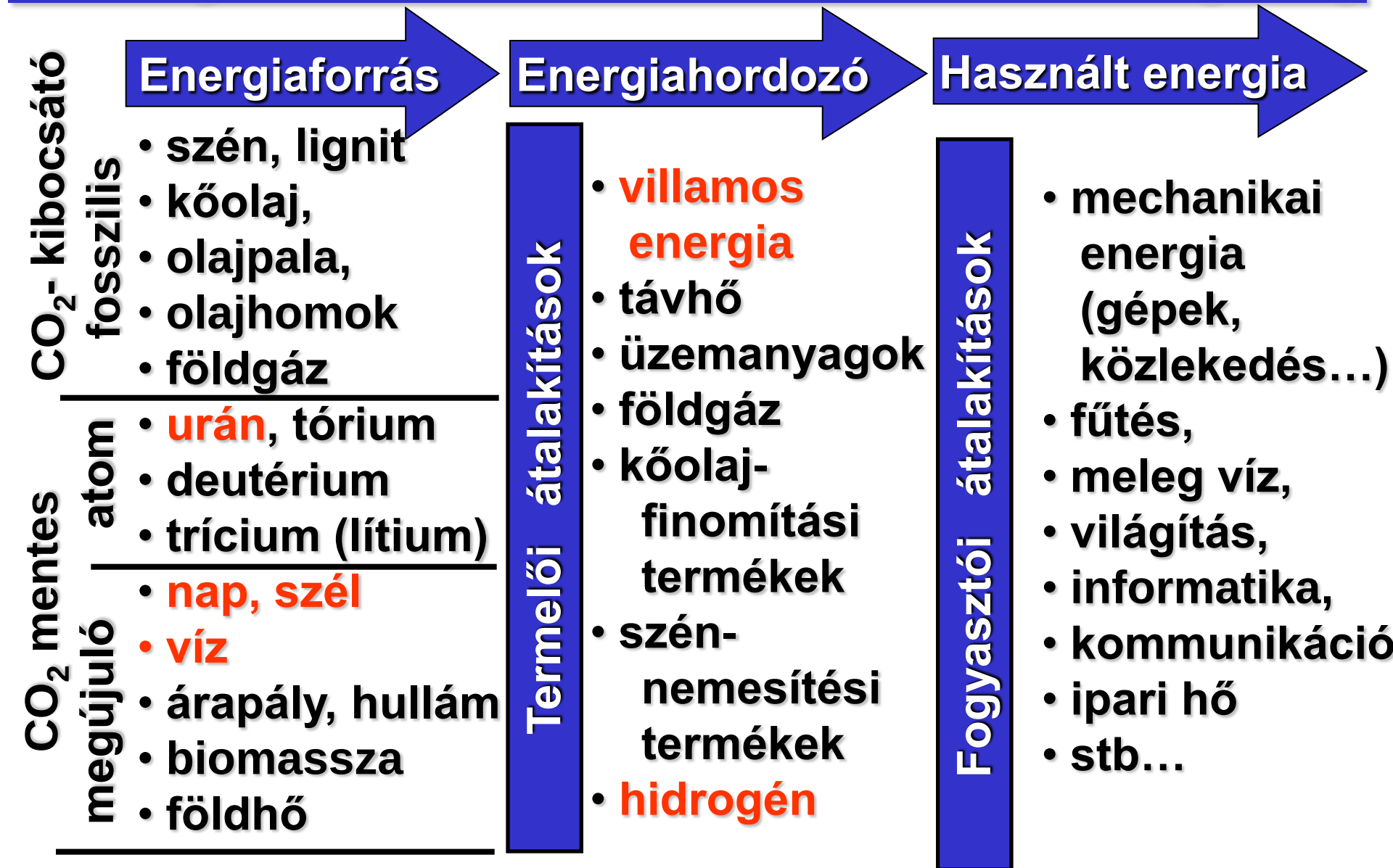
Sükösd Csaba
BME Nukleáris Technikai Intézet

57. Fizikatanári Ankét
Eger, 2014. március 16.

Tartalom

- **Energia → villamosenergia → atomenergia**
- **Atomenergia Fukushima után**
- **Új építések Európában és a világon („mindenütt leállítják”?)**
- **Magyar villamosenergia helyzet, új blokkok**
- **Atomenergia, de miért?**
- **Mennyibe kerülne Paks kiváltása nap- vagy a szélenergiával?**

Energiaforrástól a használt energiáig



Az atomenergia részesedése a villamosenergia-termelésből

Összes energiából részesedés $\neq$ **villamos** energiából részesedés

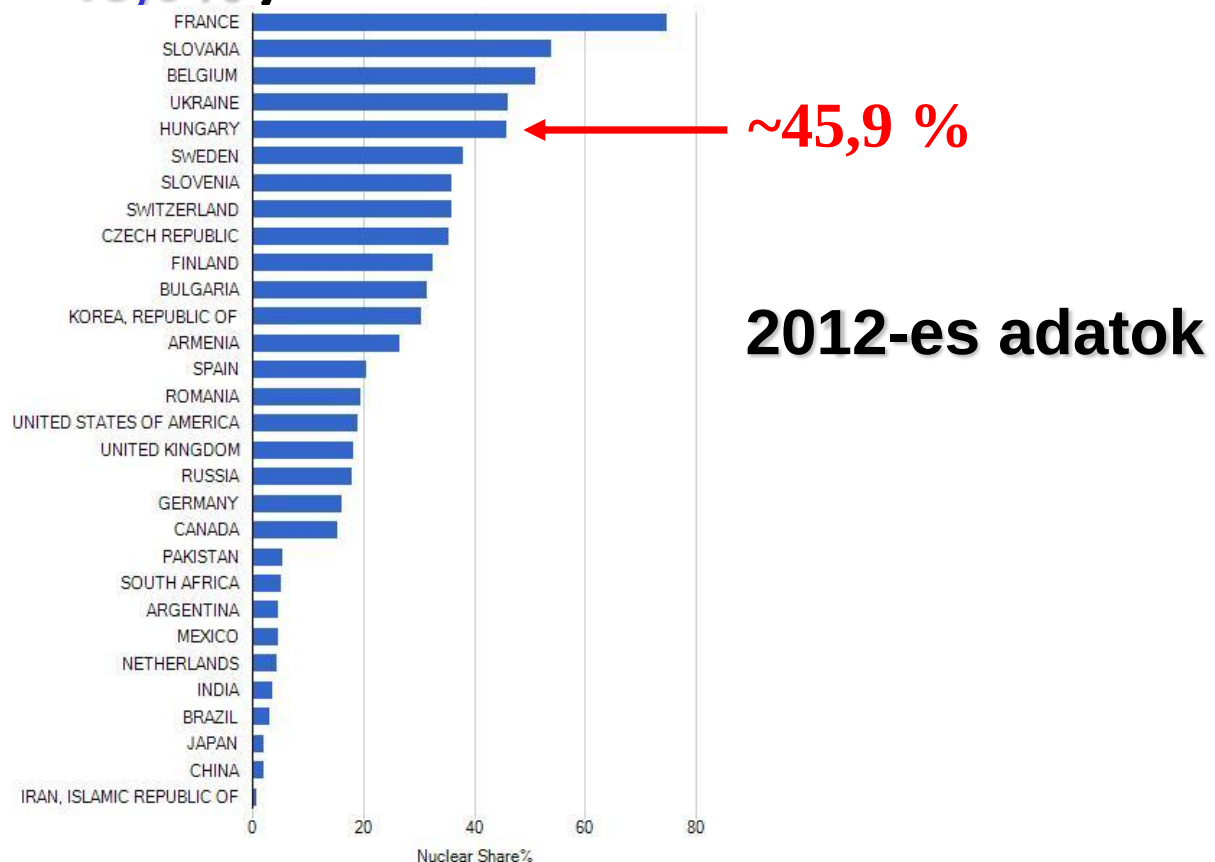
A világon: **14,11%**

Európában: **34,8%**

Magyarországon: **45,9%**

50,71% (2013)

az atomenergia részesedése



2012-es adatok

Forrás: <http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx>

Atomerőművek 2013-ban

2013. december 31-én:

- **435** atomerőművi blokk **üzemelt** 30 országban
(Paks: **4** blokk)
- Teljes beépített teljesítmény **372 022 MWe**
(Paks: **2 000 MWe**)
- **72** atomerőművi blokk áll **építés** alatt.

