

# Atomenergia a 21. században

**Sükösd Csaba**  
**BME Nukleáris Technikai Intézet**

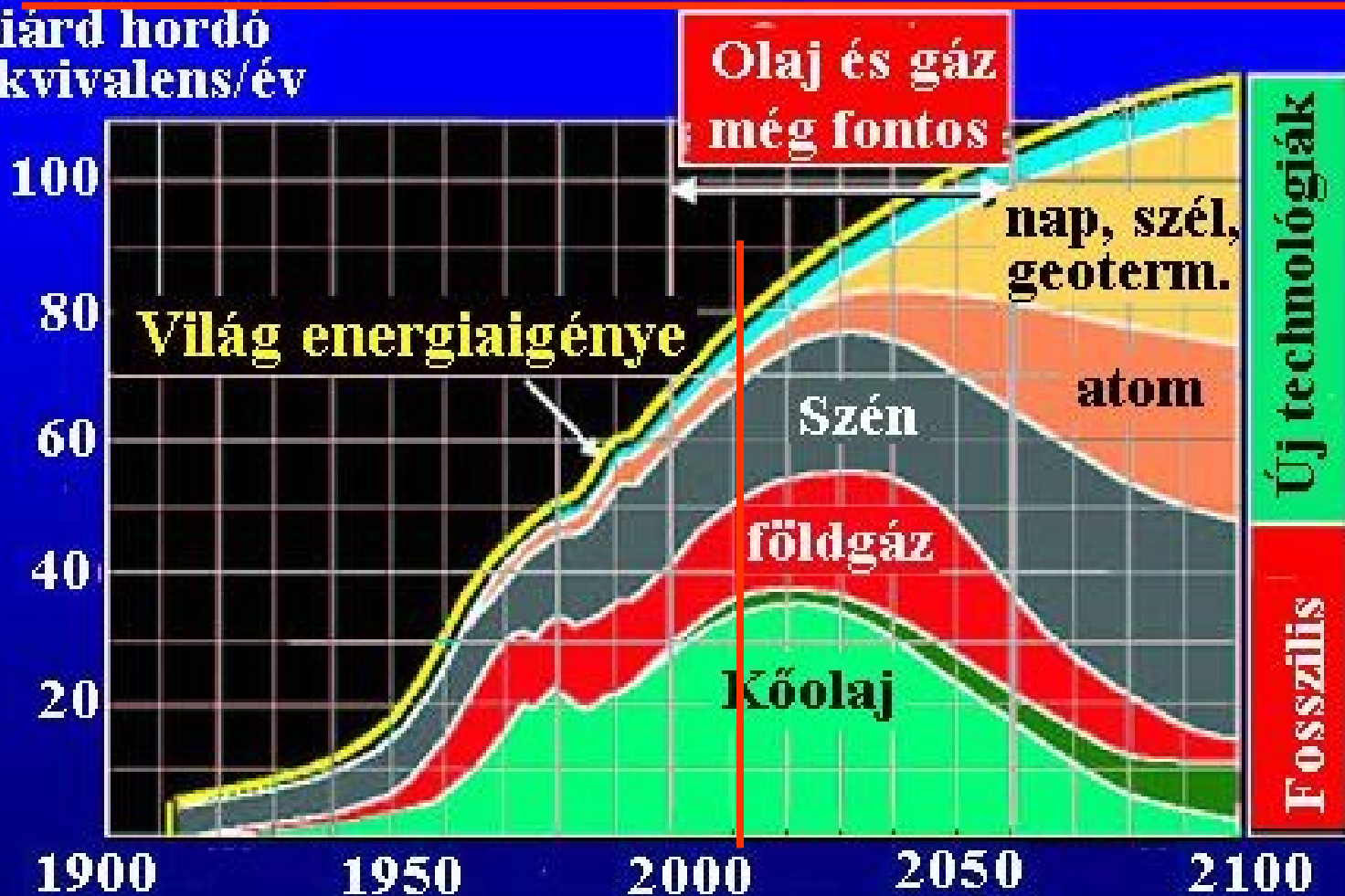
**Atomenergiáról – mindenkinek**  
**OAH – TIT Stúdió Ismeretterjesztő konferencia**

# Tartalom

- **Energia → villamosenergia → atomenergia**
- **Az atomenergia fő irányai a 21. században**
- **Atomenergia Fukushima után**
- **Új építések Európában és a világon**
- **Atomreaktorok generációi**
- **Mennyire drága az atom, a nap- és a szélenergia?**

