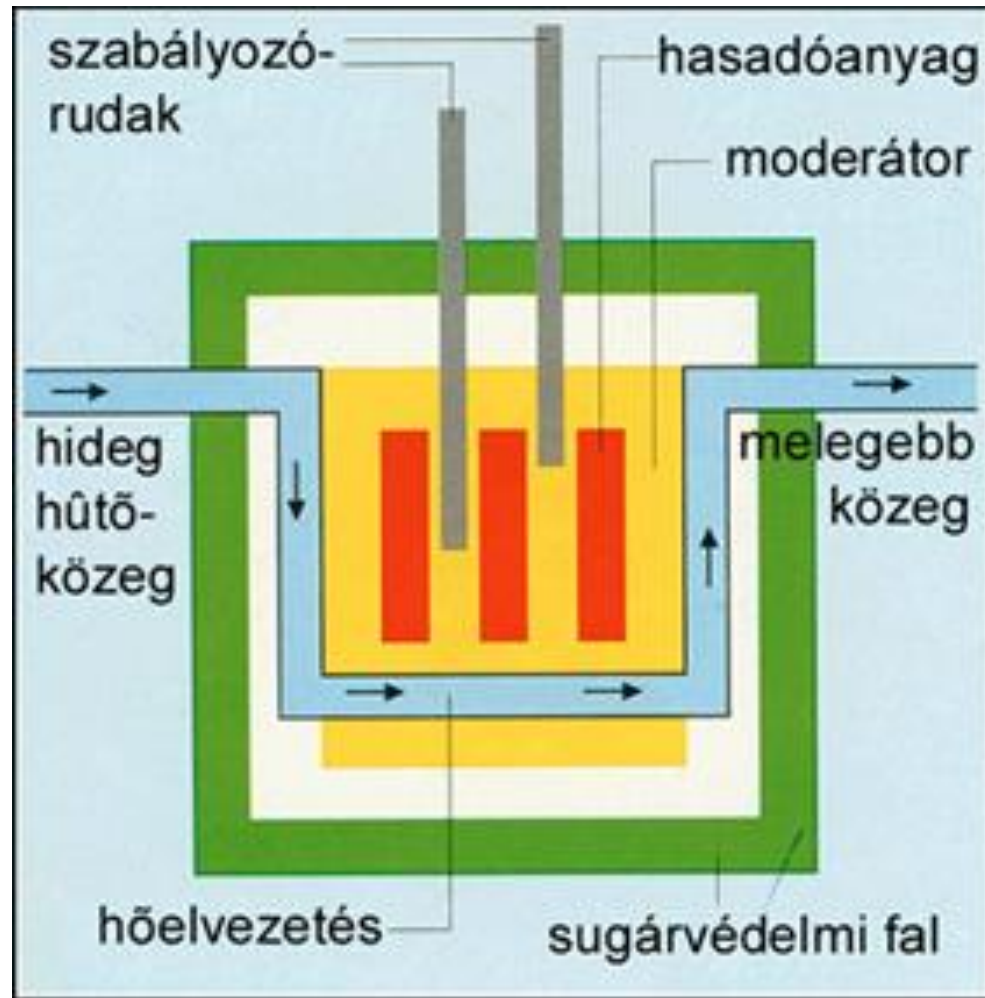
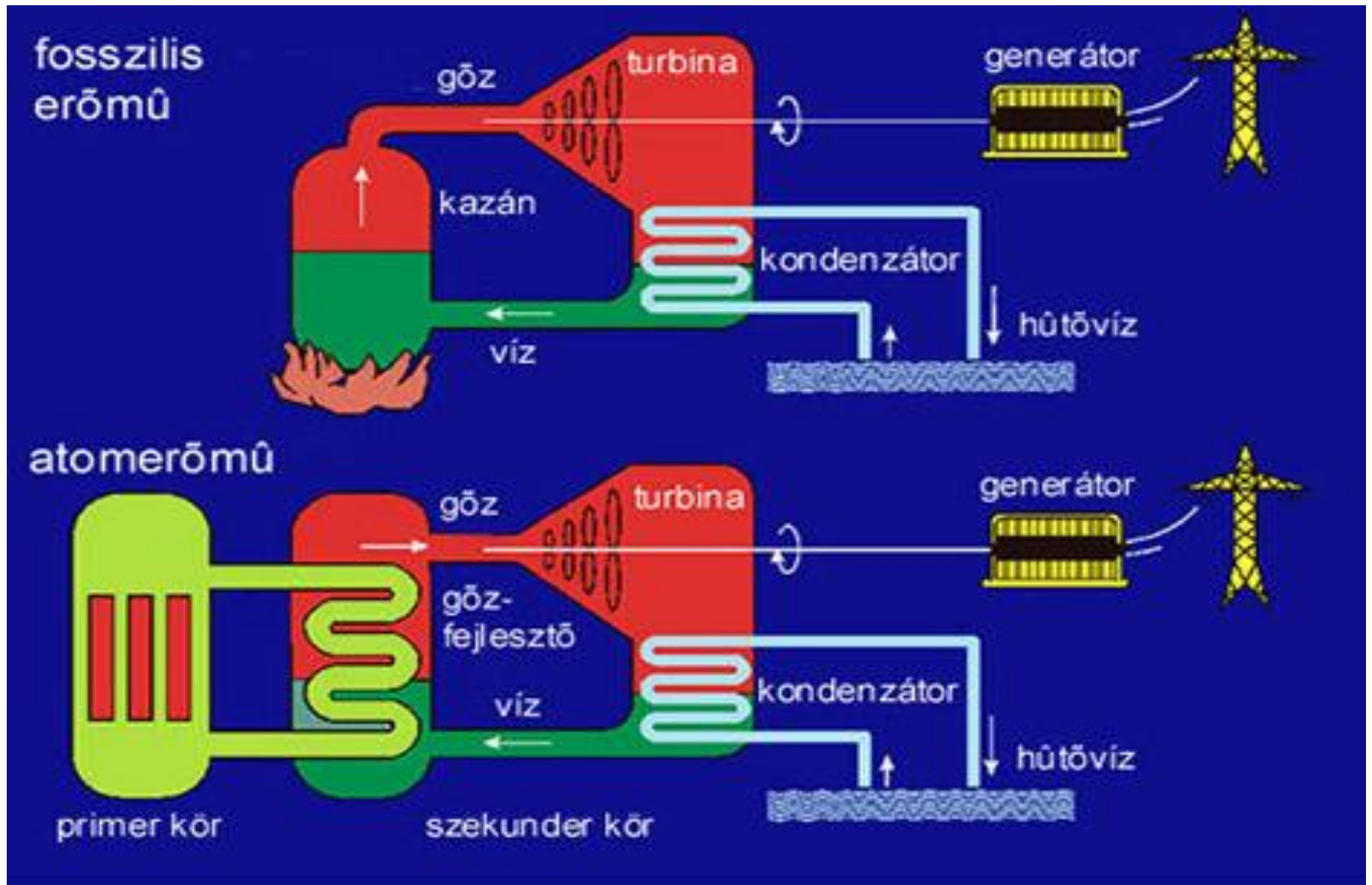


