

Atomenergia a 21. században

21. század – a jelen

Mi történik az atomenergiával a 21. század elején?

- Meglévő erőművek üzemidő-hosszabbítása
- 3. generációs erőművek fejlesztése, ilyenek már épülnek is
- 4. generációs erőművek kutatása
- Hulladék-kérdéssel kapcsolatos kutatások

Hazánk is érintett: Pakson üzemidő-hosszabbítás,
új atomerőmű építése

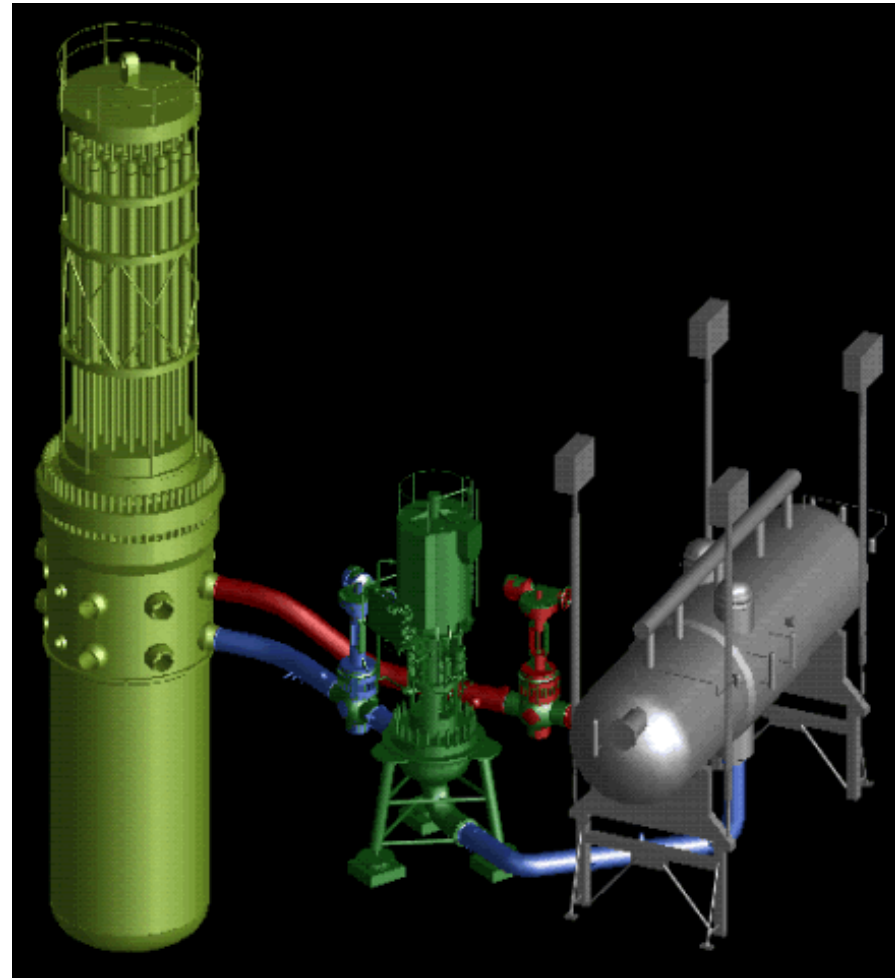
Kutatásokban való erőteljes részvétel

Atomerőművi kapacitások

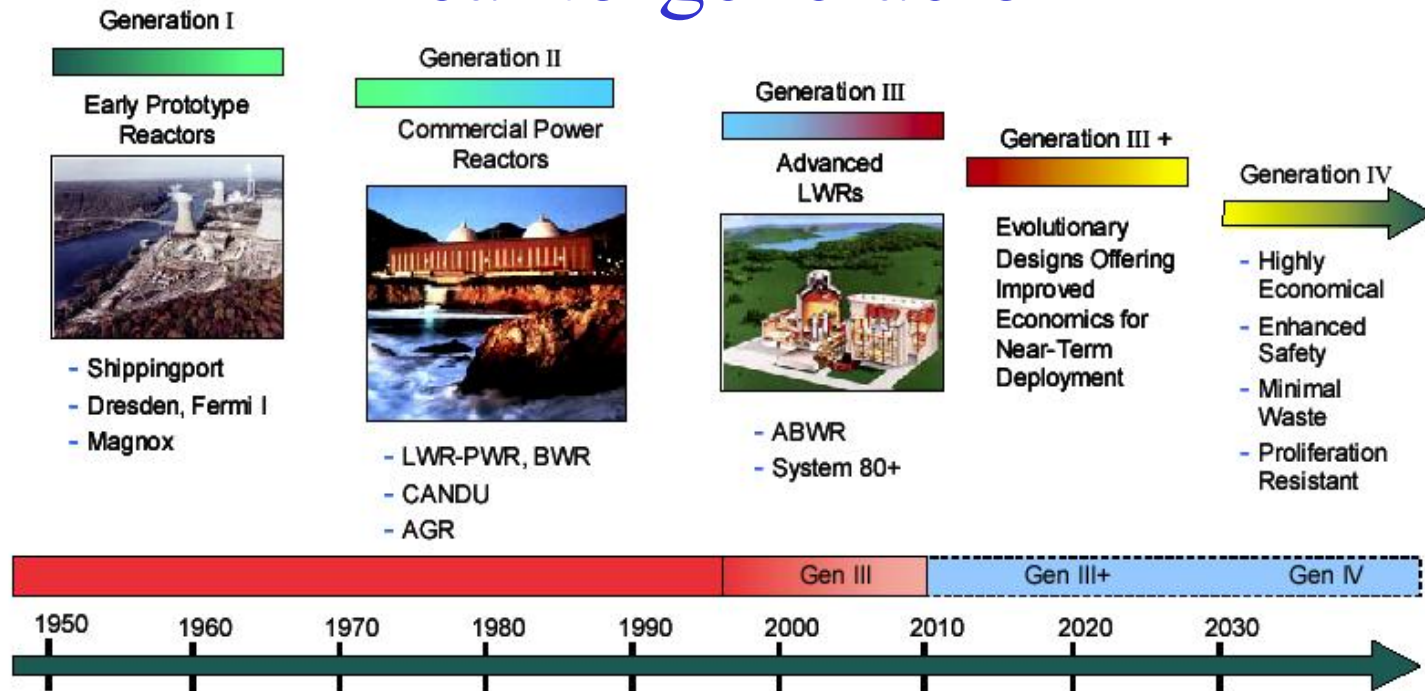
- 2008. év végén
 - **439 atomerőművi blokk üzemelt, összesen 372 GW(e) beépített nettó kapacitással**
 - **5 atomerőművi blokk volt hosszú távon leállítva**
 - **39 atomerőművi blokkot építenek**
- A világon megtermelt villamos energia 16%-a, az európai 1/3-a származik atomerőművekből
- Magyarországon termelt villamos energia kb. 40%-át a Paksi Atomerőmű állítja elő

