

Atomerőművi főberendezések

Primer körű főberendezések

Atomerőművek

Boros Ildikó, BME NTI

2018. február 15.

Tartalom

PWR-ek!

- Primer körű főberendezések
 - Reaktorberendezés
 - Aktív zóna
 - Reaktortartály
 - Reaktortartályon belüli szerkezeti elemek
 - Főkeringtető vezeték
 - Térfogatkompenzátor
 - Gőzfejlesztők
 - Főelzáró tolózár
 - Egyéb kapcsolódó rendszerek
 - 1. sz. víztisztító rendszer
 - Stb.

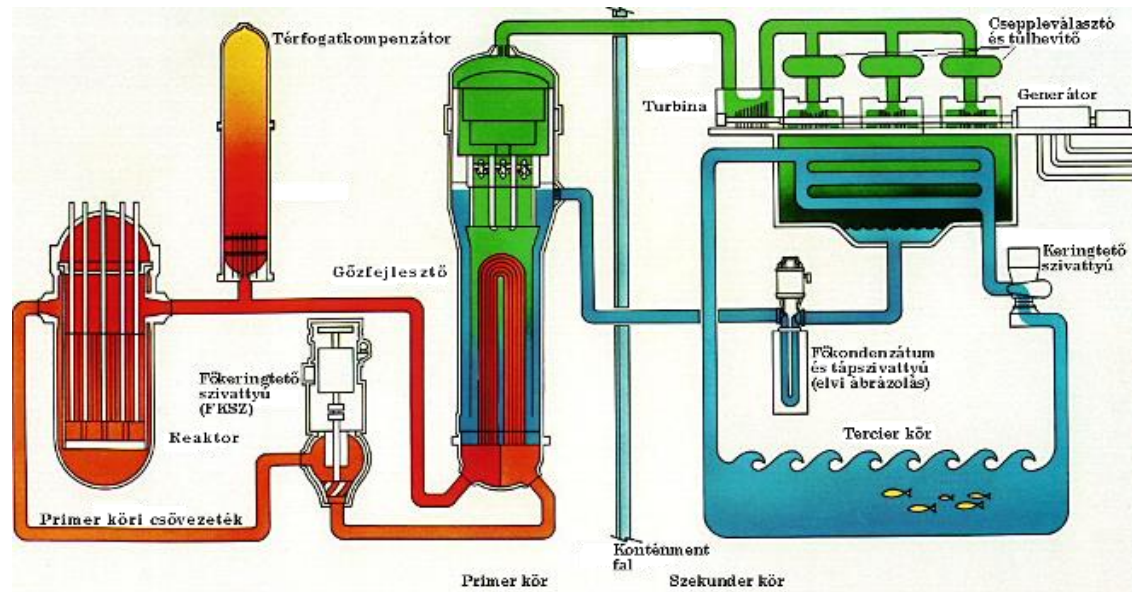
Primer kör

- **Primer hűtőrendszer feladatai**

- Hő elszállítása zónából GF-be
- Üzemanyag hűtése (egyúttal moderátor és reflektor szerep)
- Nyomástartás (TK segítségével)
- Nyomáshatároló

- **Fő elemei:**

- Reaktor;
- Gőzfejlesztő;
- FKSZ
- (FET)
- Térfogatkompenzátor
- Primer csővezeték



- **Kapcsolódó rendszerek:**

- Üzemzavari hűtőrendszerek
- Víz tisztító rendszer
- Pótvíz és bóros szabályozás rendszere

Egyéb fontosabb primerköri rendszerek

- Közberső hűtőkori rendszerek
- Olajrendszerek
- Szervezett szivárgások rendszere
- Pihentető- és átrakó medence hűtőkori rendszere
- Töménybőr rendszer

Primer kör – példa:

Kapcsolódó rendszerek:

- Üzemzavari hűtőrendszerek (ECCS)
- Víz tisztító rendszer / Pótvíz és bóros szabályozás rendszere (CICS)
- Remanenshő-elvonó rendszer (RHRS)

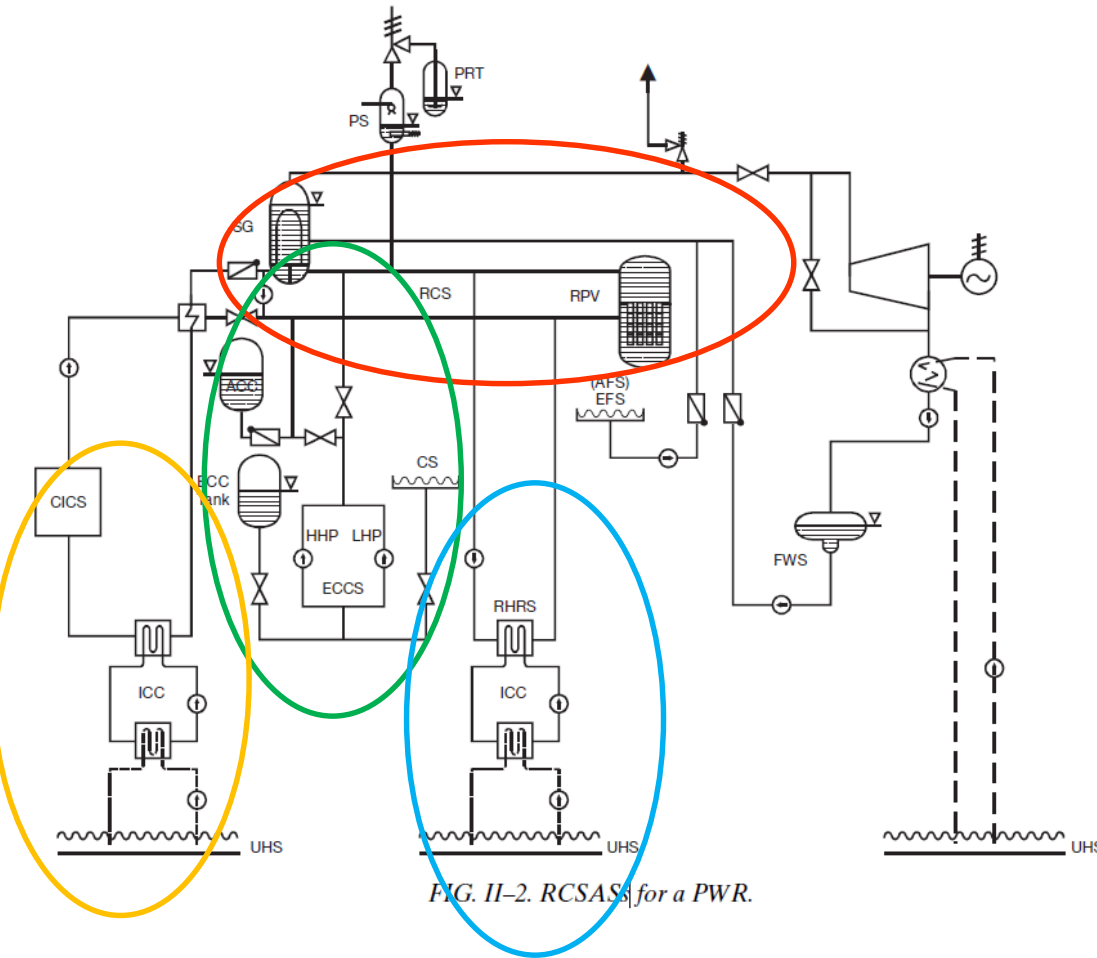


FIG. II-2. RCSAS for a PWR.

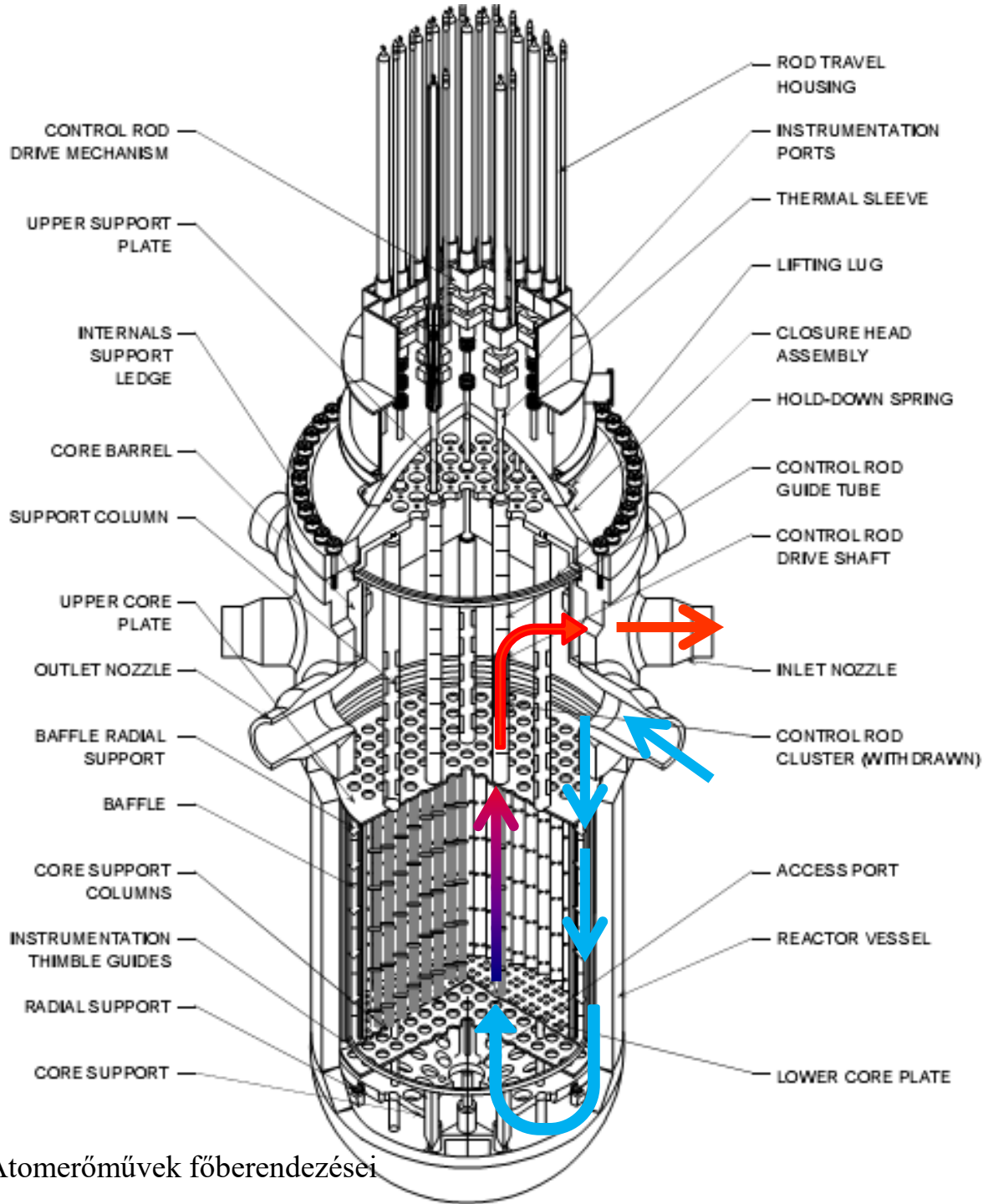
	Blowdown tank		Piping
	Check valve		---Connection to other services (outside the scope of this Safety Guide)
	Condenser		Pump
	Coolant (environment)		Regenerative heat exchanger
	Filter		Spray nozzle
	Generator		Steam generator
	Heater		Storage tank
	Heat exchanger		Sump, reservoir
	Loaded safety valve		Tank
	Motor		Turbine
	Valve		
ACC	Accumulator	LHP	Low head injection pump
ADS	Automatic depressurization system	PRT	Pressurizer relief tank
CICS	Chemical and inventory control system	PS	Pressurizer
CS	Containment sump	RCIC	Reactor core isolation cooling
CST	Condensate storage tank	RCS	Reactor coolant system
ECC	Emergency core cooling	RHRS	Residual heat removal system
ECCS	Emergency core cooling system	RPV	Reactor pressure vessel
EFS (AFS)	Emergency (auxiliary) feedwater system	RS	Recirculation system
FWS	Feedwater system	RWCS	Refuelling water cleanup system
HHP	High head injection pump	SG	Steam generator
ICC	Intermediate cooling circuit	SP	Suppression pool
		UHS	Ultimate heat sink

Primer köri főberendezések Reaktorberendezés

Reaktorberendezés

- Elemei:

- Reaktortartály (RPV)
- RPV belső szerkezeti elemek
- Üzemanyag
- SZBV rudak



Reaktor Üzemanyagpálca

Üzemanyag pasztilla gyártása:

- UF₆ gáz konvertálása UO₂-vé
- UO₂ por szinterelése (présselés néhány 100 MPa nyomáson, majd hevítés ~1750 °C, 6-9 h, inert közegben)
- Kiegészítő mérgek
 - Bekeverve - pl. Gd (3g Gd-oxid / kg), vagy
 - vékony burkolatként (pl. Zr-B₂)



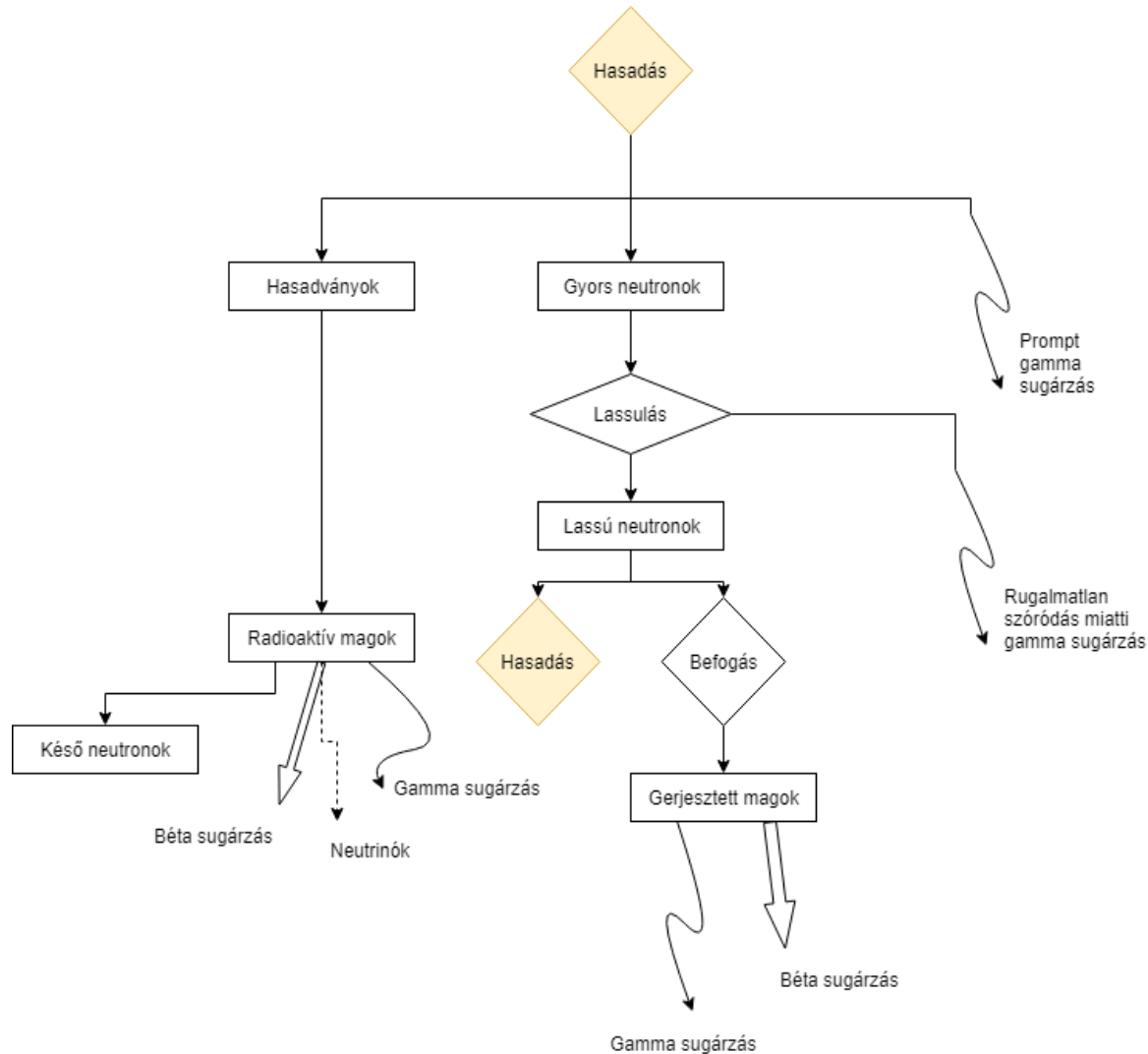
UO₂ – pasztillák (D = L = 10 mm)



Üzemanyagpálcák
(L = 4,2 m, D = 12 mm,
s = 1 mm)



Hő felszabadulása a reaktorban



A hőtermelés szempontjából fontos folyamatok a maghasadás során

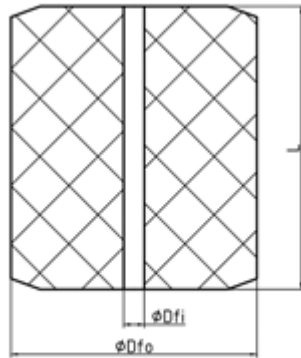
Hő felszabadulása a reaktorban

		A felszabaduló energia részaránya [%]	A felszabaduló energia [MeV]	Az energia leadásának helye
Hasadásból származó közvetlen energia	A hasadványok mozgási energiája	80,5	161	Üzemanyag
	A gyorsneutronok mozgási energiája	2,5	5	Moderátor
	γ sugárzás energiája	2,5	5	Üzemanyag és szerkezeti elemek
Hasadásból származó közvetett energia	Késő neutronok mozgási energiája	0,02	0,04	Moderátor
	β sugárzás energiája	3,0	6	Üzemanyag
	A β -bomlás során keletkező neutrínók energiája	5,0	10	Nem hasznosítható
	γ sugárzás energiája	3,0	6	Üzemanyag és szerkezeti elemek
Neutronbefogásból származó energia	Nem hasadási reakciókból származó reakciók γ és β sugárzásból származó energiája	3,5	7	Üzemanyag és szerkezeti elemek

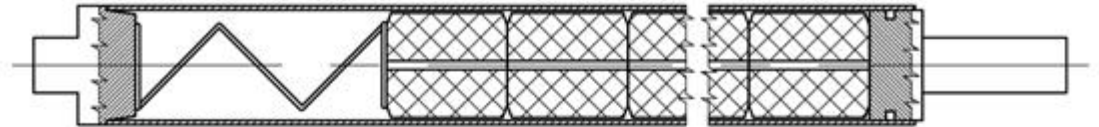
A keletkező energia durván

87%-a az üzemanyagban,
 3%-a a moderátorban,
 5%-a a szerkezeti elemekben hasznosul,
 5% pedig a neutrínók miatt nem hasznosítható,

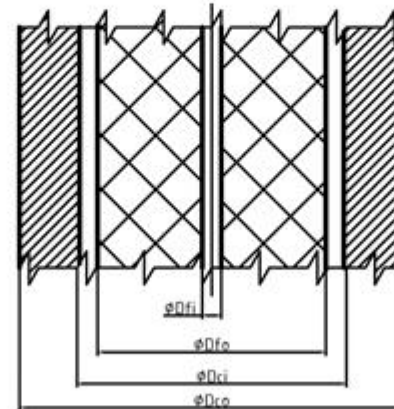
Hőtranszport a reaktorban



2. ábra: Furatos üzemanyag-pasztilla



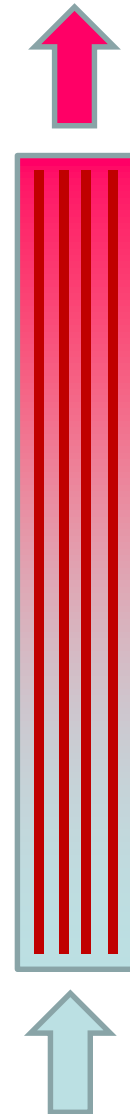
3. ábra: Fűtőelem egyszerűsített hosszanti metszete



4. ábra: A fűtőelem hőtani szempontból legfontosabb paramétere

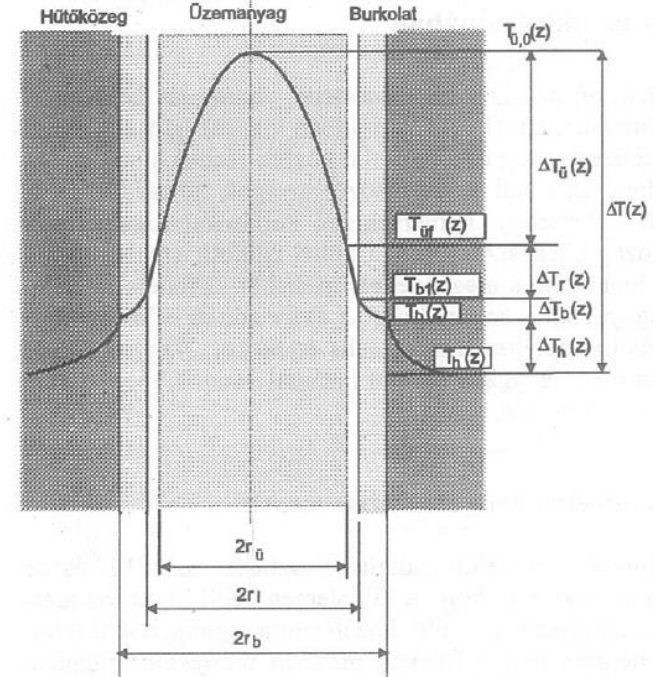
Hőtranszport a reaktorban

- Normál üzem során
 - A hűtőközeg alulról felfelé áramlik az üzemanyagpálcák közötti térrészben, közben felmelegszik
 - A hőfelszabadulás időben állandó, de térbeli eloszlása nem az!