Forrás: Alexander Bychkov (Nemzetközi Atomenergia Ügynökség főigazgató-helyettese) előadása

Atomenergia 2013-ban

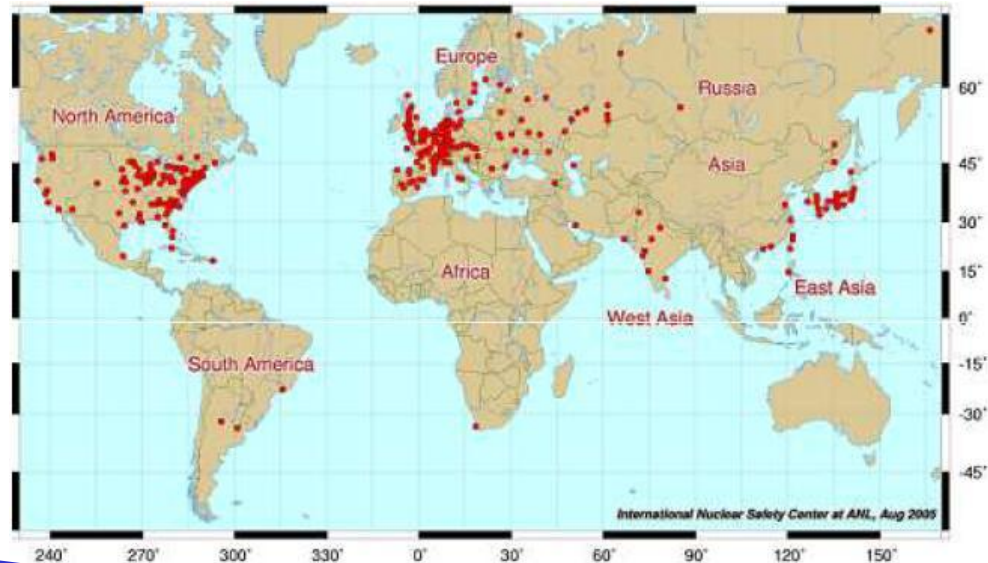
Működő reaktor: 435
Többségük az északi féltekén!

72 új reaktorblokk épül

Fukushima után:

a) Streszeszt szinte mindenütt

b) További tervek



Építési terveket tovább folytatók

- Kína, India,
- Oroszország,
- USA
- Egyes EU országok (Finnország, Franciaország, Románia, Anglia + ...)
- **30+** új belépő ország (!!)

Atomenergiát „kivezetők”

Németország (importőr lett)
Svájc (2034, 20,7Mrd CHF)
Japán
Spanyolország (távlatilag)

Atomenergia 2013-ban (folyt.)

- Meglévő erőművek **üzemidő-hosszabbítása**
 - Új erőművek **építése**
 - 3. generációs erőművek **fejlesztése**, az épülő erőművek között már vannak ilyenek is
 - 4. generációs erőművek **kutatása**
 - **Hulladék**-kérdéssel kapcsolatos **kutatások**
-

Hazánk is érintett:

- **üzemidő-hosszabbítás** (Paks)
- meglévő kapacitás **távlati pótlása** 2 új blokkal (Paks)
- **Kutatásokban** való erőteljes részvétel (KFKI-AEKI, BME, NUBIKI)

Épülő atomerőművek 2013-ban

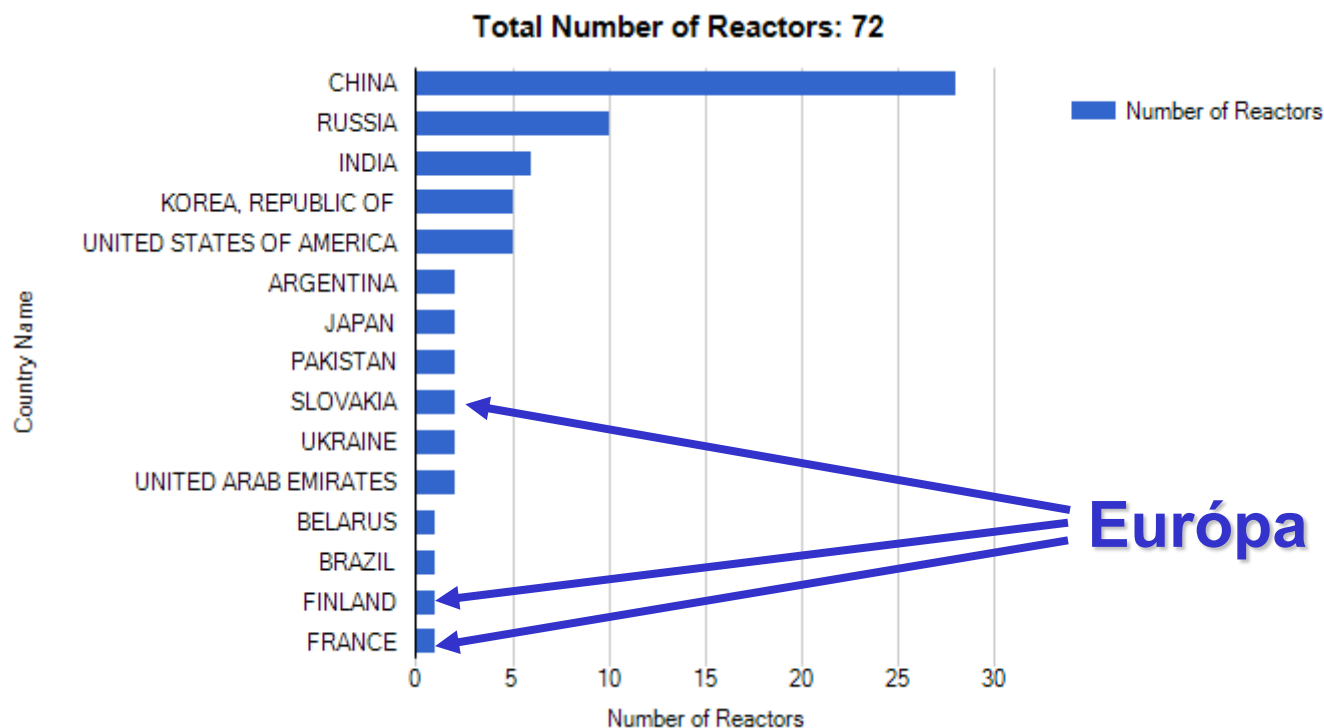


Forrás: <http://world-nuclear.org/NuclearDatabase/rdresults.aspx?id=27569&ExampleId=62>

Épülő atomerőművek 2012-ben

A világon: **72** új blokk

Európában: **4** új blokk



Forrás: <http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx>



2020	2030	2050
60 GW	200 GW	400 GW

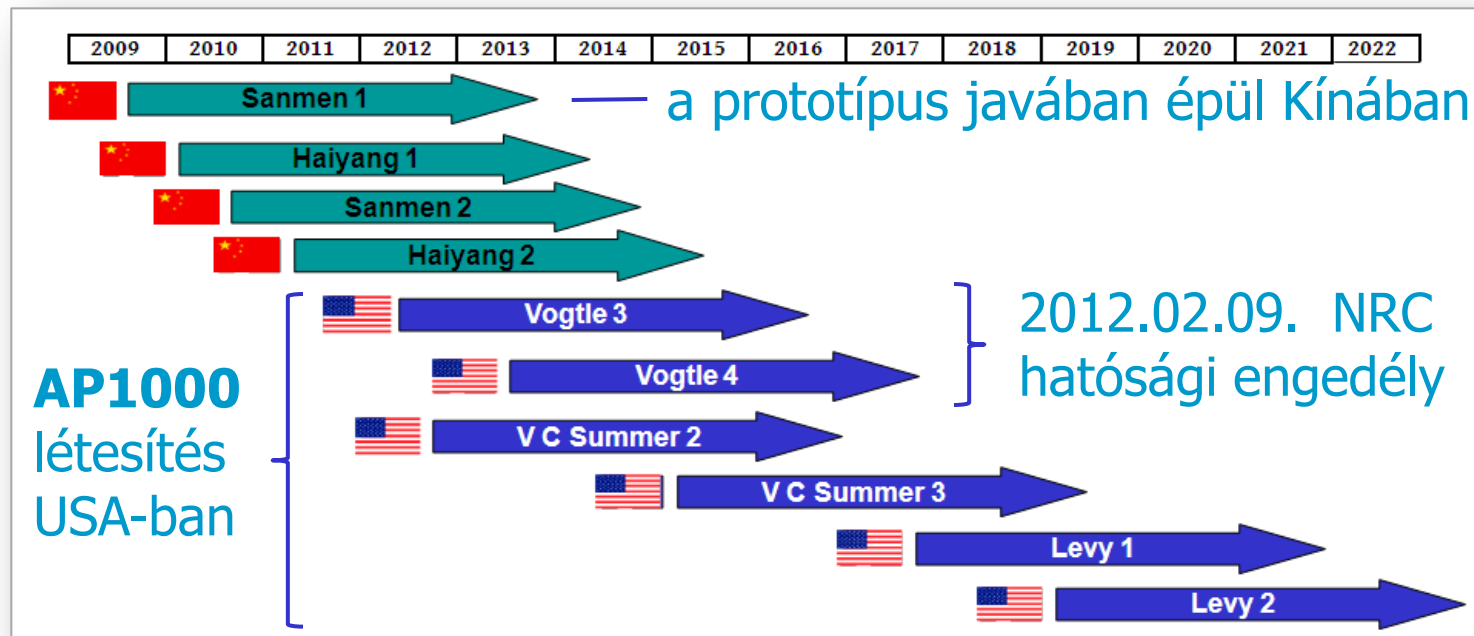
- Szédületes **kínai** tempó
 - **28 blokk** építés alatt, rövidesen még több indul,
 - tervek: 5-6x növelni a nukleáris kapacitást:
 - egyre inkább önellátók reaktor tervezésben és kivitelezésben, nukleáris üzemanyagciklusban,
 - zömmel nyomottvizes épül (kooperáció+saját gyártás)
 - most épülő típusok (4-18 elemű sorozatokban):
 - több **nyugati** gyártó típusai - AP1000, EPR, CANDU
 - az **orosz** gyártó típusa - VVER
 - honosított **kínai** sorozat - CNP-300, -600, -1000, ACNP
 - új **kínai** sorozat CPR-1000, ACPR-1000
 - egyéb (HTR, kis moduláris reaktor, gyorsreaktor...)