Atomerőművek

ATOMREAKTOR MŰKÖDÉSE



A fosszilis erőmű és az atomerőmű elvi felépítése



Reaktorgenerációk

Generation I



Early Prototype Reactors



- Shippingport
- Dresden, Fermi I
- Magnox

Generation II



Commercial Power Reactors



- LWR-PWR, BWR
- CANDU
- AGR

Generation III



Advanced LWRs



- ABWR
- System 80+

Generation III +

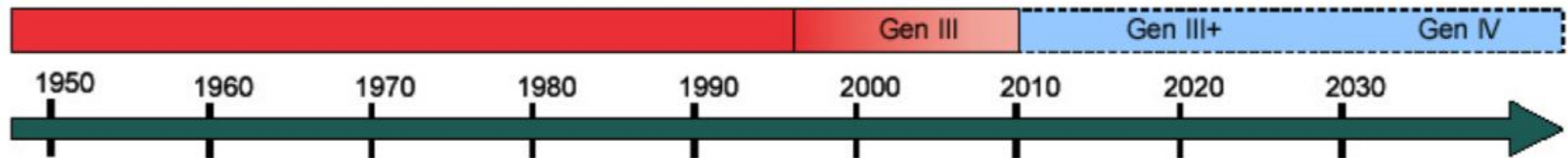


Evolutionary Designs Offering Improved Economics for Near-Term Deployment

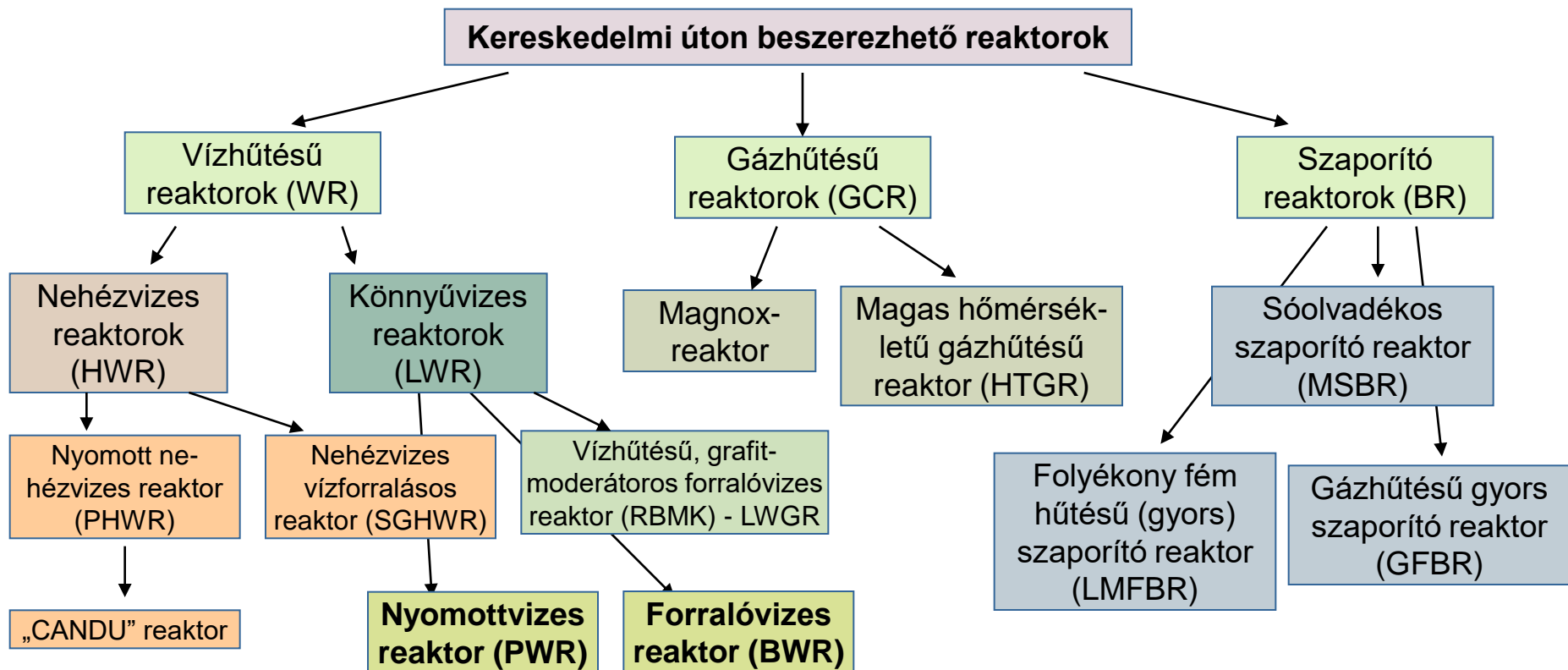
Generation IV



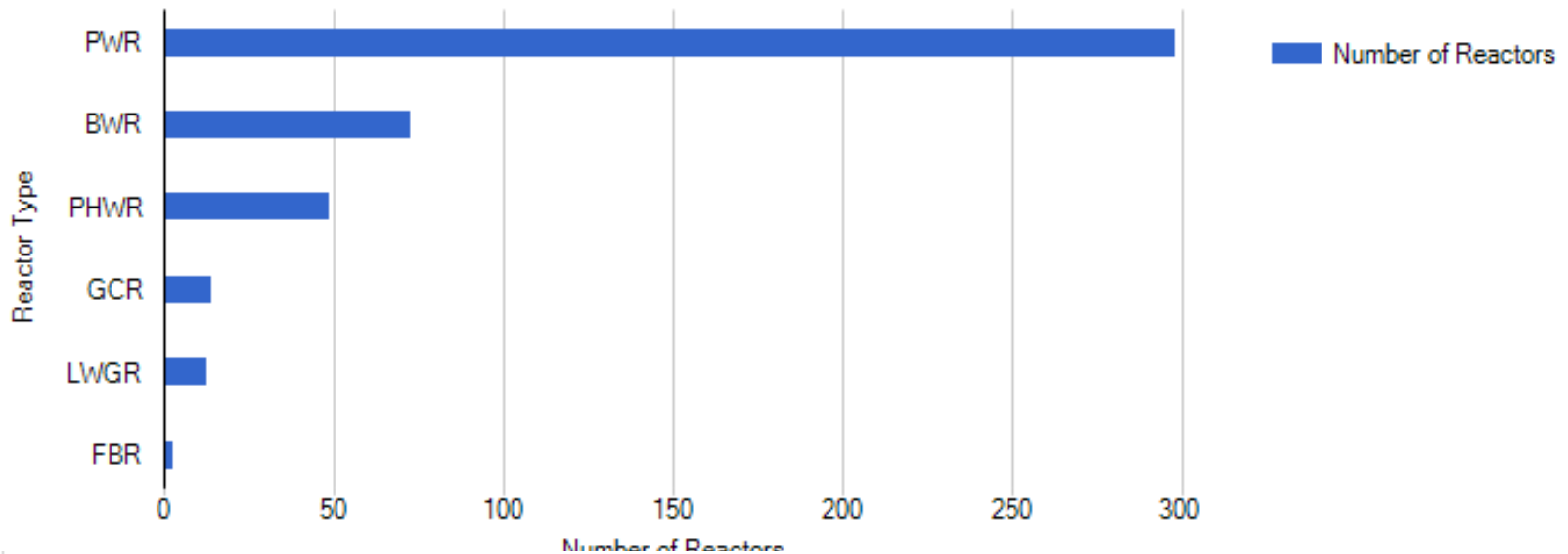
- Highly Economical
- Enhanced Safety
- Minimal Waste
- Proliferation Resistant



A jelenleg üzemelő *első és második generációs* reaktortípusok (elvi – technológiai) jellegű csoportosítás



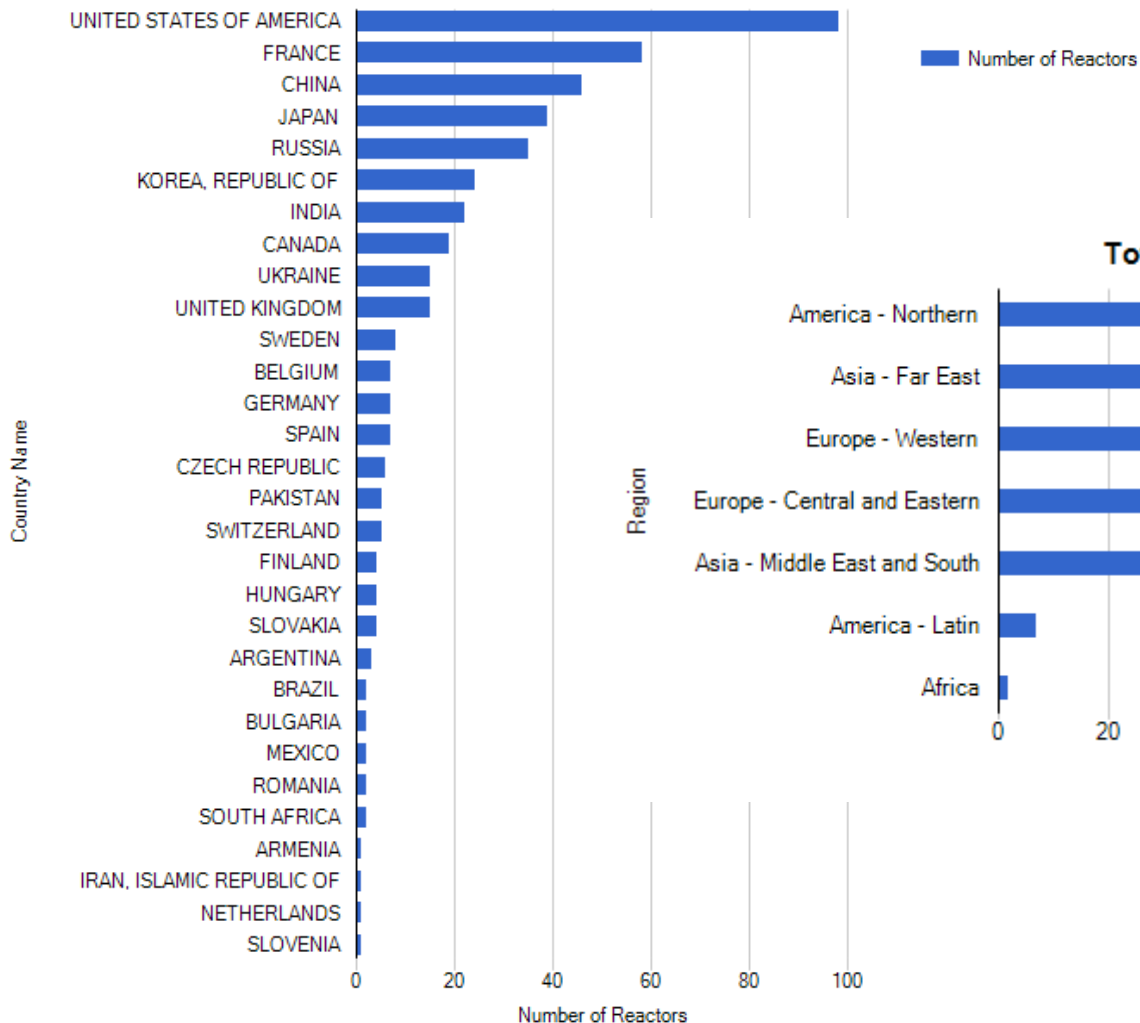
Total Number of Reactors: 450



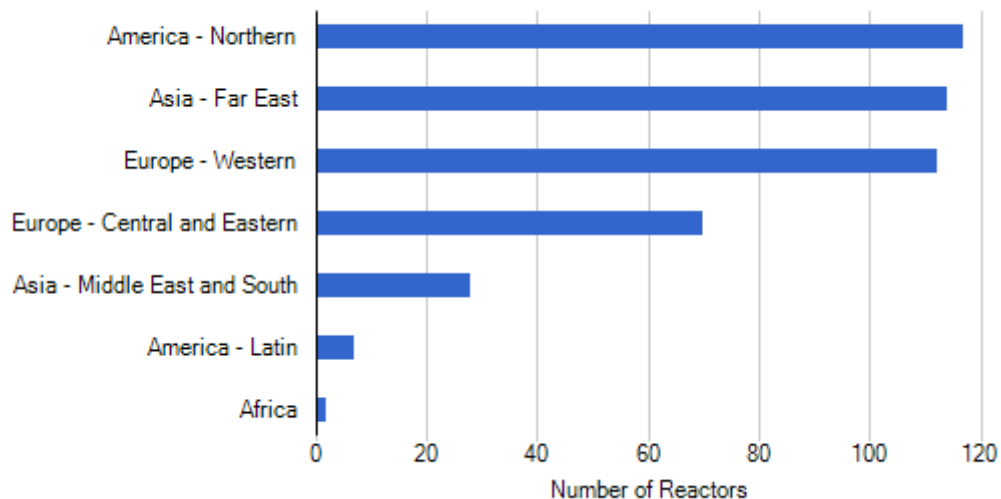
Reactor Type ▲	Reactor Type Descriptive Name	Number of Reactors	Total Net Electrical Capacity [MW]
BWR	Boiling Light-Water Cooled and Moderated Reactor	73	71492
FBR	Fast Breeder Reactor	3	1400
GCR	Gas Cooled, Graphite Moderated Reactor	14	7725
LWGR	Light-Water Cooled, Graphite Moderated Reactor	13	9283
PHWR	Pressurized Heavy-Water Moderated and Cooled Reactor	49	24557
PWR	Pressurized Light-Water Moderated and Cooled Reactor	298	282445
Total		450	396902

Forrás: IAEA PRIS database - 2019

Total Number of Reactors: 450

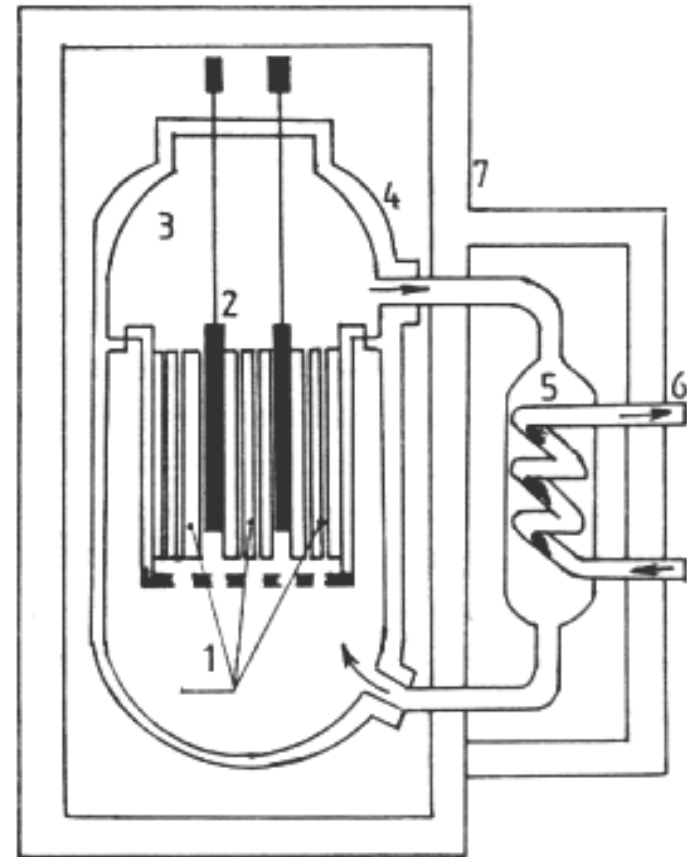


Total Number of Reactors: 450



Nyomottvizes reaktor (Pressured Water Reactor, vagy VVER)

- Idegen nyelvű rövidítés értelmezése:
- *Pressurized Water Reaktor* = *PWR*, illetve
- *Vodo-Vodjannij Energeticseskij Reaktor* = *VVER*
- Az ábrán lévő számok magyarázata:
- 1: Fűtőelemek,
- 2: Szabályozó rudak,
- 3: Víz,
- 4: Reaktortartály,
- 5: Gőzfejlesztő berendezés,
- 6: A turbina gőzvezetéke,
- 7: Sugárvédelem



VVER-440/213 TÍPUSÚ ATOMREAKTOR (PAKS)

(Heterogén reaktor, termikus, nyomott vizes típus, moderátora a hőhordozó víz)

Fűtőanyag: ^{235}U -ban dúsított UO_2 (d=7,65 mm, m=30 mm, közepén 1,2 mm furat)

Dúsítás: 1,6-2,4-3,6%

Fémuránban a súly: 42t (312 db üzemi kazetta (126 fűtőelem),

max. T=2000 °C)

Fűtőanyag burkolat: 1% Nb-t tartalmazó Zr

Hűtővíz (moderátor): “Könnyű víz”

Belépő hűtővíz: 267 °C

Kilépő hűtővíz: 295 °C (Tervezési T:325 °C, p:13,3MPa)