# Távlati energiaigény prognózis

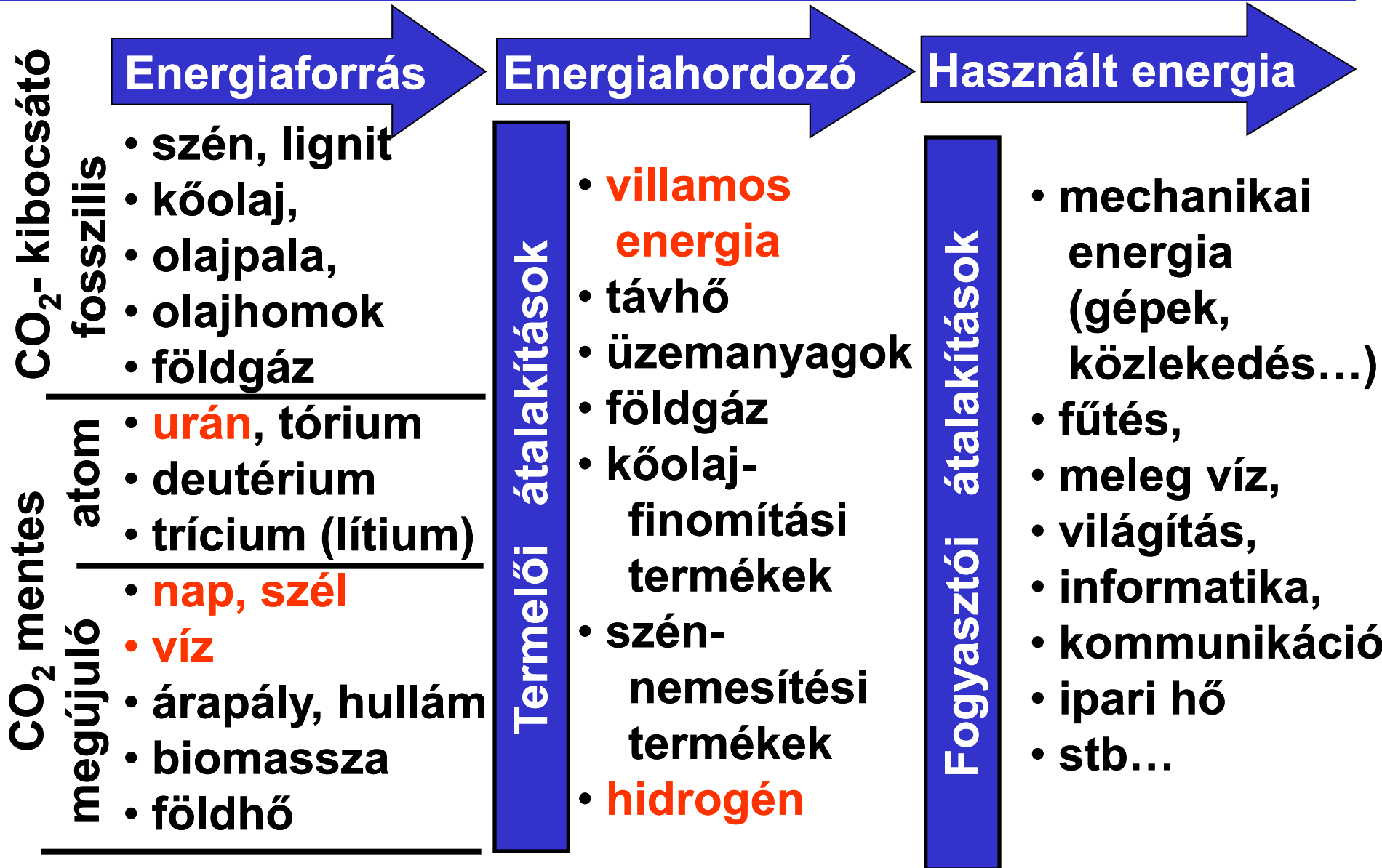
milliárd hordó  
olajekvivalens/év



AAPG 897

Forrás: <http://www.energy-visions.com/tradition.html>

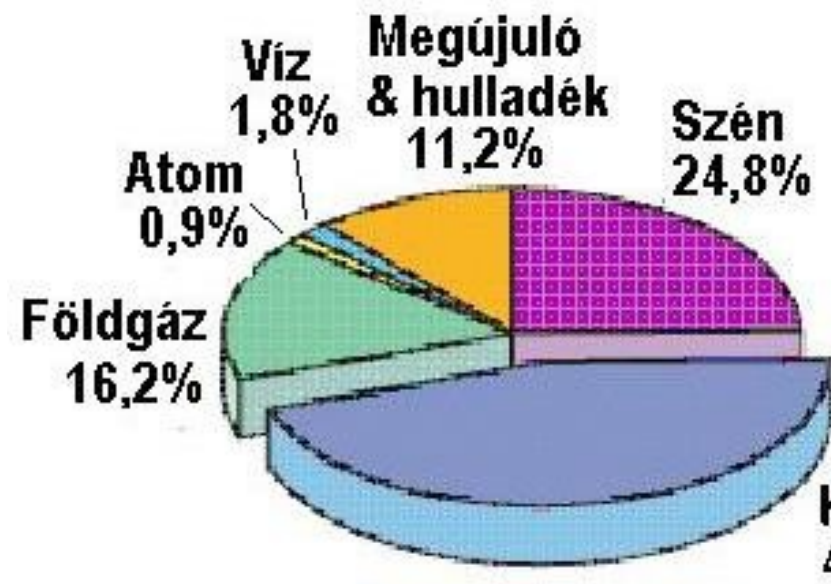
# Energiaforrástól a használt energiáig



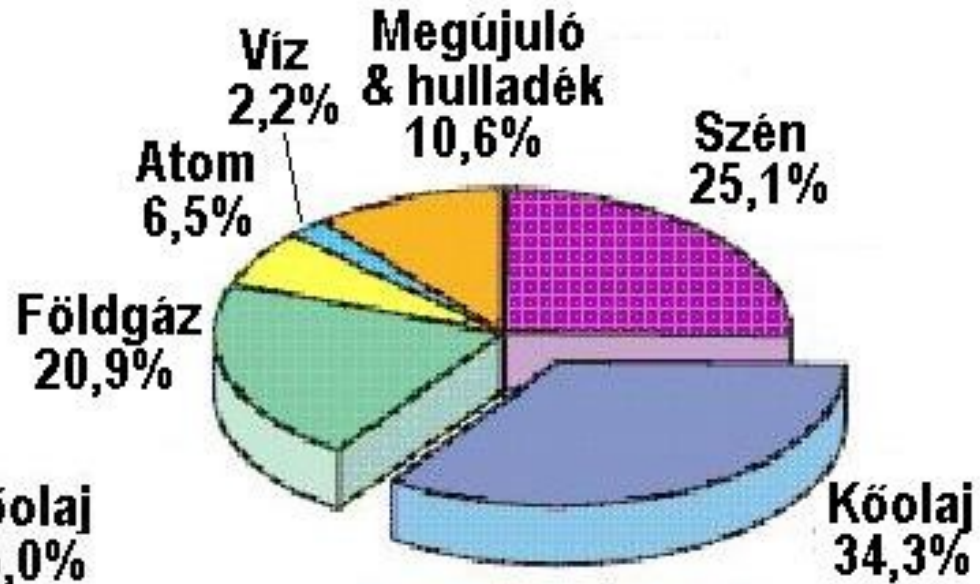
# Energiaforrások megoszlása

1973

2010



6 035 Mtoe



11 059 Mtoe

**Mtoe = megatonna olajekvivalens**

# Az atomenergia részese a villamosenergia-termelésből

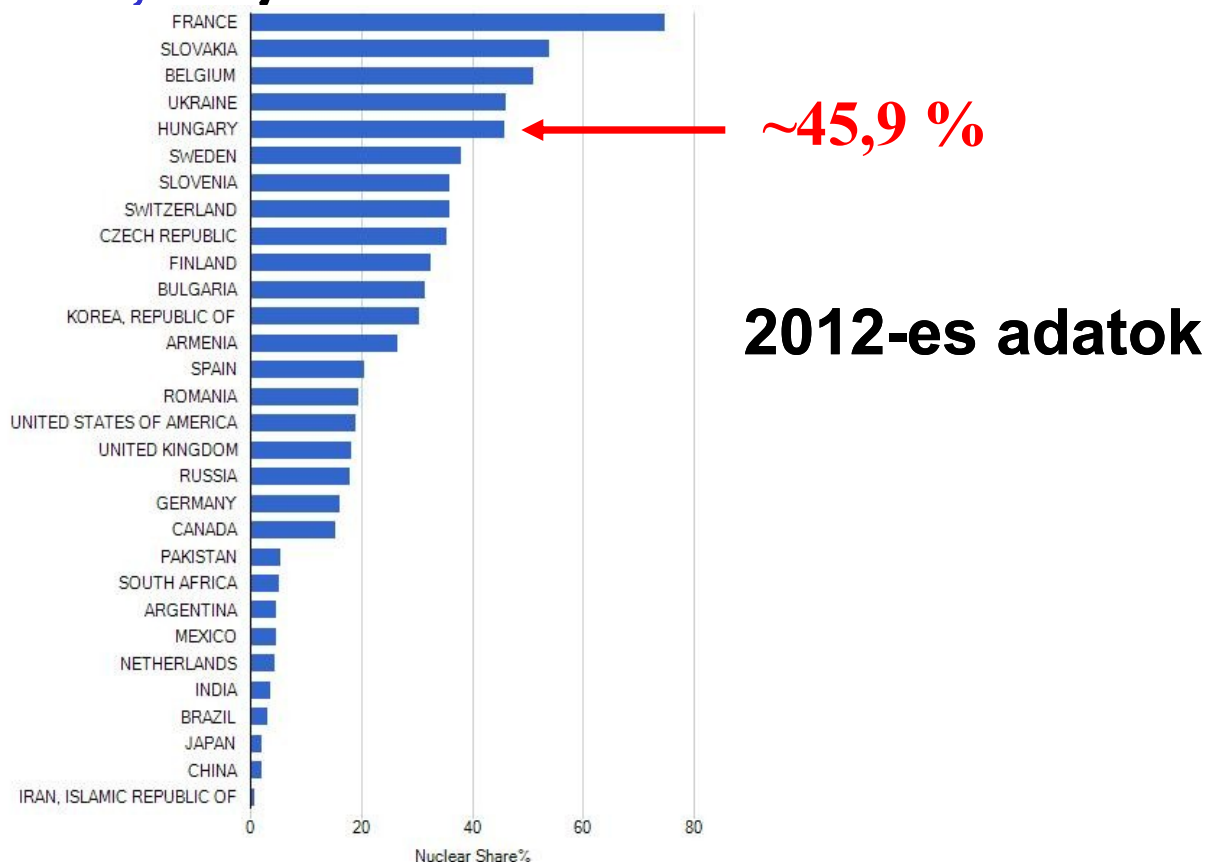
Összes energiából részese  $\neq$  villamos energiából részese