Üzemidő-hosszabbítás

- A legtöbb, atomenergiát alkalmazó országban a blokkok üzemidő-hosszabbítását tervezik.
- 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!



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.: A jelenlegi reaktortípusok optimalizálása biztonsági és gazdaságossági szempontok szerint. Jelenleg készek a kereskedelmi forgalomra, a piacon ezeket kínálják

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

Harmadik generációs atomerőművek

A harmadik generációs atomerőművek a második generációs atomerőművek szisztematikus továbbfejlesztésének eredményeként születtek meg. Ezért **evolúciós atomerőműveknek** is nevezik őket. Az első kettő Japánban került üzembe a 90-es évek második felében, a többinek nagy része építési fázisban vagy rendelésre kész állapotban van. A fejlesztési munka ma is tart. Valószínű, hogy a következő egy-két évtizedben szinte kizárólag ilyen atomerőművek épülnek a világon

A harmadik generációs reaktorok legfontosabb sajátosságai

- Szabványosított terv valamennyi típusra, amely gyors engedélyezési eljárást, alacsony fajlagos beruházási költséget (konkrét feltételektől függően általában 1000-1800 USD/kW_e) és rövid (4 év) építési időt eredményez.
- Egyszerűbb és robusztusabb kialakítás, mint az eddig épített atomreaktoroké, ami kevésbé sebezhetővé teszi az üzemi rendellenességekkel szemben.
- A belső (inherens) biztonság és a passzív védelmi tulajdonságok minél teljesebbé tétele.
- Magasabb rendelkezésre állás és hosszabb — tipikusan 60 év — üzemi élettartam.
- A zónaolvadásos balesetek kisebb ($\sim 10^{-6}$ /reaktorév) valószínűsége.
- Magasabb kiégetési szint, ami hatékonyabb üzemanyag-felhasználást eredményez és kevesebb kiégett üzemanyag keletkezésére vezet.
- A fentiek következtében: az eddigieknél is olcsóbb és biztonságosabb villamosenergia-termelés lehetősége.

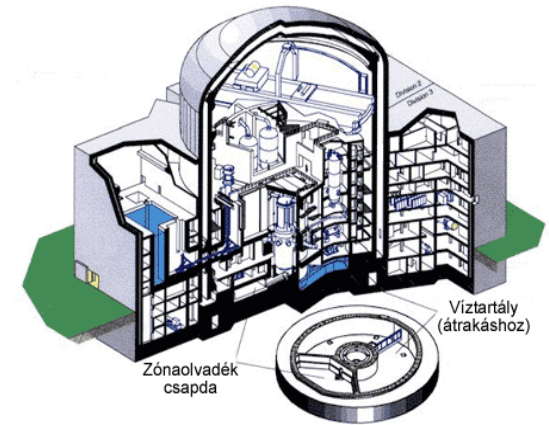
Finnország – Olkiluoto 1-4



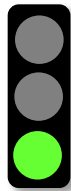
- Épül az 5. finn blokk, Olkiluoto-3 (EPR-1600)
- 2008. április 25.: A TVO beadta az OL-4-re vonatkozó engedélykérelmet a parlament és a kormány elé
- Loviisa-ba is új atomerőművi blokkot terveznek

Az EPR – egy 3. generációs reaktortípus

- Nyomottvizes reaktorral szerelt
- Termikus teljesítmény: 4200/4500 MW
- Elektromos teljesítmény: ~1600 MW
- Hatásfok: 36-37%
- **Dupla falú hermetikus védőépület,** nagy utasszállító repülőgép rázuhanására méretezve
- **Biztonsági filozófia**
 - Megakadályozni a telephelyen kívüli következményeket
 - Javítani a balesetek megelőzését szolgáló rendszereket.
 - Egyszerűsítés, fizikai szeparáció, emberi hibák lehetőségének csökkentése.
 - Zónasérülés valószínűsége 10^{-6} / év, de a zónasérülés sem jelent nagy kibocsátást
 - Súlyos balesetek esetén csökkenteni a következmények súlyosságát



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.

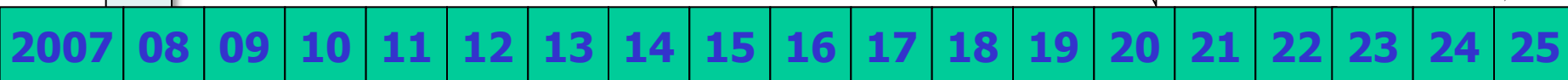
parlament ✓

kormány ✓

minisztérium ✓

Paks-5
indul?

Paks-6
indul?