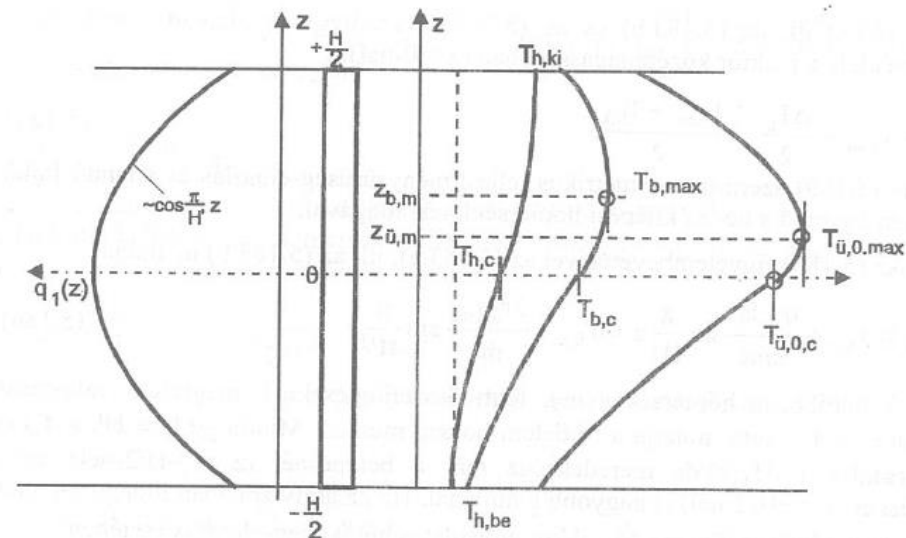
Hőtranszport a reaktorban

- Normál üzem során
 - Üzemanyagpalcában: hővezetés (pasztilla, burkolat anyaga), konvekció (gázcél)
 - Hűtőközegben: egyfázisú konvektív hőátadás (kényszerített áramlással)



5.14. ábra. A hőmérséklet radiális eloszlása a fűtőelemen

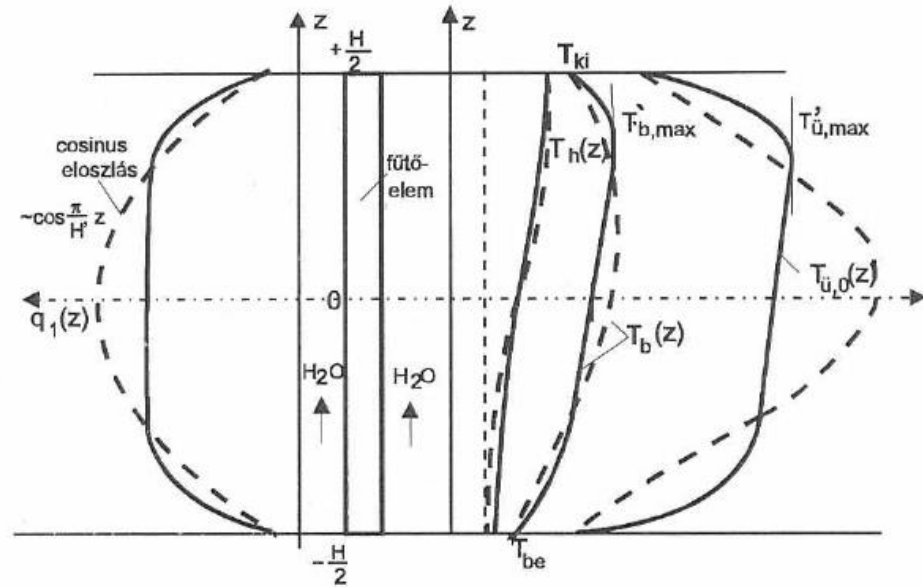
- Termohidraulikai leírása: analitikus / numerikus megoldások állandósult állapotra



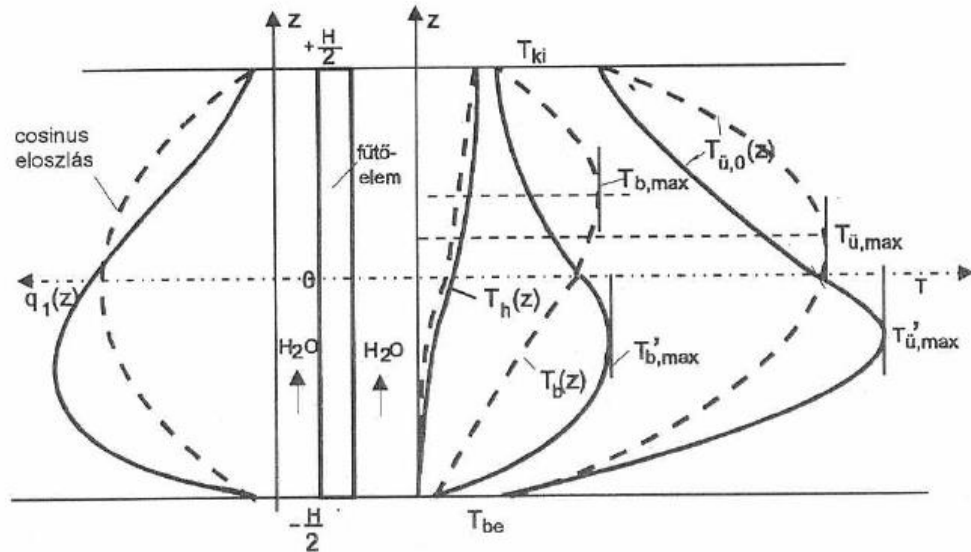
5.17. ábra. A hőmérsékletek alakulása a fűtőelem hossza mentén

Hőtranszport a reaktorban

- Üzemi tranziensek, kiégés hatása a reaktor hőmérsékleti viszonyaira



5.18. ábra. Axiális hőmérséklet-eloszlás a hűtőcsatornában a kiégés elején és végén



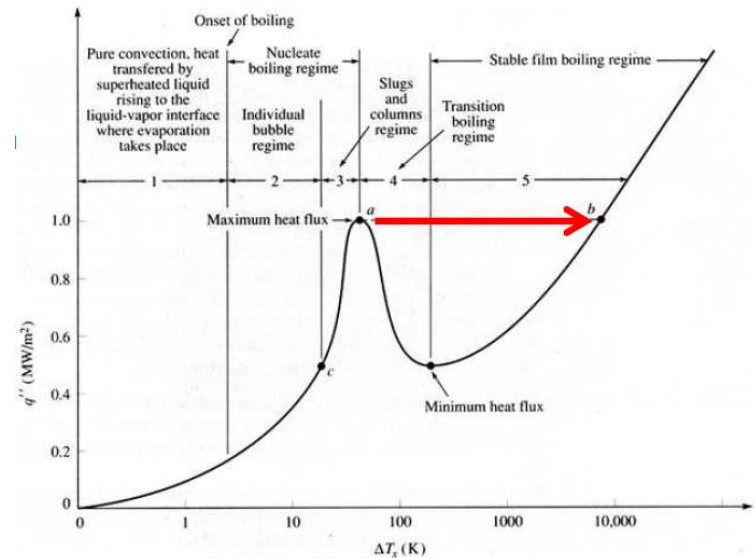
Ator 5.19. ábra. A részlegesen betölt szabályozó rudak hatása a teljesítménysűrűség és hőmérsékletek axiális eloszlására

Hőtranszport a reaktorban

- Tranziensek során, üzemzavari helyzetben
 - Üzemanyagpálcában: hővezetés (pasztilla, burkolat anyaga), konvekció (gázcél)
 - Hűtőközegben: többfázisú konvektív hőátadás (kényszerített áramlással), hőszugárzás
- Termohidraulikai leírása: numerikus megoldások tranziens állapotra
- Kémiai folyamatokat is figyelembe kell venni
- **Lényegesen bonyolultabb feladat!**

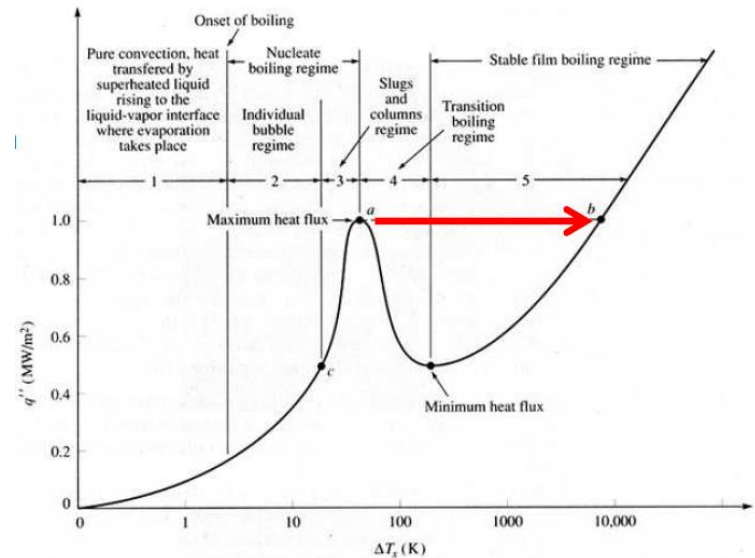
Atomreaktorok hőtechnikai tervezése

- Normál üzemi korlátok
 - Primer hőtechnikai korlátok
 - Pl. üzemanyag maximális hőmérséklet, lineáris teljesítmény-sűrűség, távolság a kritikus hőfluxustól, maximális reaktor teljesítmény
 - Szekunder hőtechnikai korlátok
 - Könnyebben mérhető vagy számítható korlátok
 - Betartásuk esetén az elsődleges korlátok is teljesülnek
 - Pl. egyenlőtlenségi tényezők



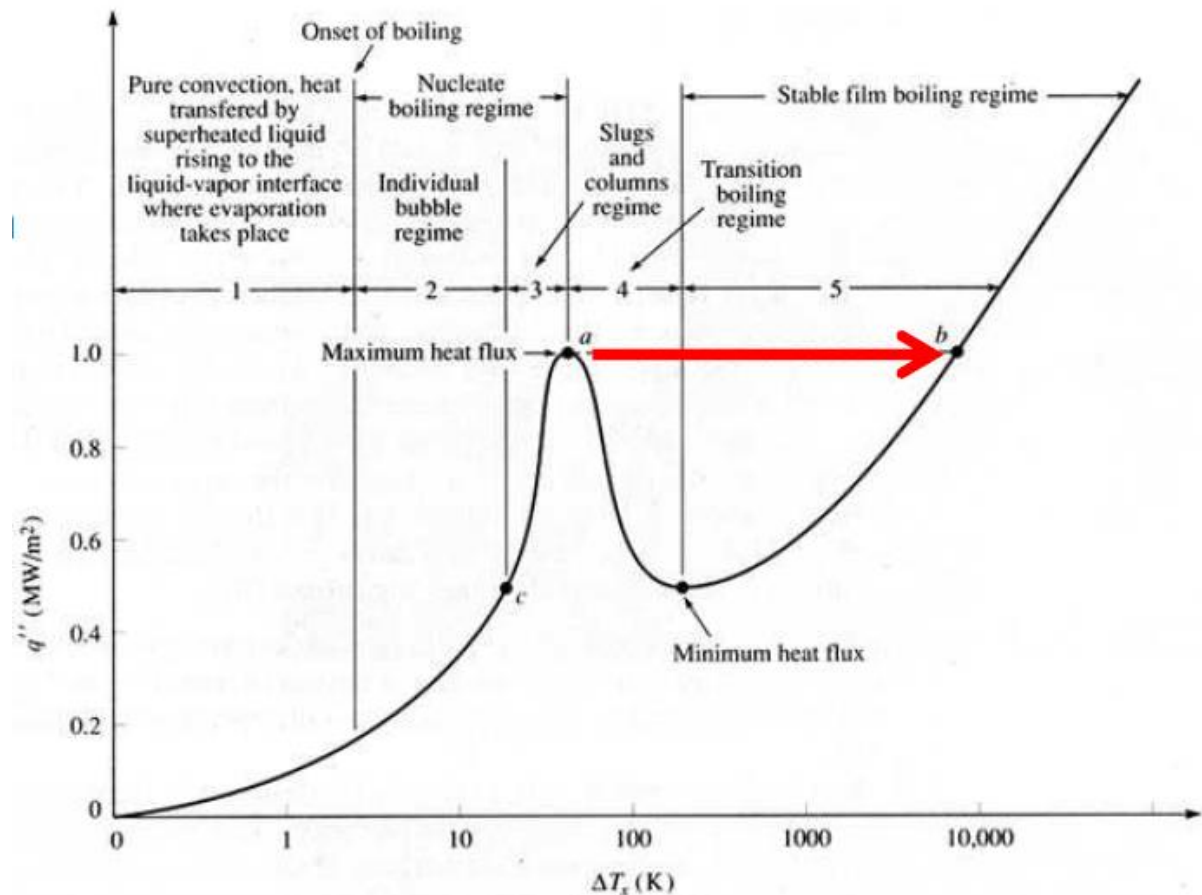
Atomreaktorok hőtechnikai tervezése

- Tervezési limitek PWR-ben, példák (DBA):
 - A zónában található cirkónium oxidációjának 1% alatt kell maradnia
 - PCT (peak cladding temperature) < 1204 °C
 - Burkolat oxidáció vastagságban 17% alatt maradjon
 - A zóna geometria üzemzavart követően is hűthető maradjon (hosszú távú hűtés)
- Fontos: ne lépjen fel elsőfajú forráskrízis (DNB - buborékos forrásból filmforrásba történő közvetlen átmenet)

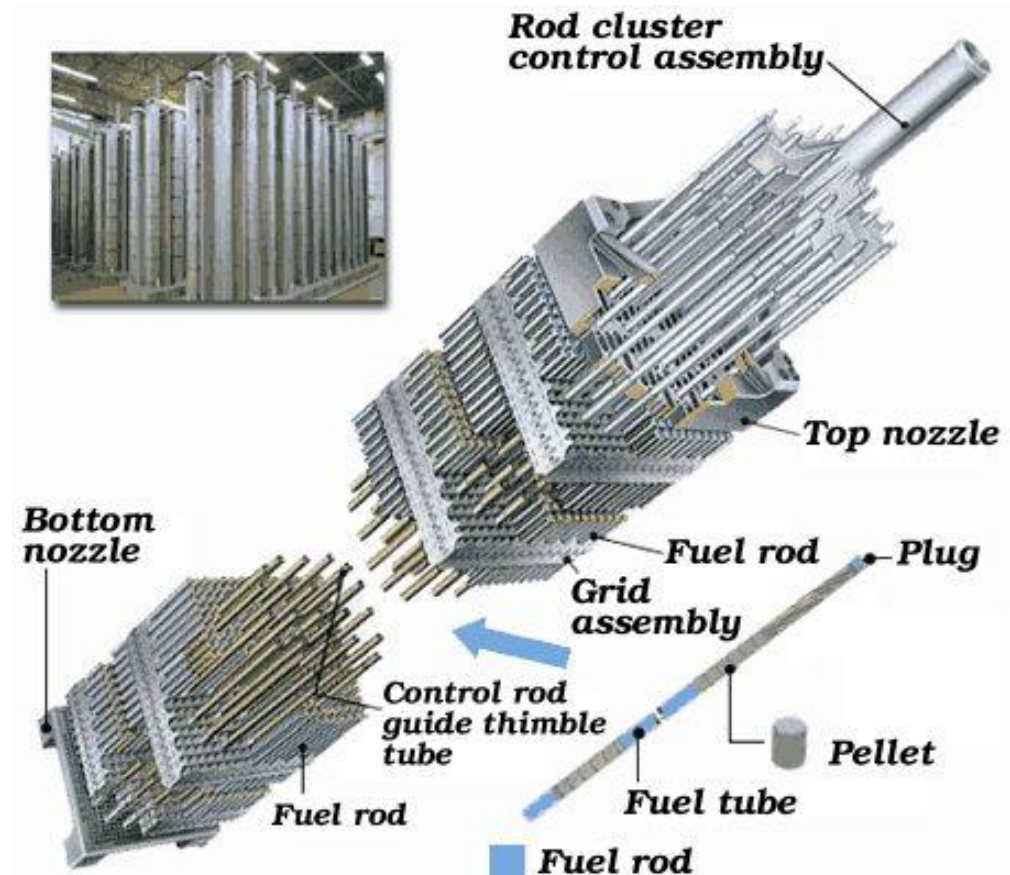
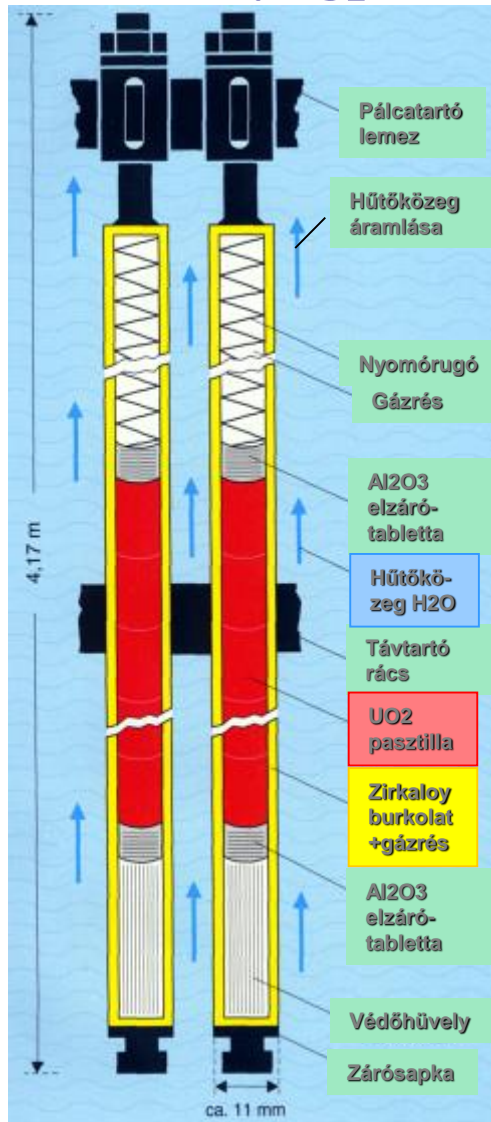