- Az **orosz** nukleáris technológia
 - Oroszország sem állt meg, **halad** előre
 - a nukleáris energiatermelés közel **duplázódik 2020-ig**,
 - nukleáris termékek, szolgáltatások exportja nemzeti cél,
 - világelső a gyorsreaktorok technológiájában.
 - **belföld**
 - 21 új blokk(!), 9 hazai telephelyen 2030-ig
 - új kiépítések (Leningrád-II, Novovoronyezs-II, Kola-II, Kurszk-II)
 - zöld mezős beruházások (Balti)
 - gyorsreaktor (Belojarszk), úszó atomerőmű (Viljucsinszk)
 - **külföld**
 - sok futó projekt (**kínai, indiai, török, vietnami, fehérorosz, jordán**)
 - Rosatom Overseas megalapítása (orosz bázisú multinacionális konglomerátum létrehozása külföldi terjeszkedésre), vegyes vállalatok alapítása (pl. Atomenergomas-Alstom), intenzív cégvásárlások (pl. Skoda JS, Nukem),
 - betörni az EU-ba (**cseh, szlovák, magyar, bolgár?, brit?** beruházások)

Atomerőmű fejlesztések

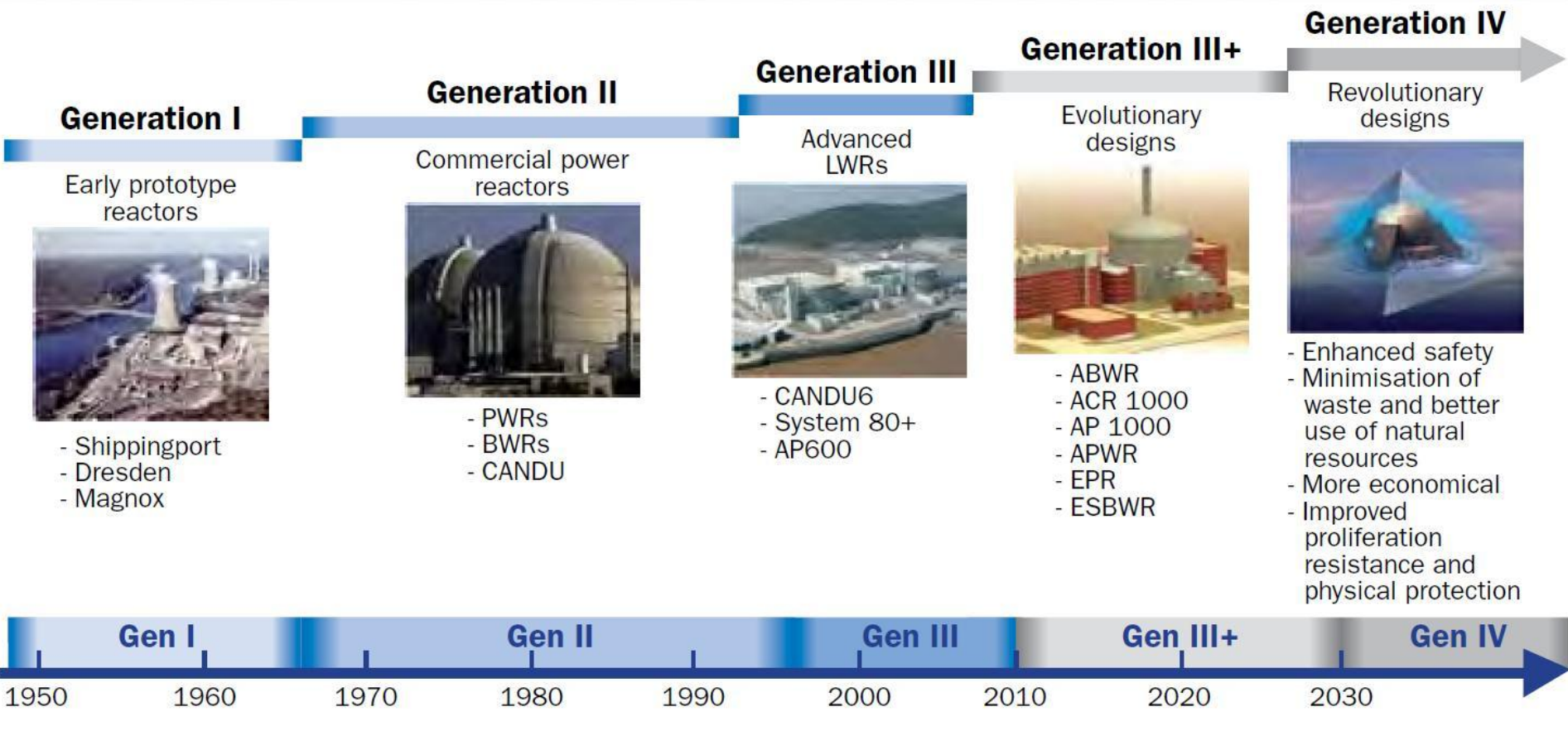
- Az **amerikaiak** 30 év után újra belekezdtek



Vogtle-3
földmunka



Reaktorgenerációk



Reaktorgenerációk

- **Gen I (1950-1970-ig épültek, kezdeti)**
 - korai prototípus reaktorok, már nem működnek
- **Gen II (1970-2000)** **Paks 1-4 is ilyen**
 - a kilencvenes évekig épült kereskedelmi reaktorok
 - PWR/VVER, CANDU, BWR, AGR
 - megalapozott **teljesítmény növelések** (5-15%)
 - tervezett **üzemidejük** 30-40 év, **meghosszabbítható** (pl. +20 év)
- **Gen III (2000-)** **Paks 5-6 ilyen lesz**
 - **biztonság evolúciója** (TMI, Csernobil és Fukushima tanulságai)
Nem utólagos intézkedés, már az eredeti tervekben!
 - biztonsági rendszerek 300-400% tartalékolással,
 - redundáns (többszörös), diverz, fizikailag szeparált kialakítás,
 - passzív biztonsági rendszerek hányadának növekedése,
 - alacsonyabb zónaolvadási valószínűség,
 - súlyos baleset megelőzés, mérséklés eszközei a tervben,
 - külső hatások elleni fokozott védelem, hosszabb autonóm üzem.