évek

engedélyek

tender

tervezés

építés

szereelés

üzembe
helyezés

tanulmányok

Atomenergetika - Európa

- Franciaország
 - Épül a Flammanville-3 (EPR-1750), és egy további is terveznek
- Szlovákia:
 - 2007. márciusi bejelentés – befejezik Mohi 3&4-et (VVER-440)
 - Szlovákia új bohunicei blokkok építését is lebegteti
 - 2008 szeptember – Szlovákia Franciaországgal stratégiai együttműködési megállapodást ír alá (szlovák EPR?)
- Bulgária:
 - épül a Belene-3 és -4 (VVER-1000)
- Lengyelország:
 - 5 atomerőművi blokk építését tervezik
- Litvánia
 - Készítik elő a tenderdokumentációt
- Románia
 - Csernavoda 3-4 befejezését tervezik



*Sarkozy megállapodik
Szlovákiával (2008.09.18.)*

Atomenergetika- Európa

Nagy-Britannia:

- 2008. január 17-én a kormány jóváhagyta új blokkok építésének előkészítését (10 blokkról beszélnek)



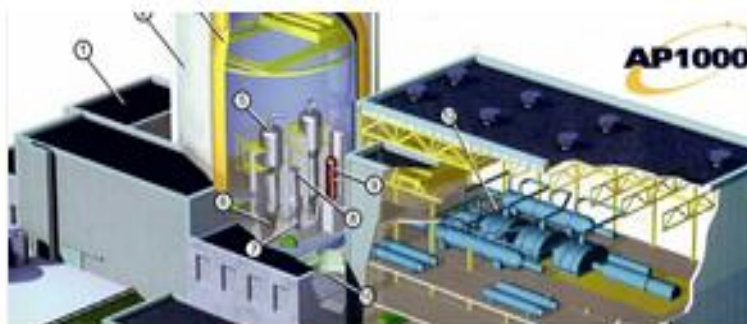
AECL - ACR-1000



EDF/Areva - UK EPR



GE-Hitachi - GE ESBWR



Westinghouse - AP1000

- 25 millió fontos (7,5 milliárd forint értékű) Nukleáris Energia Központot létesítenek ipari pénzből a manchesteri egyetemen, biztosítandó a szükséges nukleáriszakember-utánpótlást

Új reaktorok építése az USA-ban

- Korai telephely-engedélyek
3 telephelyre kibocsátva
- Típusengedély
az építhető blokk típusokra:
 - 4 kiadva
 - 4 elbírálás alatt
 - 3 előzetes elbírálás alatt
- Kombinált építési és üzemeltetési engedély
 - 2009 elejéig kb. 30 engedélykérelem beadva a hatósághoz