Atomreaktorok hőtechnikai tervezése

- DNB – Departure from Nucleate Boiling (buborékos forrásból filmforrásba történő közvetlen átmenet)
- Kritikus hőfluxus: q_{krit} , q_{DNB}
- DNBR – q_{DNB} és tényleges hőfluxus aránya
- Követelmény: $DNBR = 1 + \delta > 1$
- Legnagyobb hőfluxus helyén $\delta_m \sim 5-10\%$

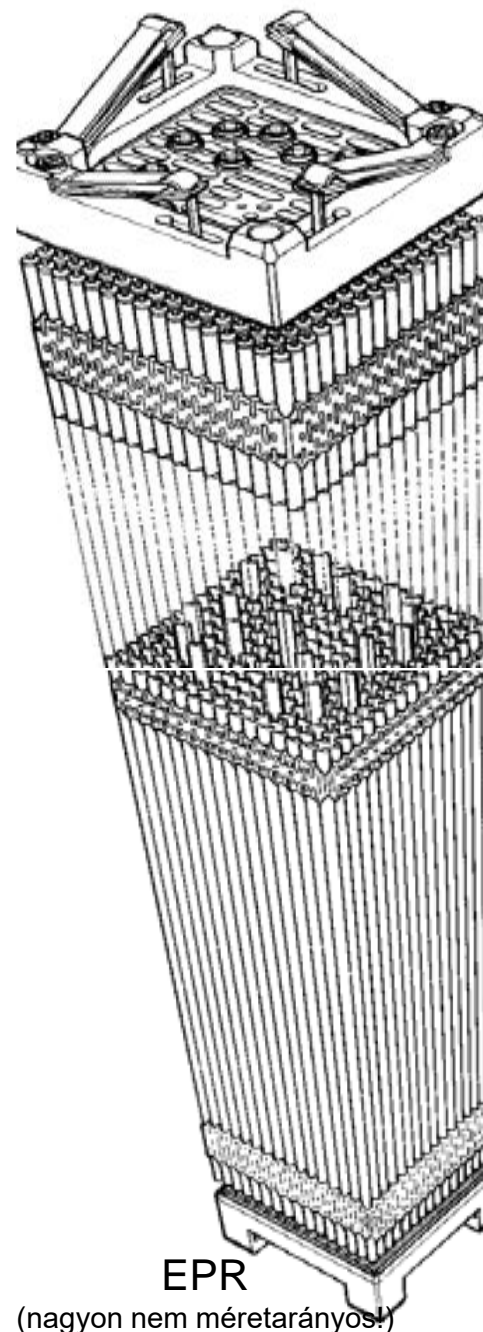


Reaktor Üzemanyagpálca



Üzemanyag

	EPR	VVER-440
Zóna magassága	4.2 m	2.42 m
Zóna átmérő	3.767 m	2.88 m
Üa-kazetták száma	241	349
Üa külső átmérő	21.4 cm	14.7 cm
Átlagos telj. sűrűség	89.3 kWt/l	85.2 kWt/l
Pálcák száma egy kazettában	265	126
Üa geometria	17x17	Hexagonal
Burkolat	M5	Zr-1 %Nb
Átlagos kiégés	60000 MWd/tU	37000 MWd/tU



(nagyon nem méretarányos!)

VVER-440



Reaktor

Távtartó rács



Távtartó rács
magasság 40 mm
stagság 0,4 mm

Szabályozópálca
vezető csövek

Üzemenyag

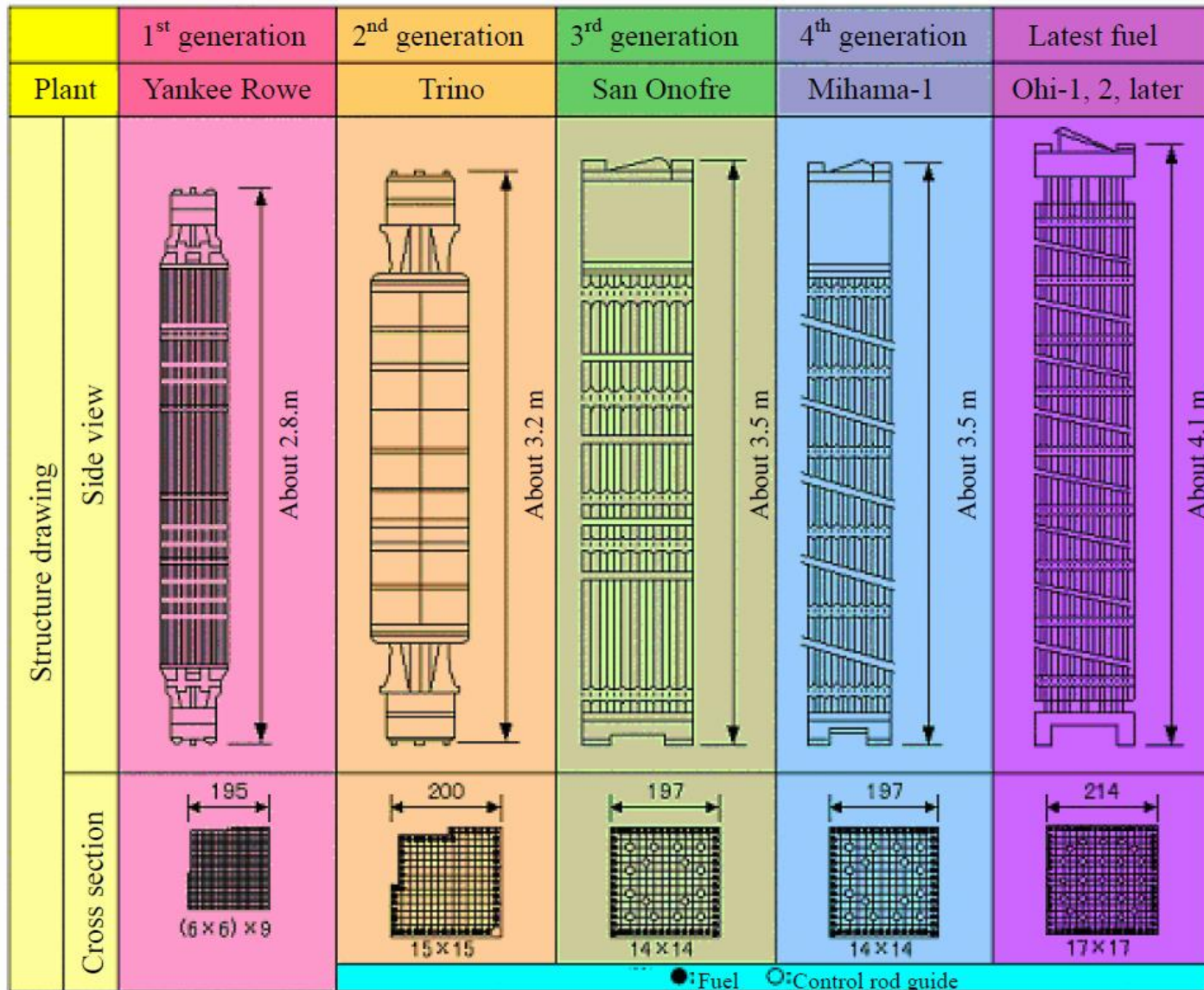
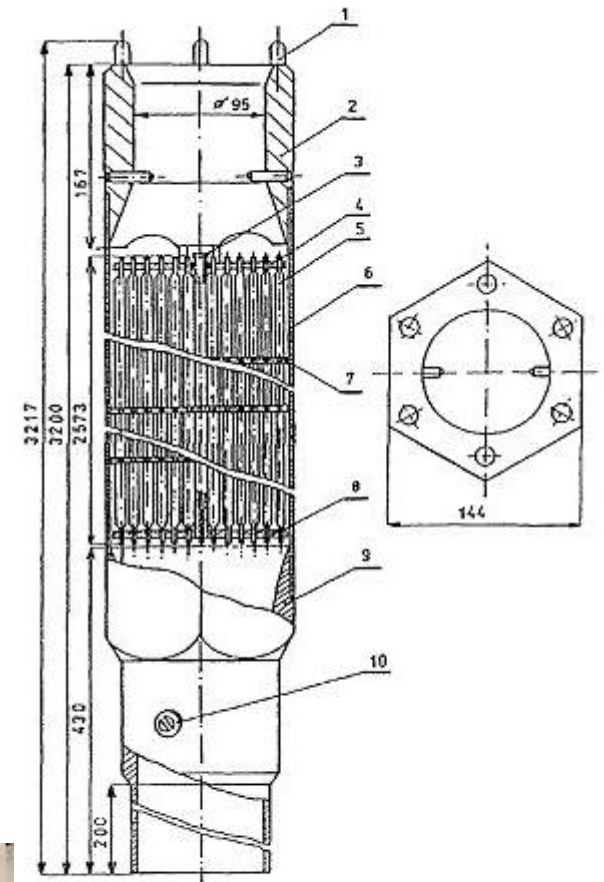
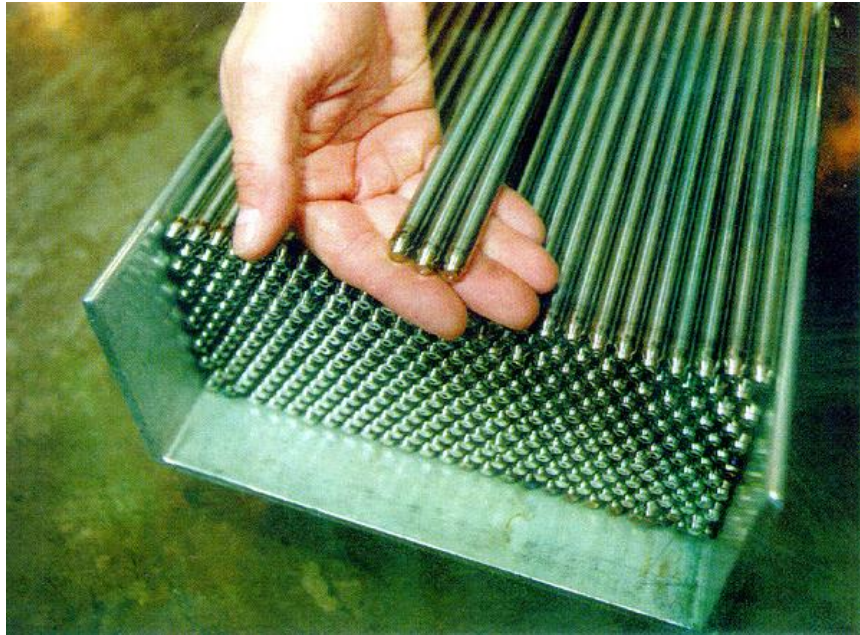


Figure 2 Improvements and History of PWR Fuel Design

Üzemanyag – VVER-440



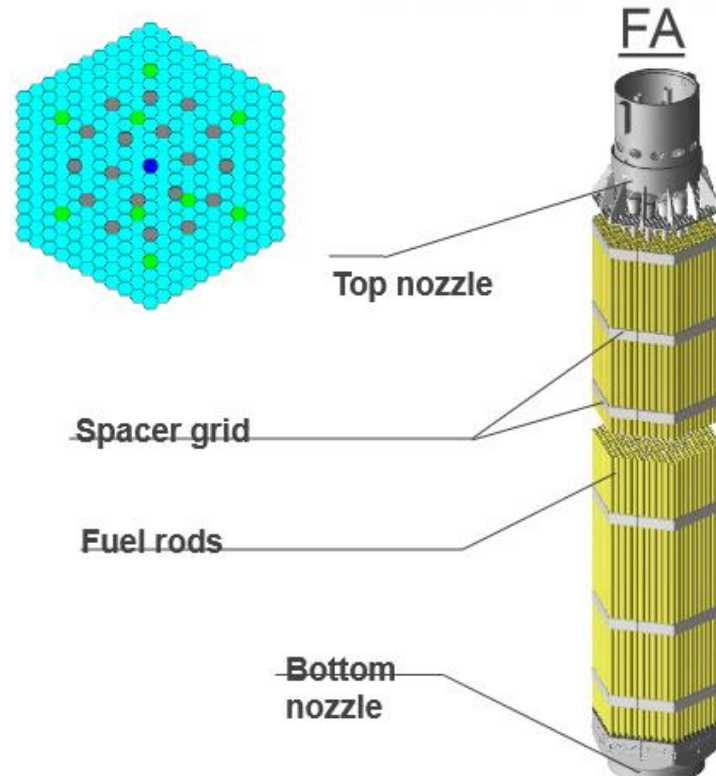
1 - hold-down pin, 2 - top nozzle shank, 3 - central tube, 4 - upper grid, 5 - fuel element, 6 - hexagonal shroud tube, 7 - spacer grid, 8 - lower grid, 9 - bottom nozzle, 10 - spring-loaded pin.

FIG. 7. Fuel assembly.



Üzemanyag VVER-1200

Fuel cycle	4x1
FA type	FA for AES-2006
Qty of make-up fuel, pcs.	42
Average FA enrichment, %	4,79
Length of fuel residence time, eff. days (without power effect)	~343
Burnup in the unloaded FAs, MWD/kg U - average	55,8
- maximum	59,7
Specific consumption of natural uranium, kg/MW-eff.days	0,199



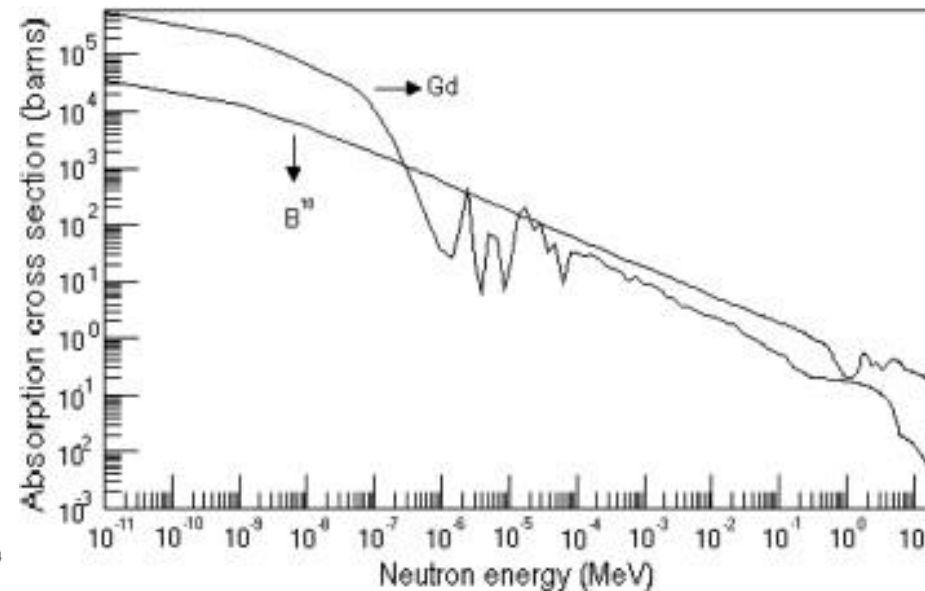
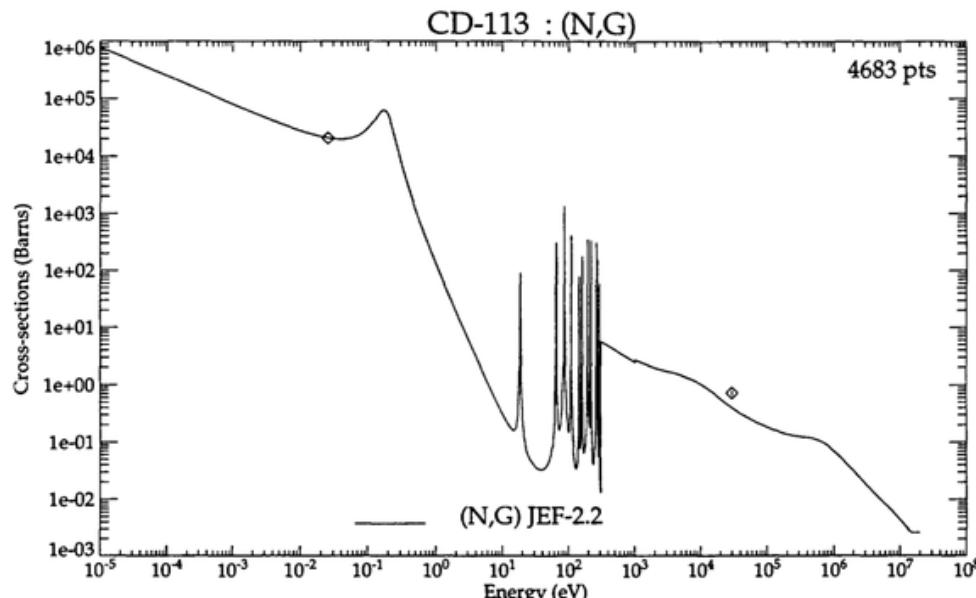
- VVER-1000/V320 alapján
- Üzemanyag: TVS-1200
 - Közvetlen elődje a TVS-2M
- Üzemanyag mennyiségének növelése (furat nélküli pasztilla)
- Szétszerelhető kazetta
- Szabályozó rudak számának növelése (121/163)
- Vékonyabb burkolat (0,57 mm)
- Új távtartó rács design
- Magasabb hőtechnikai korlátok (pl. T_{fmax} : 1805 \rightarrow 1852 $^{\circ}C$)

Reaktivitás-szabályozás eszközei

- Gyors reaktivitás-szabályozás: teljesítményváltoztatás, teljesítménytartás (!), üzemi vagy vészleállás, szubkritikus állapotban tartás
 - SZBV (szabályozó és biztonságvédelmi rudak) – tipikus anyagok: szilárd bórvegyület (pl. bór-karbid), vagy más nagy befogási hatáskeresztmetszetű anyag (Ag, In, Hf, Gd, stb.)
 - Tömény bóroldat befecskendezés
- Lassú (hosszú távú) reaktivitás-szabályozás: oldott bórsav