Cirkuláltatott víz mennyisége: 43000 t/óra

Bórsavtartalom: 0-8,0 g/dm³

üzemzavari tartalék: 40 g/dm³

Neutronfluens teljesítmény a reaktortartályban: 10^{13} n/cm² s

Reflektor: hűtővíz és acélfal

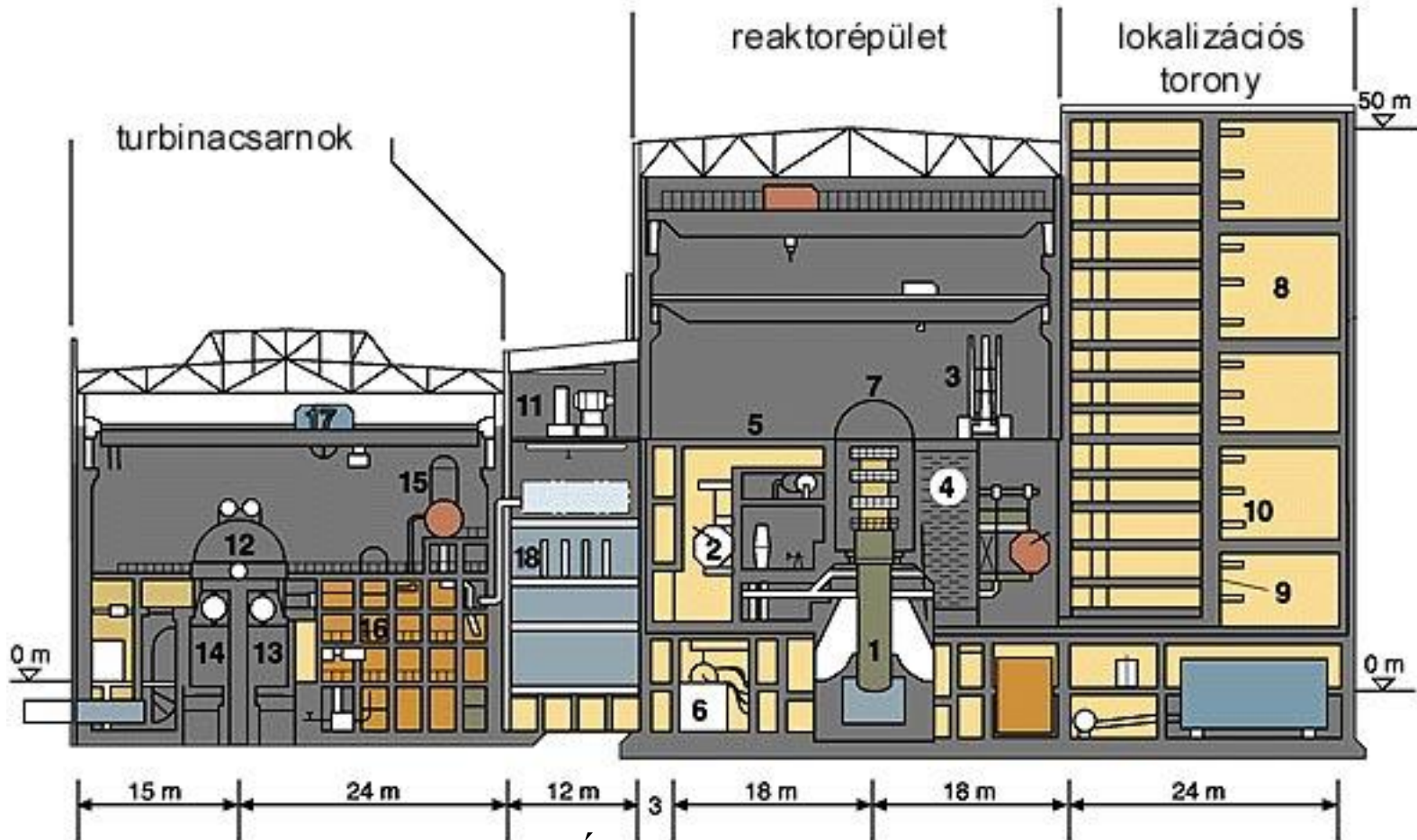
Szabályozó anyag: Bóracél (2% B)

Felmelegítés sebessége: 20 °C/óra

Hűtés: 30 °C/óra

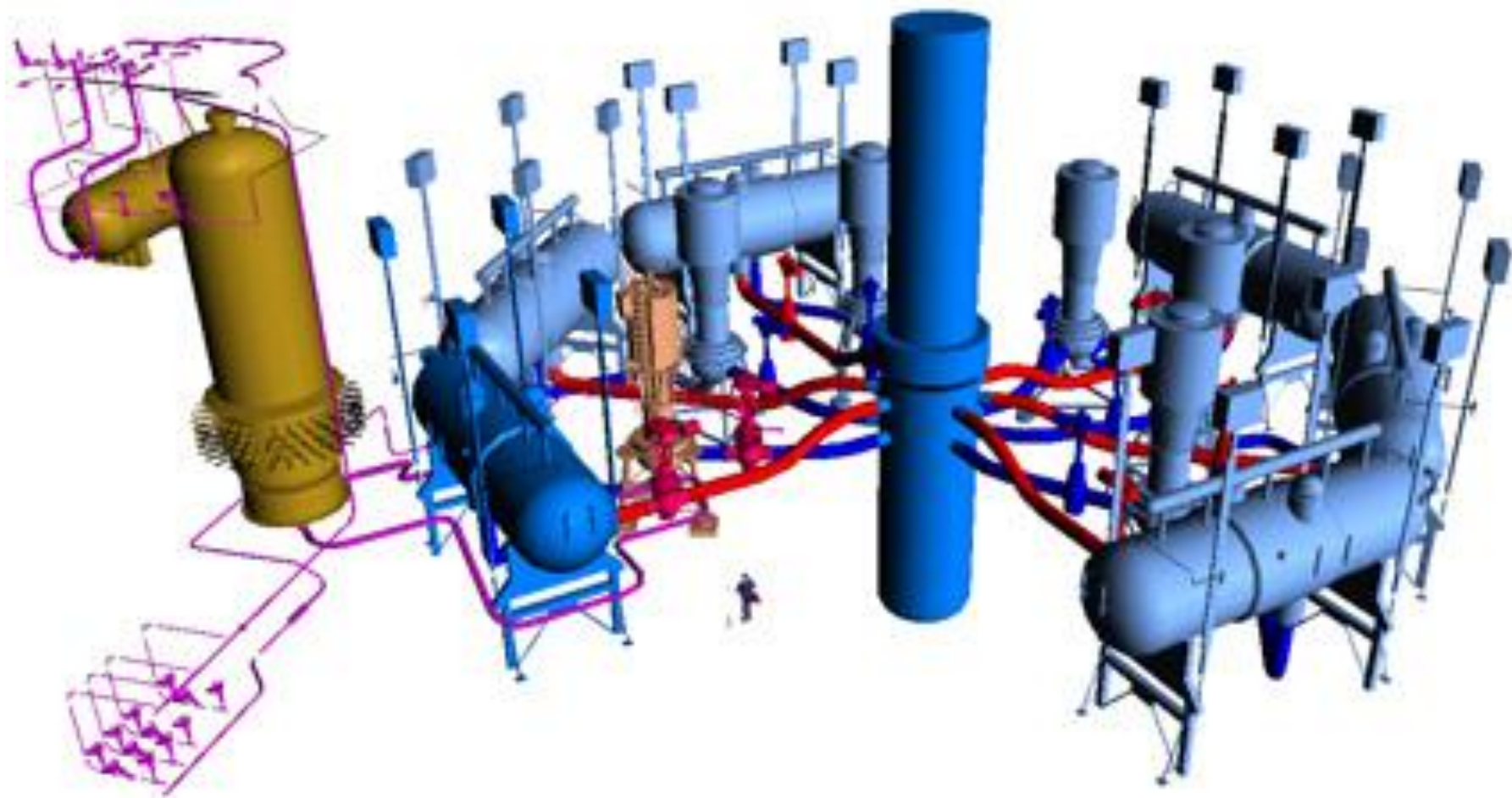
A PRIMER KÖR NAGYOBB EGYSÉGEI

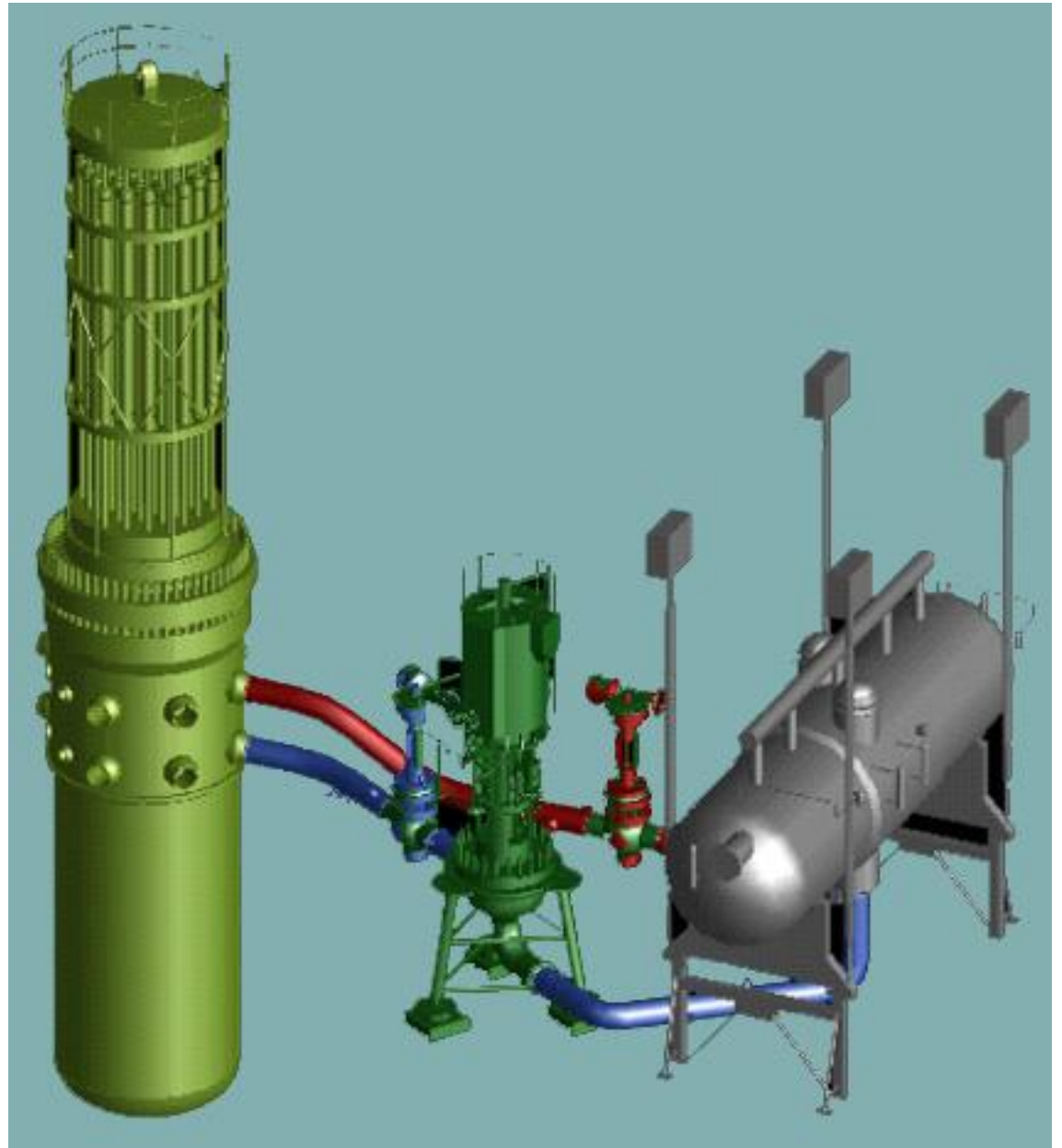
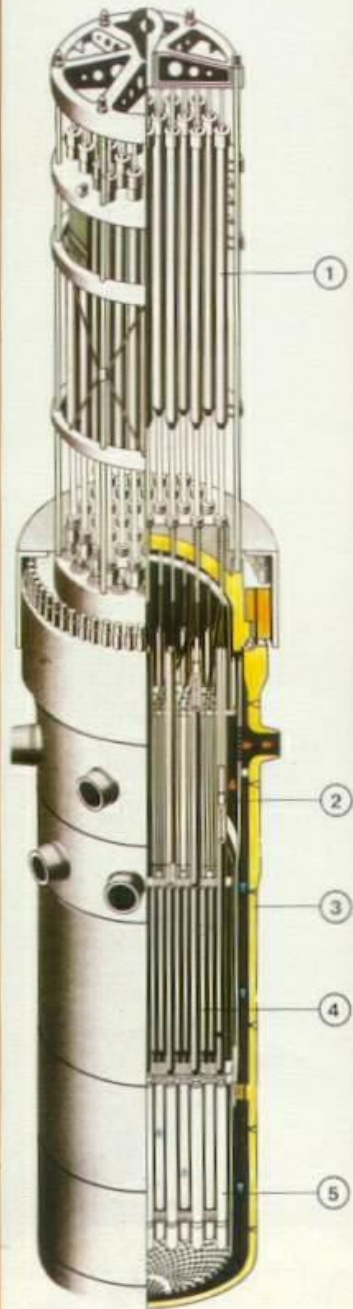
- Atomreaktor
- Fővízkör
- Térfogatkiegyenlítő rendszer
- A primerkör részáramú tisztítórendszere
- Pótvíz és bórsavas szabályozás rendszere
- Szervezett szivárgások rendszere
- Aktív zóna üzemzavari hűtőrendszerei
- Üzemzavar lokalizációs rendszerek
- Pihentető medence hűtőrendszere
- Hidrogénégető rendszer
- Radioaktív gáz tisztító rendszere
- Primerköri víztisztító rendszer
- Folyékony hulladék tárolók
- Közbenső hűtőkörök