Néhány Gen III típus

AES-2006 VVER-1000 utód (Gidropress-Atomenergoprojekt, orosz)
AP1000 Advanced Pressurized Water Reactor (Westinghouse, USA)
APR-1400 Advanced Pressurized Reactor (KEPCO, délkoreai)
APWR1700 Advanced Pressurized Water Reactor (Mitsubishi, japán)
ATMEA1 G3+ Pressurized Water Reactor (AREVA+Mitsubishi)
CPR-1000 Improved Chinese PWR (CNPEC, kínai)
EPR European Pressurized Water Reactor (AREVA, francia-német)

ABWR Advanced Boiling Water Reactor (GE-Toshiba, amerikai-japán)
ESBWR Economic Simplified Boiling Water Reactor (GE, amerikai)
SWR-1000 Siedewasser Reactor (AREVA+Siemens, német-francia)

ACR-700,-1000 Advanced CANDU Reactors (AECL, kanadai)
GT-MHR Gas Turbine Modular Helium Reactor (GA, amerikai)
PBMR Pebble Bed Modular Reactor (Eskom, amerikai-délafrikai)

nyomottvízes

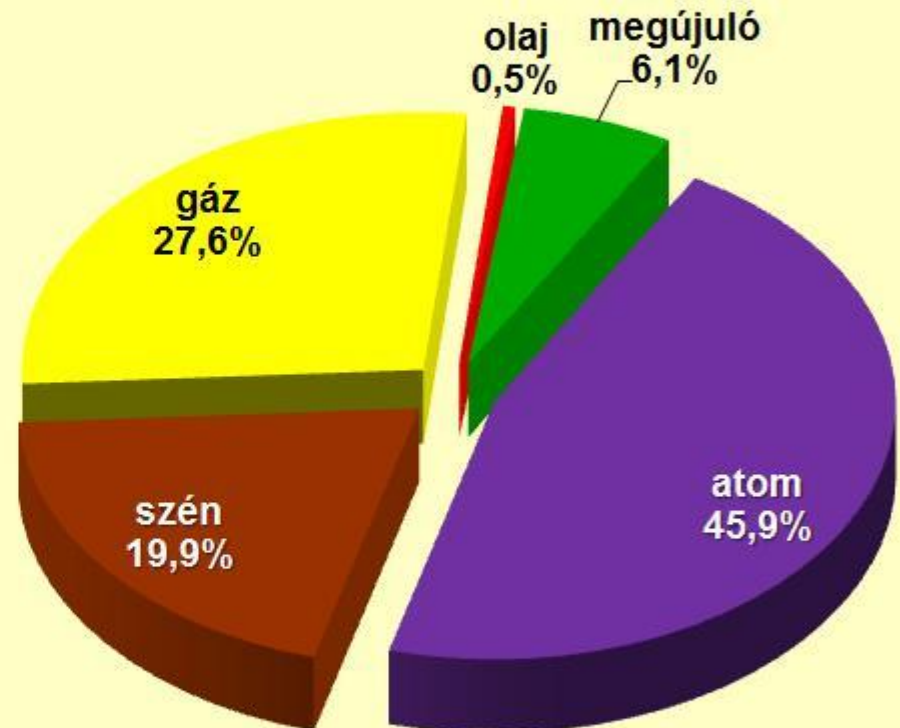
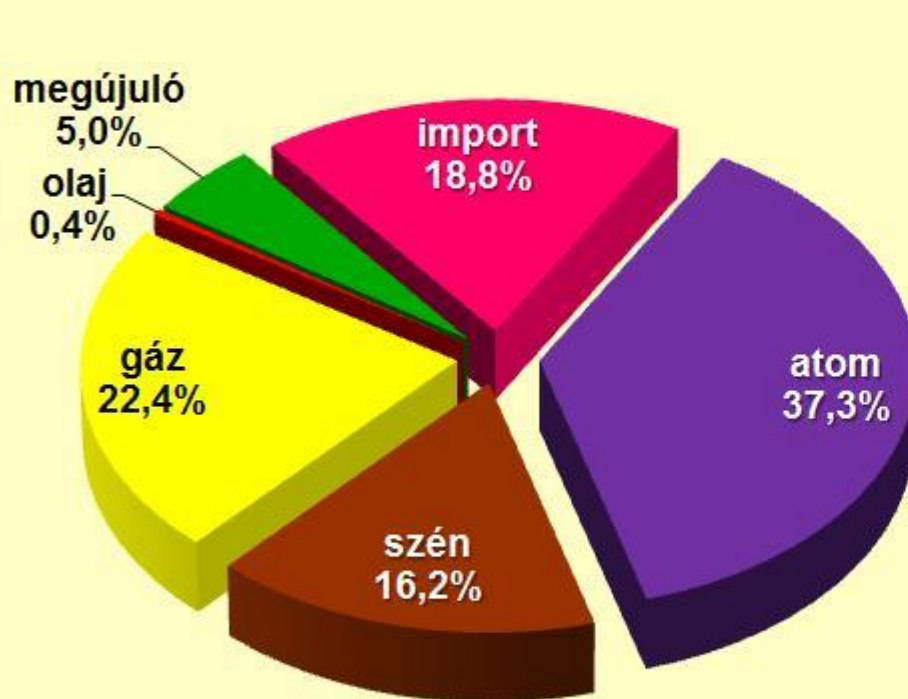
forraló