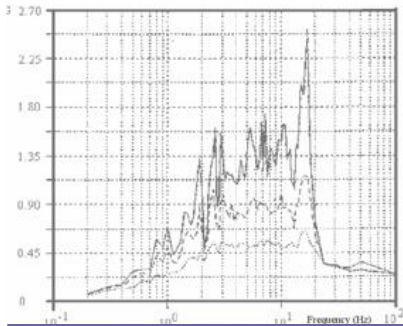


Atomsztrójeckszport – VVER-1200/491

Kettős konténment

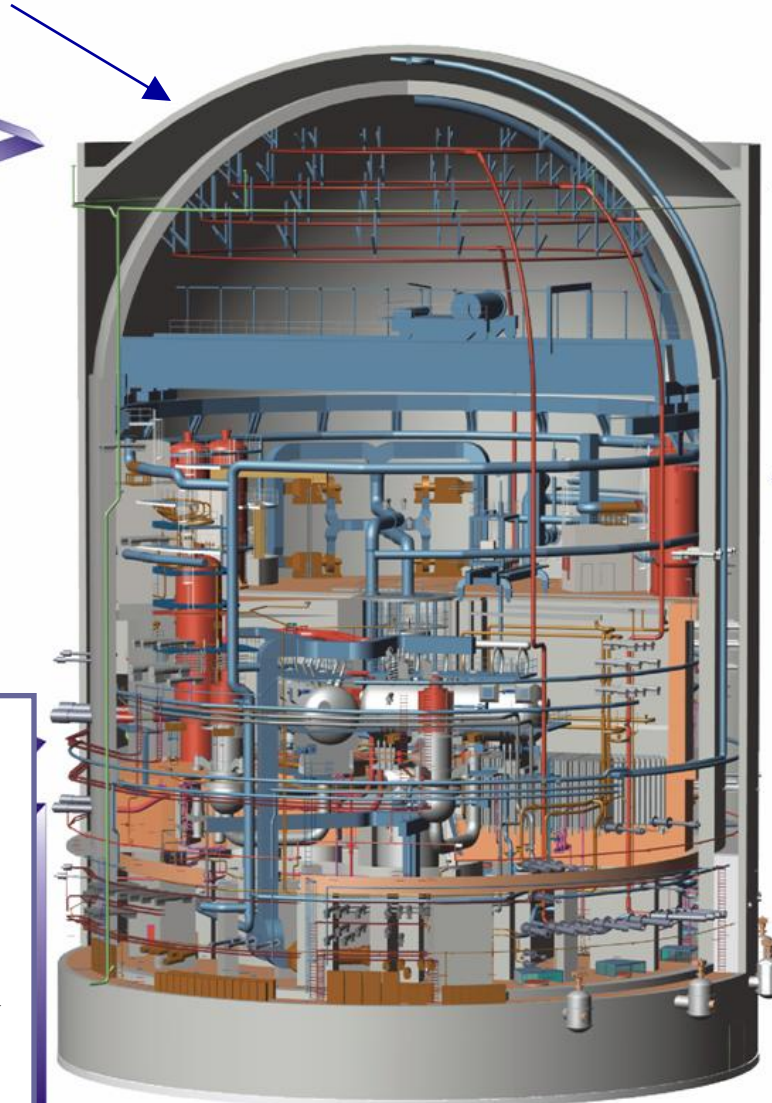
Szeizmikus terhelés

Tervezési vízszintes
maximális gyorsulás:
0,12 g



Szélterhelés

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



Repülőgép becsapódás

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

Külső robbanás

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

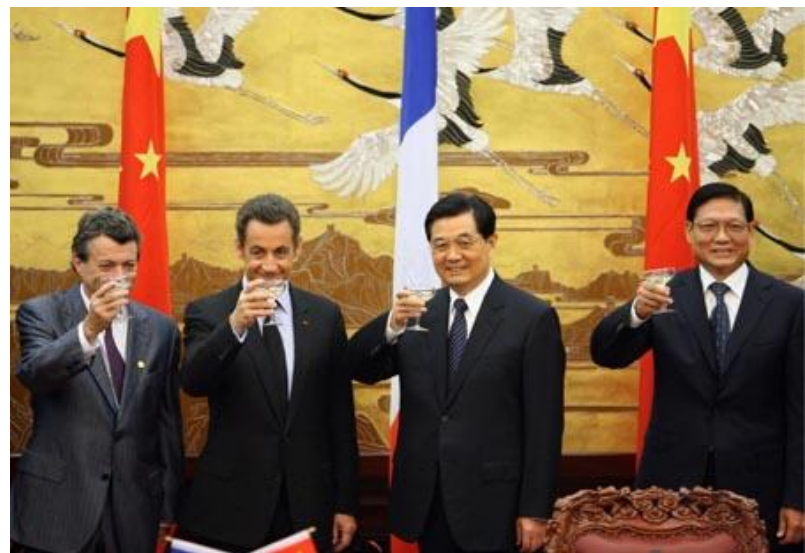
Hó és jég terhelés

Tervezési alap:
extrém hóterhelés
(4,9 kPa)



Kína

- Kína 2007-ben szerződött:
 - 2 db EPR blokkra (Taishan atomerőmű)
8 milliárd euró értékben
 - Tervezett építés: 2008 március - 2013
 - 4 db AP-1000 blokkra ismeretlen értékben
 - Sanmen atomerőmű: tervezett építés 2008 március – 2013/2014
 - Haiyang atomerőmű: tervezett építés 2008 ősz – 2014/2015
- 2008. február 18: megkezdődött a Ningde atomerőmű építése: első fázisban **4 db 1000 MW** Kínai Nyomottvizes Reaktor (II. generációs)



*Sarkozy EPR-t ad el
Kínában*

Tianwan atomerőmű, Kína

1997.12.02



2000.03.05



Tianwan atomerőmű, Kína

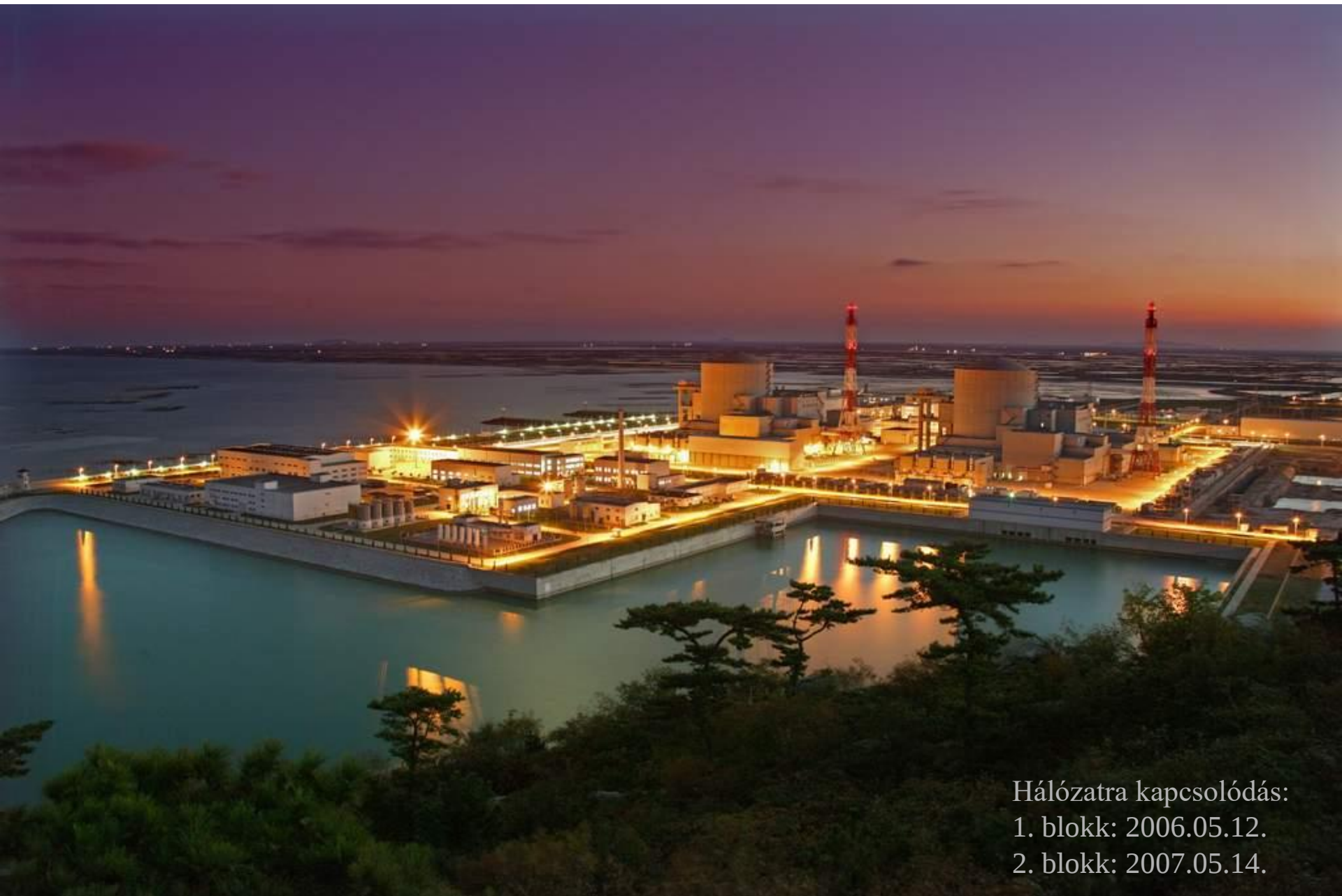
2002.01.08



2003.08.20



Tianwan atomerőmű, Kína



Hálózatra kapcsolódás:

1. blokk: 2006.05.12.

2. blokk: 2007.05.14.

Új 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 atomerőmű építése további igénynövekedést okoz!
- Ez igaz Magyarországra is!