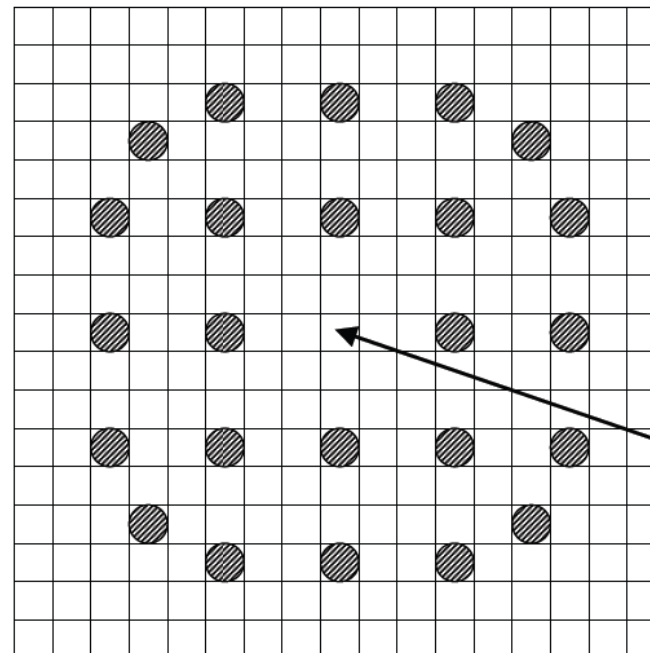
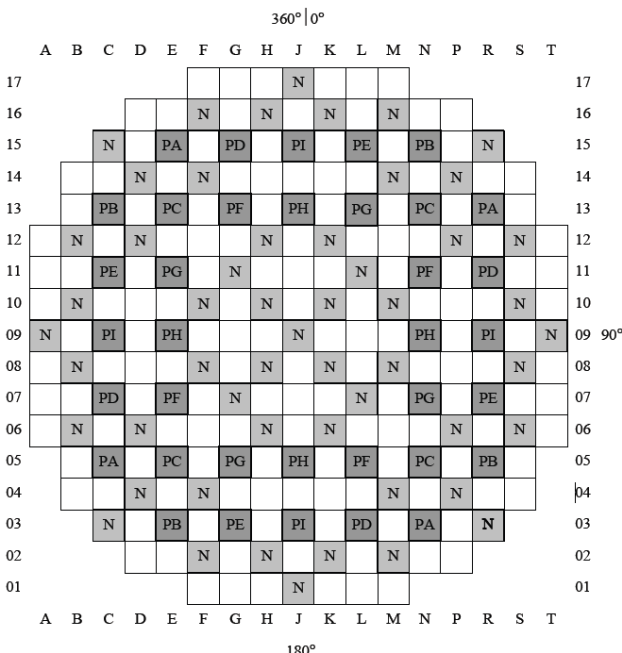
Szabályozó rudak - EPR

- 89 SZBV rúd, egyenként 24 pálcával
- Alsó részen Cd-ötvozet, felső részen B_4C
- abszorbens pasztillák SS burkolatban He közegben
- 36 szabályozó, 53 BV rúd
- SZBV rúd hajtás a német Konvoi-ból



Szabályozó rudak - EPR

- 89 SZBV rúd, egyenként 24 pálcával
- Alsó részen Cd-ötvozet, felső részen B_4C
- abszorbens pasztillák SS burkolatban He közegben
- 36 szabályozó, 53 BV rúd
- SZBV rúd hajtás a német Konvoi-ból



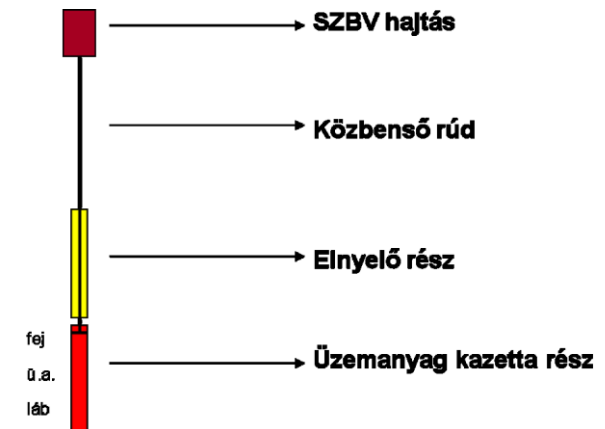
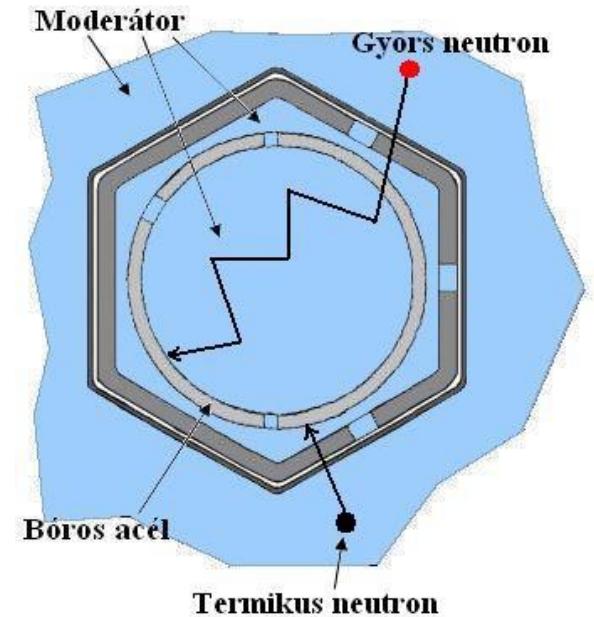
□ Fuel Rod

● Guide Tube
for RCCA absorber rod or
instrumentation thimble

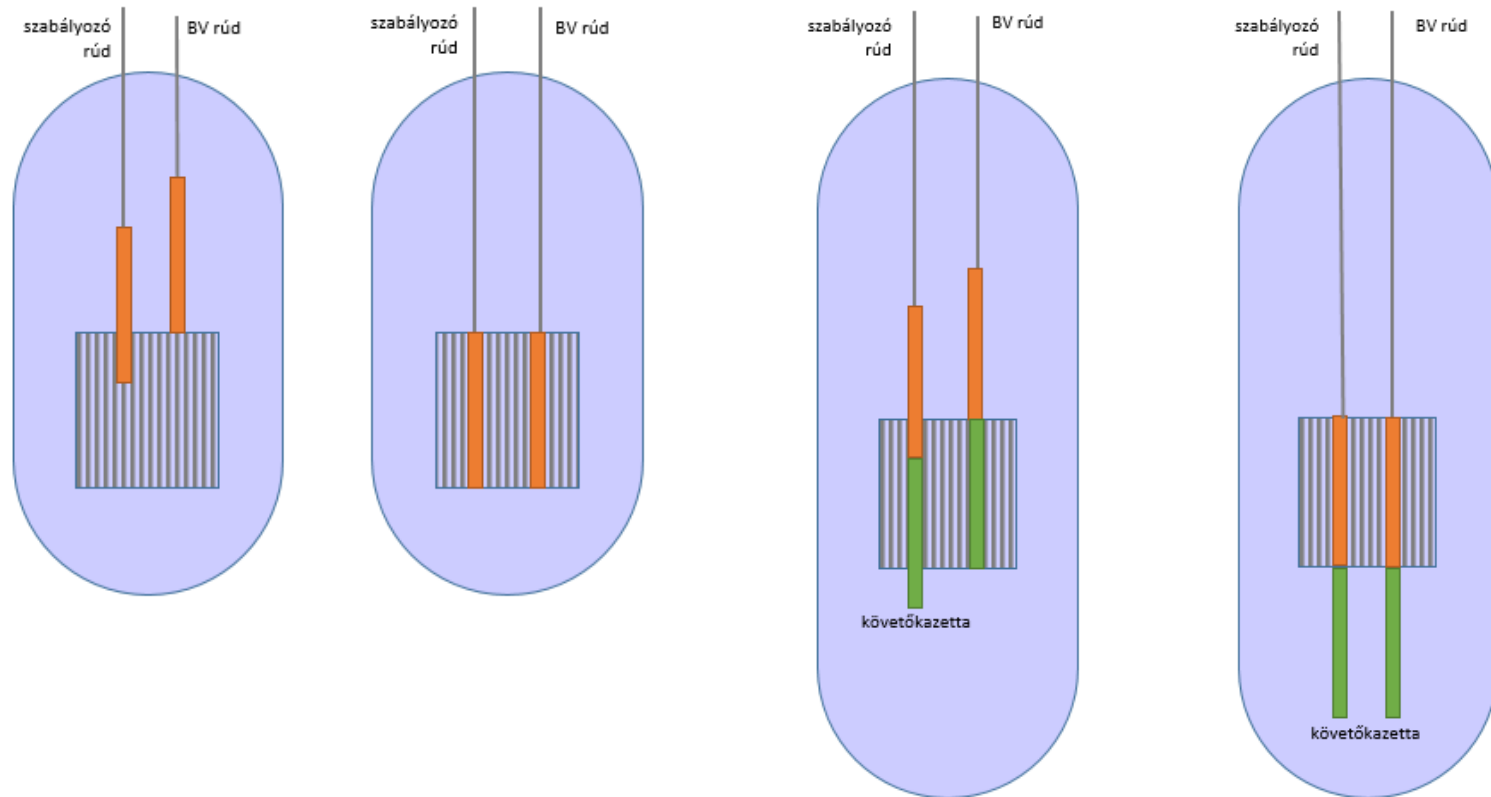
→ No central
instrumentation
guide tube

Szabályozó rudak – VVER-440

- Szerkezeti felépítése:
 - Üzemanyag rész
 - Elnyelő rész
 - Közbenső rúd
 - Felső része az SZBV hajtáshoz kapcsolódik, alsó része a követőkazettához
 - Hajtás (mozgató mechanizmus)
 - Fogaskerék - fogasléc áttétel (2 cm/s)
 - Villanymotor
 - Helyzetjelző
- Hat csoportba bontva, 7 üzemi, 30 BV kazetta
- Követő kazetta szerkezete megegyezik a munkakazettákkal
- Bóracél abszorbens rész
- Követőkazettás megoldás miatt speciális RPV felépítés



SZBV rudak



Nyugati PWR, vagy VVER-1200
(bal oldalon a teljesítményüzem,
jobb oldalon leállított reaktor)

VVER-440
(bal oldalon a teljesítményüzem,
jobb oldalon leállított reaktor)

Üzemanyag és szabályozó rúd – VVER-1200

FA top nozzle and collet assembly



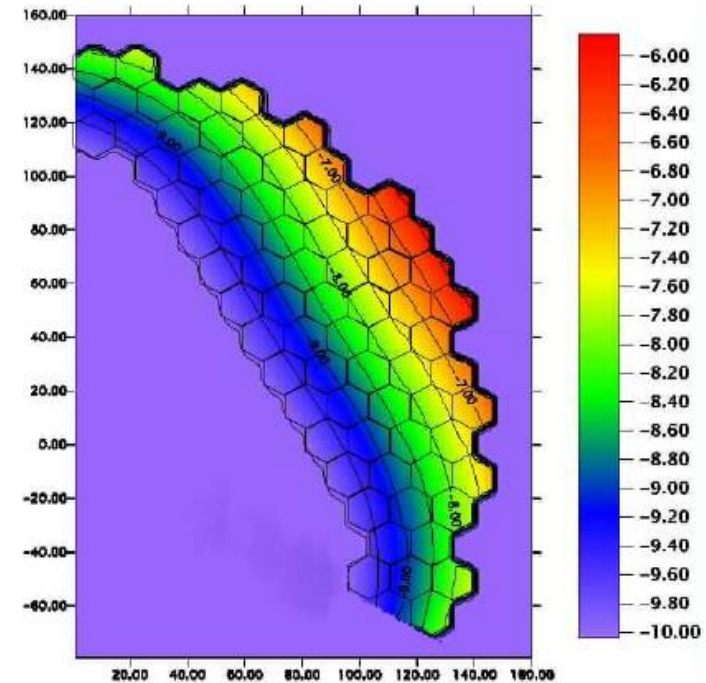
Welded skeleton



- VVER-1000/V320 alapján
- Üzemanyag: TVS-1200
 - Közvetlen elődje a TVS-2M
- Üzemanyag mennyiségének növelése (furat nélküli pasztilla)
- Szétszerelhető kazetta
- Szabályozó rudak számának növelése (121/163)
- Vékonyabb burkolat (0,57 mm)
- Új távtartó rács design
- Magasabb hőtechnikai korlátok (pl. T_{fmax} : 1805 \rightarrow 1852 °C)

Reaktor – zónamonitorozó rendszerek

- Tervezési követelmények
- Minimálisan vizsgálandó (DBA és részben SA helyzetben is):
 - Zóna teljesítmény (eloszlás, időfüggés)
 - In-core vagy ex-core detektorok
 - Hűtőközeg paraméterek (tömegáram, hőmérséklet)
 - Neutronabszorbens hatékonysága
 - Vízsztint
 - Nyomás
 - Hűtőközeg aktivitása
 - SZBV rudak helyzete
 - Bórkoncentráció
- Többi paraméter ezekből származtatható
- Leállítás / indulás alatt más mérési tartományok, más rendszerek kellhetnek
- Súlyos baleseti mérések



Reaktor – zónamonitorozó rendszerek

- Súlyos baleseti mérések



2.5.4-2 ábra: A súlyos-baleseti mérőrendszer

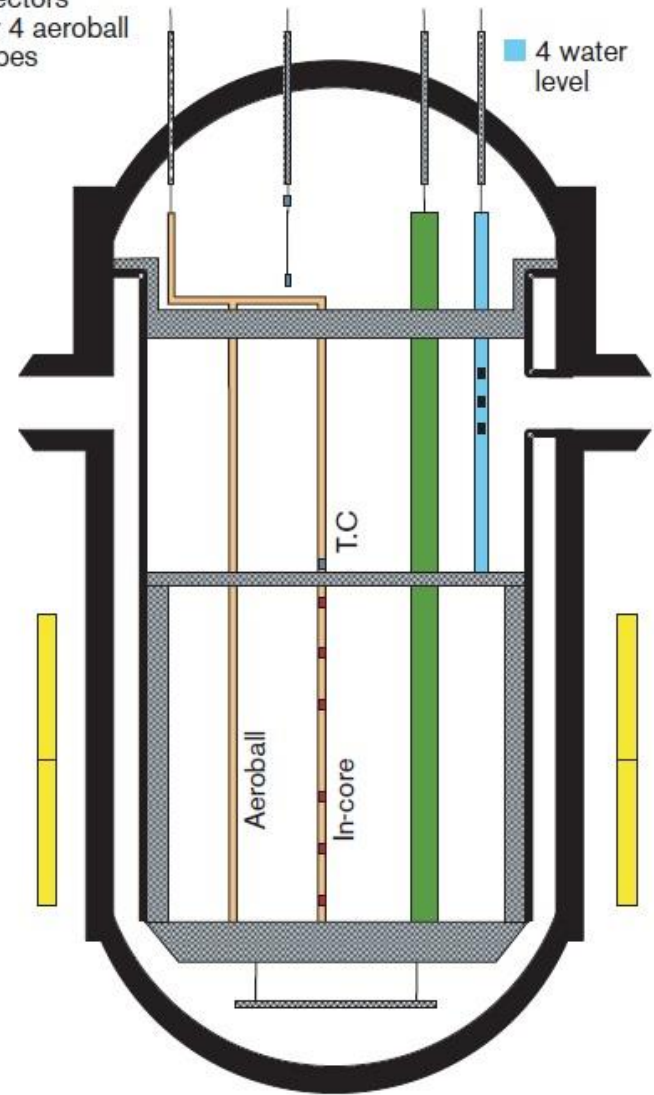
Reaktor - EPR

- 12 lance yokes, each comprising:
 - 3 T.C core outlet
 - 6 in-core detectors
 - 3 or 4 aeroball probes

□ 1 T.C upper plenum

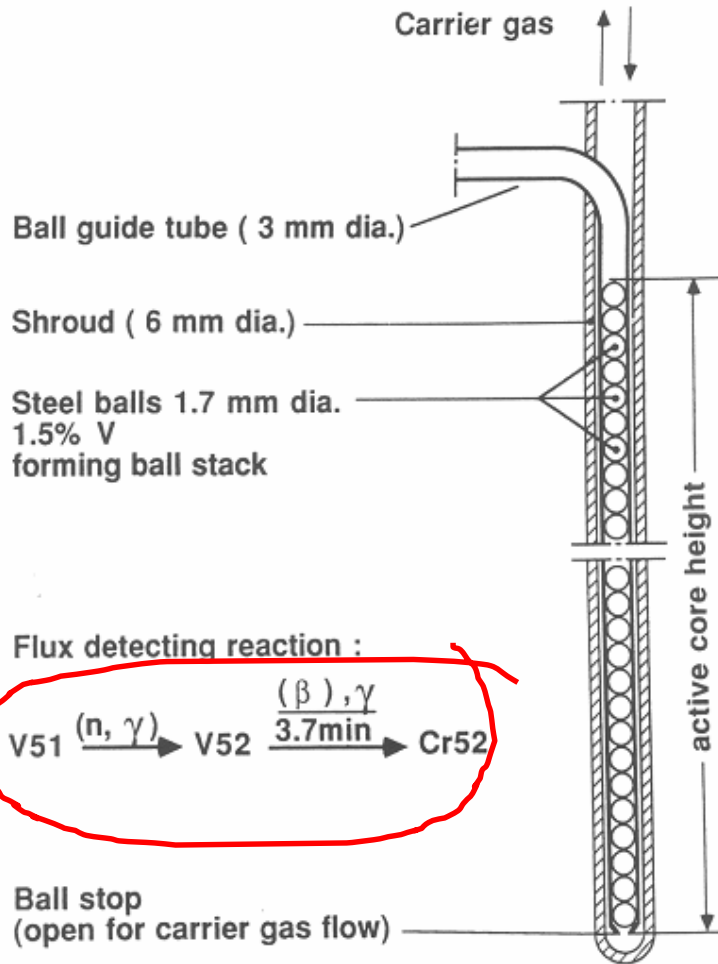
■ 89 control assemblies

■ 4 water level

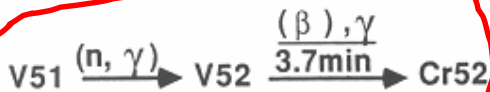


■ Ex-core

T.C: Thermocouple



Flux detecting reaction :