A világon: **14,11%**

Európában: **34,8%**

Magyarországon: **45,9%**

az atomenergia részese



**2012-es adatok**

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

# Atomerőművek 2012-ben

2012. december 31-én:

- **440** atomerőművi blokk **üzemel** 30 országban  
(Paks: **4** blokk)
- Teljes beépített teljesítmény **374 411** MWe  
(Paks: **2 000** MWe)
- **68** atomerőművi blokk áll **építés** alatt.

2012: **2 új blokk** csatlakozott a hálózatra (Dél-Korea)

**3 új építés** kezdődött:

- Oroszország,
- Egyesült Arab Emírátságok,
- Koreai Köztársaság (Dél-Korea)

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

# Atomenergia 2011-2012-ben

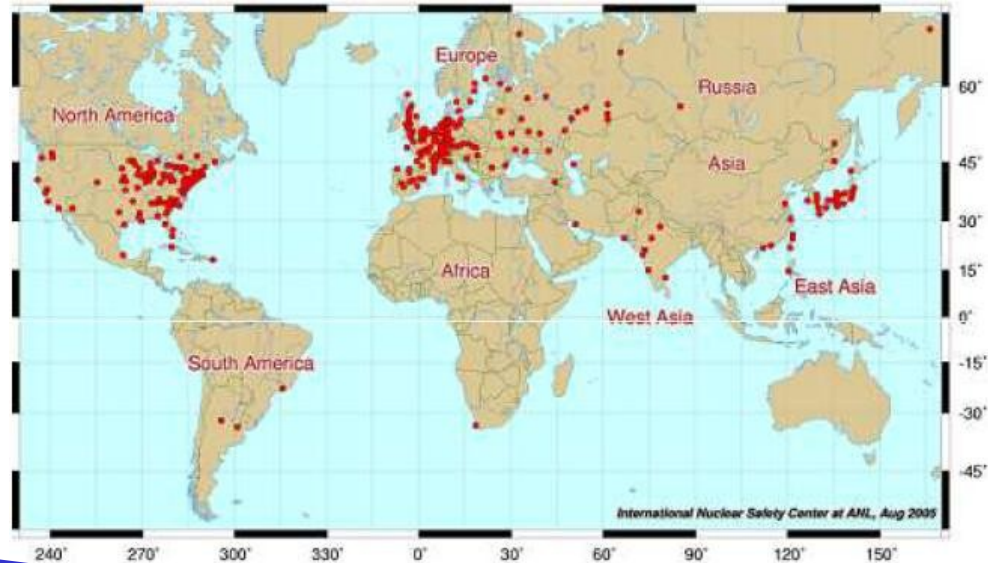
**Működő reaktor: 440**  
Többségük az északi féltekén!

**68 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 2011-2012-ben (folyt.)

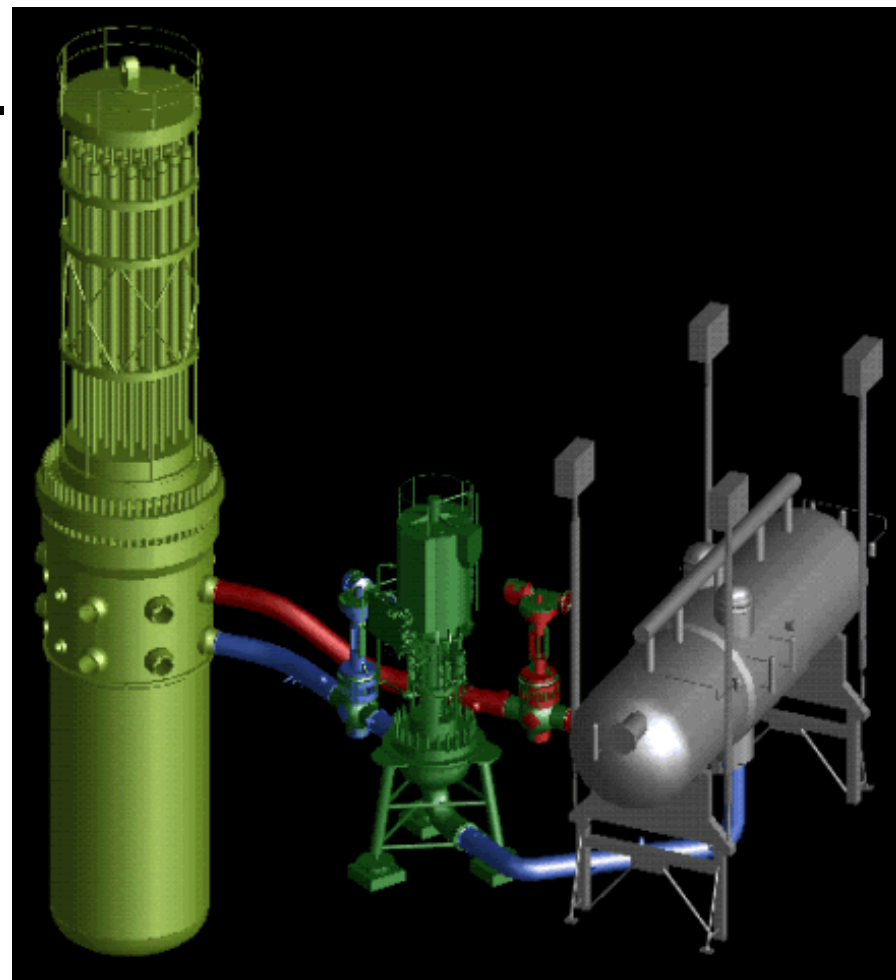
- Meglévő erőművek **üzemidő-hosszabbítása**
  - Új erőművek **építése**
  - 3. generációs erőművek **fejlesztése**, az épülő erőművek között már vannak ilyenek is
  - 4. generációs erőművek **kutatása**
  - **Hulladék**-kérdéssel kapcsolatos **kutatások**
- 

Hazánk is érintett:

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

# Üzemidő-hosszabbítás

- A legtöbb, atomenergiát alkalmazó országban a blokkok üzemidő-hosszabbítását tervezik. (pl. USA **71** blokk 2011. szept.)
- Kiugró nagyberuházás nem kell az üzemidő-hosszabbításhoz.
- A paksi főberendezések is alkalmasak a 30+20 éves üzemre.
- Gondosan vezetett, összesen 50 éves üzemidőt szem előtt tartó karbantartási programot kell vinni Pakson.
- Új gépészeti vagy erősáramú technológiára nincs szükség.
- **Az üzemidő-hosszabbításhoz jelentős szakember-utánpótlásra lesz szükség**
- **A nukleáris képzésben részesülő mérnököknek, fizikusoknak bőven lesz munkájuk!**



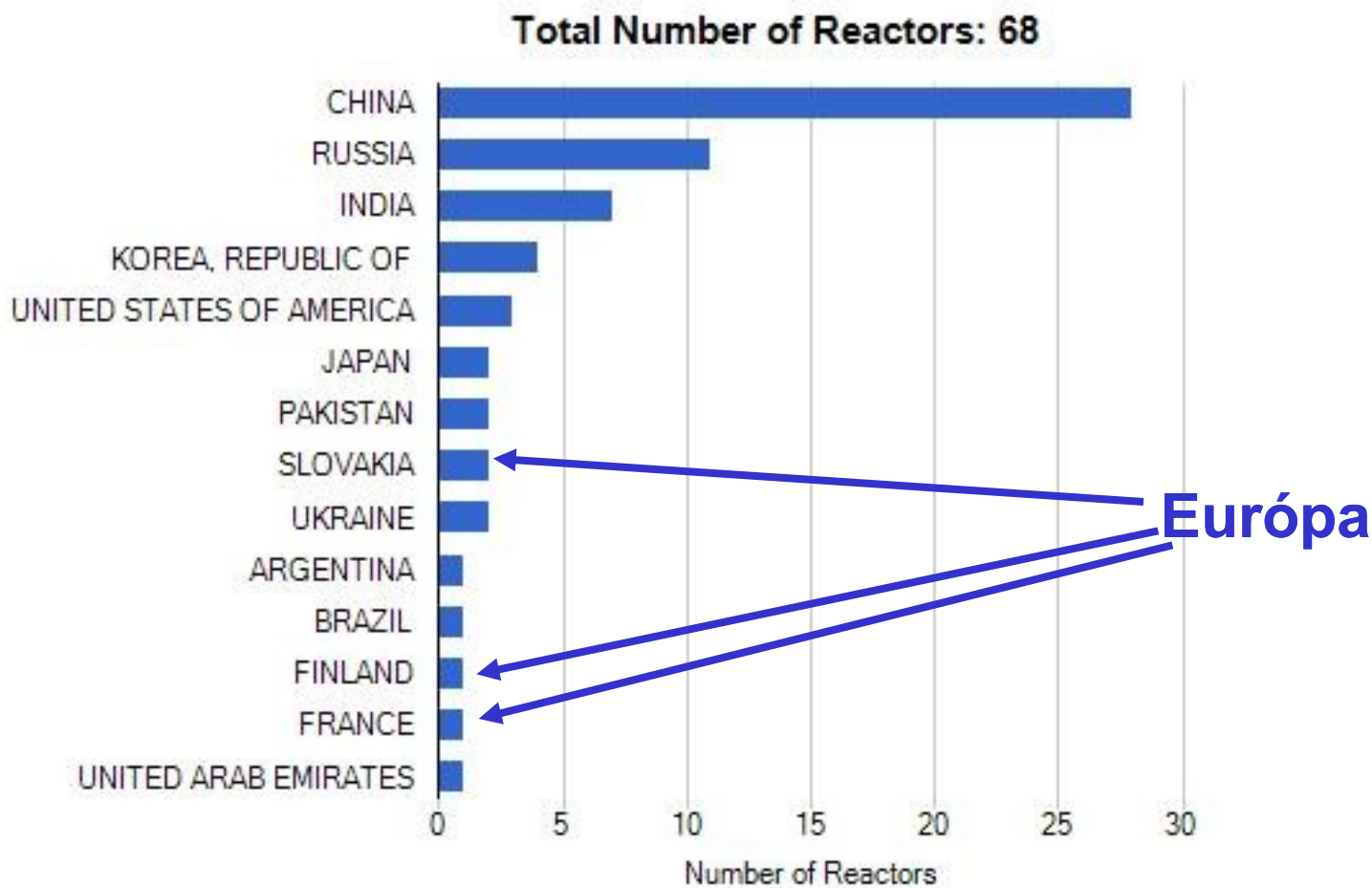
# Épülő atomerőművek 2012-ben



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


# Épülő atomerőművek 2012-ben

A világon: **68** új blokk  
Európában: **4** új blokk



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

# Atomerőmű fejlesztések

- Szédületes **kínai** tempó
  - **28 blokk** építés alatt, rövideesen még több indul,
  - tervek: 5-6x növelni a nukleáris kapacitást:
  -  több önellátók 

2020	2030	2050
60 GW	200 GW	400 GW

 n és  
ésben, nukleá 

60 GW	200 GW	400 GW
-------	--------	--------

 sban,
  - 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
    - egyébek (HTR, kis moduláris reaktor, gyorsreaktor...)