21. század – a közeljövő

Negyedik generációs atomerőművek

- Az Egyesült Államok kormányzata 2000-ben kezdeményezte olyan új típusú, negyedik generációs atomerőművek kifejlesztését, amelyek 2025–2030 körül állhatnak üzembe.
- Az Egyesült Államok céljait széleskörű nemzetközi összefogással kívánja megoldani. Az ezt szolgáló Generation-IV International Forum (GIF) 2000 januárjában alakult meg. A Generation-IV projektben szinte kezdettől fogva részt vesznek a nukleáris fejlesztésekben jelentős szerepet játszó országok (az Egyesült Államokon kívül Kanada, Franciaország, Nagy-Britannia, Svájc, a Dél-afrikai Köztársaság, Argentína, Brazília, Japán és a Koreai Köztársaság). 2003-ban az Európai Unió (az EURATOM) a nemzetközi projekt tagjává vált. Az EURATOM valamennyi EU-tagországot képviseli. 2006-tól Oroszország és Kína is tagja a GIF-nek. Jelenleg napirenden van India csatlakozása.

Negyedik generációs atomerőművek

- A Generation-IV projekt által perspektivikusnak tekintett, új reaktortípusok egyike sem előzmények nélküli, de a jelenlegi atomerőműpark ilyen típusokat gyakorlatilag nem használ. A szükséges fejlesztések csak jelentős volumenű kutatási programok megvalósításával érhetők el. Valamennyi típussal szemben alapvető követelmények a következők:
 - gazdaságosság,
 - a természeti erőforrások fenntartása,
 - a keletkező hulladékok minimalizálása,
 - biztonság és megbízhatóság,
 - katonai célra való felhasználhatatlanság.
- További fontos követelmény a negyedik generációs atomerőművek fejlesztésében az üzemanyagciklus új átgondolása, új típusú üzemanyagciklus kifejlesztése.

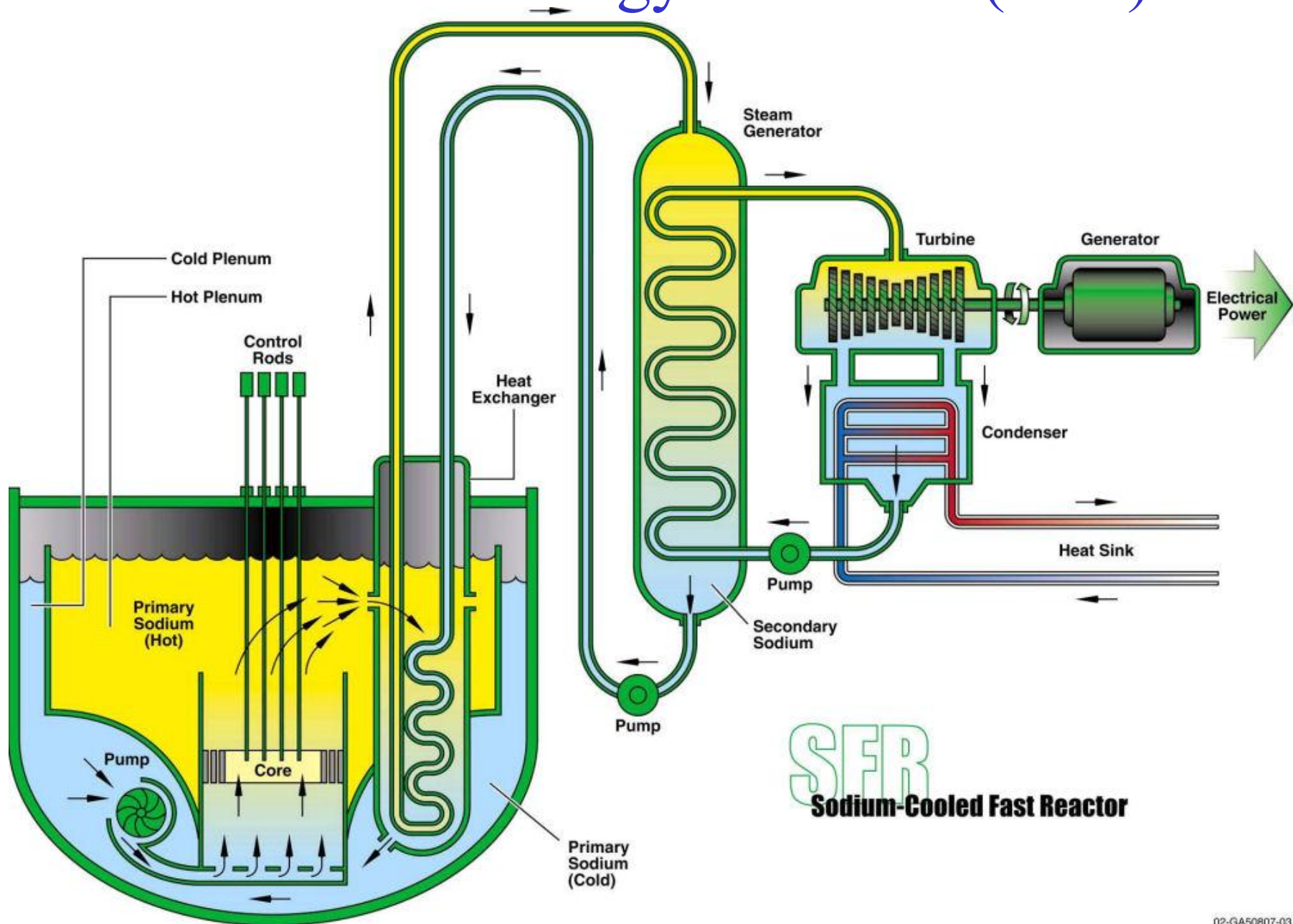
A kiválasztott hat reaktorfejlesztési irány