Atomerőművek

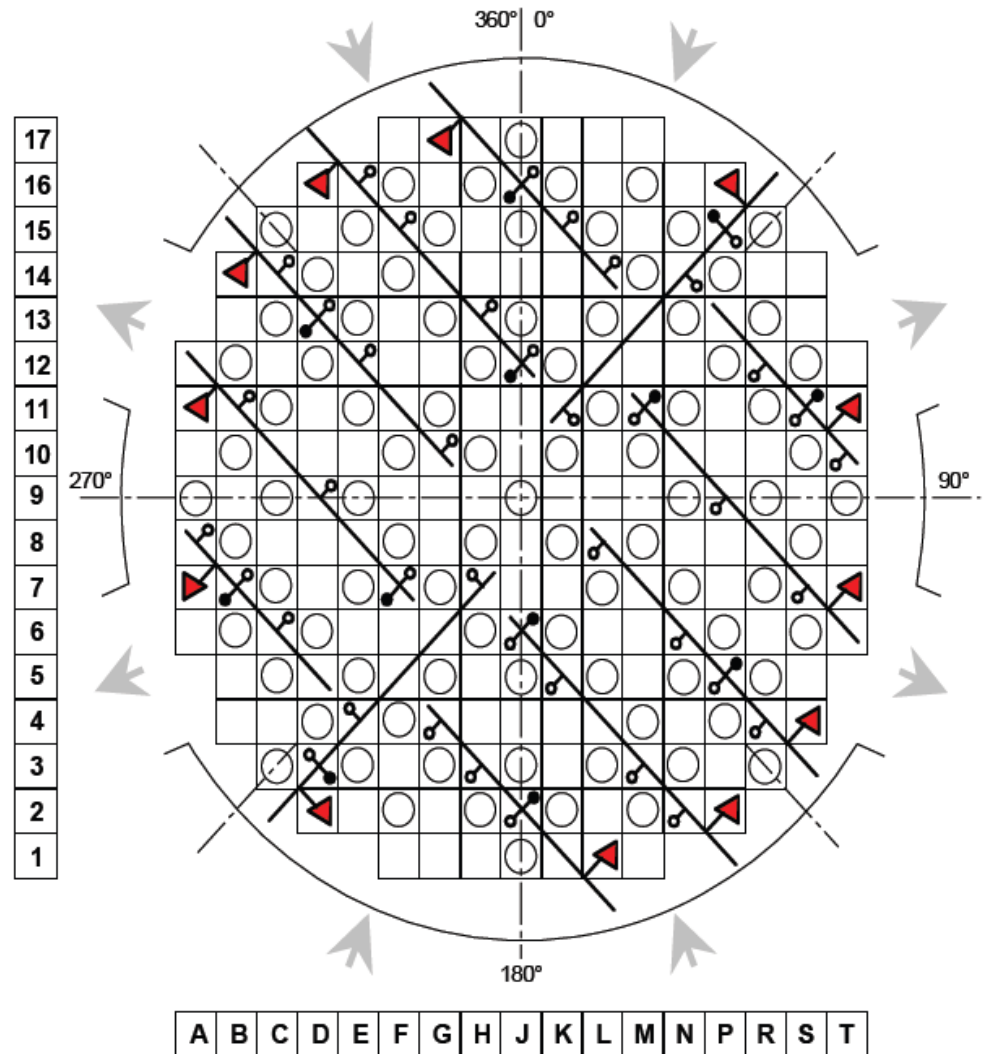
EPR in-core mérések

Reaktor - EPR

In-core Instrumentation Pattern

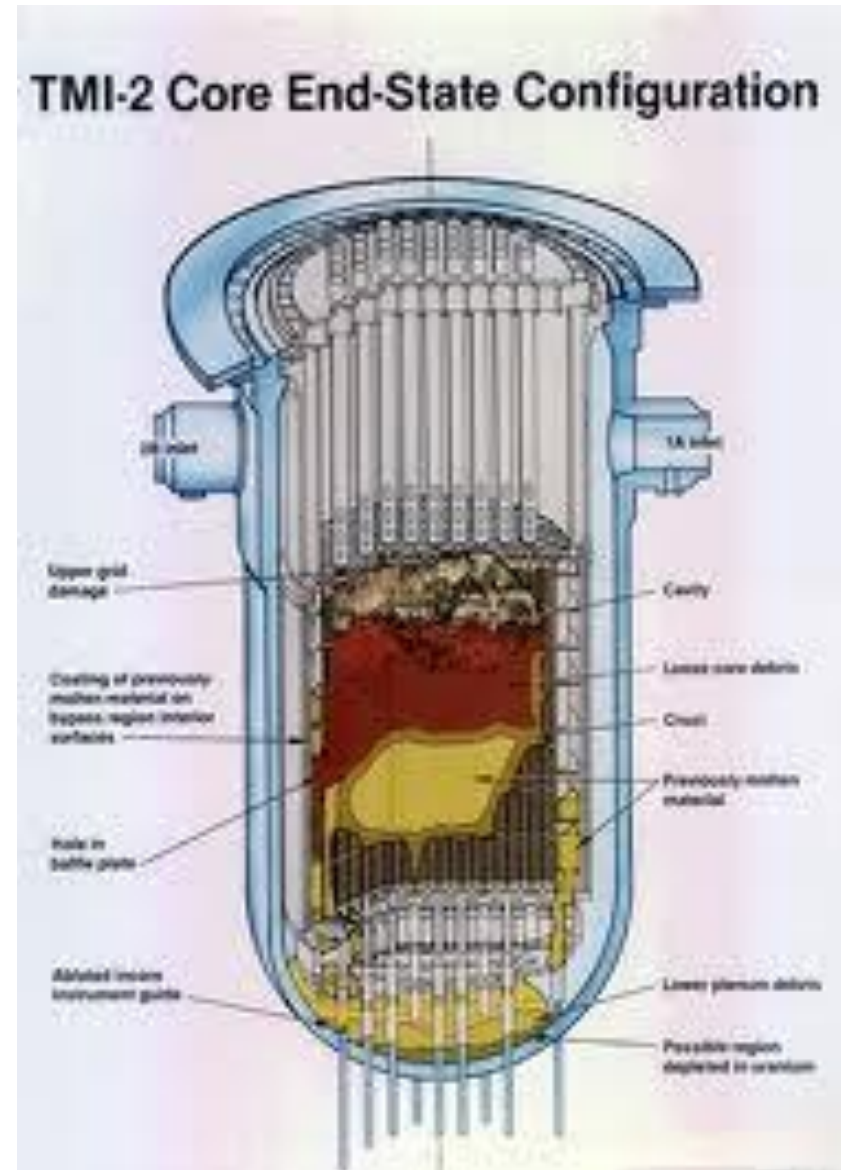
Detectors are located only in unrodded fuel assemblies
 No significant impact on the flux map accuracy

-  241 FUEL ASSEMBLIES
-  40 AEROBALL PROBES
-  12 RPV INSTRUMENTATION NOZZLES WITH INSTRUMENTATION LANCES
-  89 CONTROL ASSEMBLIES
-  12 FINGERS WITH POWER DENSITY DETECTORS (SPNDs) AND THERMOCOUPLES
-  12 LANCE YOKES



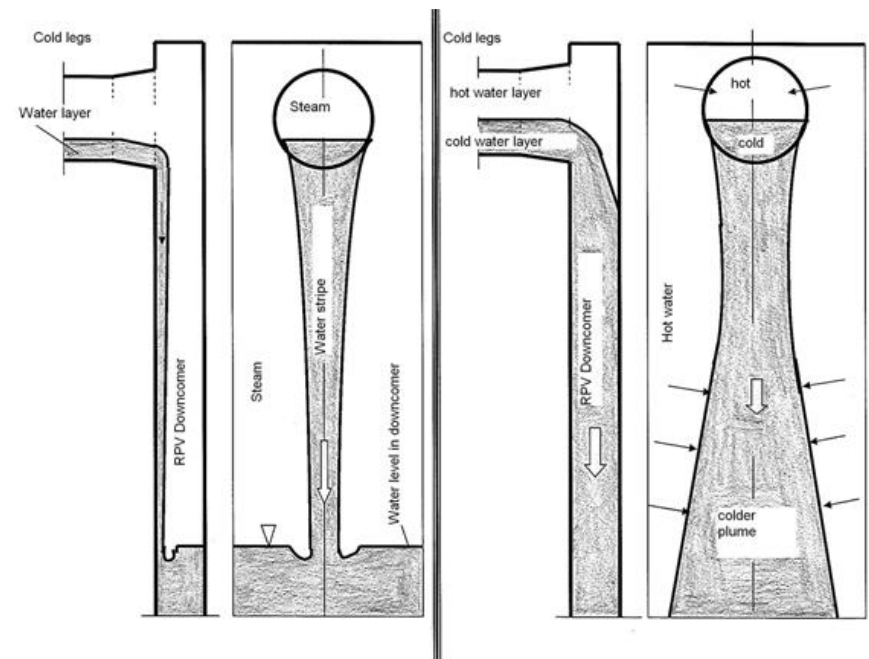
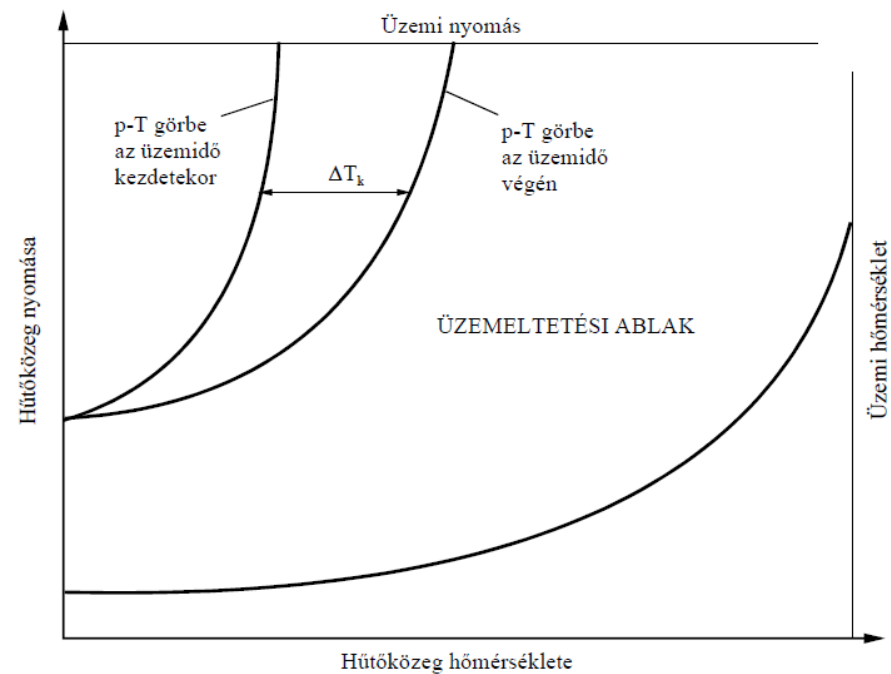
Reaktortartály

- Anyaga 15-25 cm vastag perlites acél (+Ni, Mo, Cr, Mn), 3-10 mm ausztenites acél plattírozással (korrózió csökkentésére)
- Üzemidő alatti gyors neutron fluens kb. 10^{24} n/m²
- Tervezési követelmények
 - Integritás megőrzése DBA esetén (újabbán zónaolvadás esetén is – külső hűtés)
 - Hegesztési varratok számának minimalizálása (főként a zóna magasságában)
 - A reaktortartály törése nem DBA esemény, ki kell zárni a bekövetkezését
 - A fedél kisebb sérülése „csak” LOCA esemény, a csomkok alatti részé súlyos baleset.



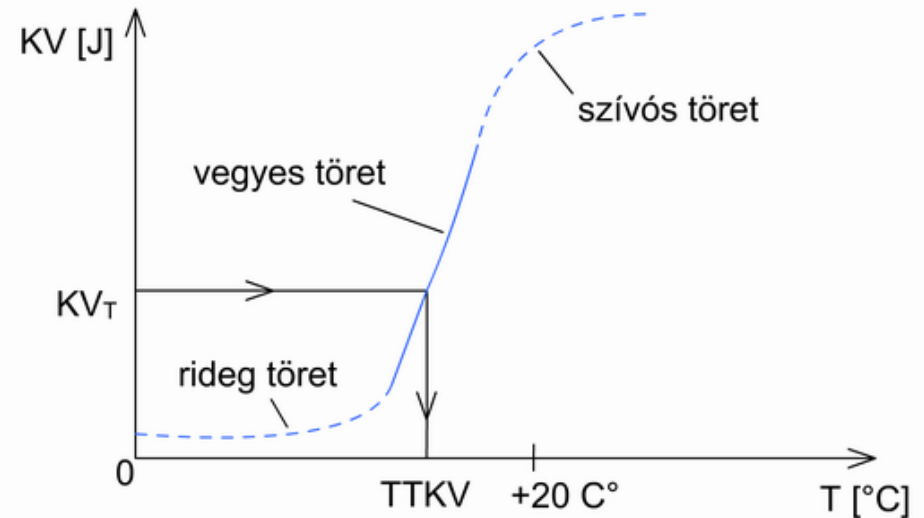
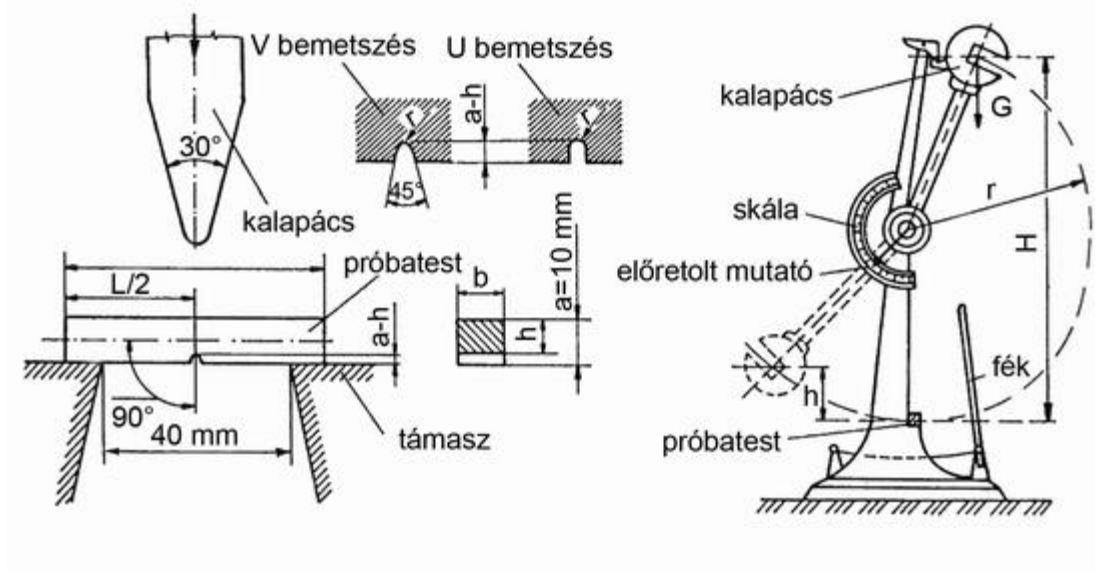
Reaktortartály

- Tartály anyagának ridegedése neutronsugárzás hatására
 - Elsősorban a zóna magasságában, hegesztési varratok érzékenyebbek
 - PWR-ek jobban kitettek a neutronsugárzásnak
 - Cu és Ni tartalom növelése elősegíti a ridegedést
- A szívós-rideg tartományok átmenetét jelentő T_{krit} idővel nő
- PWR-eknél: nyomás alatti hősokk (pressurized thermal shock - PTS)
 - Üzemi nyomáson nagy mennyiségű hideg közeg jut a tartályba
 - Emiatt jelentős hőfeszültségek (+ridegedés)
 - Repedések indulhatnak meg
- Jellemző kezdeti események:
 - Kis LOCA, amikor ZÜHR működés történik nagy nyomás mellett
 - Szekunder oldali kezdőesemény, ami GF túlhűtést eredményez
 - Nyitva ragadt, majd bezárt szelep (újrainyomódás)



Reaktortartály

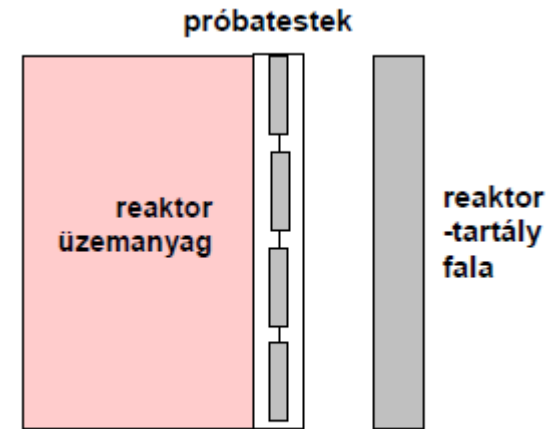
- Charpy-féle ütővizsgálat



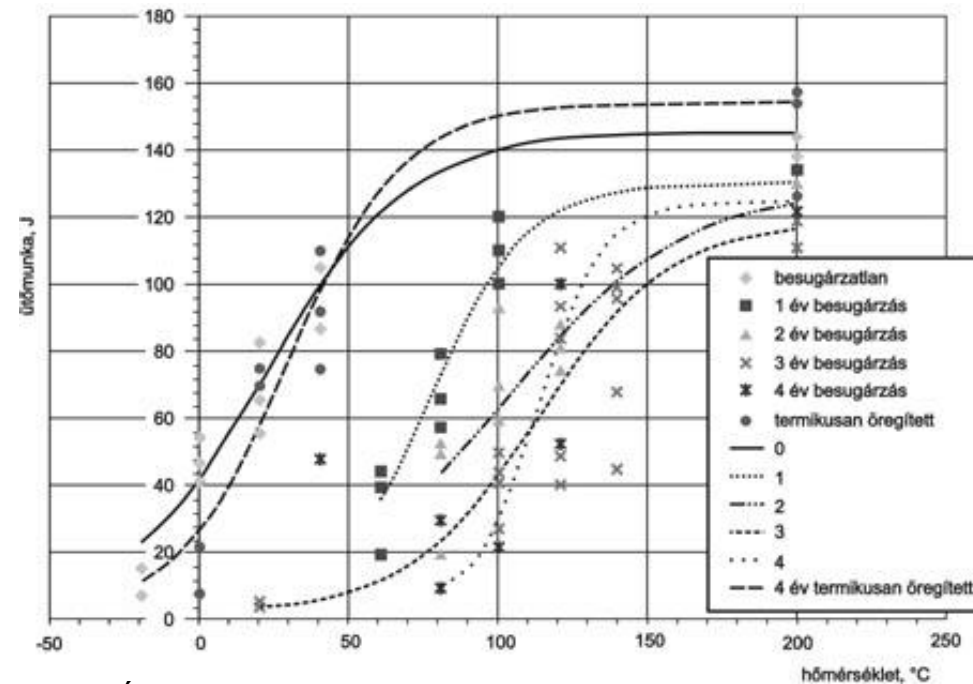
Atomerőműve

Reaktortartály

- Tervezési követelmények
 - Hegesztési varratok számának minimalizálása (főként a zóna magasságában)
 - Ki kell bírnia PTS-t meghibásodás nélkül
 - Biztosítani kell a varratok teljes terjedelmű vizsgálatát
 - Nem vizsgálható varratok csak ott lehetnek, ahol ez nem okoz BDBA-t
 - Reaktortartály anyagából készült próbatesteket kell besugározni gyors neutronokkal, értékelni ridegedést.
- Hőkezelés lehetősége



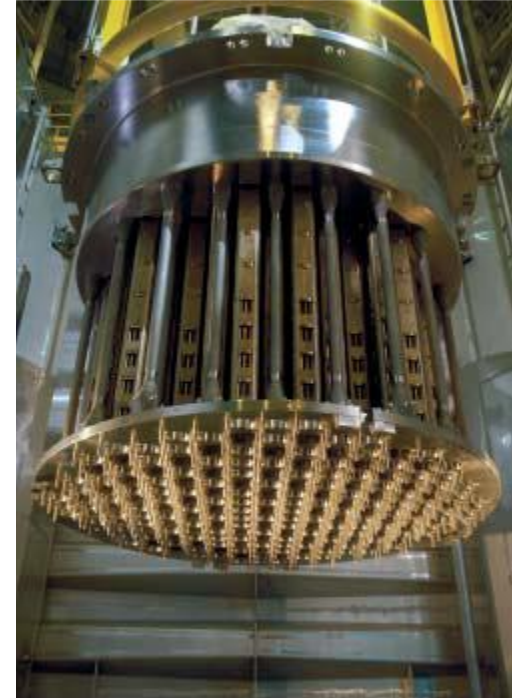
A próbatestek elhelyezkedése a tartályon