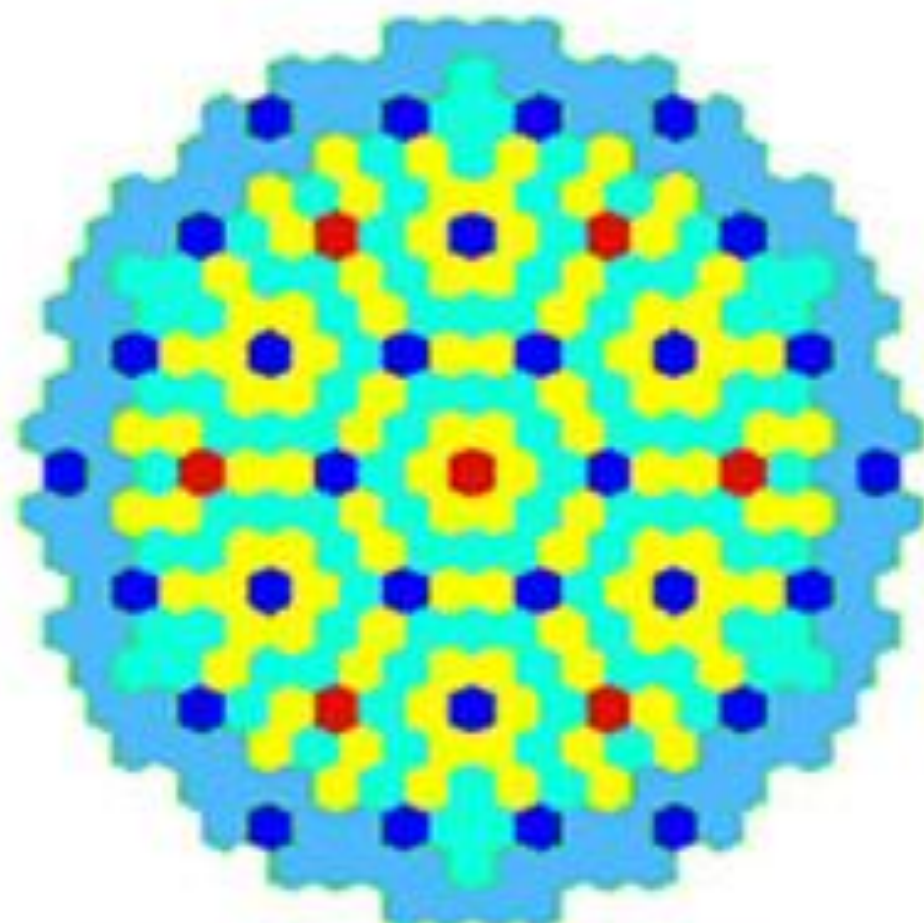


- 1 Reaktortartály 2 Gőzfejlesztő 3 Átrakógép
- 4 Pihentető medence 5 Biológiai védelem 6 Kiegészítő tápvízrendszer
- 7 Reaktor 8 Lokalizációs torony 9 Buborékoltató tálcák
- 10 Légcsapda 11 Szellőző 12 Turbina
- 13 Kondenzátor 14 Turbinaház 15 Gáztalanító tápvíz tartály
- 16 Előmelegítő 17 Turbinacsarnok daruja 18 Szabályzó és műszer helyiségek





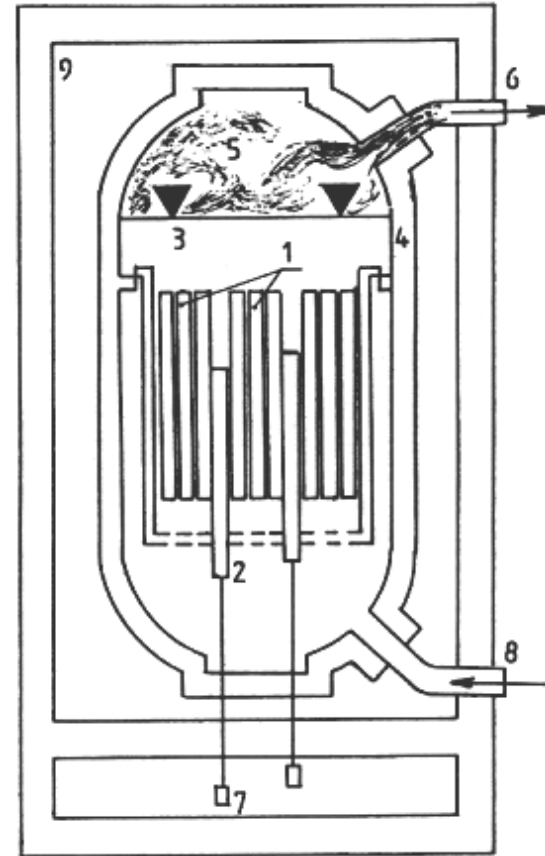




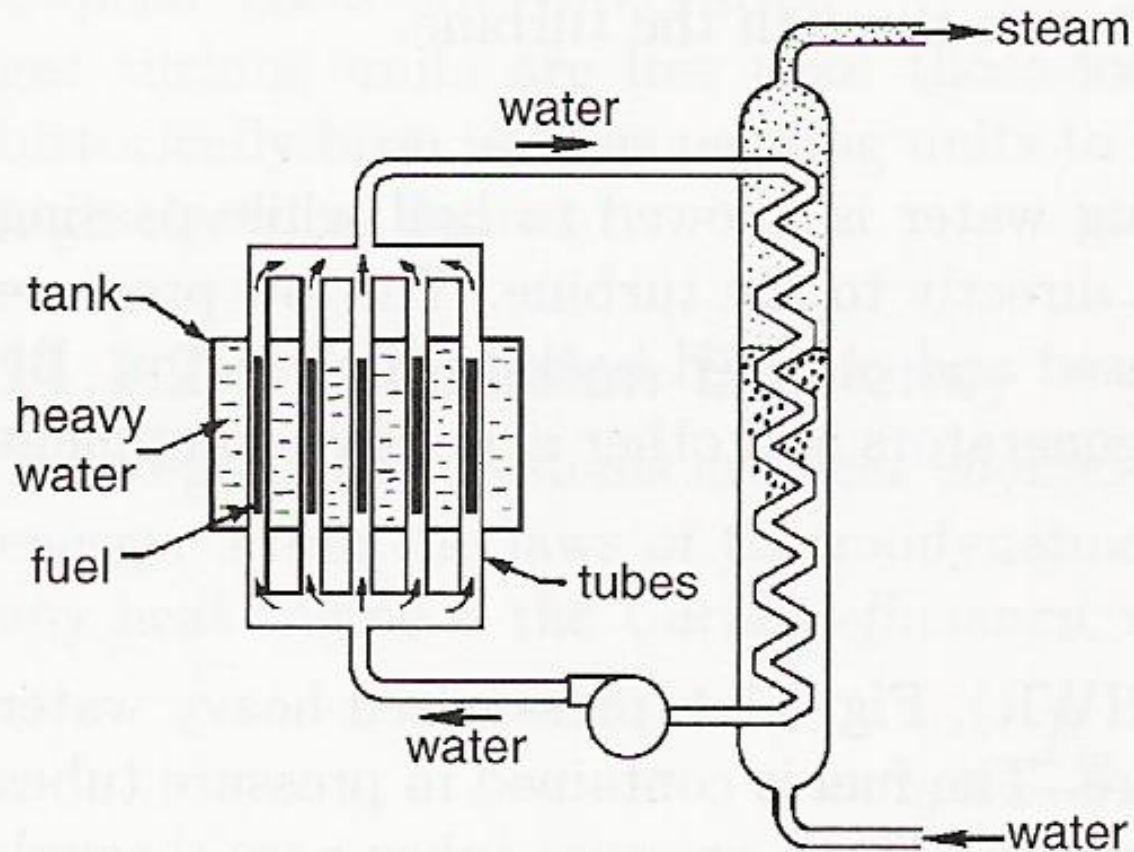
- 3.6 % dúsítású üzemenyag
- 2.4 % dúsítású üzemenyag
- 1.6 % dúsítású üzemenyag
- szabályozó kazetták
- biztonságvédelmi kazetták

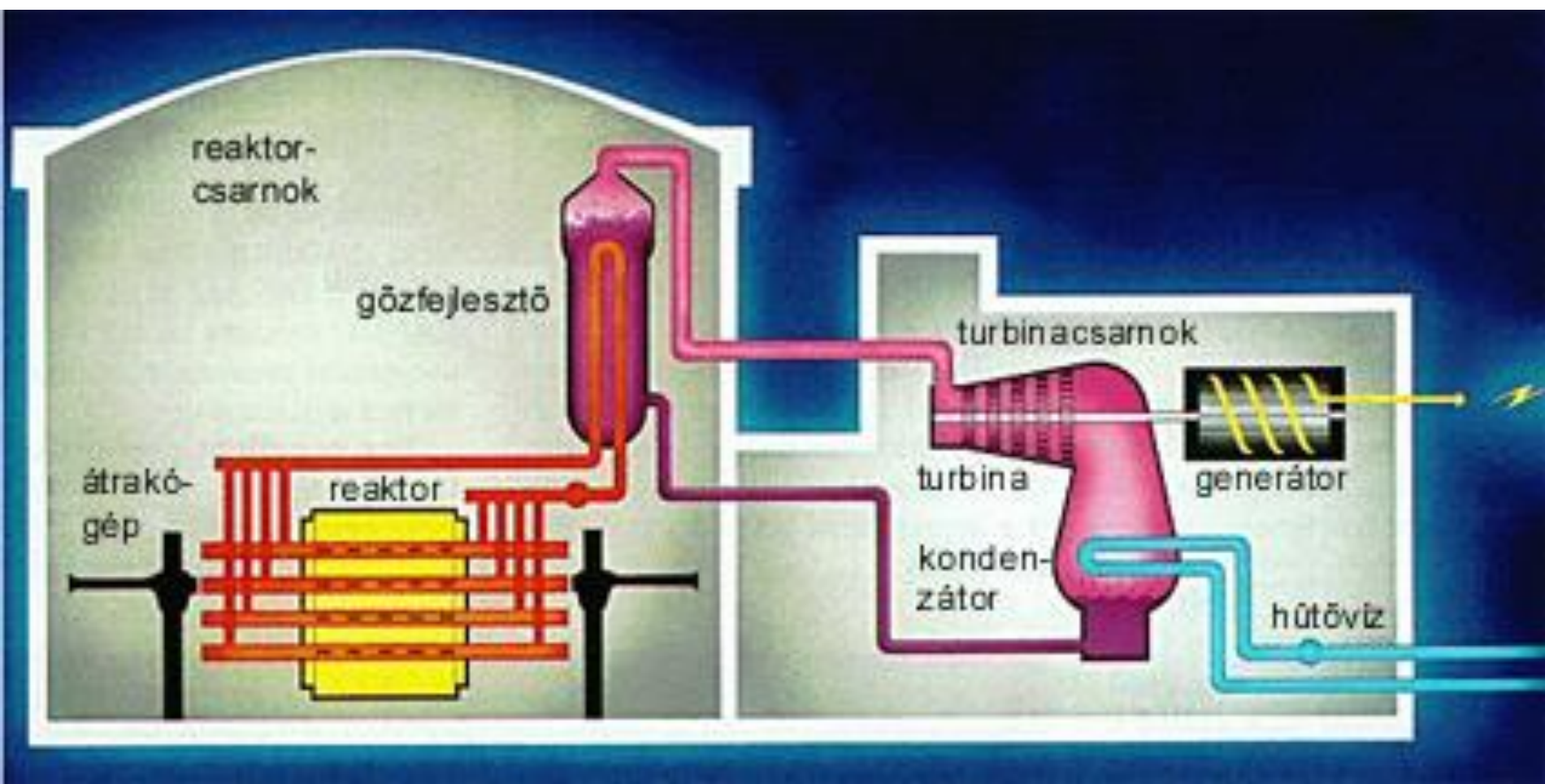
Elgőzöltető, illetve forraló vizes reaktor (Boiling Water Reactor = BWR)