- **Nátriumhűtéses gyorsreaktor** (SFR – Sodium-Cooled Fast Reactor System): gyorsneutron-spektrumú, nátriumhűtéses reaktor zárt üzemanyagciklussal, az aktinidák hatékony kezelésére és a fertilis uránium hasadóanyaggá alakítására.
- **Nagyon magas hőmérsékletű gázhűtéses termikus reaktor** (VHTR – Very-High-Temperature Reactor System): grafit moderátoros, héliumhűtéses reaktor nyitott üzemanyagciklussal.
- **Szuperkritikus nyomású vízzel hűtött reaktor** (SCWR – Supercritical-Water-Cooled Reactor System): magas nyomású, és magas hőmérsékletű, vízhűtéses reaktor, ami a víz termodinamikai kritikus pontja felett üzemel.
- **Ólom/bizmut hűtéses gyorsreaktor** (LFR – Lead-Cooled Fast Reactor System): gyorsneutron-spektrumú, ólom vagy ólom/bizmut eutektikus folyékonyfém-hűtéses reaktor zárt üzemanyagciklussal, a fertilis uránium hasadóanyaggá történő hatékony átalakítására és az aktinidák kezelésére.
- **Gázhűtéses gyorsreaktor** (GFR – Gas-Cooled Fast Reactor System): héliumhűtéses gyorsreaktor zárt üzemanyagciklussal.
- **Sóolvadékos reaktor** (MSR – Molten Salt Reactor System): fissziós energiát termel cirkuláló olvadt só+üzemanyag keverékben egy epitermikus neutronspektrumú reaktor és teljes aktinida-recirkulációs üzemanyagciklus segítségével.

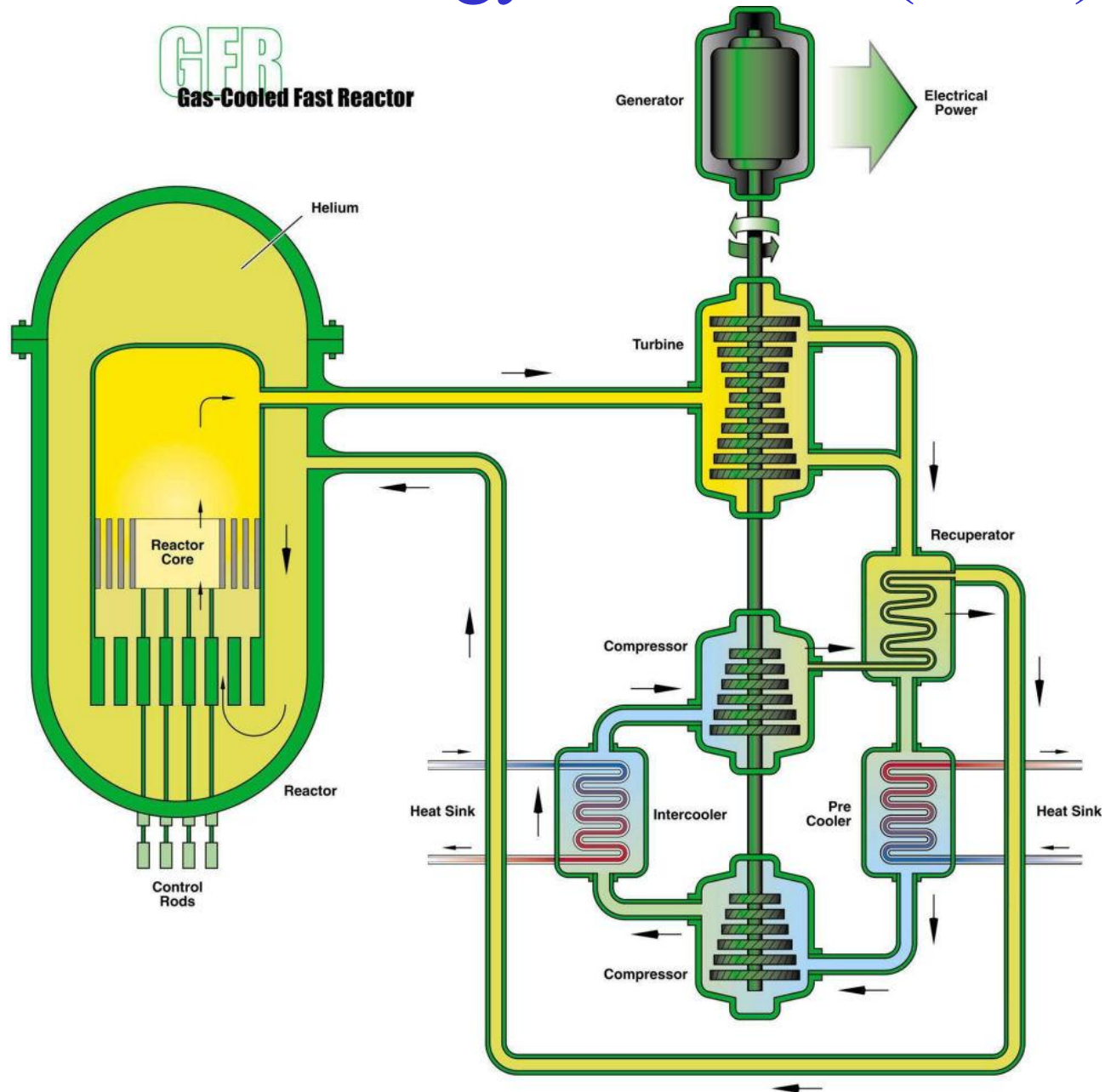
A negyedik generációs reaktorkoncepciók legfontosabb jellemzői

Koncepció	hűtő- közeg	hőmér- séglet °C	üzemanyag	teljesítő- képesség MW _e	termék
Na-hűtéses gyorsreaktor	Na	550	U-238 és MOX	150-500 500-1500	vill. energia
Nagyon magas hőmérsékletű gázhűtéses termikus reaktor	He	1000	UO ₂ hasáb vagy golyók	250	hidrogén és vill. energia
Szuperkritikus nyomású vízzel hűtött reaktor	víz	510-550	UO ₂	1500	vill. energia
Ólom/bizmut hűtéses gyorsreaktor	Pb-Bi	550-800	U-238	50-150 300-400 1200	vill. energia és hidrogén
Gázhűtéses gyorsreaktor	He	850	U-238	288	vill. energia és hidrogén
Sóolvadékos reaktor	fluo- rid-sók	700-800	UF sóban feloldva	1000	vill. energia és hidrogén