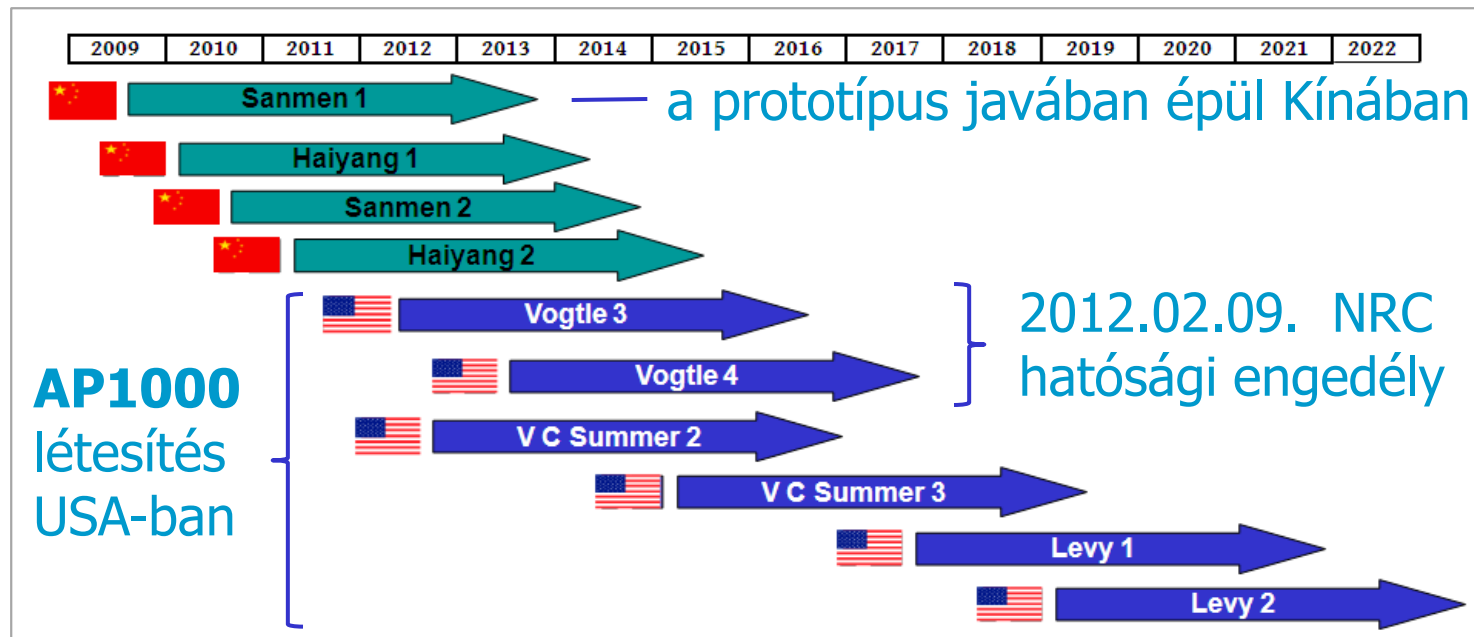
# Atomerőmű fejlesztések



- 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**
    - sokadik blokkok meglévő telephelyen (Rosztov, Kalinyin)
    - 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, fehérország, jordán**)
    - Rosatom Overseas megalapítása (orosz bázisú multinacionális konglomerátum létrehozása külföldi terjeszkedésre), egyes 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 belekezdnek

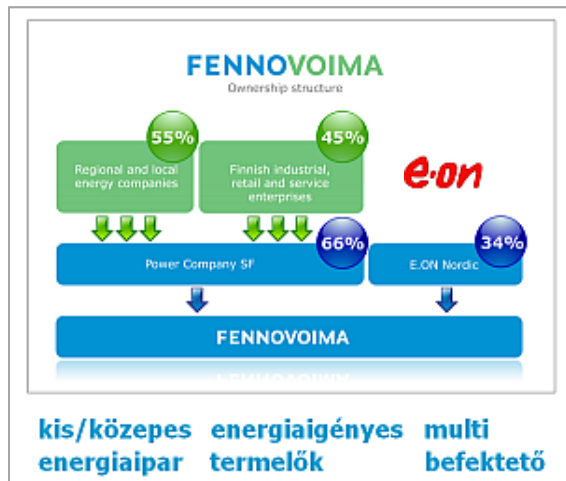


Vogtle-3  
földmunka



# Atomerőmű fejlesztések

- Három **finn** atomerőmű létesül
  - TVO
    - **Olkiluoto-3** szerelés végefelé  
AREVA-Siemens – EPR prototípus  
jelentős késében, drágulásban
    - **Olkiluoto-4** tenderezés előtt, jelöltek:  
AREVA – EPR, GE Hitachi – ESBWR  
KHNP – APR1400, MHI – APWR  
Toshiba – ABWR
  - Fennovoima: **finn-(német?)** beruházás



**Pyhäjoki** telephely  
tavaly kiválasztva,  
jelöltek:  
AREVA – EPR  
Toshiba – ABWR





# Atomerőmű fejlesztések

EE

LT

LV

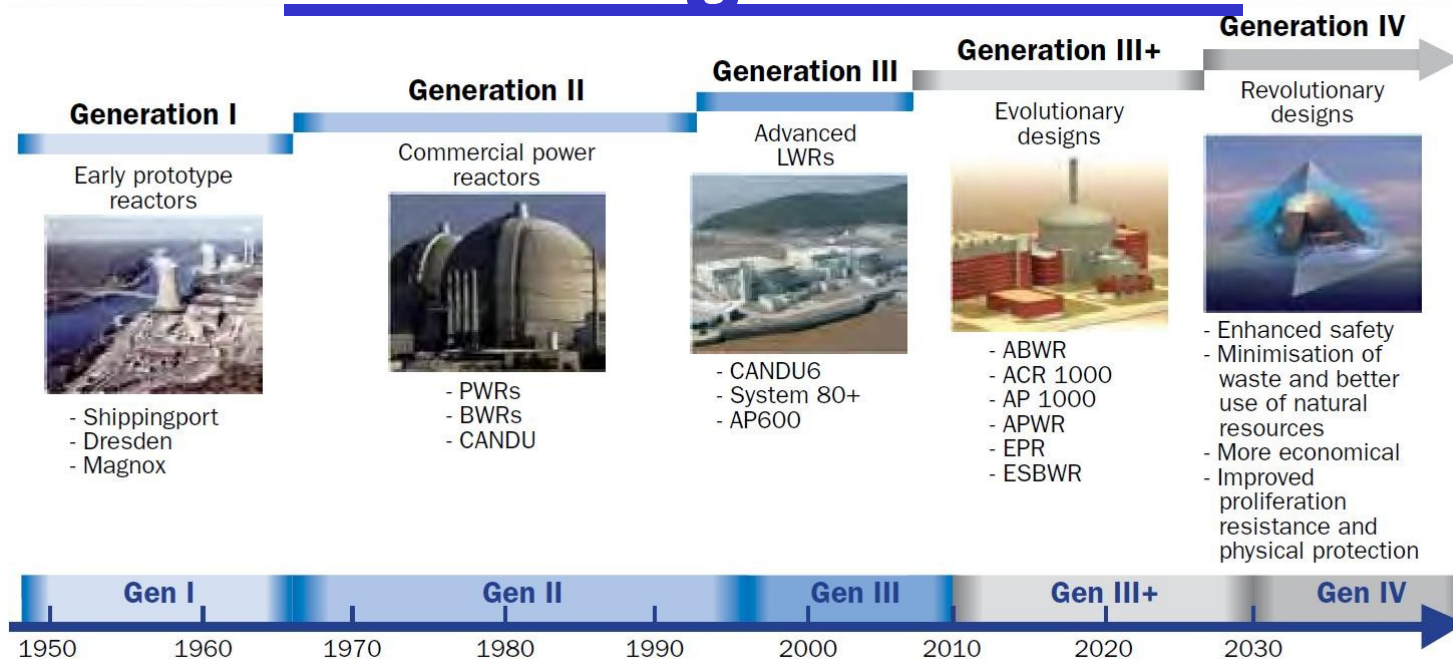


HITACHI



- A **balti** vezetők közös atomerőművet akarnak
  - **észt, lett, litván** miniszterelnök **sürgeti** az építést
    - a térség áramimport- és orosz gáz függő
  - GE Hitachi, 1350 MW, ABWR (továbbfejlesztett forralóvízes)
  - a litván Visaginas telephelyen épül,
  - a szállító részt vesz a finanszírozásban,
  - **koncessziós megállapodás** márciusban aláírva
  - építést ~2014-ben kezdik, a blokk 2020-2021 körül indul,
  - további nemzetközi kapcsolódások
    - **EU** csatlakozás feltételeként Litvánia leállította két RBMK reaktorát, számára pénzügyi támogatást helyeztek kilátásba leszerelésre, pótlásra
    - **a lengyelek** a projektből 2011-ben kiszálltak (van visszaútjuk)
    - **az oroszok** már javában építik a litván határnál (Kalinyingrád) saját, 2017-ben induló, zömmel áramexportra szánt Balti Atomerőművüket.