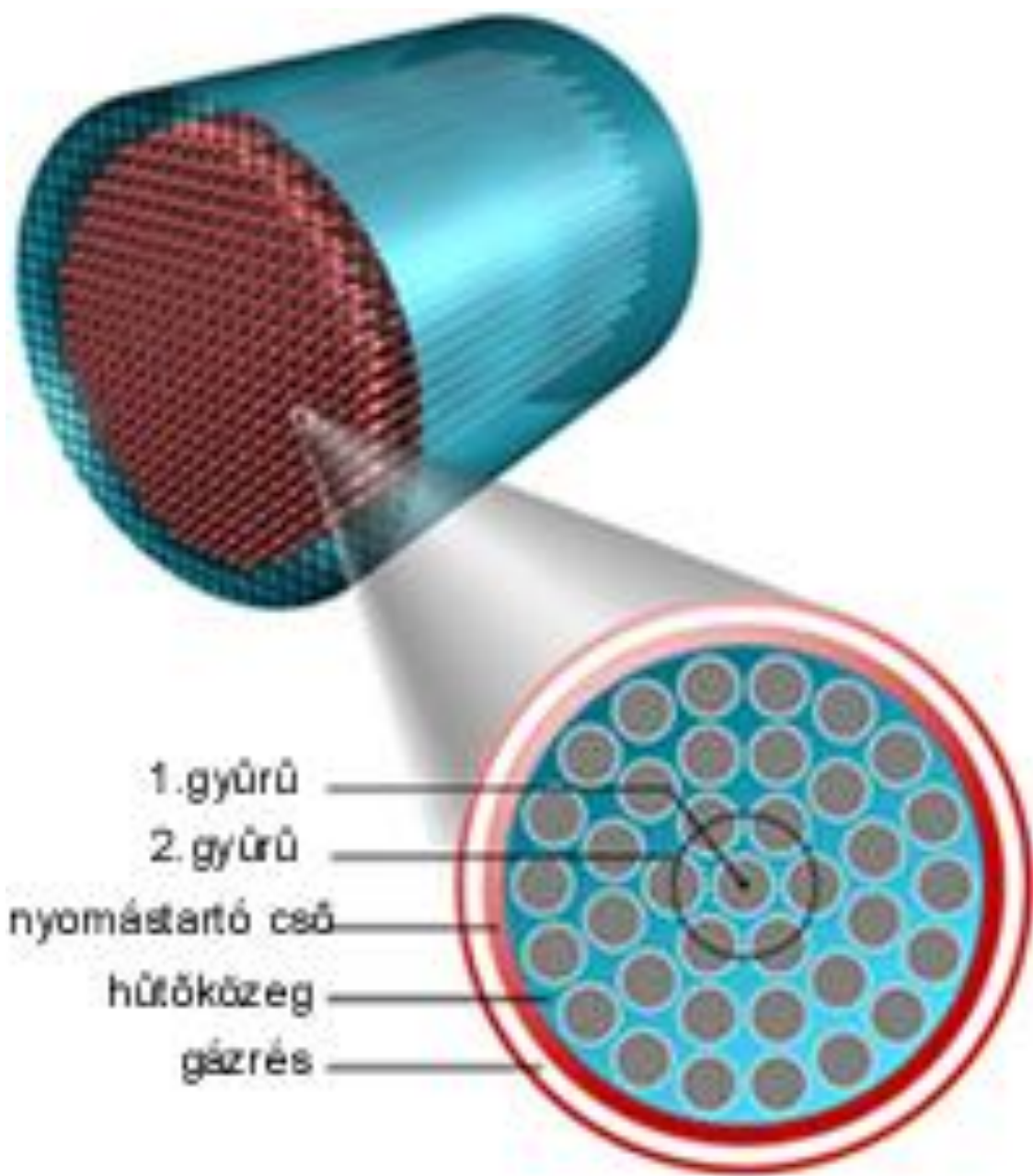
- **1: Fűtőelemek,**
- **2: Szabályozó rudak,**
- **3: Víz,**
- **4: Reaktortartály,**
- **5: Gőz,**
- **6: Turbinához,**
- **7: Szabályozó rudak meghajtása,**
- **8: Tápvíz,**
- **9: Sugárvédelem.**



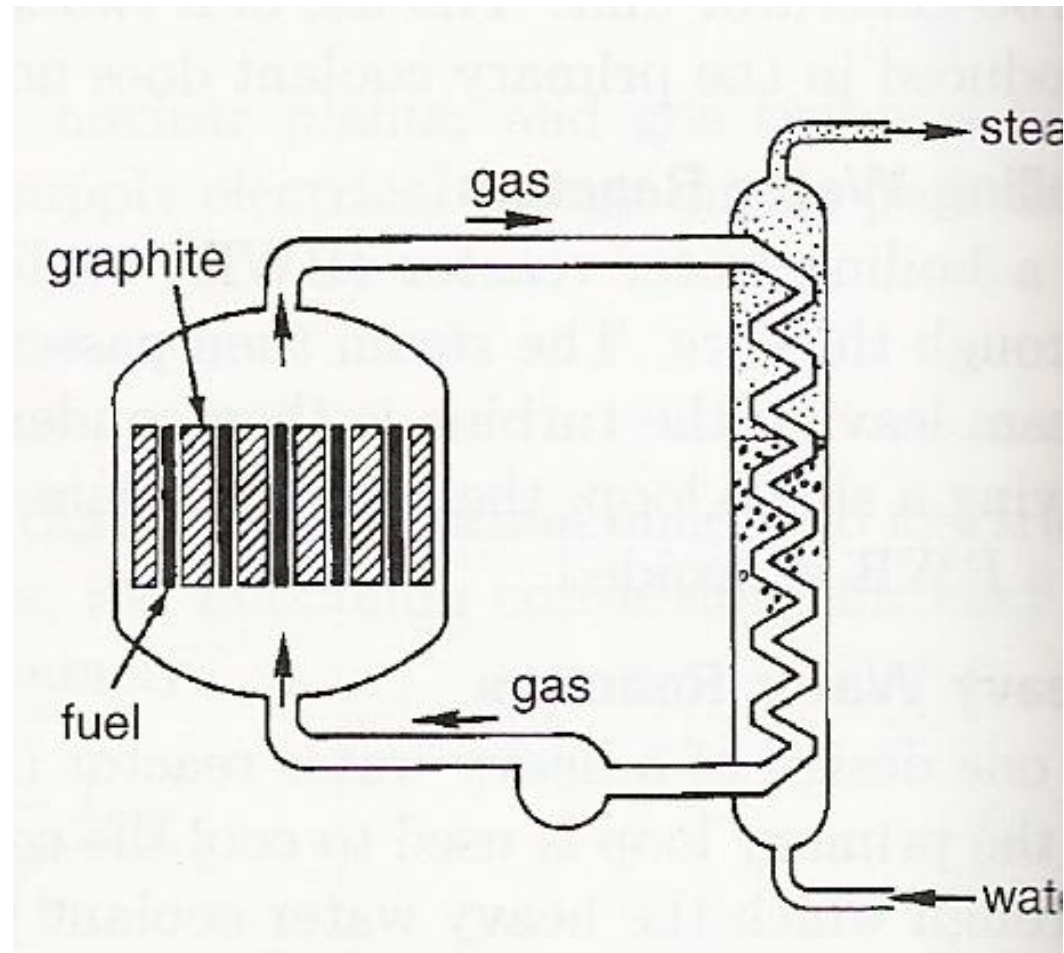
Nehézvizes reaktor (Heavy Water Reactor = HWR)