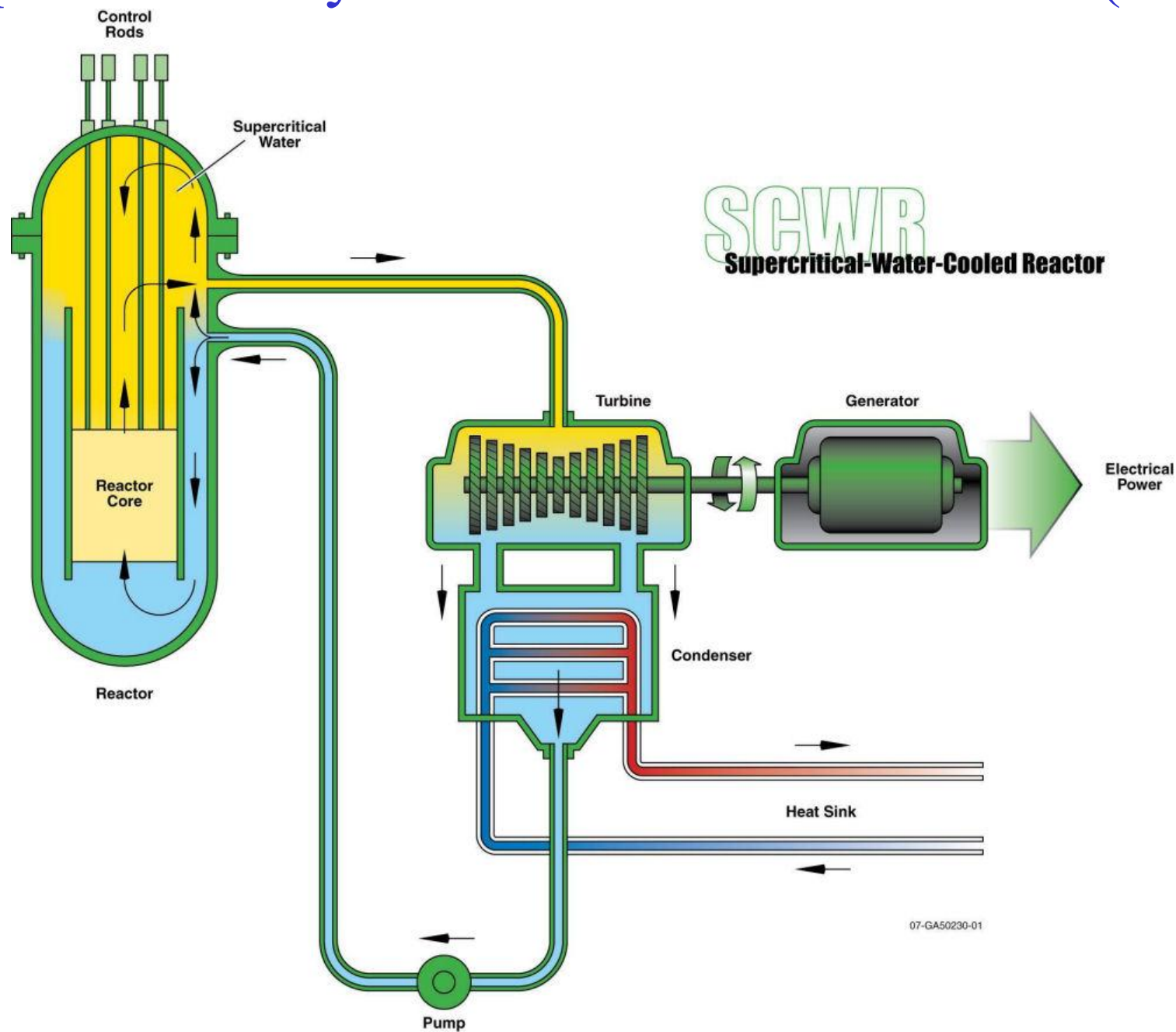
Nátriumhűtéses gyorsreaktor (SFR)



Gázhűtéses gyorsreaktor (GFR)



Szuperkritikus nyomású vízzel hűtött reaktor (SCWR)