# Reaktorgenerációk



I.: 1970-es évek előtt, természetes uránnal működő reaktorok.

II.: A 70-es évektől kifejlesztett könnyűvízes reaktortípusok, **jelenleg** is alkalmazzuk őket. Zömük 2015-2030-ra tölti ki tervezett élettartamát.

III-III+: A jelenlegi reaktortípusok optimalizálása biztonsági és gazdaságossági szempontok szerint.

**Készek** a kereskedelmi forgalomra, **a piacon ezeket kínálják**

IV.: Jelenleg **fejlesztés alatt**, 6 fő típus vizsgálata nemzetközi projekteken. Céljuk fenntartható energiaforrás biztosítása (villamos- és hőtermelés, tengervíz sótelenítés), illetve a **hidrogéntermelés**.

# A generációk jellemzői

- **Gen I**
  - korai prototípus reaktorok, már nem működnek
- **Gen II** **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 II+**
  - alapvetően a marketingesek találmánya, de néha használják:
    - 2000 utáni modernizált Gen II reaktorokra (pl. kínai CPR-1000), melyek a drágább Gen III reaktorokkal versenyeznek,
    - a modernizációval **javultak a biztonsági paraméterek és nőtt a tervezett élettartam (50-60 évre),**
    - vitatható, hogy ide sorolhatók-e az évekre leállított majd újra kezdett beruházások kissé feljavított blokkjai (pl. Mochovce 3-4, VVER-440, Cernavoda 3-4, CANDU-6)

# A generációk jellemzői

## • Gen III

Legalább ilyen lesz a paksi bővítés!

– **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.
- **további javulás műszaki és gazdasági paraméterekben**
- továbbfejlesztett üzemanyag-technológia,
  - kiváló termikus hatásfok,
  - szabványosított tervezés, kevesebb berendezés ,
  - kisebb karbantartási igények, könnyebb karbantarthatóság,
  - korszerű digitális irányítástechnika, ember-gép kapcsolat,
  - nagyobb egységteljesítmény (méretgazdaságosság),
  - gyorsabb, olcsóbb, korszerű építés, modulos szerelés.

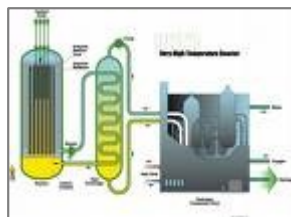
## • Gen III+

– **jelentős továbblépések a biztonságban, gazdaságosságban**

# A generációk jellemzői

## • Gen IV

- a korábbiak mellett minőségileg új célok:
  - Még tovább javítani a nukleáris biztonságot
  - „inherens” biztonsági megoldások (a fizikai elv védjen),
  - fokozottan óvni az atomfegyver készítésére alkalmas anyagokat, technológiákat (atomsorompó),
  - minimalizálni a radioaktív hulladékokat, hosszú felezési idejű izotópokat
  - jobban kihasználni a természeti erőforrásokat (pl. természetes urán),
  - érezhetően csökkenteni az építési költségeket,
  - minél olcsóbban üzemeltetni,
  - kiterjeszteni a nukleáris energia felhasználását (magas hőmérsékletű ipari hő, hidrogén/metán/etanol fejlesztése közlekedés és mezőgazdaság számára stb.)



# Néhány Gen III típus

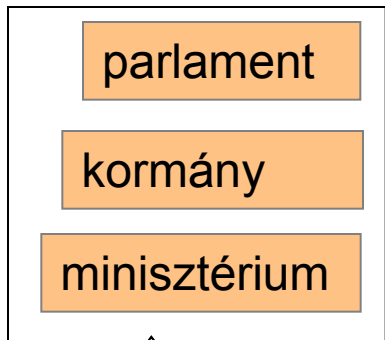
- AES-2006** VVER-1000 utód (Gidropress-Atomenergoprojekt, orosz)
- AP1000** Advanced Pressurized Water Reactor (Westinghouse, USA)
- APR-1400** Advanced Pressurized Reactor (KEPCO, délkoreai)
- APWR1700** Advanced Pressurized Water Reactor (Mitsubishi, japán)
- ATMEA1** G3+ Pressurized Water Reactor (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

# Új hazai blokk előfeltétele, időskála



**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



évek

tanulmányok



# Lehetséges típusok

## AES-2006 (MIR-1200)

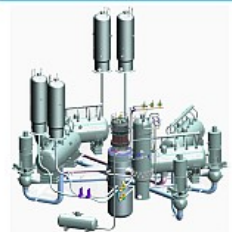
• Ma ajánlható 1200 MW-os VVER típus 

### • Előnyök

- ismert technológia (hagyomány, tudás),
- jól illik a hazai hálózatba.

### • Hátrányok

- MOX üzemanyag használata még nincs
- lassú (1500 ford/perc) turbina fejlesztés alatt.



## AP1000

• Inkább innovatív, mint evolúciós terv 

• Egyszerű, szabványos, passzív

### • Előnyök

- jó ár, rövid építési idő,
- US NRC engedély,
- jól illeszthető hálózatba

### • Hátrányok

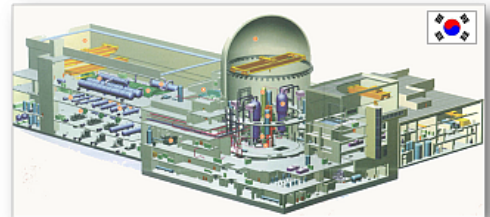
- nincs 50 Hz-es turbina
- kampányhossz < 24 hó



## APR1400

1970-	1980-	1990-	2000-
indulás	tudásgyűjtés	önállósodás	kitörés a piacra

- Westinghouse CE Sytem 80+
- Korean Standard NPP KSNP, KSNP+
- Optimized Power Reactor OPR1000
- Advanced Power Reactor APR1400



## ATMEA1

• Közeljövő technológiája, 1000-



50-50% vegyesvállalat megbízható, közepes méretű G3+ atomerőmű szállítására



### • Előnyök

- engedélyezett, épül
- olcsó
- gyorsan létesíthető

### • Hátrányok

- nem EU/euro-atlanti
- olvadécsapda: nincs,
- repülő rázuhanásra nem



### • Előnyök

- bevált megoldások,
- evolúciós konstrukció,
- jól illeszthető a hazai hálózatba.

### • Hátrányok

- műszaki terv csak 2009 októberre készült,
- nincs még sehol engedélyezve.