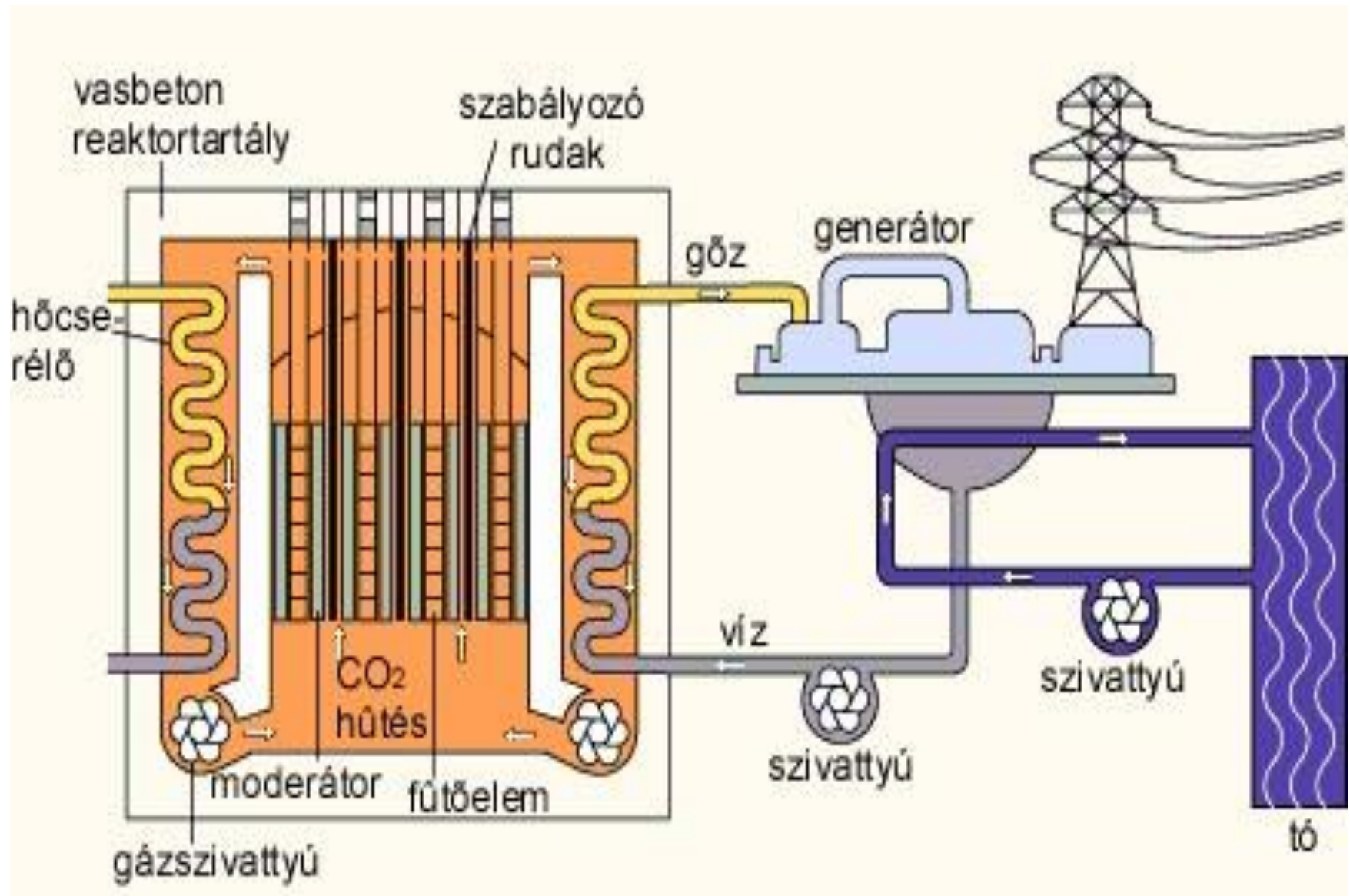




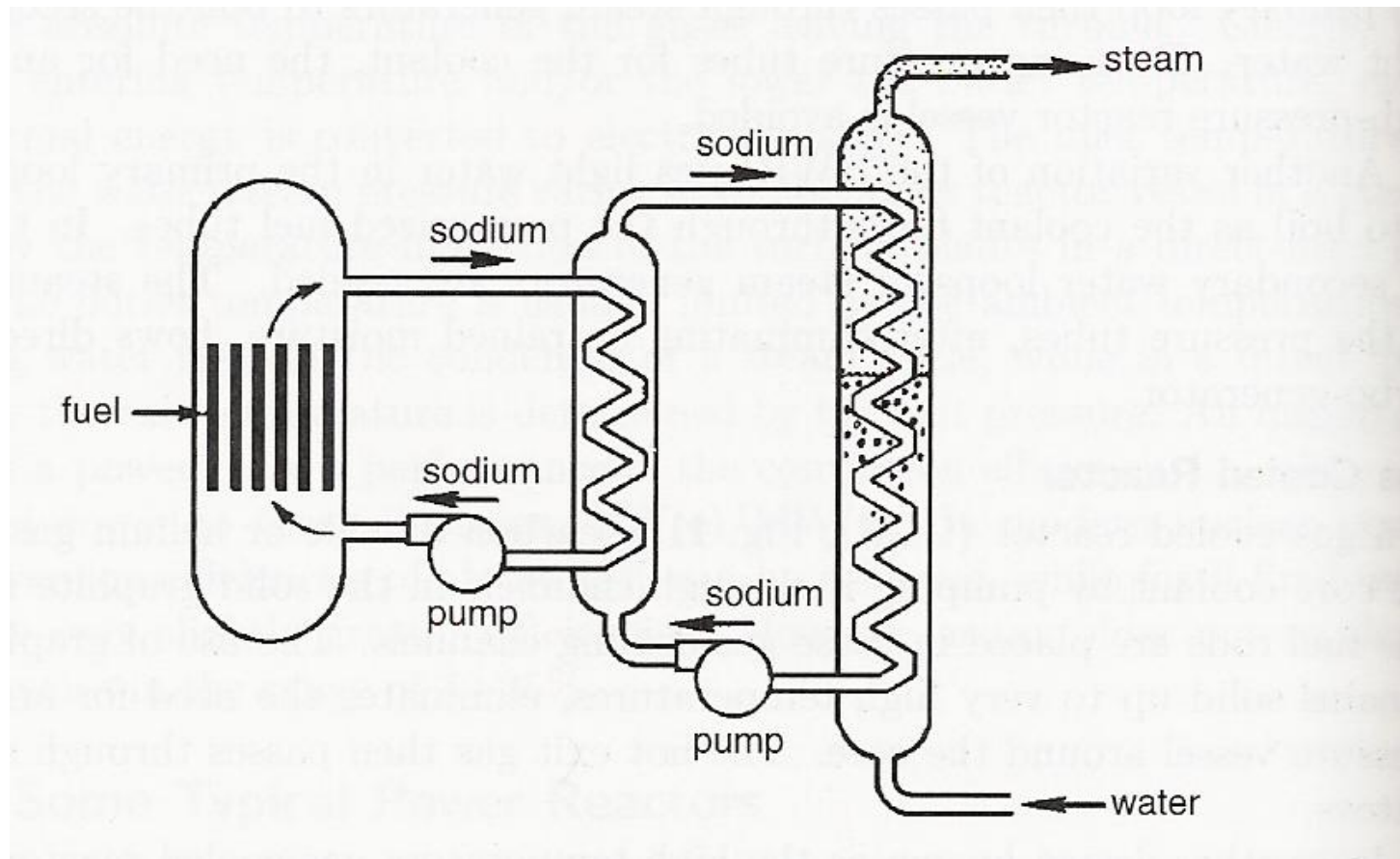
Gázhűtésű reaktor (Gas Cooled Reactor = GCR)



A gázhűtésű atomerőmű elvi kapcsolási rajza



Folyékony fémhűtésű gyors tenyésztőreaktor (Liquid Metal Fast Breeder Reactor = LMFBR)