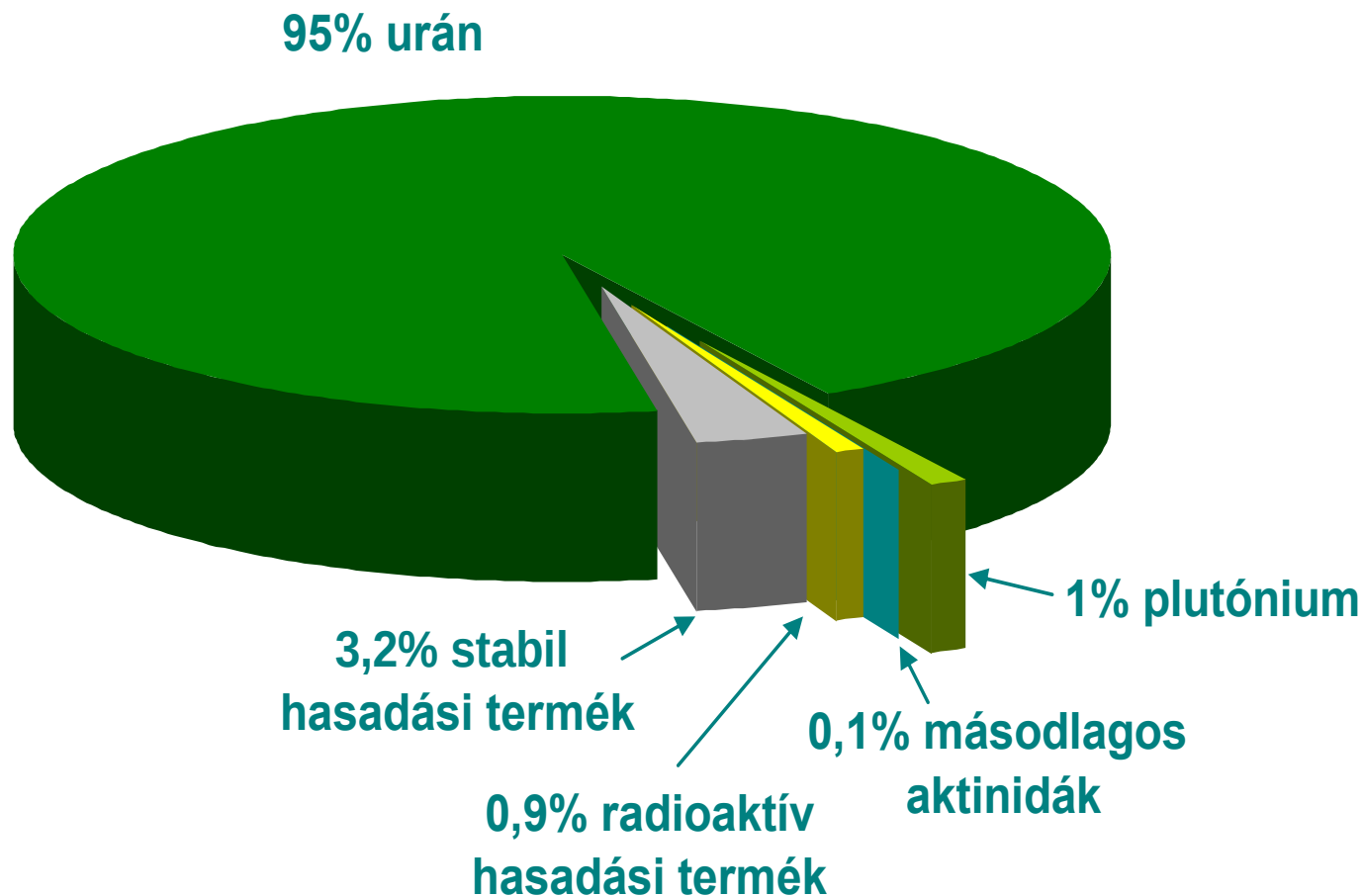
Az atomenergiával szembeni fő érvek

- Létesítmények potenciális veszélyessége
- Hasadóanyag (Pu) illetéktelen kezekbe jutásának veszélye (proliferation)
- **Radioaktív hulladékok**
(kockázat az eljövendő generációk számára)

Kiégett üzemanyag

- Jelenleg tipikusan erőművi telephelyen tárolják (vizes és száraz átmeneti tárolókban)
- A kiégett üzemanyag mennyisége folyamatosan nő
- Hosszú távú megoldás válik szükségessé
- Korábban kialakított, jelenleg elfogadott elképzelések/tervek: geológiai formációkban (só, gránit, agyag) történő végleges elhelyezés (közvetlenül vagy reprocesszálás után üvegesítve)
- Kanada, Spanyolország, Svédország, USA
- Franciaország: parlamenti döntés: 15 éves program alternatív megoldás keresésére

Kiégett üzemanyag összetétele



Csak a $0,9 + 0,1 + 1\%$ jelent potenciális hulladékot, de ezek közül is hosszútávon a legfontosabb az $1 + 0,1\%$.

Alapvetően új megoldás

Particionálás

(kémiai szétválasztás)

&

Transzmutálás

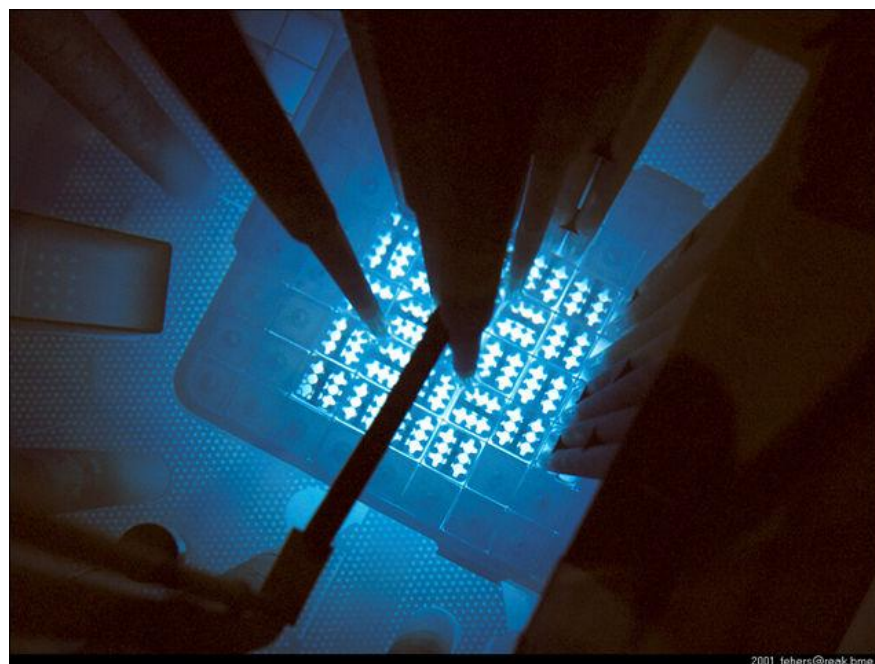
**(neutron-besugárzással
kiváltott magátalakítás -
„kiégetés”)**

- Cél: a felezési idő, az aktivitás, és a hulladékmennyiség (térfogat) csökkentése

Traszmutáció kutatása

- Cél: olyan, új típusú speciális berendezések kifejlesztése, amelyekben a hosszú felezési idejű plutónium és a nála magasabb rendszámú izotópok átalakíthatók (hasítással) stabil vagy lényegesen rövidebb felezési idejű izotópokká
- Erre a célra nagy energiájú neutronokkal üzemelő berendezések alkalmasak
- Emellett ezek a berendezések energiát is termelnének
- A kutatás hazánkban is folyik (pl. BME NTI)

A természettudományok és műszaki tudományok tanulása a jövőnk szempontjából létfontosságú!



www.reak.bme.hu

Köszönöm a figyelmet!