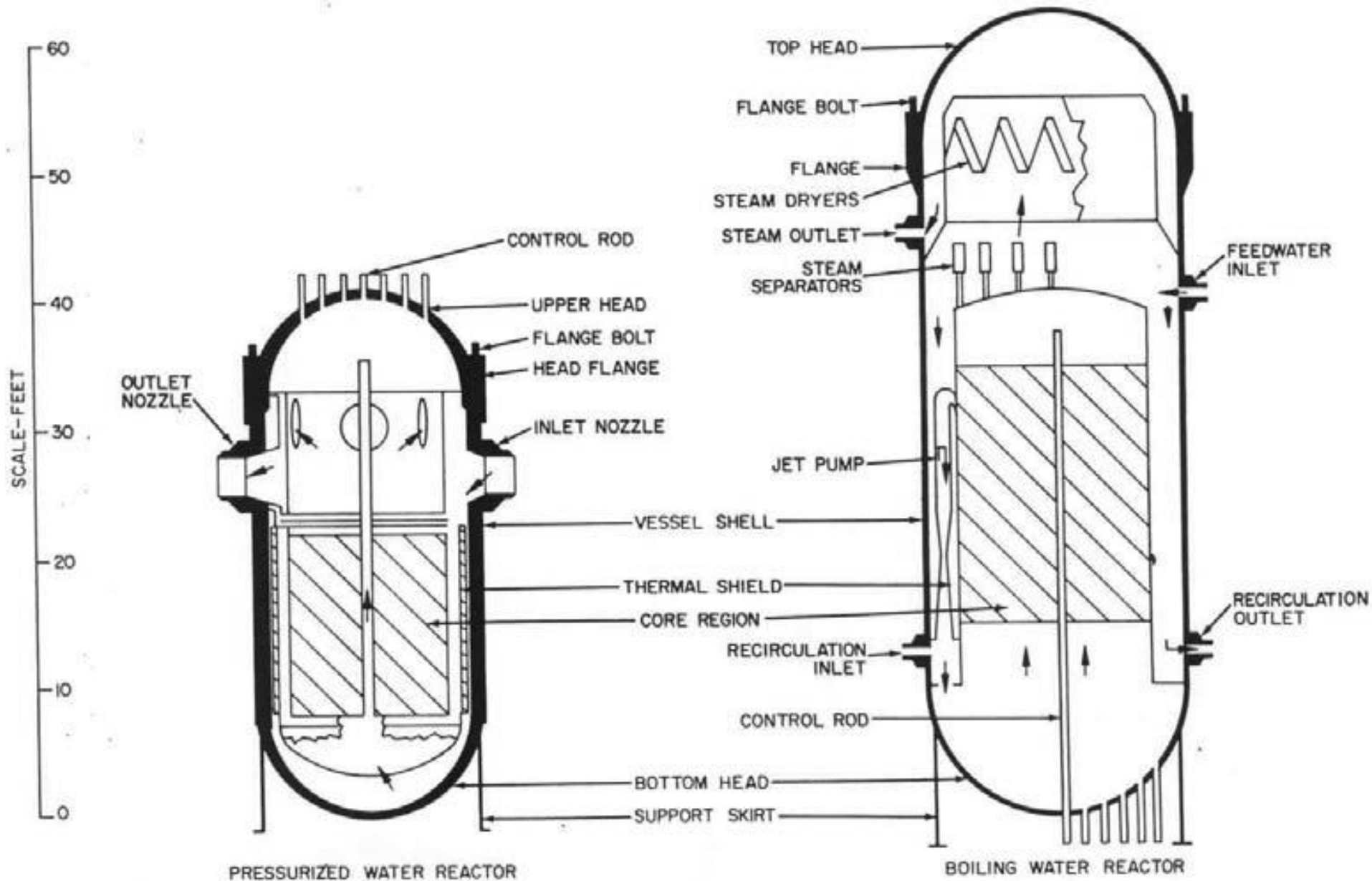
Átmeneti hőmérséklet-görbék (1. blokk, varratfém)

Reaktortartály szerkezeti elemei

- Feladata:
 - Üzemanyag és mérőláncok pozícionálása, rögzítése
 - Szabályozórúdak mozgásának lehetővé tétele
 - Hűtőközeg áramlás irányítása, egyenletessé tétele
- Tipikus belső elemek:
 - Reaktorakna
 - Zónatartó kosár
 - Palástlemez
 - Áramlásterelő lemezek
 - Felsőcsőblokk
- Anyagkövetelmények, tervezési követelmények



Reaktortartály



Reaktor - EPR

Anyag

MnMoNi acél

Falvastagság

250 mm

Tartály burkolatvastagság

7,5 mm

Magasság

12.7 m

Belső átmérő

4.87 m

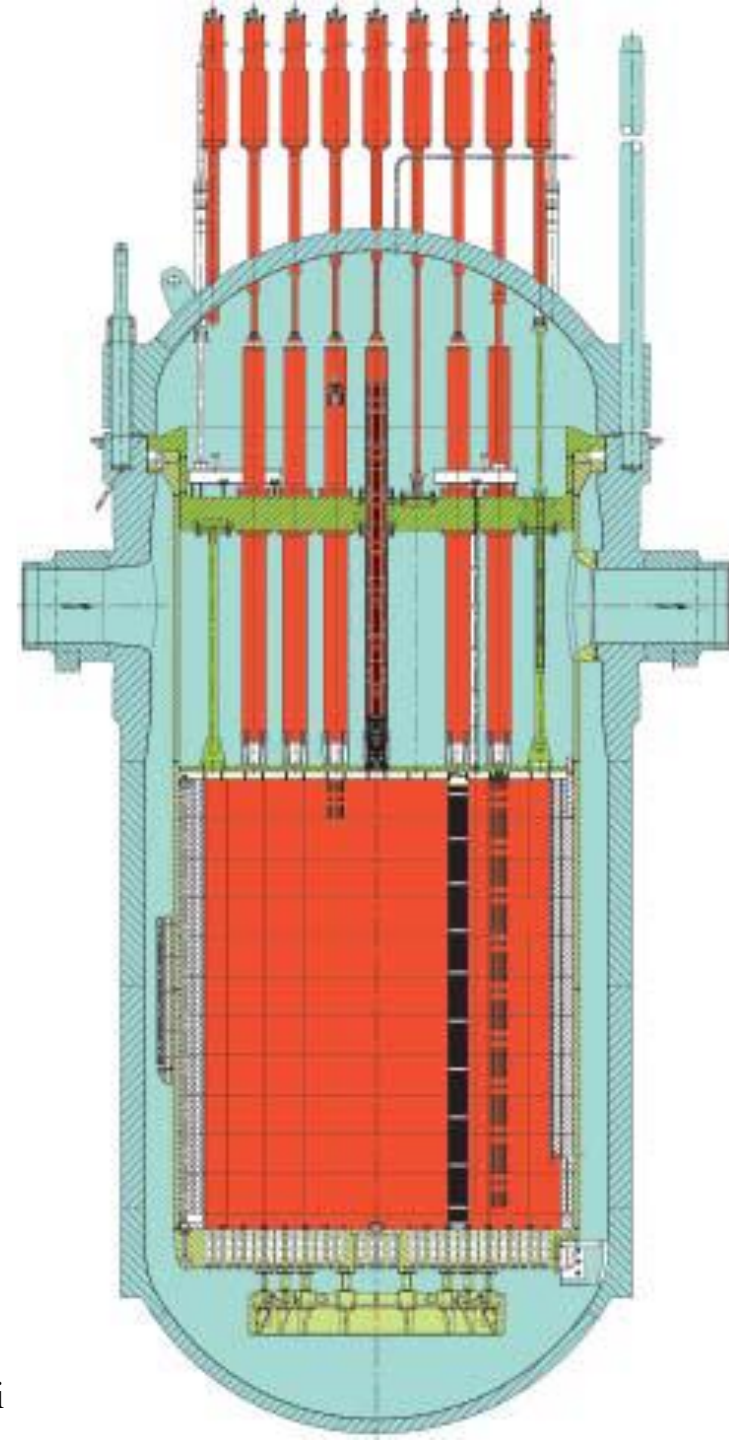


2020. 03. 25.

Atomerőművek főberendezései

Reaktortartály - EPR

- Nincs átvezetés a fenéken
- Egy darabból áll a csonkzóna
- Plattírozás alacsony Co tartalommal
- 60 év tervezett üzemidő után is 30°C alatt marad a T_{krit}
- Emelt csonk magasság (nagyobb víztér a csonkokig)
- Nehéz reflektor (acél, kisebb víztartalommal)

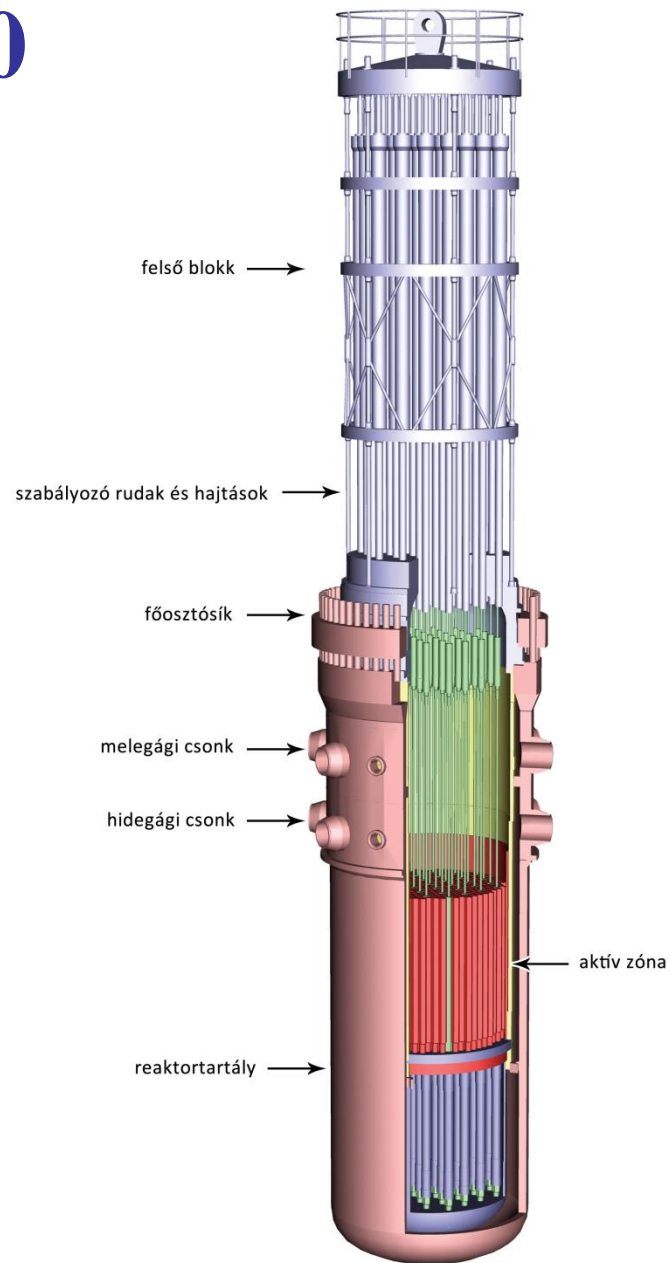


Reaktortartály – VVER-440

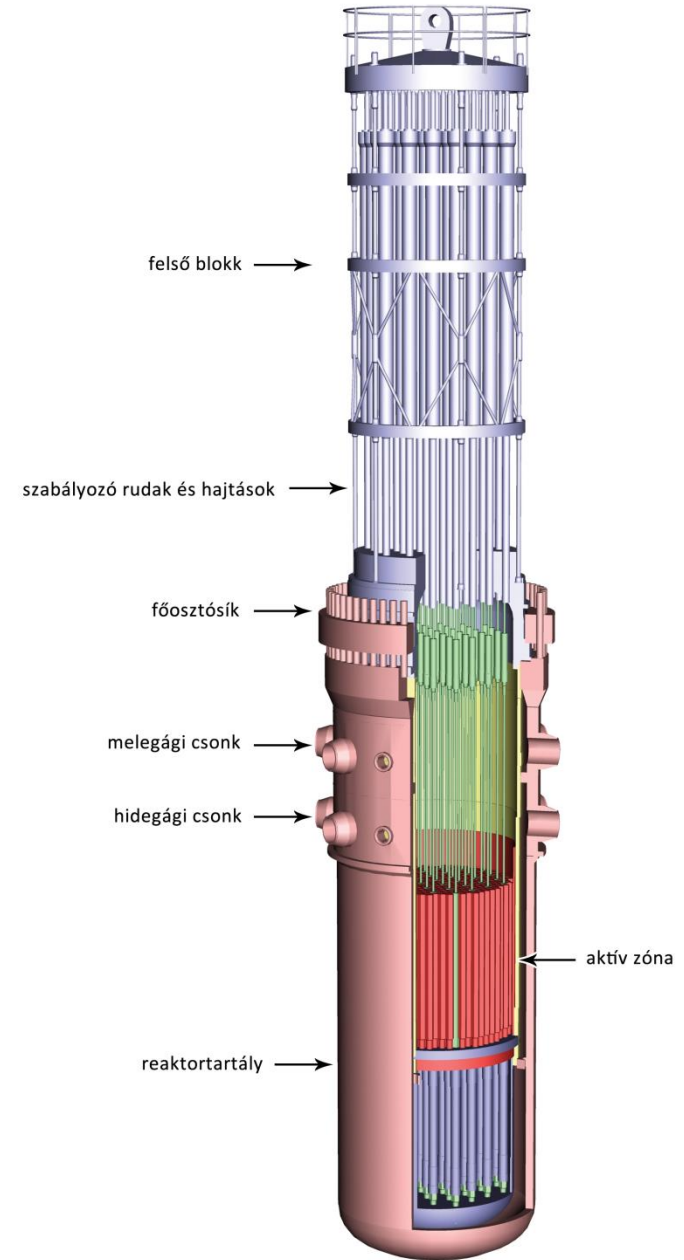
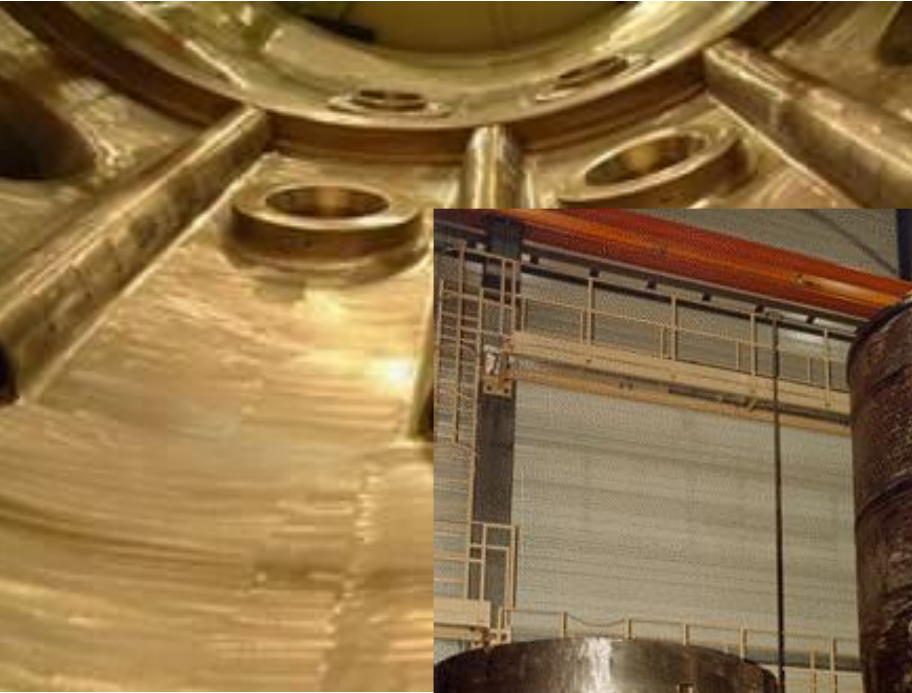
- Kialakítás: közúti / vasúti szállítás
 - vékonyabb tartályfal,
 - kisebb víztér, nagyobb neutronfluxus
 - Komolyabb követelmények anyagokkal szemben
- Csonkok két sorban, emiatt egyenletesebb kerületi hőmérséklet-eloszlás
 - 6-6 NA 500, és 2*2 NA 250
- Kovácsolt darabokból összeállítva
- Nincs axiális varrat

Anyag :	15H2MFA (Cr–Mo–V szénacél)
Falvastagság	140 mm
Tartály burkolatvastagság	9 mm
Magasság	11.8 m
Belső átmérő	4.27 m
Üzemi / tervezési / tesztelési nyomás:	123 / 137 / 172 bar

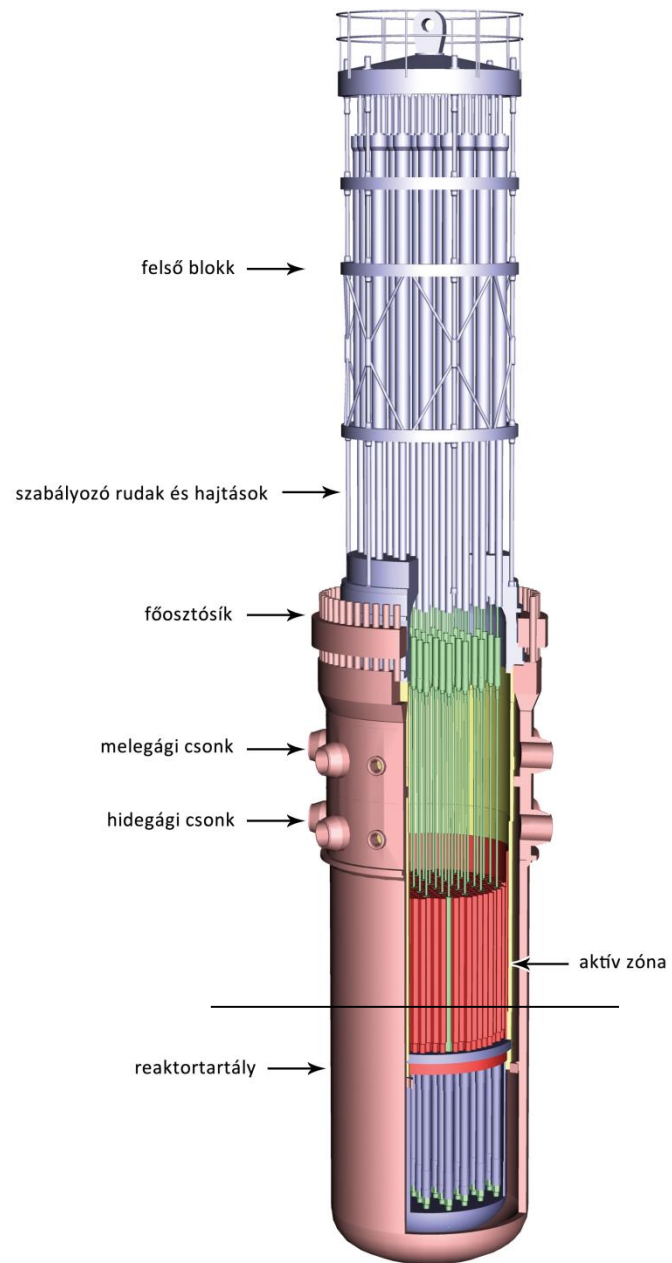
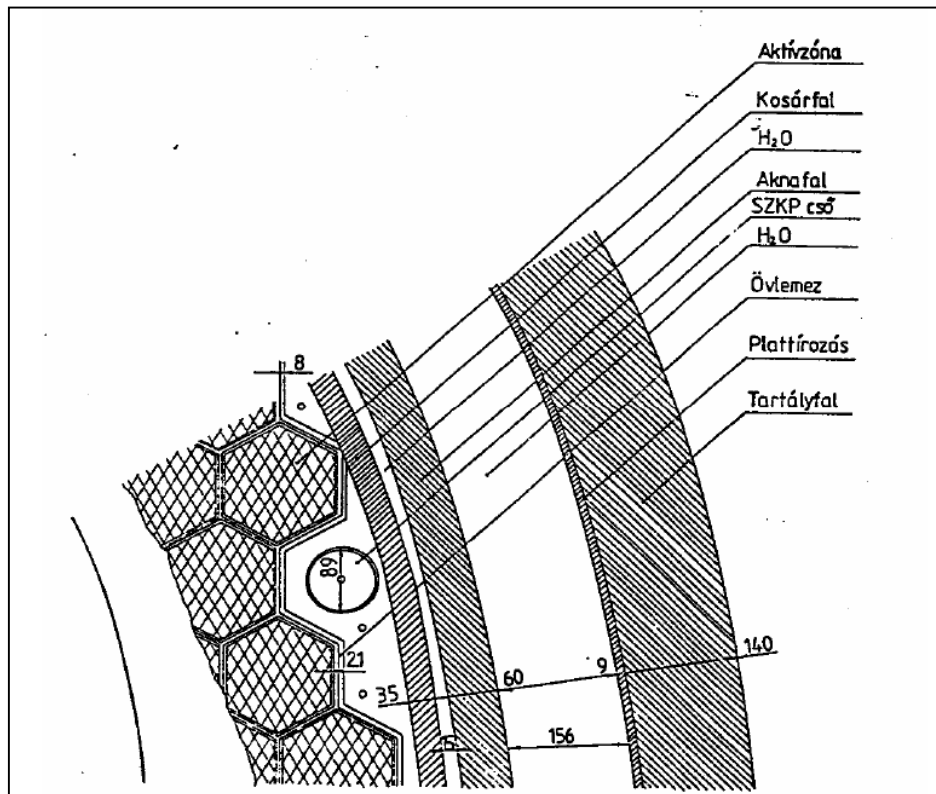
- Plattírozás: 08H18N10T