15 %-ra dúsított
hasadó anyag szegényített
 UO_2/PuO_2 (tenyésztő)
zóna

545 °C



folyékony Na

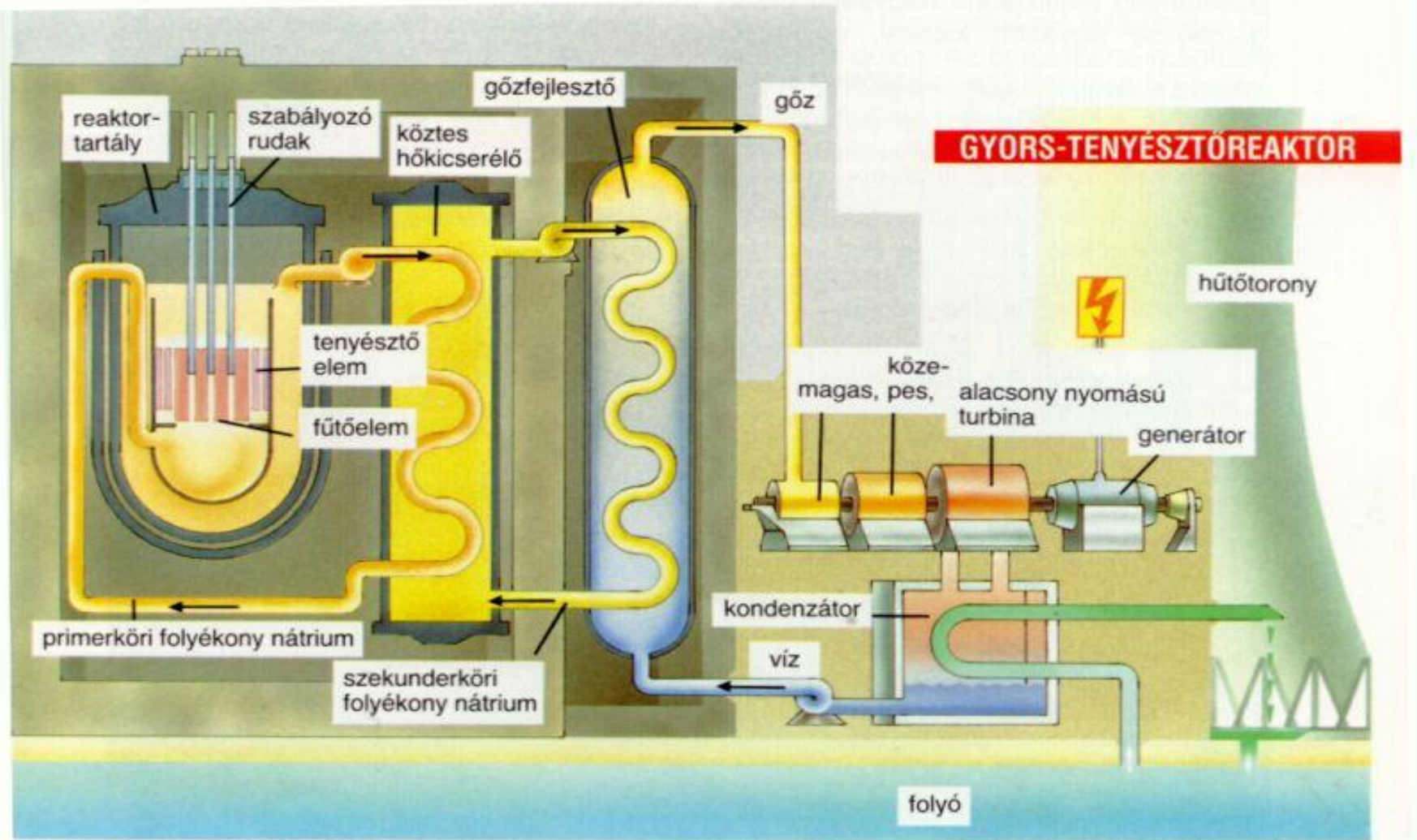
395 °C

p = 10 bar

100 Pu atommag hasad

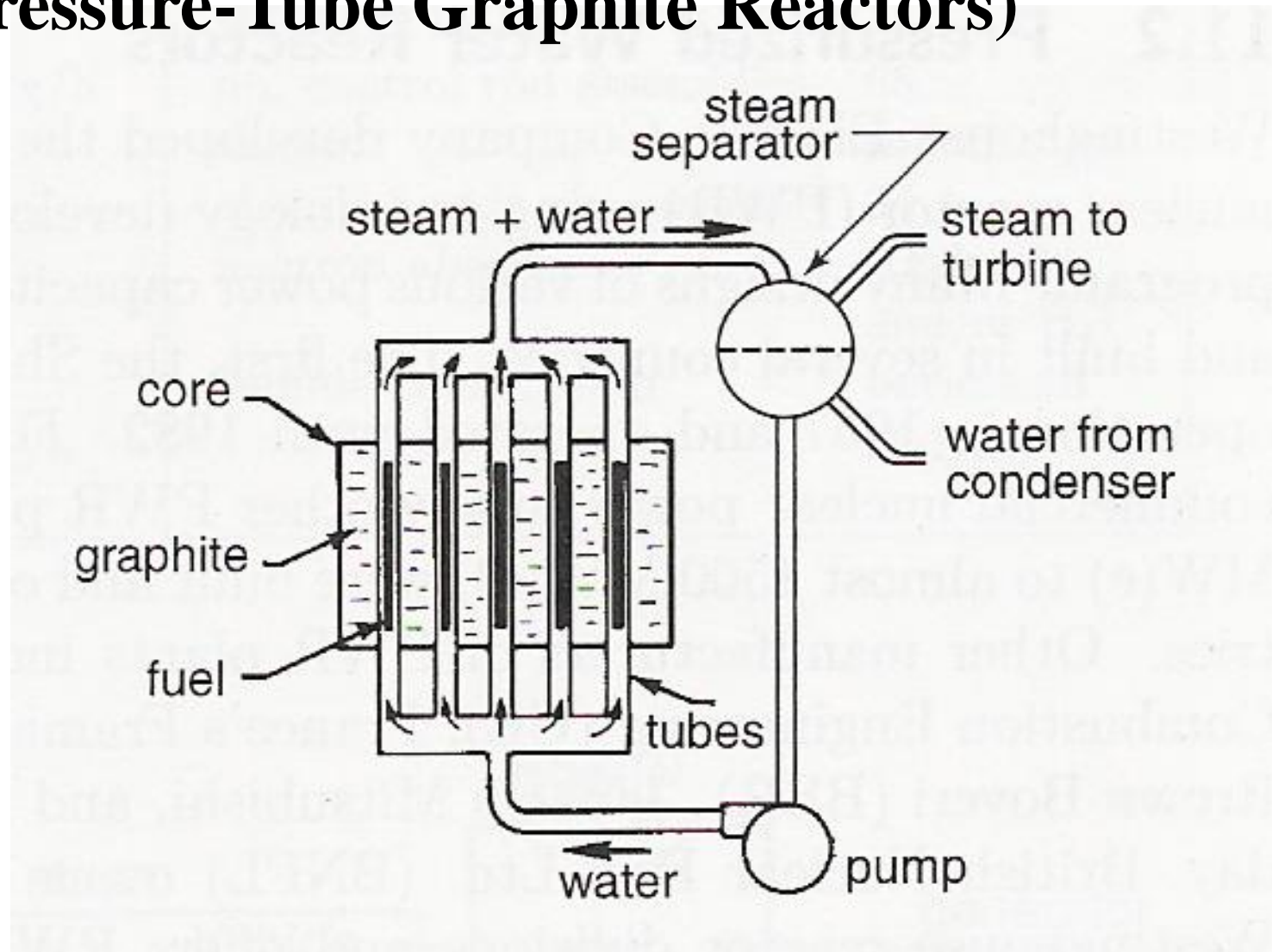
115 Pu atommag keletkezik

Gyors tenyésztőreaktorok

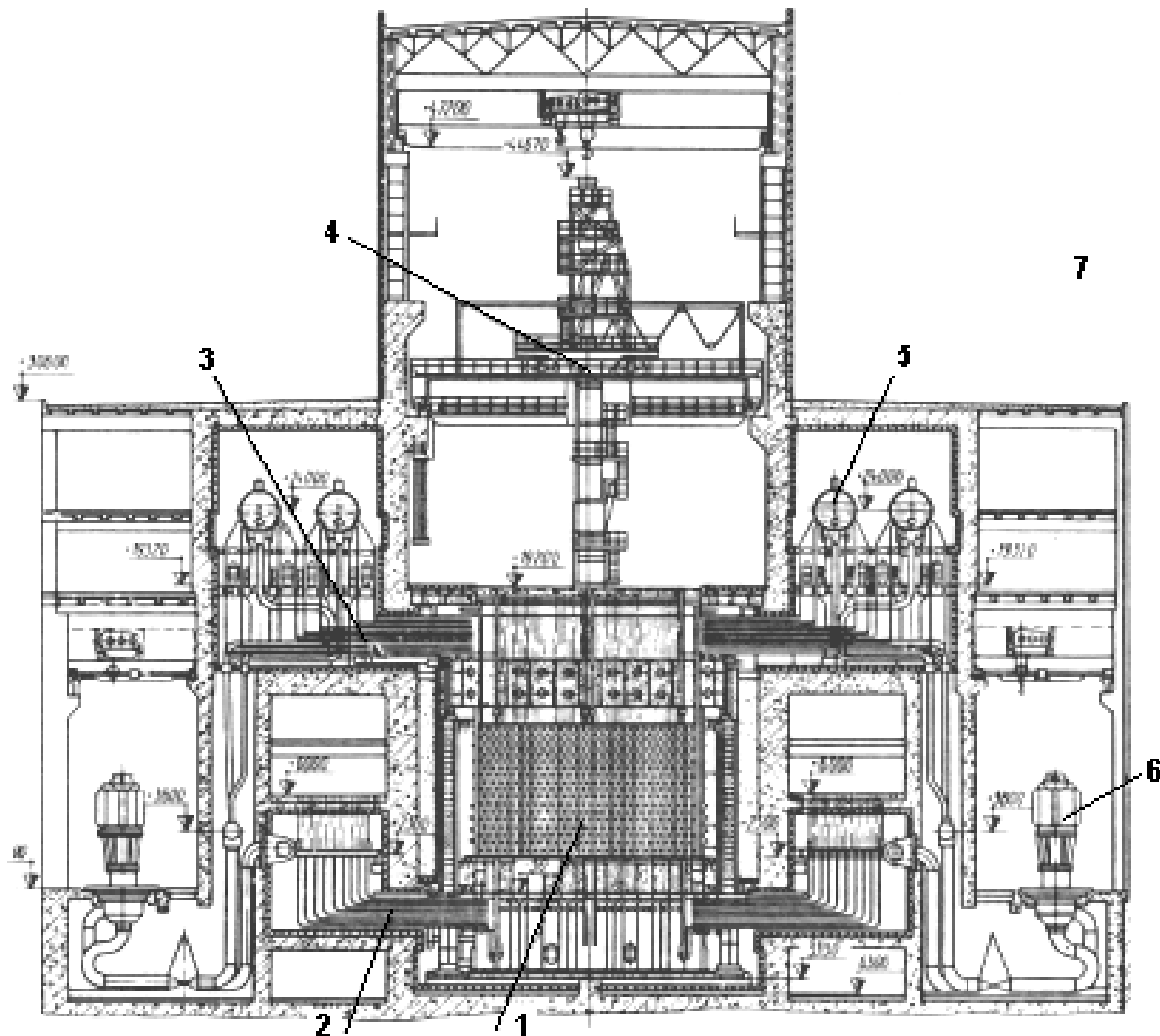
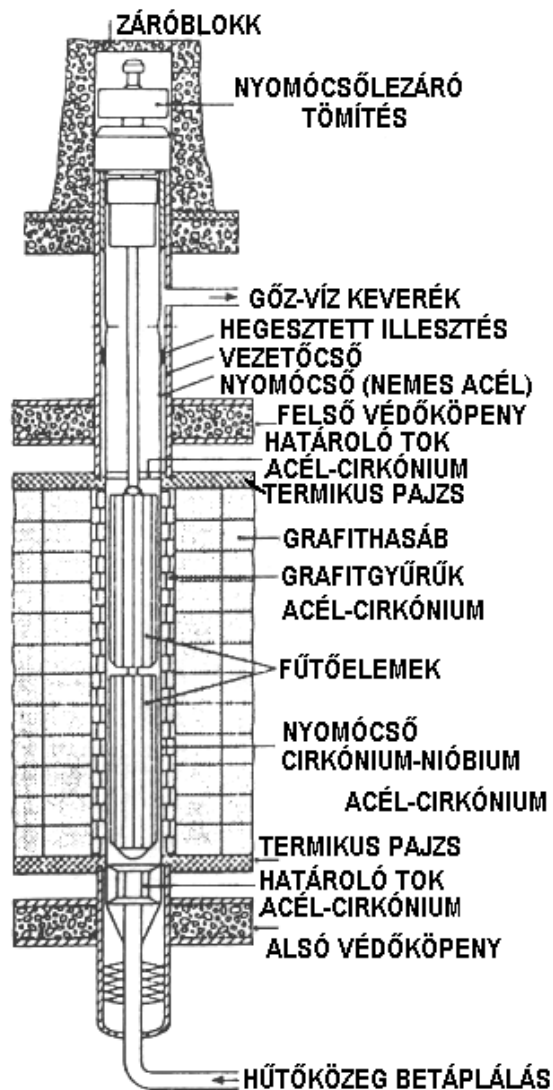


RBMK

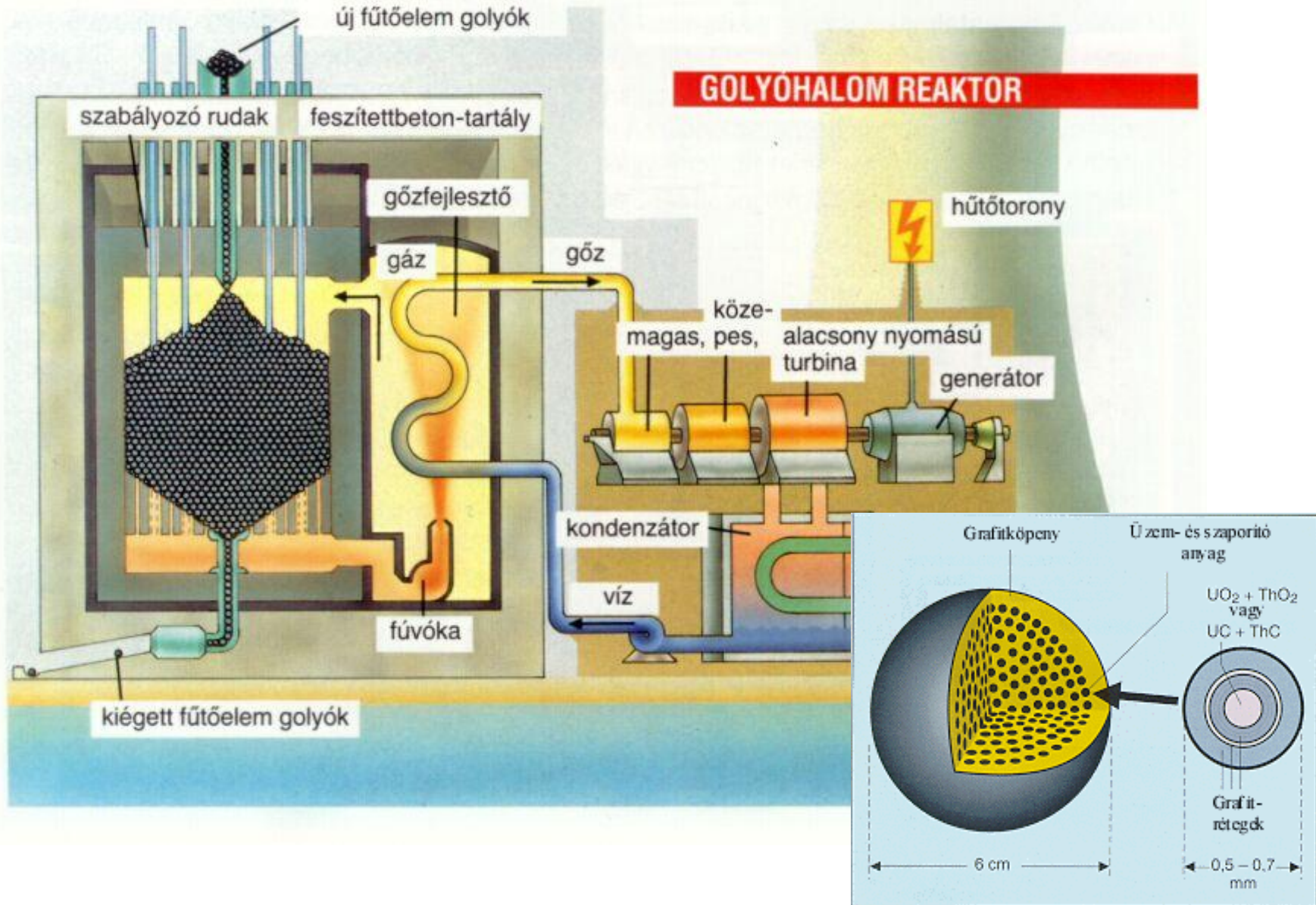
(Pressure-Tube Graphite Reactors)



A Csernobil-1 egyik eleme és a reaktorépület



Golyóhalom reaktor (Thorium High Temperature Reactor)