egyéb

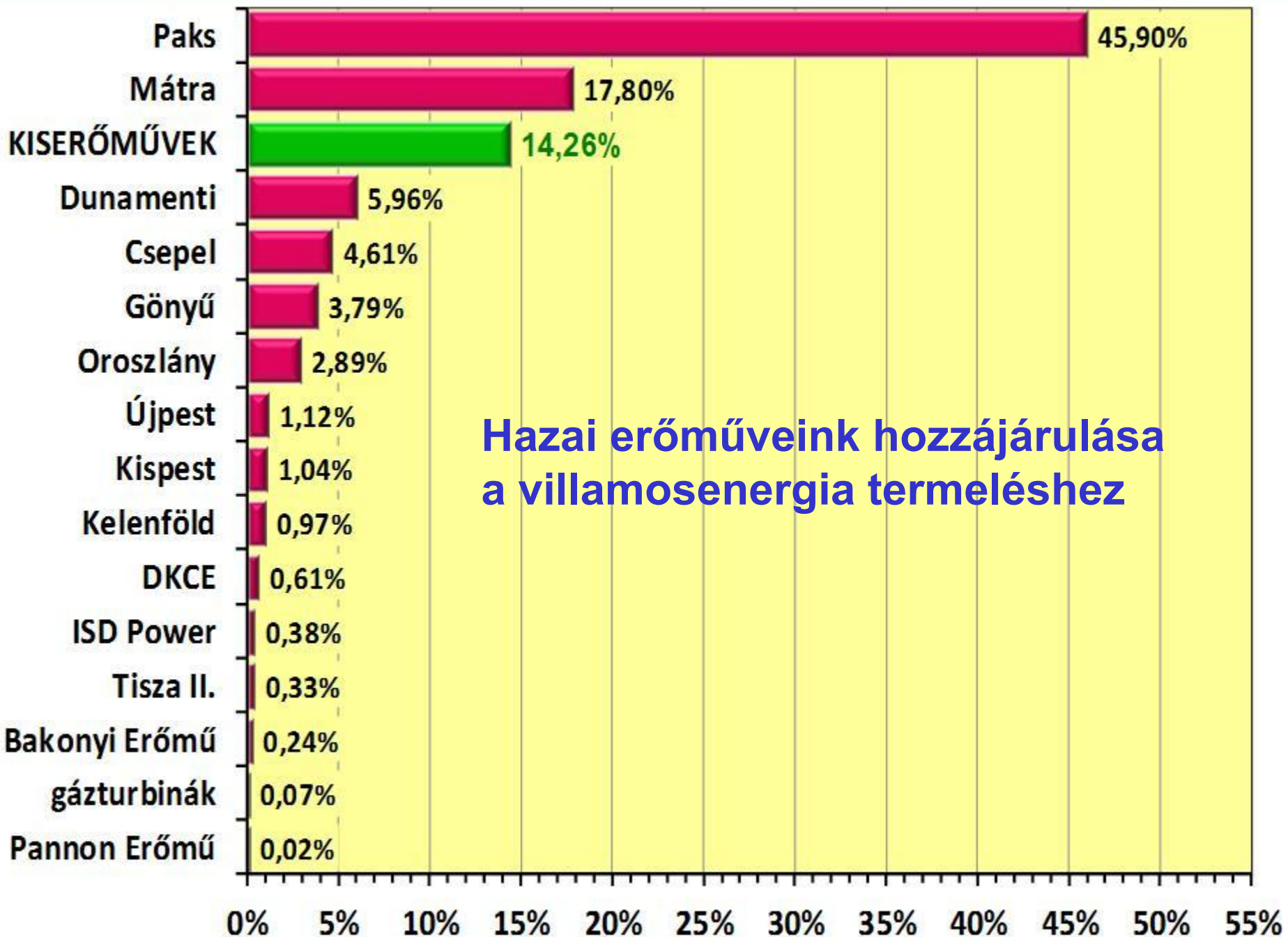
Magyar villamosenergia helyzet

Importszaldóval együtt

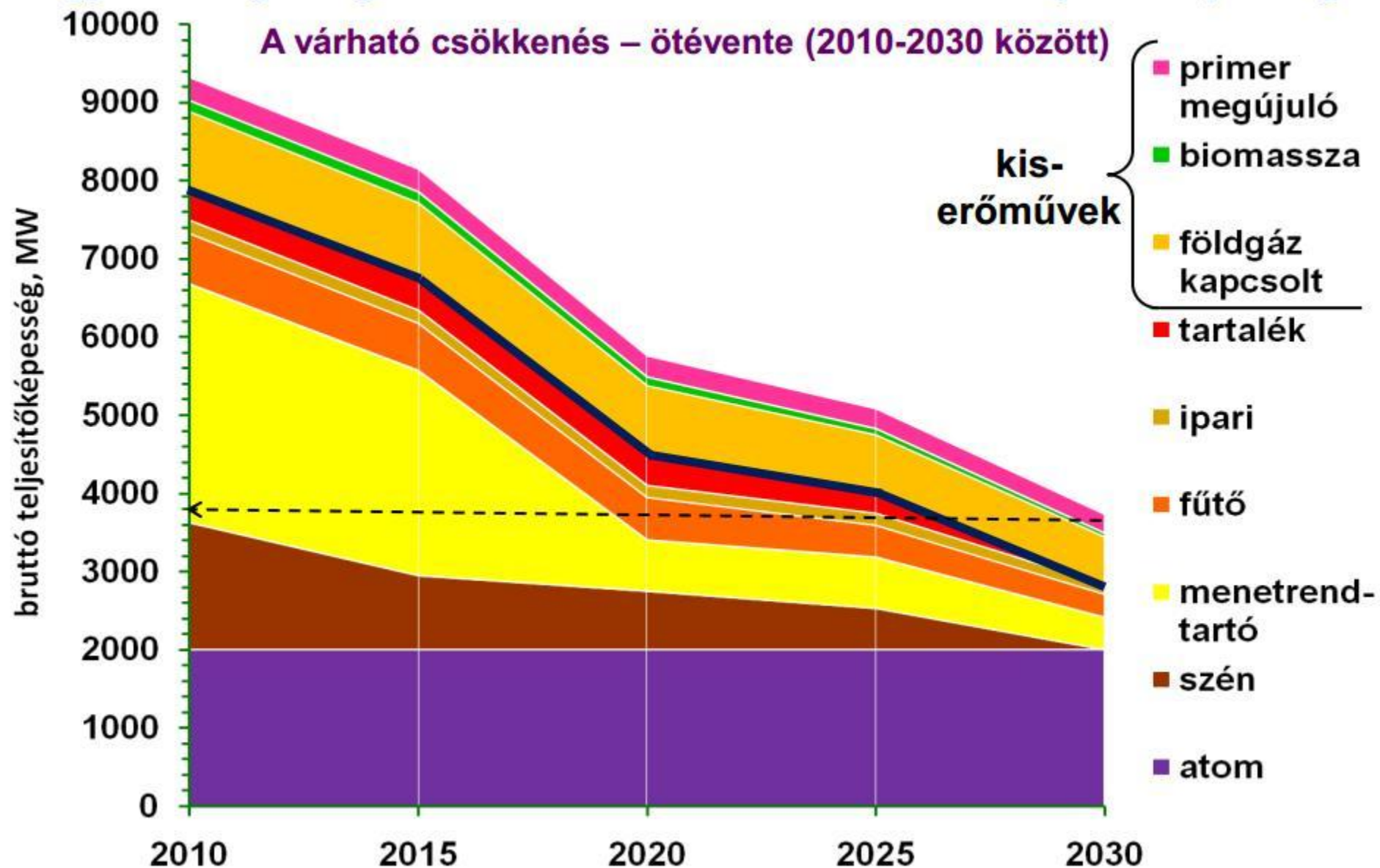
Importszaldó nélkül –
csak a hazai termelés



Hazai villamosenergia összetétele



Magyarországi megmaradó erőművek bruttó villamos teljesítőképessége



http://www.e-met.hu/files/cikk3101_MET_Eromu_Forum_2012_Strobl.pdf

Új hazai blokk előfeltétele, időskála

parlament

kormány

minisztérium



Atomtörvény 7. § (2) Új nukleáris létesítmény és radioaktív hulladéktároló létesítését előkészítő tevékenység megkezdéséhez, illetőleg meglévő atomerőmű **további atomreaktort tartalmazó egységgel való bővítéséhez** az **Országgyűlés előzetes, elvi hozzájárulása szükséges.**

2009. március 30. - Az országgyűlés **330 igen, 6 nem és 10 tartózkodás** mellett **megadta az elvi hozzájárulást** a paksi atomerőmű telephelyén, új atomerőművi blokk vagy blokkok létesítésének előkészítését szolgáló tevékenység megkezdéséhez.

Igen:	330	95,4%
Nem:	6	1,7%
Tartózkodás:	10	2,9%
Szavazott:	346	100,0%
Nem szavazott:	39	

Teller

Lévai

MVM Paks II. Atomerőmű Fejlesztő ZRt.

Paks-5

Paks-6

2007 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

évek

tanulmányok

engedélyek

tender

tervezés

építés

szereelés

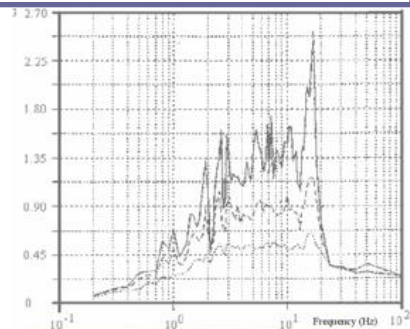
üzembe
helyezés

Rosatom – AES-2600 (MIR-1200)

Kettős konténment

Szeizmikus terhelés

Tervezési vízszintes
maximális gyorsulás:
0,12 g



Szélterhelés

A biztonsági rendszerek
30 m/s szélességre
vannak tervezve, telephelyi
sajátosságok alapján
módosítható. (3-as fokozatú
forgószélnek megfelelő)

Repülőgép becsapódás

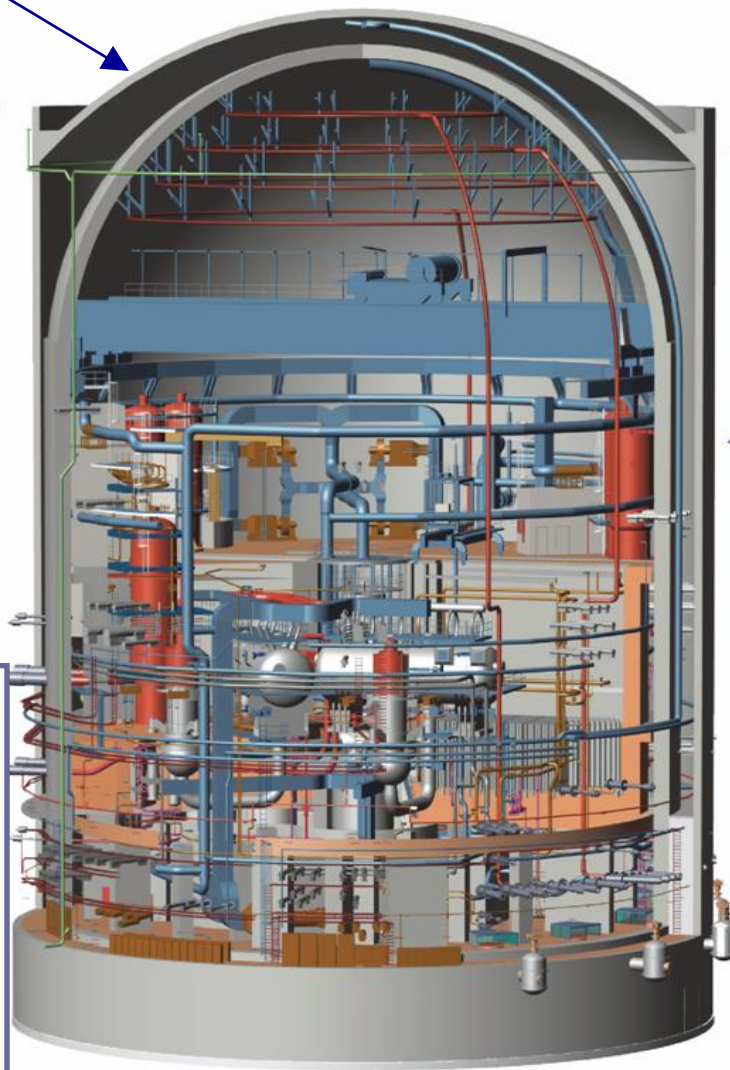
Tervezési alap: repülőgép
becsapódása (megfelel
egy 5,7 tonnás, 100 m/s
sebességű lövedéknek)

Külső robbanás

Tervezési alap: külső
robbanás nyomás-
hulláma (30 kPa 1 s-ig)

Hó és jég terhelés

Tervezési alap: extrém
hóterhelés
(4,9 kPa)