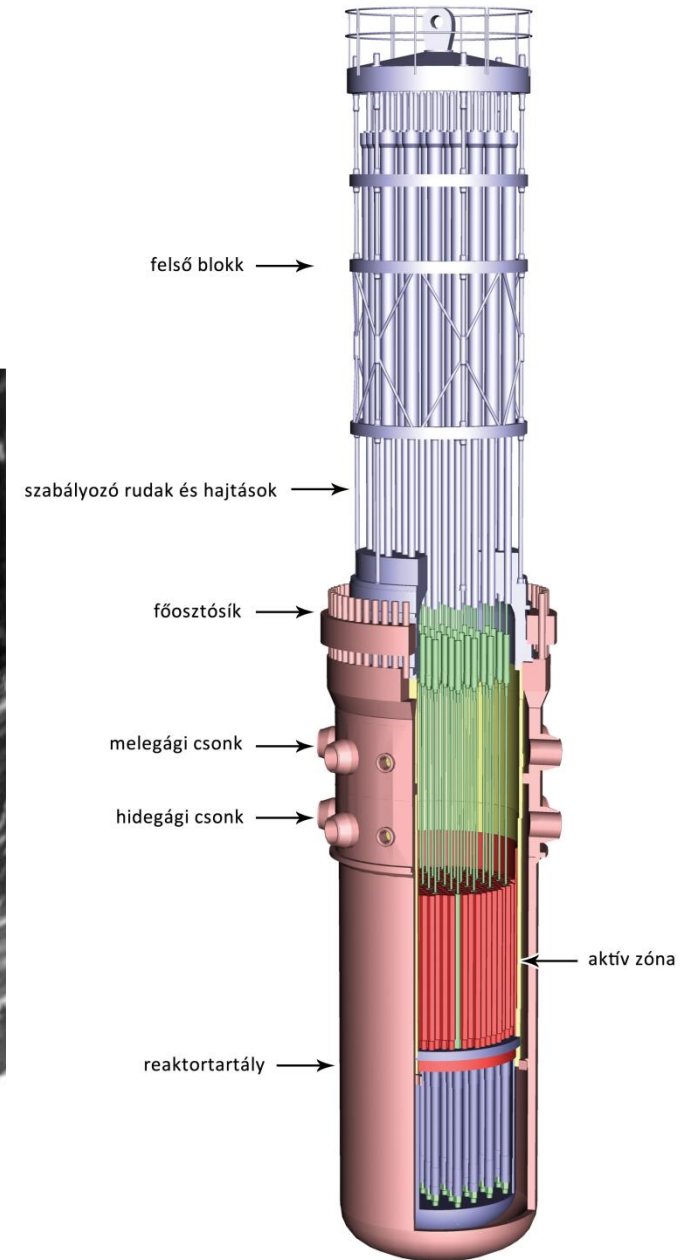
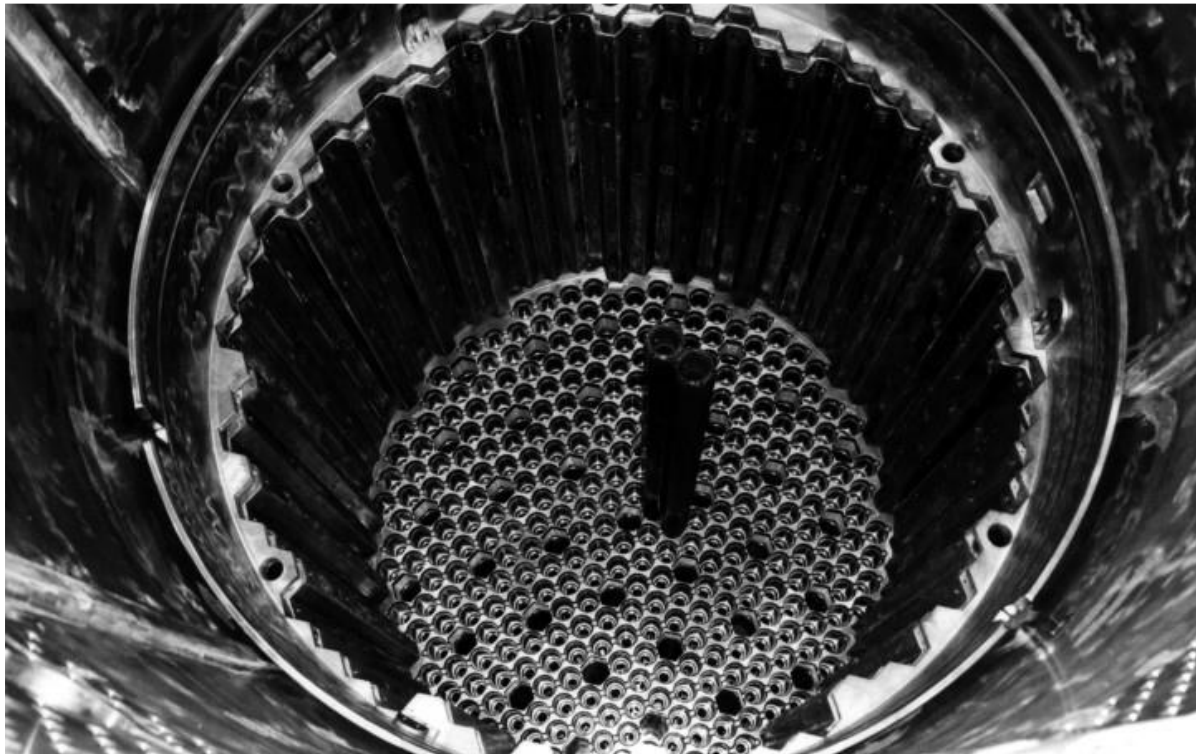
Reaktortartály szerkezeti elemei

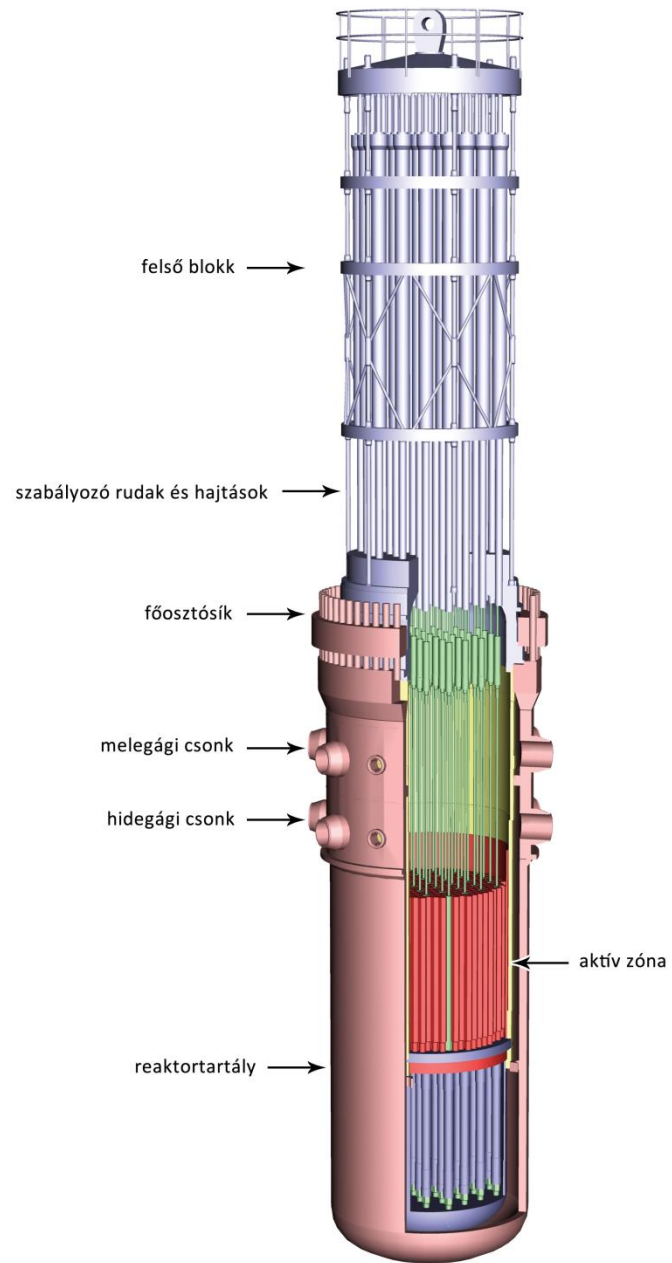
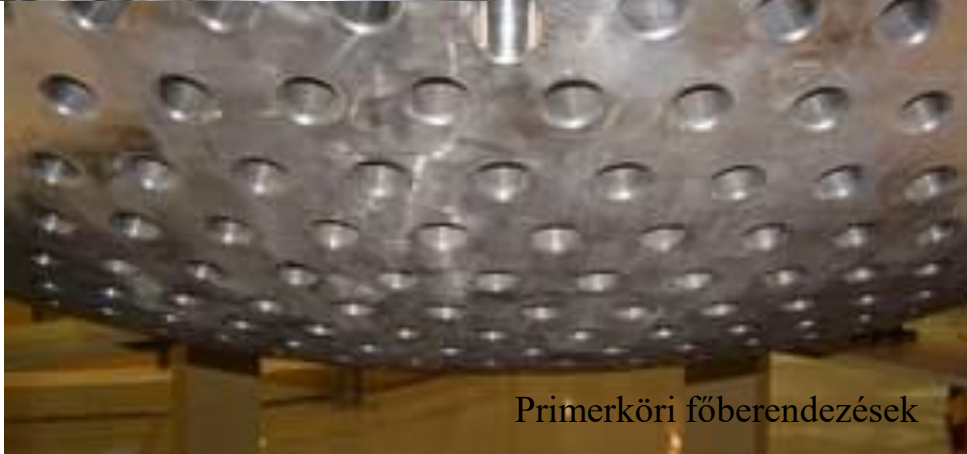


Reaktortartály szerkezeti elemei



Reaktortartály szerkezeti elemei





2020. 03. 25.

Primerköri főberendezések

VVER-1200 - reaktortartály

- Reaktortartály: Izsorszkije Zavodi gyártja
- 60 év tervezett élettartam
- VVER-1000/V320-hoz képest 100 mm-rel nagyobb belső átmérő, 300 mm-rel nagyobb magasság
- Új ötvözet kidolgozása (15H2NMFA-A és -B)
 - Akár 100 éves élettartam

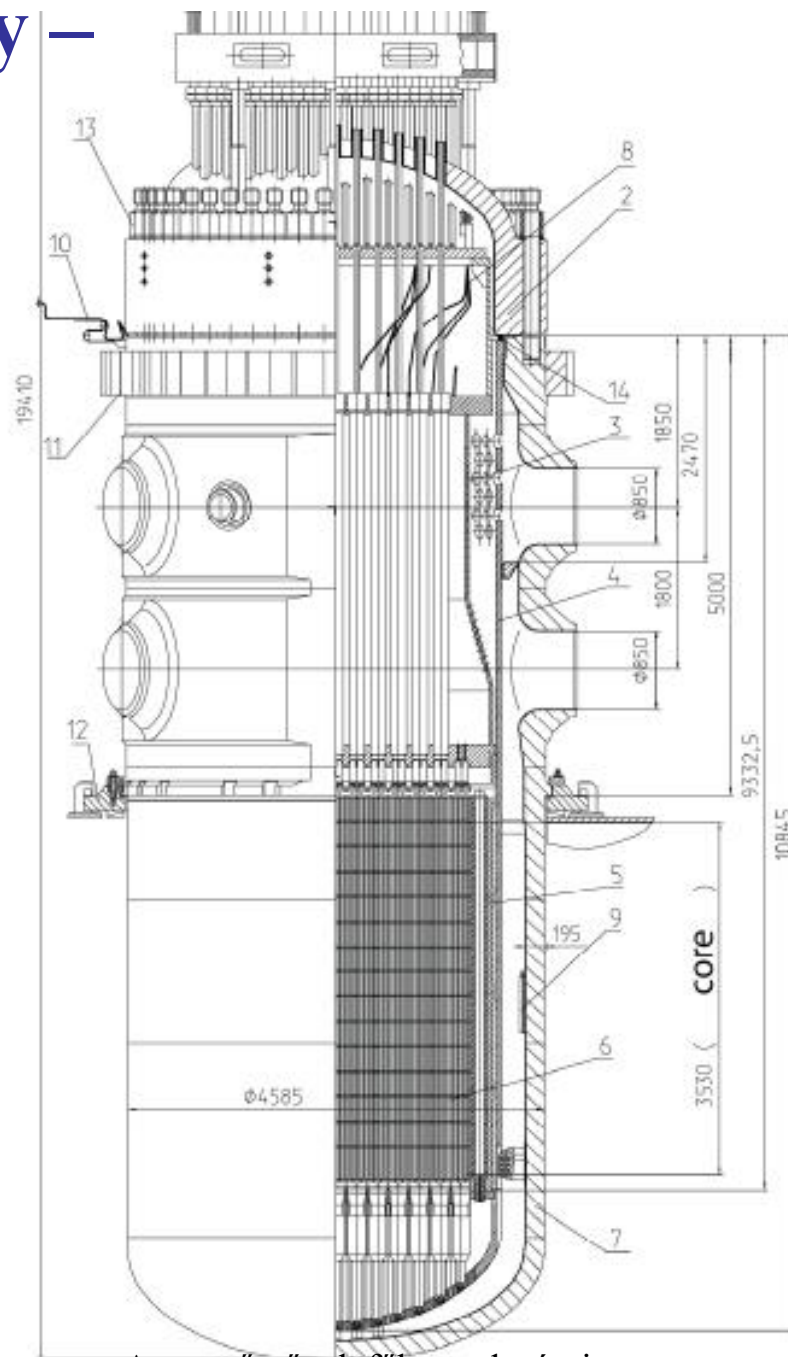


VVER-1200 csonkgyűrű gyártása



Reaktortartály tömege [t]	330
Teljes berendezés tömege [t]	~3500
Belső átmérő [mm]	4585
Magasság (karimáig) [mm]	10845
Teljes magasság [mm]	19410
Falvastagság [mm]	197,5
Nyomáspróba [bar]	245
Névleges nyomás [bar]	176,4
Méretezési hőmérséklet [°C]	350
Alkalmazott acél	15H2NMFA

Reaktortartály – VVER-1200



- 1 - Wiring unit
- 2 - Upper unit
- 3 - Protective tube unit
- 4 - Core barrel
- 5 - Core baffle
- 6 - Core
- 7 - Reactor vessel
- 8 - In-core instrumentation detectors
- 9 - Surveillance specimens
- 10 - Main joint leak monitoring device
- 11 - Thrust ring
- 12 - Support ring
- 13 - Reactor main joint sealing components
- 14 - Pressing device
- 15 - RCCA drive

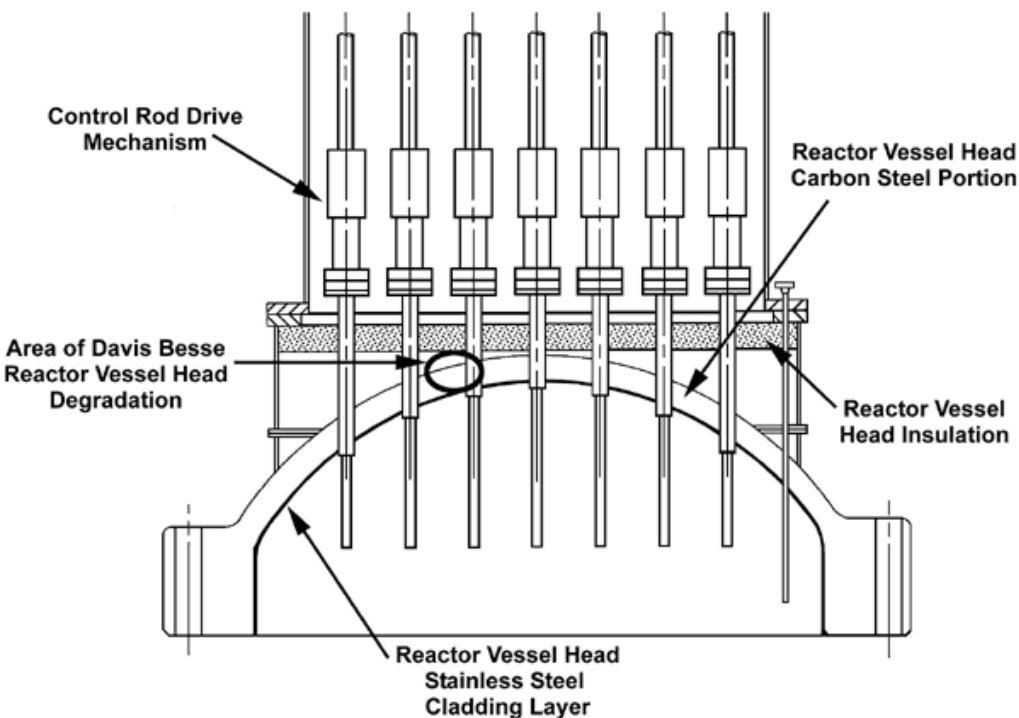
Reaktortartály-meghibásodás (majdnem)

- Feszültségkorrózió SZBV hajtásoknál – a Davis-Besse eset
 - 1977-től üzemelő PWR (USA)
 - 1990-től megszokott szivárgások az SZBV hajtások pereménél
 - 1999-től fokozott szivárgás, egyéb jelek
 - 2002: axiális repedéseket találtak 3 SZBV-átvezetésen, majd a javításkor egy kb. 20 cm átmérőjű üreget a tartályfedél anyagában
 - 2 évi leállítás, 75 millió dolláros fedélcseré
 - INES-3