3-ik generációs erőművek



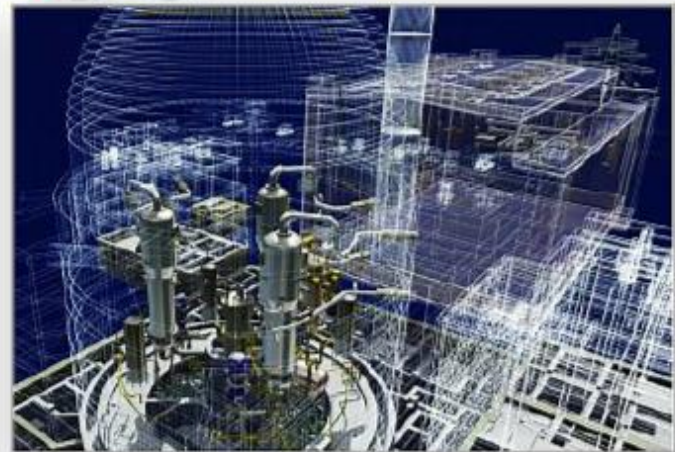
AES-2006



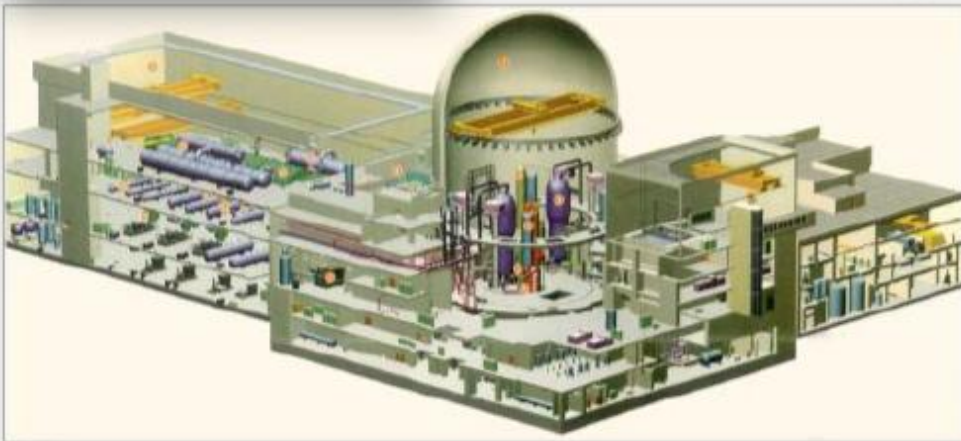
AP1000



ATMEA1



APR1400



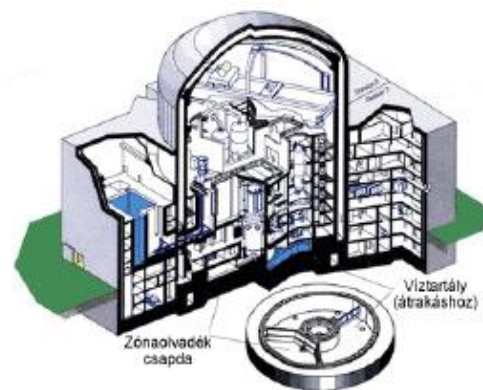
EPR



?

Az EPR – egy 3. generációs blokk

- 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.
 - Módszerek: konténment hűtése, zónaolvadék felfogása és hűtése, talapzat hűtése alulról



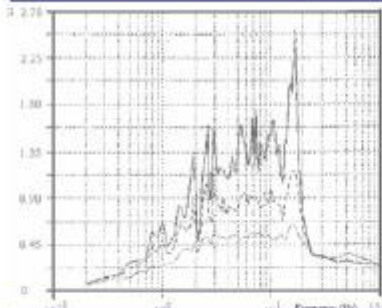
Atomsztrójeleszport – VVER-1200/491



Kettős konténment

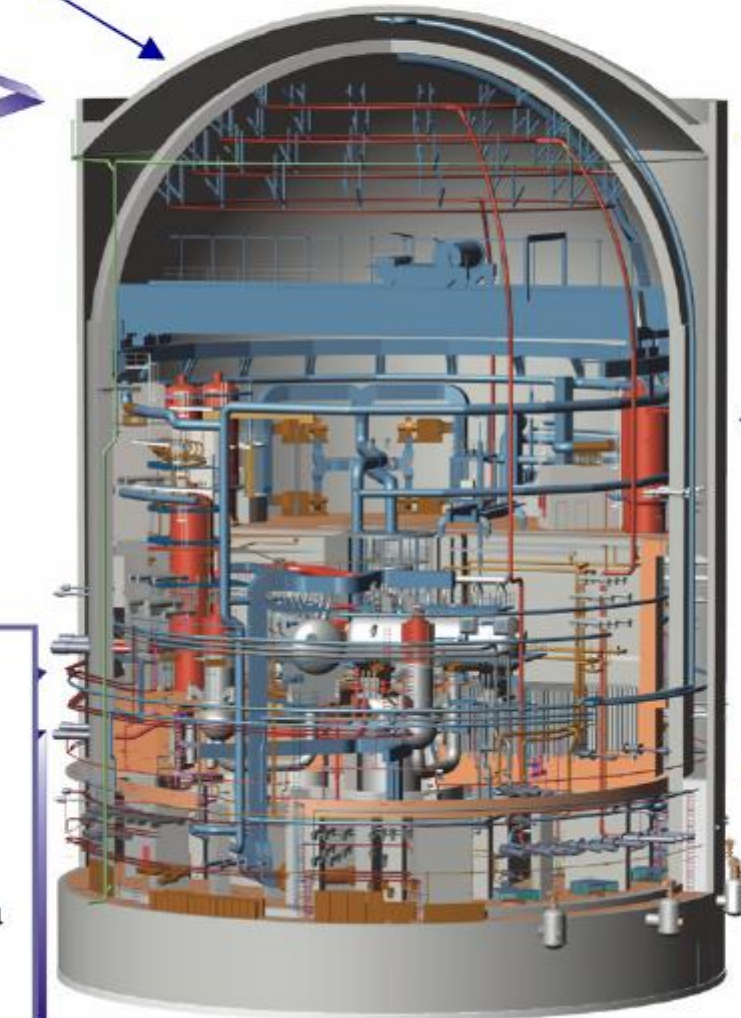
Szeizmikus terhelés

Tervezési vízszintes
maximális gyorsulás:
0,12 g



Szélterhelés

A biztonsági rendszerek
30 m/s szélsősebességre
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
nyomáshulláma
(30 kPa 1 s-ig)

Hó és jég terhelés

Tervezési alap:
extrém hóterhelés
(4,9 kPa)



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.

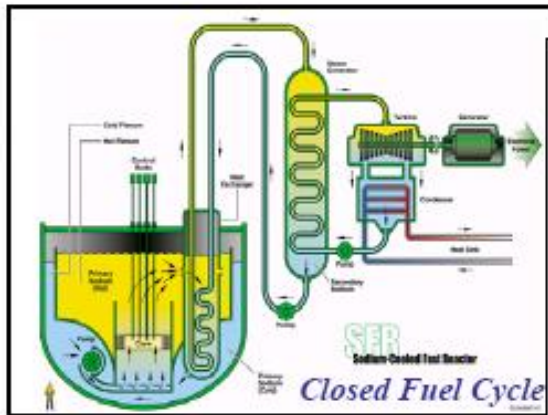
Negyedik generációs atomerőművek

- 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 típusnál 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.

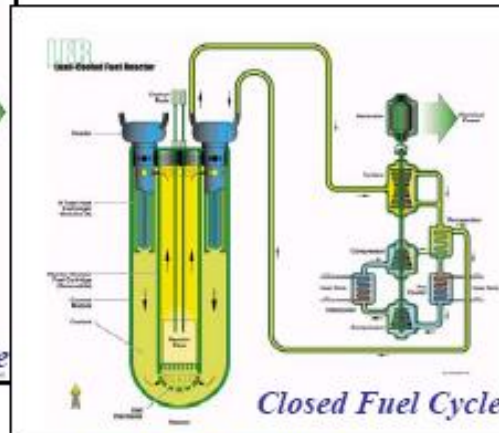
Üzemanyagciklusok

- A GIF a nukleáris üzemanyagciklus négy osztályát definiálta:
 - nyitott ciklus,
 - plutónium részleges recirkulációja,
 - teljes plutónium-recirkuláció,
 - transzurán elemek teljes recirkulációja.

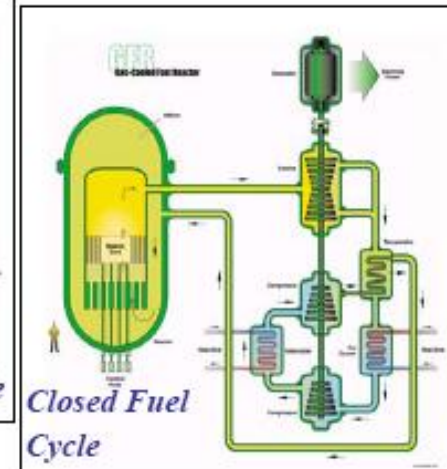
A GIF által javasolt reaktor típusok



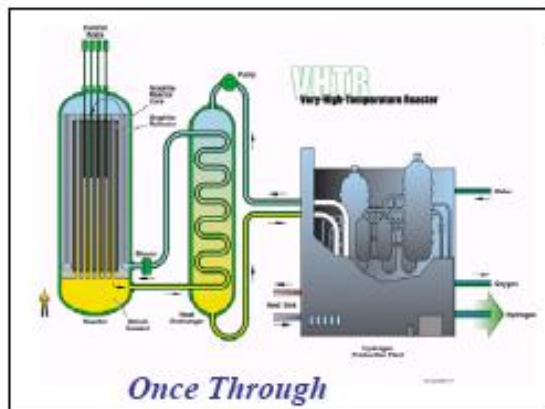
Sodium Fast reactor



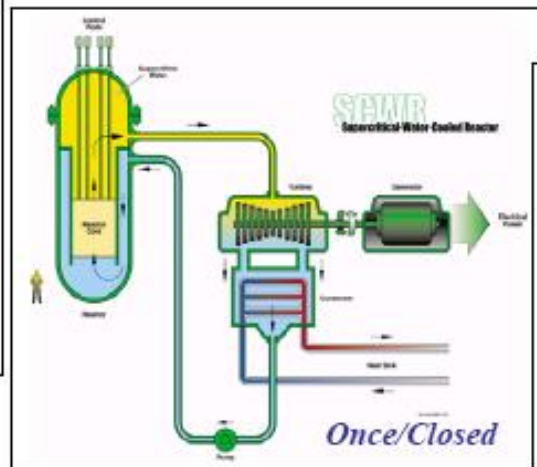
Lead Fast Reactor



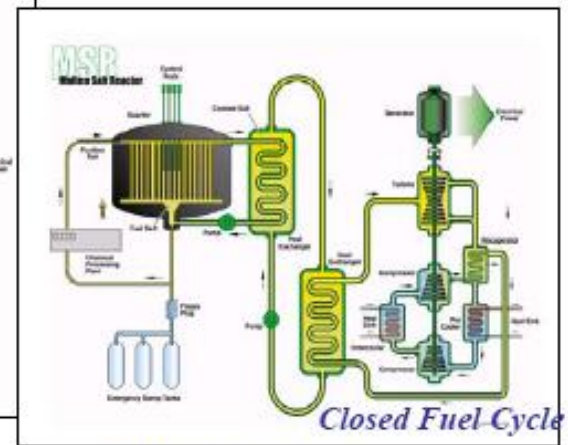
Gas Fast Reactor



Very High Temperature Reactor



Supercritical Water Reactor



Molten Salt Reactor

A negyedik generációs reaktorkoncepciók legfontosabb jellemzői

Koncepció	neutron-spektrum	hűtő-közeg	hőmérséklet °C	nyomás ⁽¹⁾	üzem-anyag	üzem-anyag-ciklus	teljesítő-képesség MW _e	termék
Na-hűtéses gyorsreaktor	gyors	Na	550	alacsony	U-238 és MOX	zárt	150-500 500-1500	vill. energia
Nagyon magas hőmérsékletű gázhűtéses termikus reaktor	termikus	He	1000	magas	UO ₂ hasáb vagy golyók	nyitott	250	hidrogén és vill. energia
Szuperkritikus nyomású vízzel hűtött reaktor	termikus v. gyors	víz	510-550	nagyon magas	UO ₂	nyitott (term.) zárt (gyors)	1500	vill. energia
Ólom/bizmut hűtéses gyorsreaktor	gyors	Pb-Bi	550-800	alacsony	U-238 (+)	zárt (regionális)	50-150 300-400 1200	vill. energia és hidrogén
Gázhűtéses gyorsreaktor	gyors	He	850	magas	U-238 (+)	zárt	288	vill. energia és hidrogén
Sóolvadékos reaktor	epitermikus	fluorid-sók	700-800	alacsony	UF sóban feloldva	zárt	1000	vill. energia és hidrogén

Megjegyzések: (1) magas = 7-15 MPa; (+) kisebb mennyiségű U-235-tel vagy Pu-239-cel