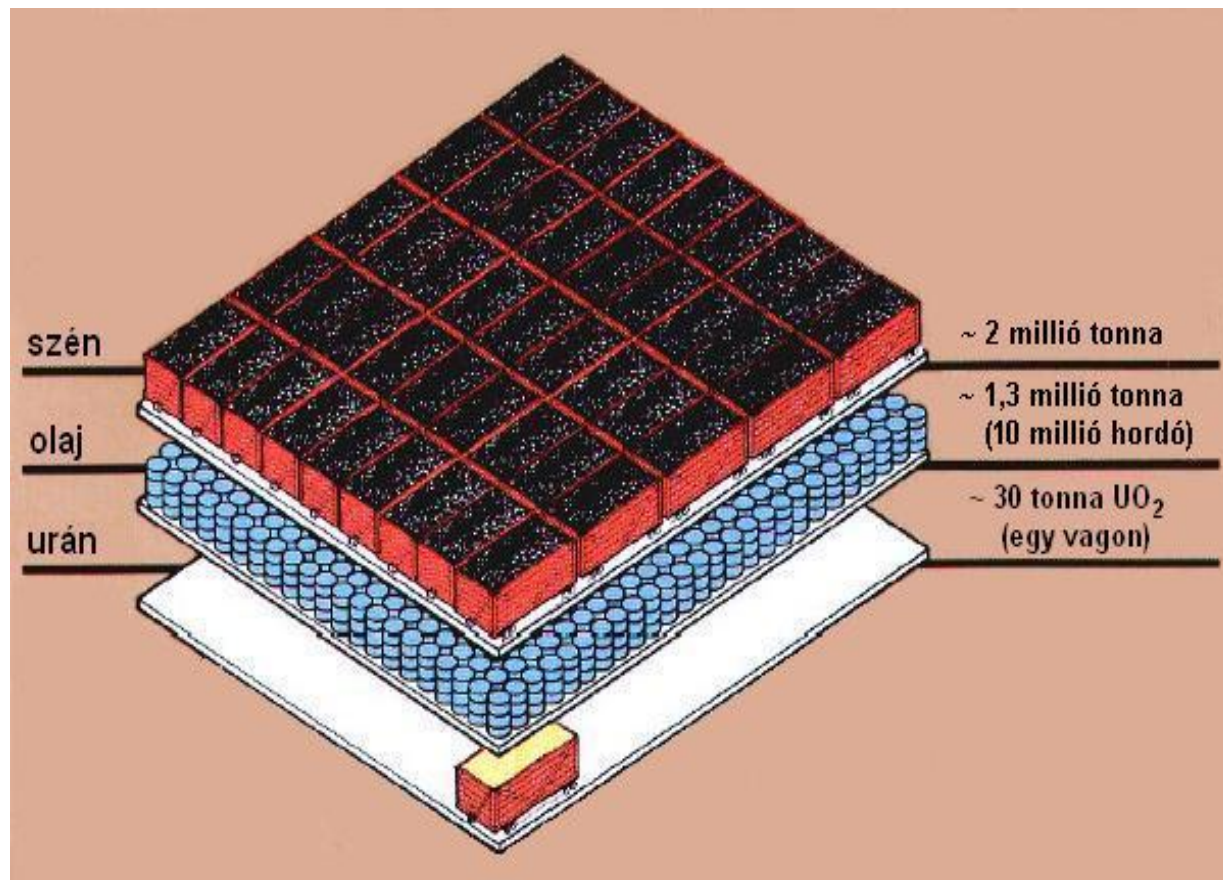


Atomenergia, de miért?

1) **Sűrű** energia: maghasadáskor sokmilliószor annyi energia szabadul fel, mint a szén, olaj, vagy földgáz elégetésekor

Következmények:

- a) **Bányászat olcsó, kisebb kockázatú**
- b) **Szállítás olcsó**
- c) **Nagy tartalék készletek halmozhatók fel: független energia ellátás**
- d) **Hulladék kisebb mennyiségű**

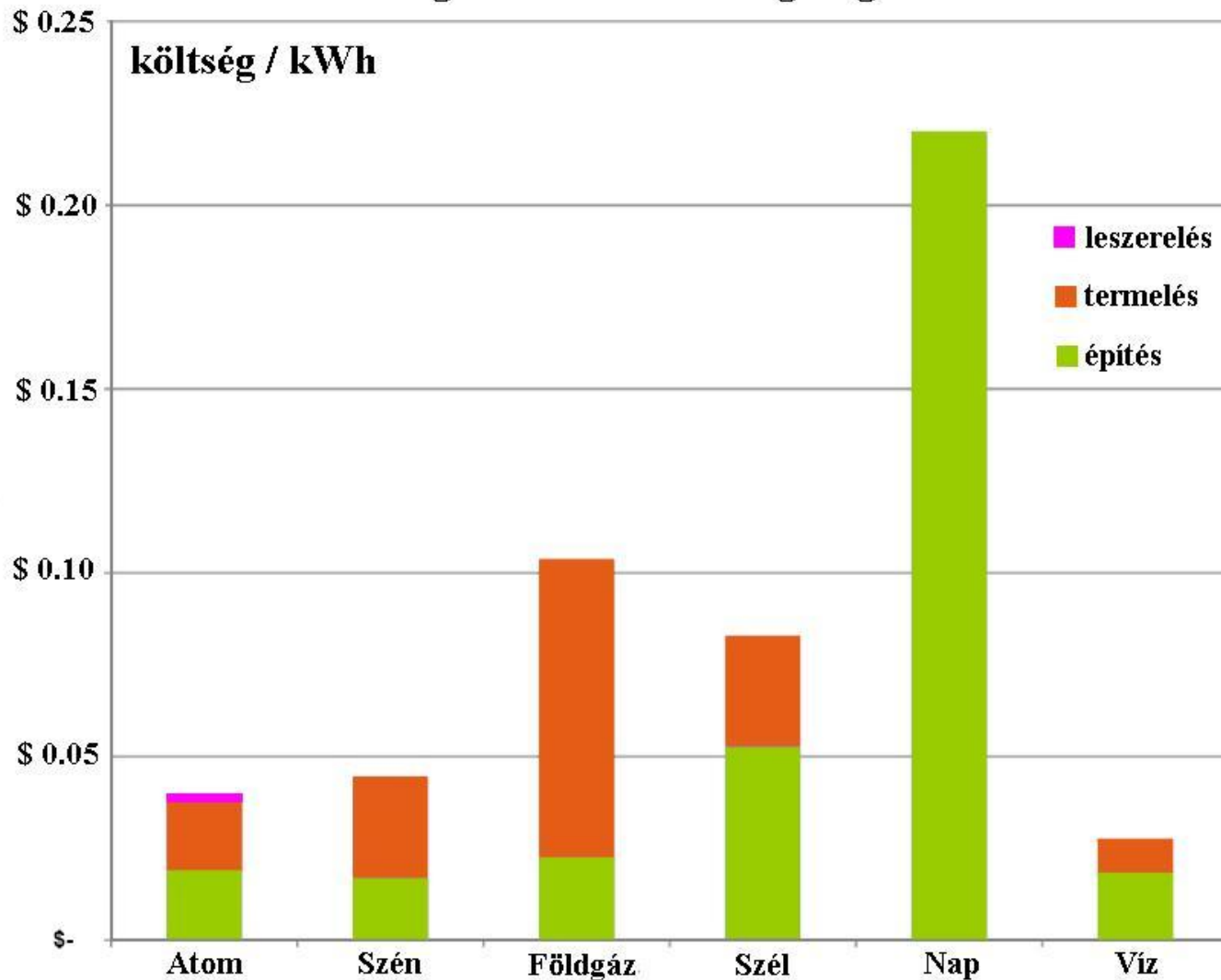


Atomenergia, de miért? (folyt.)

- 2) **Környezetbarát**: atomerőművekben nem keletkezik üvegházhatást okozó gáz (széndioxid, füstgázok).
Kyotó Egyezmény vállalásainak teljesítésében az atomerőműveknek nagy szerep juthat(na)
- 3) **Földrajzi** adottságoktól függetlenül telepíthető:
pl. vízerőmű, szél erőmű, napenergiával működő erőmű
nem ilyen
- 4) Pillanatnyi **klimatikus** hatásoktól függetlenül működik:
Alaperőműként üzemeltethető.
pl. szél erőmű, napenergiával működő erőmű nem ilyen
- 5) **Olcsó**: az összes többi energiatermelési móddal összehasonlítva az egyik legolcsóbb
(a széntüzelésű erőművek ill. a vízerőművek ilyen olcsók még)

A villamosenergia árának összetevői

Villamosenergia termelés költségmegoszlása kWh-ként



<http://nuclearfissionary.com/wp-content/uploads/2010/04/total-cost-electricity-production-per-kwh.jpg>

A napenergia ára

Mennyibe kerülne naperőművel előállítani a Paksi Atomerőmű által előállított energiát?