## EPR

goldások ötvöze  
n sikeres 2G+ típus szintézise

1600 MW, Framatome)  
2, Civaux 1-2

- Konvoi (1300 MW, Siemens) = Neckar 2, Emsland, Isar 2

• 1600 MW

### • Előnyök

- engedélyezett,
- épülő típus,
- fajlagosan olcsó

### • Hátrányok

- nagy blokkméret a mai hazai hálózathoz
- nagy beruházási költség



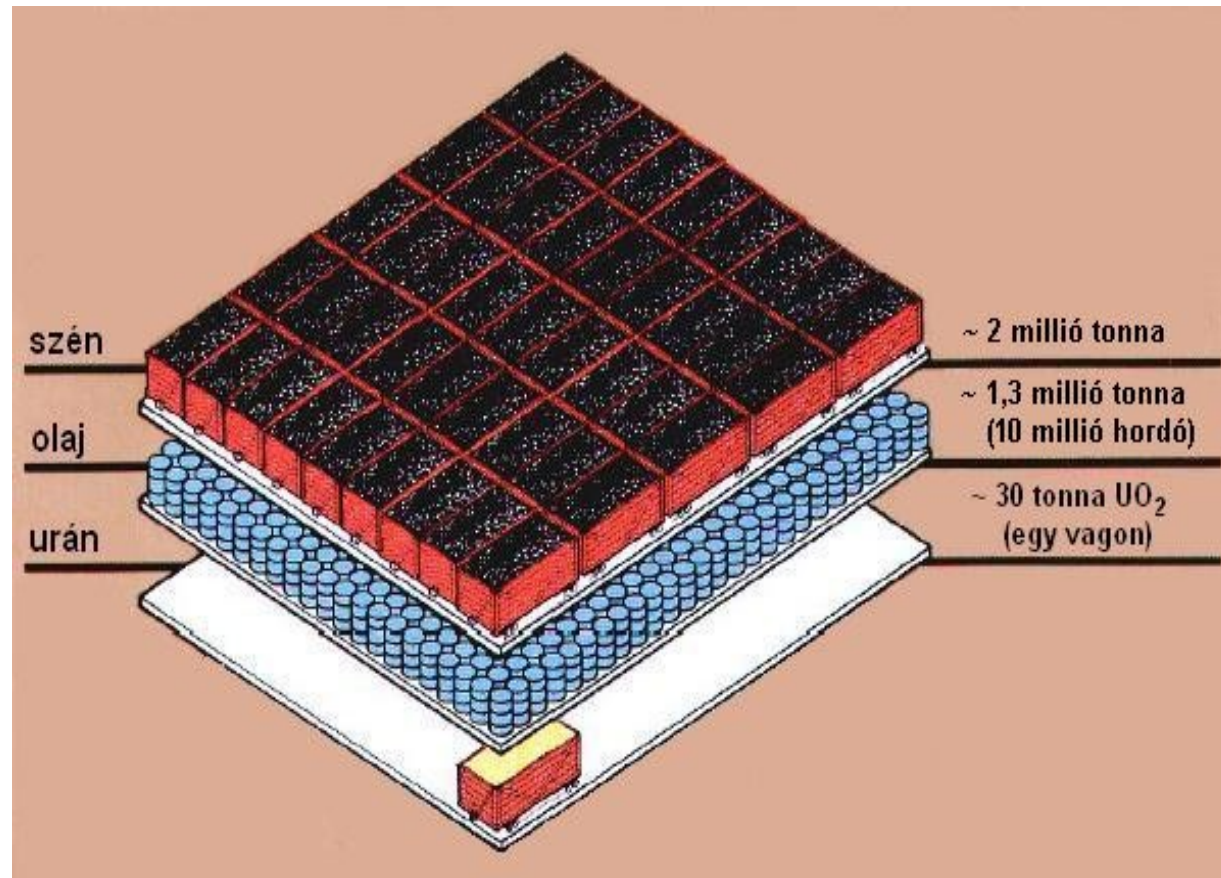


# Atomenergia, de miért?

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**

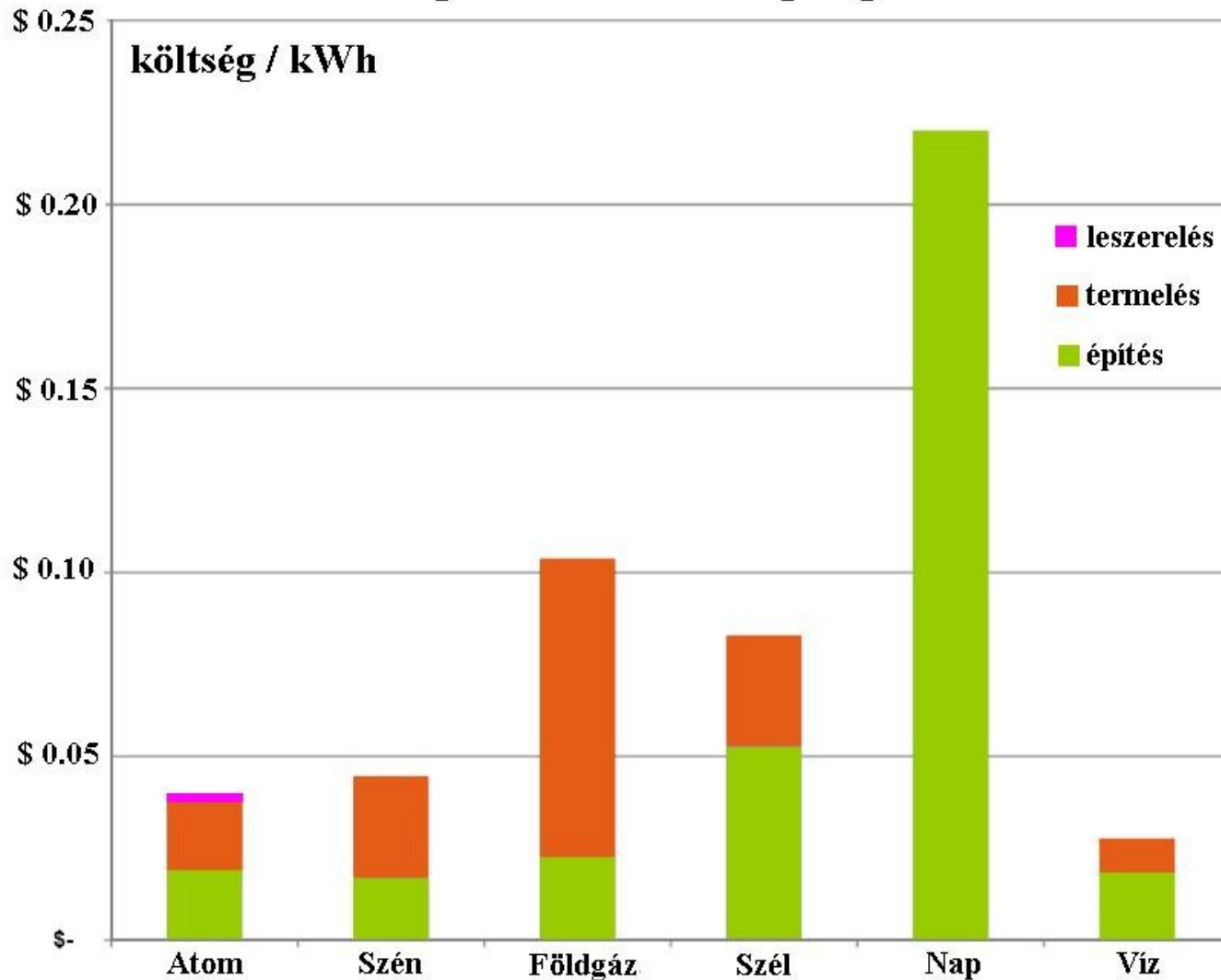


# Atomenergia, de miért? (folyt.)

- 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, szélerőmű, napenergiával működő erőmű  
nem ilyen
- 4) Pillanatnyi **klimatikus** hatásoktól függetlenül működik:  
**Alaperőműként** üzemeltethető.  
pl. szélerőmű, 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**