Paksi adatok:

Teljesítmény: 2000 MWe,
Éves energia: 15685 GWh/év
Kihasználtság: 89,5%

Naperőmű adatok (sajtóból):

Újszilvás:
Teljesítmény: 0,4 MWe,
Éves energia: 0,63 GWh/év
Létesítési költség: 618,5 MFt



A **TELJESÍTMÉNY** kiváltására $2000 \text{ MW} / 0,4 \text{ MW} = 5000 \text{ db}$ ilyen (újszilvási) erőművet kellene építeni.

Ennek költsége $5000 * 618,5 \text{ MFt} = 3093 \text{ milliárd Ft.}$

A napenergia ára (folyt.)

Újszilvás éves energiatermelése: 630 000 kWh = 0,63 GWh

Paks által évente megtermelt ENERGIA: 15685 GWh.

Ha tehát a blokkok által megtermelt ENERGIÁT szeretnénk kiváltani, akkor $15685 / 0,63 = 24897$ db ilyen naperőművet kellene építeni, és ennek az építési költsége 15400 milliárd Ft lenne!

Mitől van ez a nagy különbség? A naperőmű nem mindig termel!!

Időbeli kihasználtság: $\frac{630000\text{kWh}}{400\text{kW}} = 1575\text{h}$ Egy évben van

$365 \cdot 24 = 8760$ h, tehát a kihasználtság: $\frac{1575}{8760} = 0,18$, azaz 18% !!

A naperőmű működése során megtermelt energia 82%-át el kellene tárolni arra az időre, amikor nem működik! A tárolás költsége még nincs benne a 15400 milliárd Ft-ban!

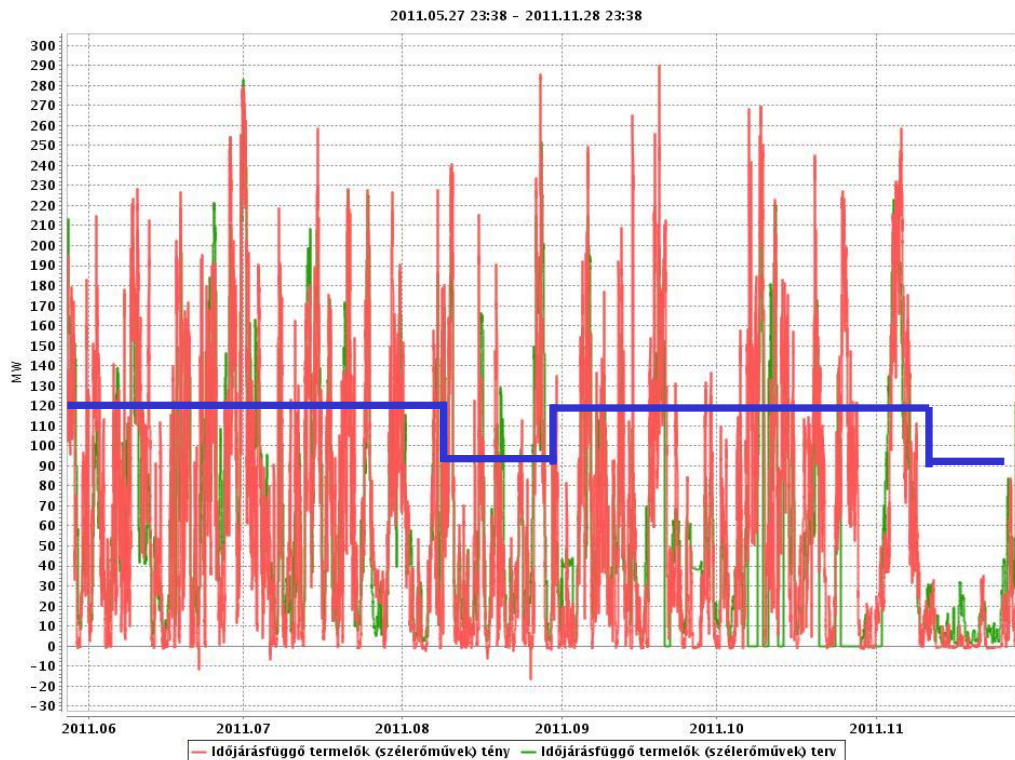
Különböző becslések szerint a Paksi Atomerőmű 2000 MW-os teljesítményének majdani pótlását biztosító két új blokk létesítési költsége 3000-5000 milliárd Ft közé esik. Sok? És az ugyanennyi energiát termelő naperőmű létesítése?

A szélenergia ára

Már vannak szélerőműveink, le tudunk vonni következtetéseket!

Mosonszolnok szélerőmű-park: 52 GWh/év, 9 Mrd Ft létesítés

Paks: 15685 GWh/év ~ 300 ilyen szélerőmű-park. ~ 2700 Mrd Ft



Szélerőműveink teljesítménye
2011.05.27 - 2011.11.28

(Átlagos kihasználás: 26,4 %)

**a Paksi Atomerőmű
teljesítménye
(„alaperőmű”)**

Forrás: <http://www.mavir.hu/web/mavir/szeltermeles>

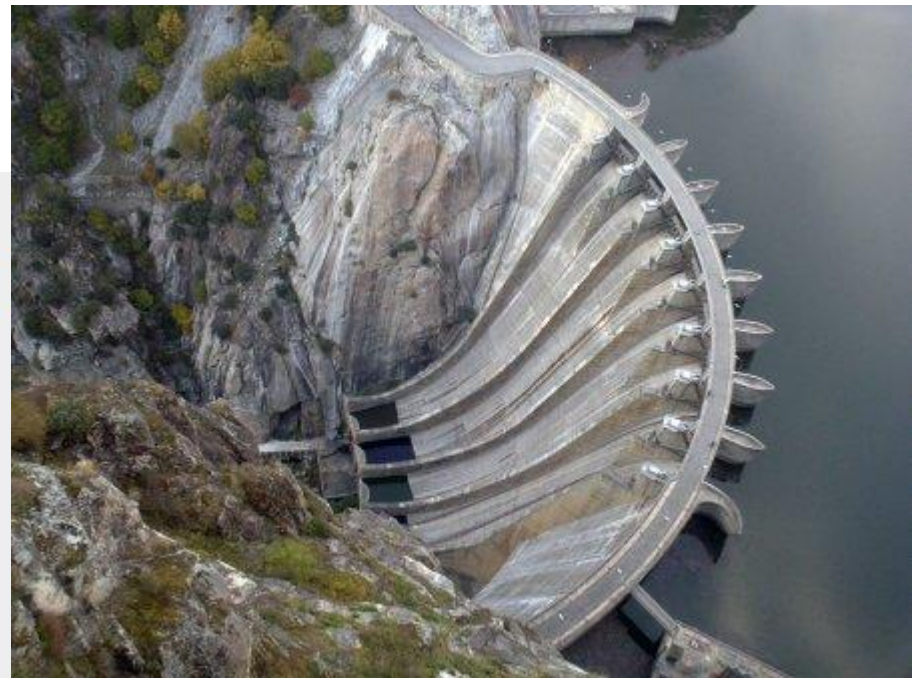
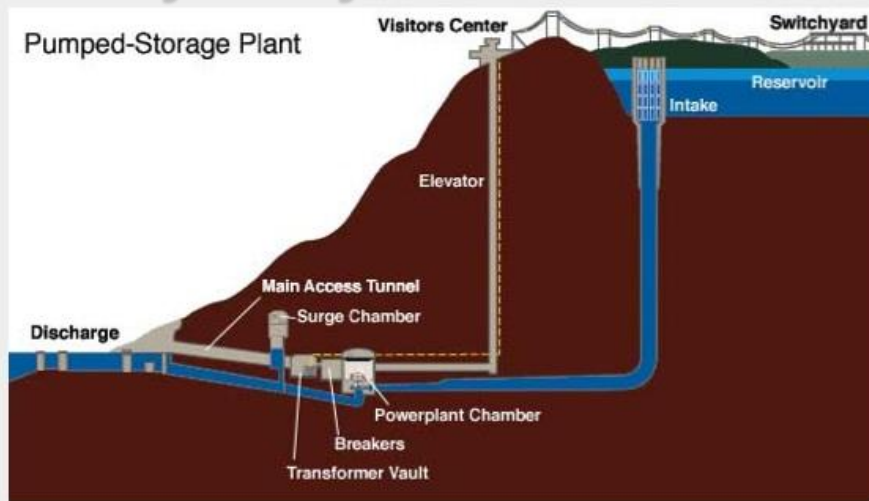
**Szélenergia részarányának lényeges növelése:
csak ENERGIATÁROLÁSSAL!**

Energiatárolás nagy mennyiségben

- Villamos energia formájában nem lehet (akkumulátorok, kémiai)
- Vízenenergia (megvalósítható, jelenleg legolcsóbb)
- Hidrogén-gazdaság (még kutatás alatt áll)

Vízenenergia: **tározós erőmű** (70% visszanyerhető energia)
többlettermelés idején felpumpáljuk a vizet,
hiány esetén leengedjük, áramot fejlesztünk. $E = mgh$

Természeti adottságok kellene!
Magas hegyek, nagy völgyek
Komoly környezeti hatások!