**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!

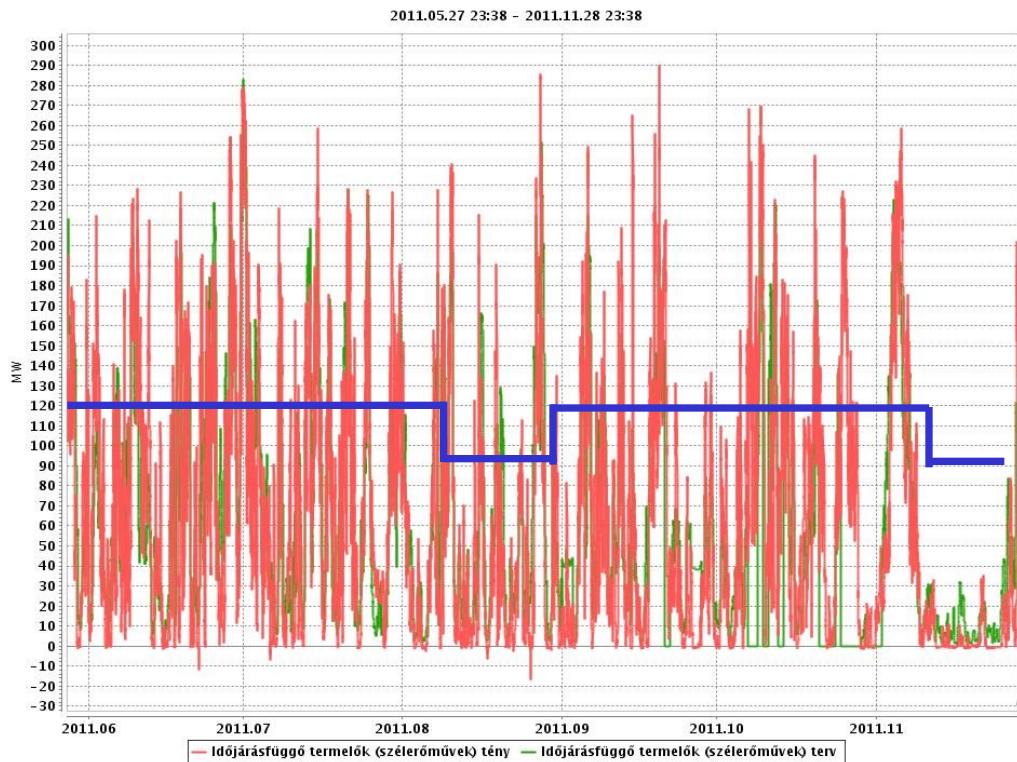
Különböző becslések szerint a Paksi Atomerőmű 2000 MW-os teljesítményének majdani pótlását biztosító **két új blokk** létesítési költsége 2000-3000 milliárd Ft közé esik. Sok? És az ugyanennyi energiát termelő naperőmű létesítése?

# 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

a Paksi Atomerőmű  
teljesítménye  
(„alaperőmű”)

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

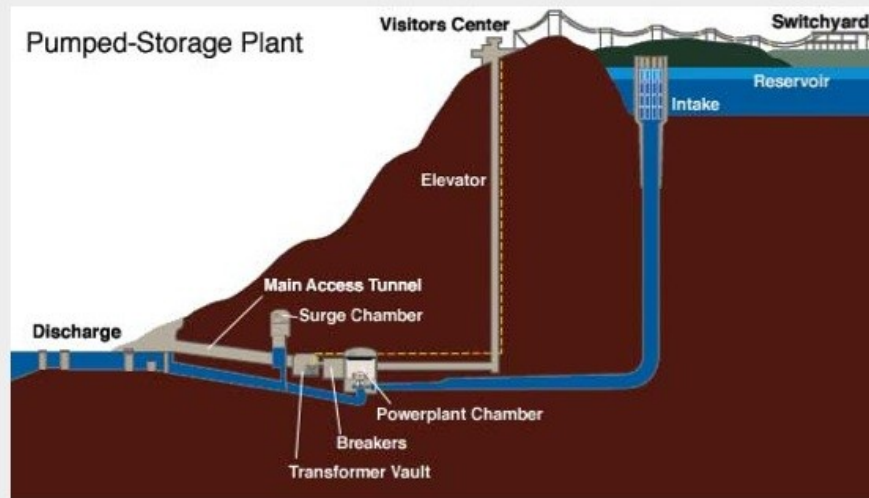
**Szélenergia részarányának lényeges növelése:  
csak ENERGIATÁROLÁSSAL!**

# Energiatárolás nagy mennyiségben

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

Vízenergia: **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  $\text{H}_2$  tárolása gáz formájában veszélyes (robbanásveszély)





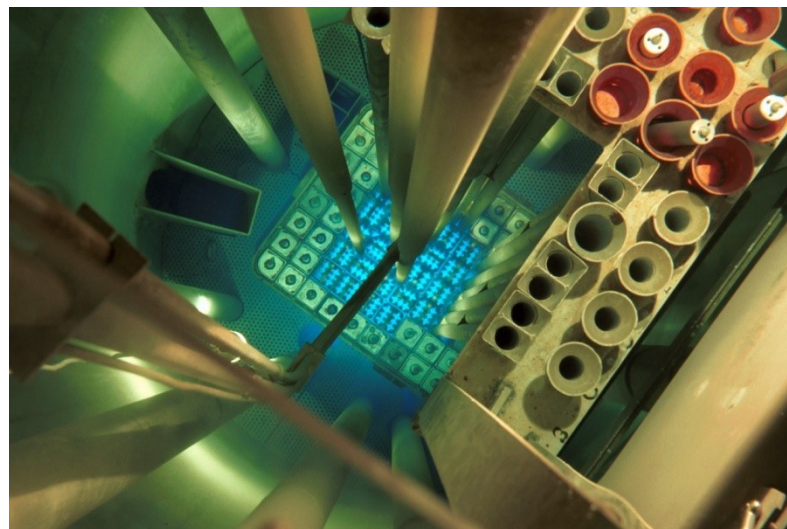
# Következtetés: 2000 MW alaperőművi villamosenergia termelést **nem lehet** nap- vagy szélerőművekkel kiváltani!

---

## Új „nukleáris” diplomások iránti igény

- A francia AREVA és EdF, a belga Suez, az amerikai GE és Westinghouse cégek egyenként körülbelül **évi 500-500** új mérnököt terveznek felvenni a következő 10 évben, ami összesen 20-25 000 fő fiatal műszaki szakembert igényel egy évtized alatt!
- Finnországban az új blokk építéséről szóló döntés óta kb. megtízszereződött a nukleáris energetikát tanuló egyetemi hallgatók száma!
- Új blokkok esetleges építése további igénynövekedést okoz!
- Ez igaz Magyarországra is!

# Az atomenergiának világméretekben és Magyarországon is világos és biztos jövőképe van, Fukushima ellenére. Érdeemes ebben az irányban továbbtanulni!



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

(Wigner Jenő, Nobel-díjas fizikus)

## Köszönöm a figyelmet!