Banqiao (1975) : 171 000 halott, 11 millióan veszítették el hajlékukat

Hidrogén-gazdaság

Elve:

- A többlet energiával hidrogént fejlesztünk: $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$
- A hidrogéngázt eltároljuk (energia-”**hordozó**”, nem forrás!)
- Amikor szükséges, speciális gázturbinás erőműben elégetjük, villamosenergiát állítunk elő (vagy speciális gázhajtású autókat hajtunk meg vele stb.)

Előnye: nincs üvegház-gáz kibocsátás (csak víz keletkezik)

Hátránya:

- Az elektrolízises hidrogén-fejlesztés hatásfoka nagyon rossz (sok a veszteség)
- **Magas hőmérsékleten** ($>1000 \text{ C}$) katalizátorokkal jobb, de még így sem éri meg villamosenergiát tárolni, legfeljebb az **ipari hőt** hasznosítani.
- A H_2 tárolása gáz formájában veszélyes (robbanásveszély)



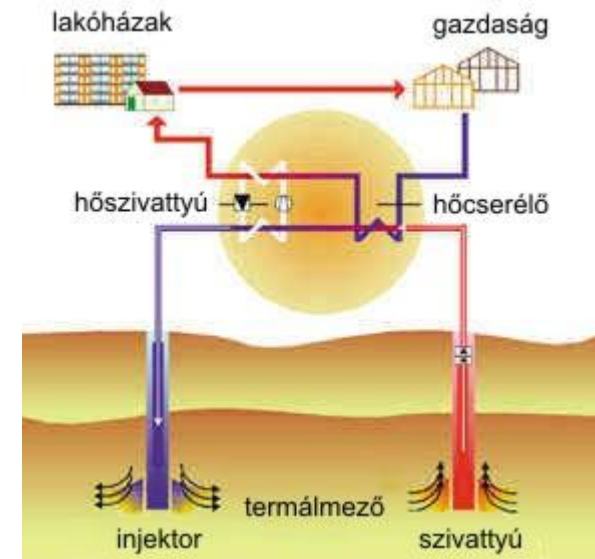
Következtetés: 2000 MW alaperőművi villamosenergia termelést **nem lehet** nap- vagy szélerőművekkel kiváltani!

Hol van fontos szerepe a megújulóknak? (Nap, geotermikus...)

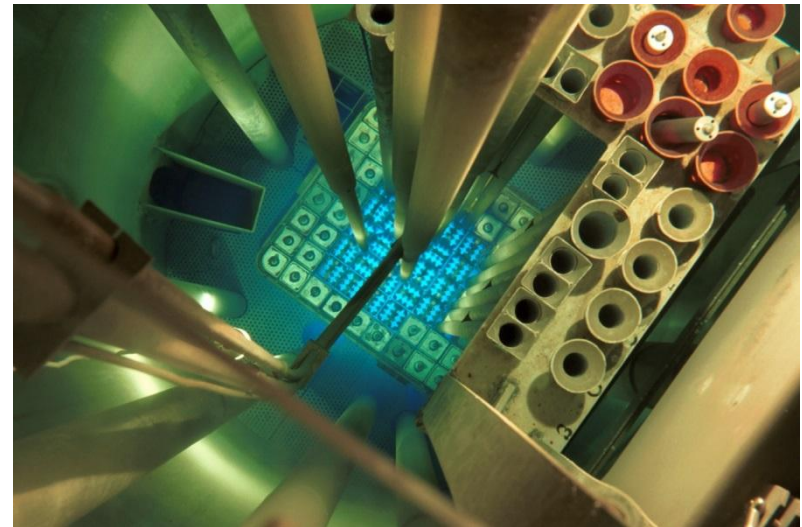
Közvetlen hőtermelés:
fűtés, meleg víz, alacsony hőmérsékletű ipari folyamatok

Ezt a jelenleginél sokkal nagyobb mértékben lehetne/kellene kihasználni!!!

(Központi támogatás!!!)



Az atomenergiának világméretekben és Magyarországon is világos és biztos jövőképe van, Fukushima ellenére.

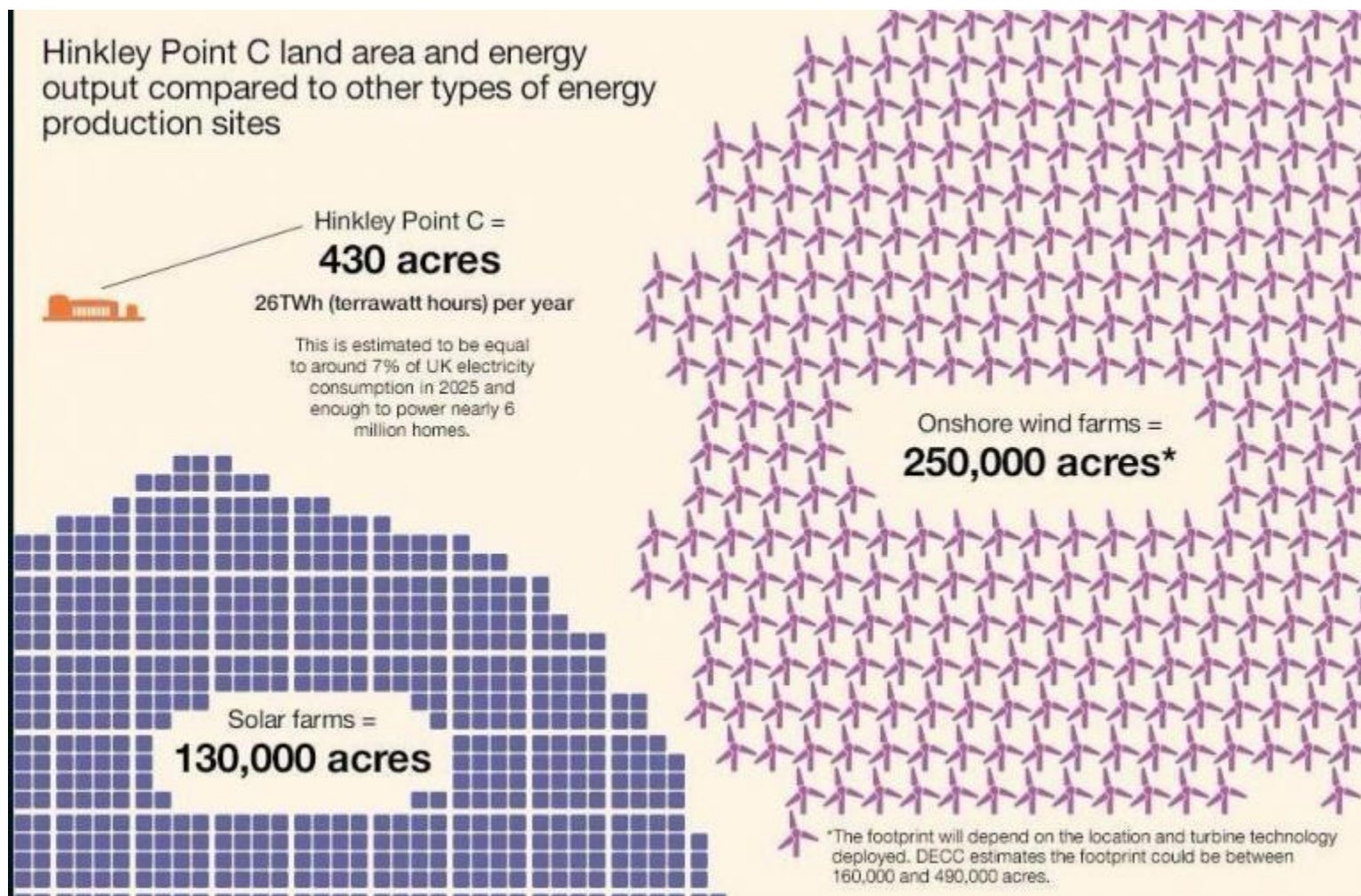


„...majdnem mindaz, amit hozzáadtunk az emberek kényelméhez, a felismert fizikai törvények hatására következett be.”

(Wigner Jenő, Nobel-díjas fizikus)

Köszönöm a figyelmet!

Hinkley Point C (UK) területe összehasonlítva az ugyanannyi energiát termelő szél- ill. naperőművek területével



<http://www.ibtimes.com/hidden-cost-solar-wind-power-one-image-uk-1441400>

1 acre = 4046,85 m²