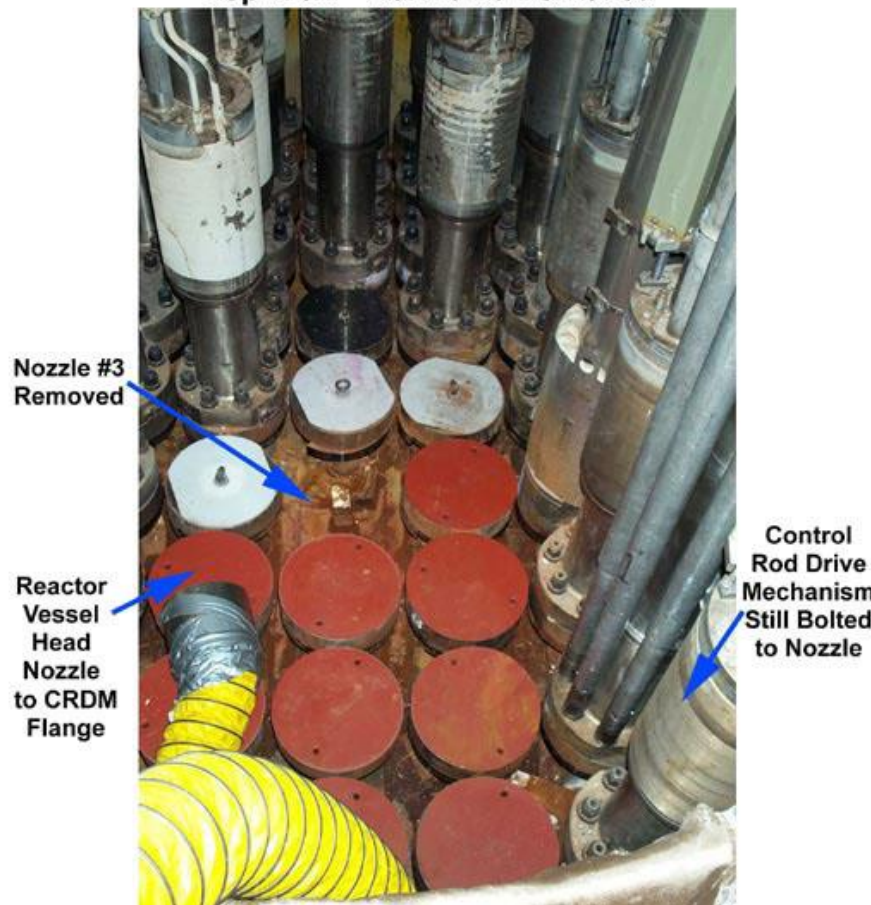
Reaktortartály

- Feszültségkorrózió SZBV hajtásoknál – a Davis-Besse eset

Reactor Vessel Head Degradation Location



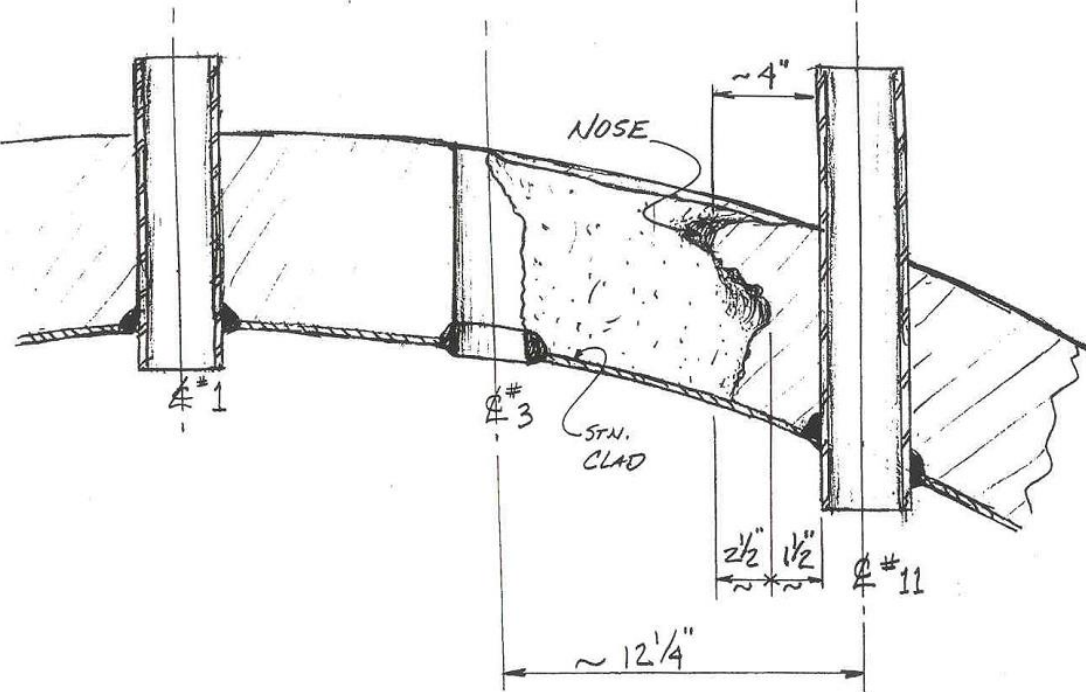
Davis Besse - Reactor Vessel Head Insulation
Top View - Nozzle #3 Removed



Reaktortartály



Davis Besse Reactor Vessel Head Degradation Head Cutaway View



Primer köri főberendezések

Fővízkör

Fővízkör - EPR

Fő (primer) hűtőközeg

H₂O

Nyomás

155 kg/cm²

Zóna belépési hőmérséklet

295.5 °C

Zóna kilépési hőmérséklet

328.1 °C

Főkeringtető szivattyúk száma

4

Teljes tömegáram

4x5475 kg/s

Hurkok száma

4



Fővízkör – VVER-440

Fő (primer) hűtőközeg

H₂O

Primer hűtőközeg tömege

165 t

Nyomás

123 bar

Zóna belépési hőmérséklet

267 °C

Zóna kilépési hőmérséklet

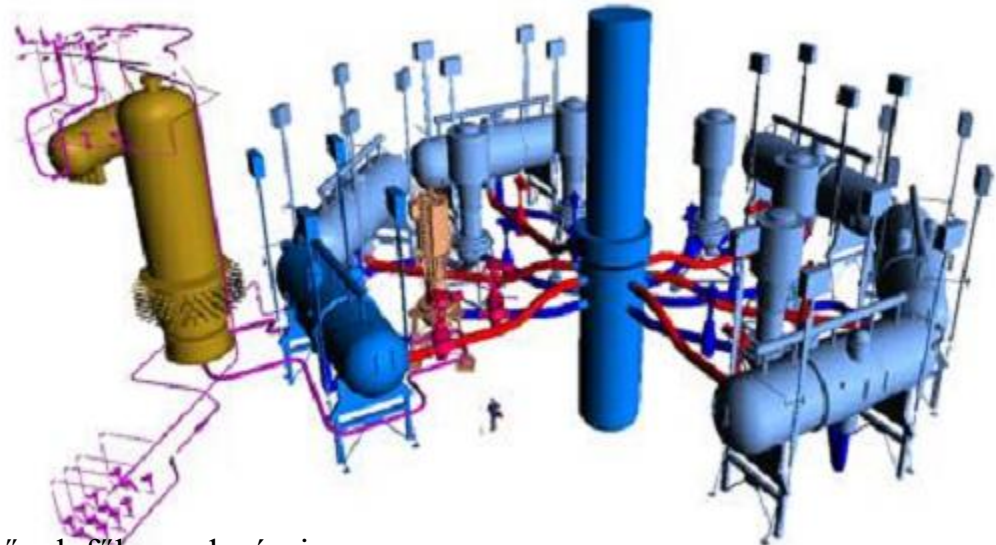
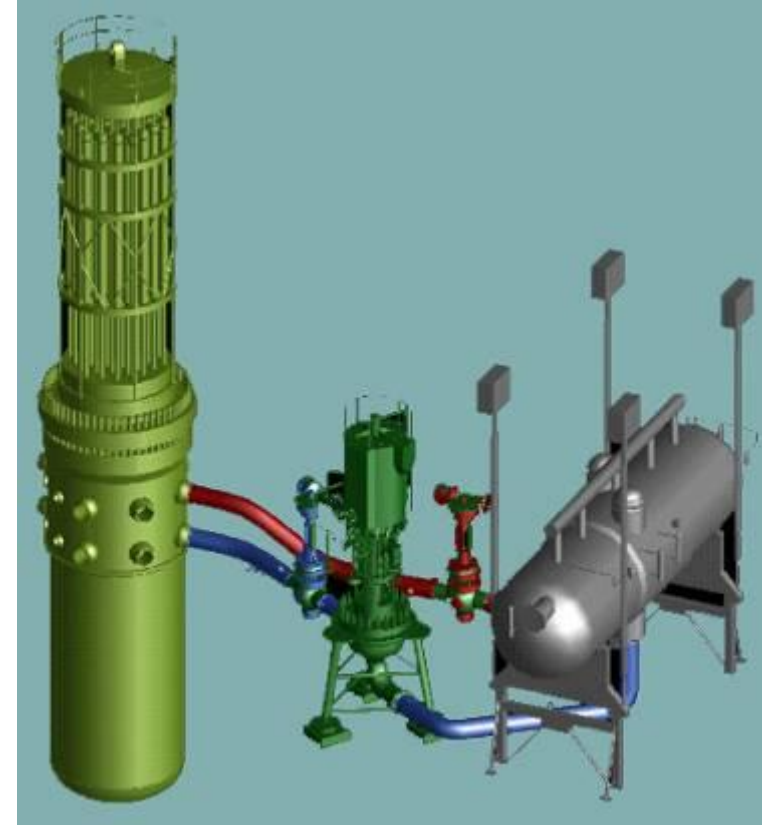
297 °C

Főkeringtető szivattyúk száma

6

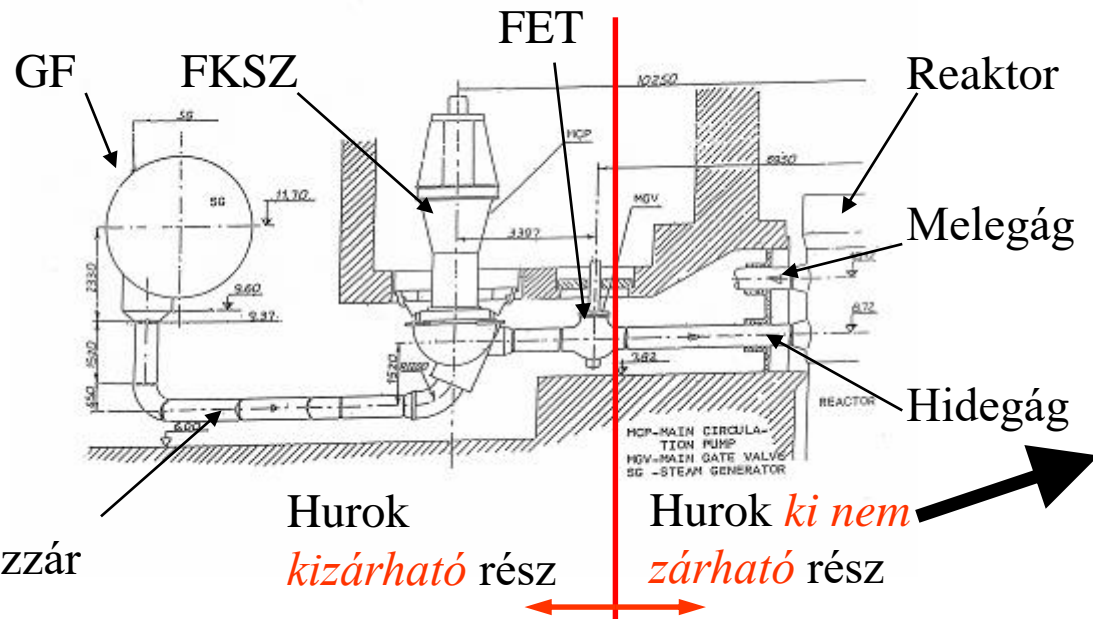
Teljes tömegáram

39750 t/h



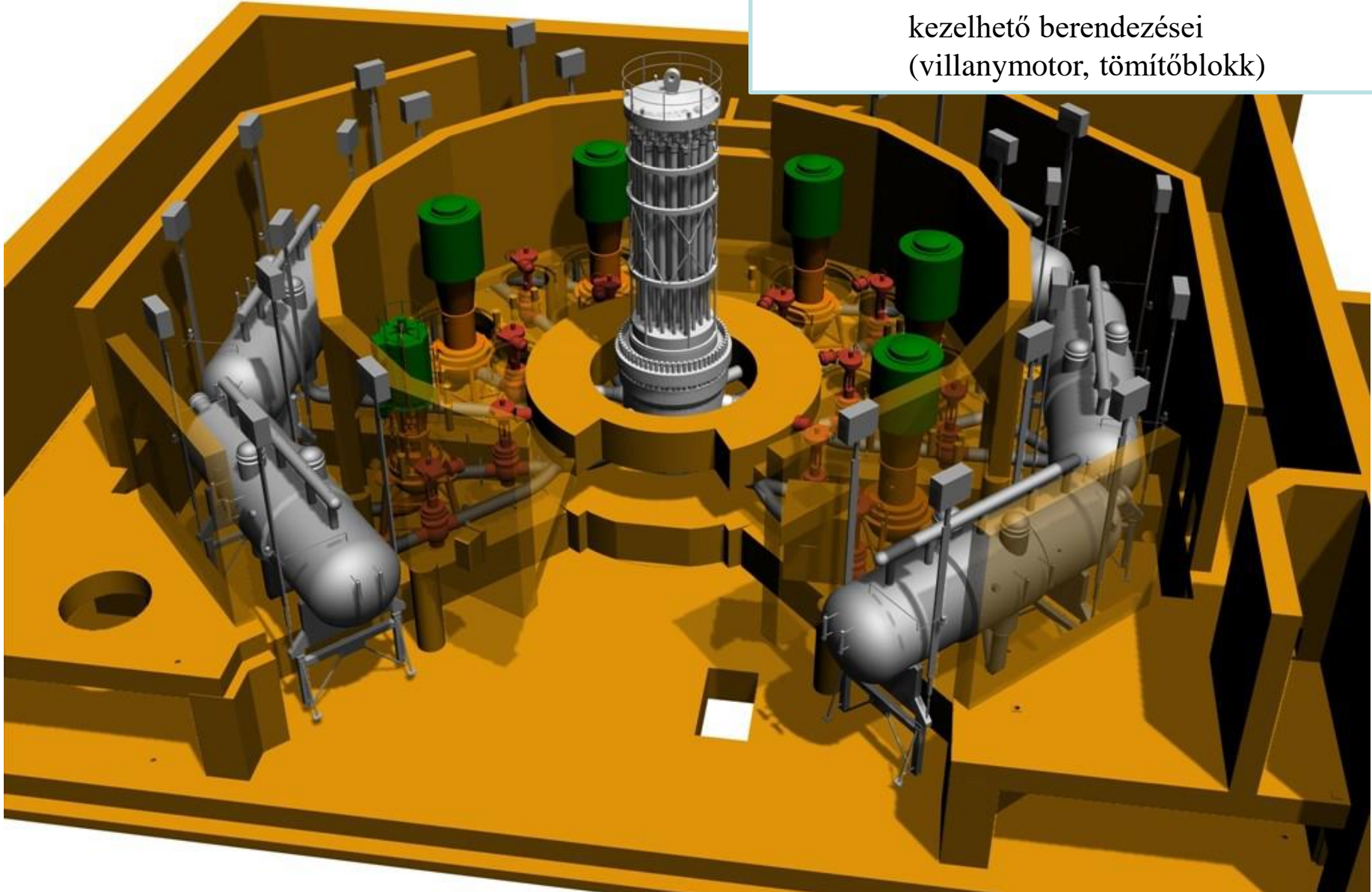
Fővízkör – VVER-440

- a reaktorhoz *hat* primer hurok kapcsolódik,
 - hurkonként *egy* főkeringtető szivattóval,
 - *egy* fekvő gőzfejlesztővel és
 - *két* (hideg és melegági) főelzáró tolózárral (FET).
- **Hideg- és melegági vízzárak:** LOCA üzemzavar esetén van jelentősége a reaktorzóna hűthetősége szempontjából.



Fővízkör – VVER-440

Box – Gfek, FKSZ és FET hidraulikus háza
Nem kiszolgálható üzem közben
Fedélzet – FKSZ és FET üzem közben is
kezelhető berendezései
(villanymotor, tömítőblokk)



Fővízkör - VVER-440

- Főkeringtető vezeték
 - Ø 500 * 32 mm-es hőszigetelt saválló acél csövek
 - Támasztóelemek a 200%-os LOCA elkerülésére
- Tervezési követelmények:
 - Káros hatások (rezgés, öregedés, kiüledés) minimalizálása
 - Természetes cirkulációt elősegítő elrendezés
 - Hozzáférhetőség (karbantartás, felügyelet)
 - Csőtörés hatásainak figyelembevétele



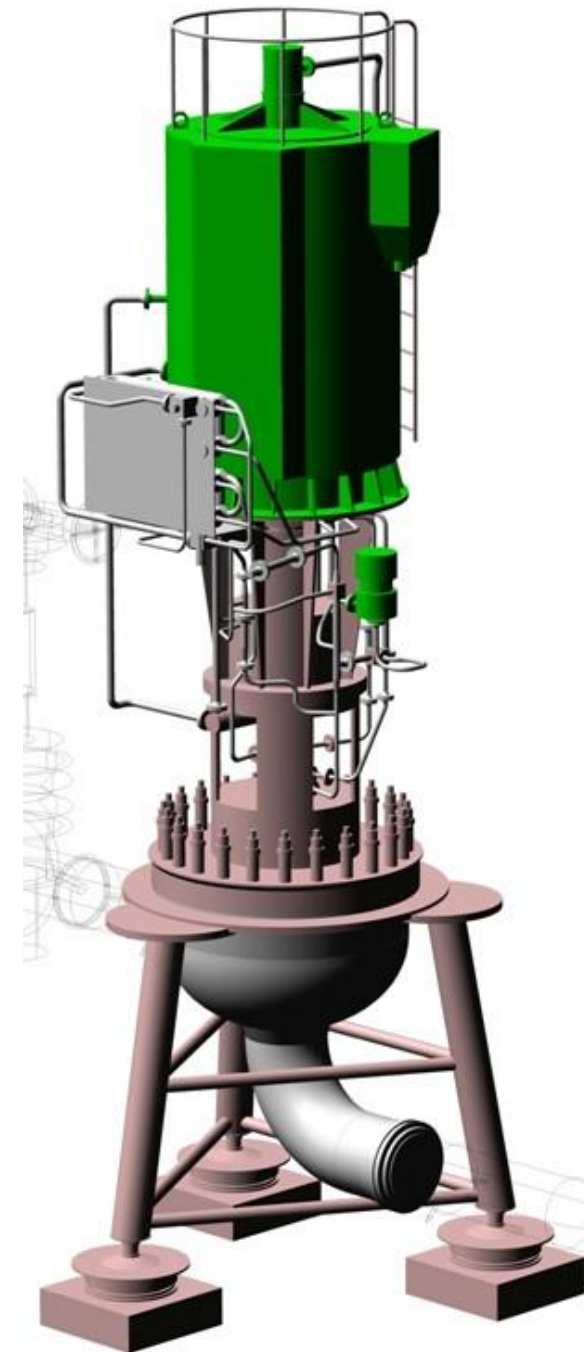
Primer köri főberendezések Főkeringtető szivattyú (FKSZ)

FKSZ

- Feladata: akkora közegáram fenntartása, ami megfelelő hűtést biztosít az üzemanyagoknak (filmforrás elkerülése)
- Követelmények
 - Megfelelő rotor tehetetlenség (lendkerék), FKSZ leállás esetén is hűtést biztosítani a természetes cirkulációs üzem kialakulásáig
 - Üzem közbeni felügyelet: rezgések, szivárgás monitorozása, hőmérséklet
 - Meghibásodáskor ne keletkezessenek káros hatású repülő tárgyak
- Példa:EPR
 - 1 s villamos betáplálás-kiesés leállás nélkül
 - Reaktor SCRAM után 0,3 s-ig nem kap leállító jelet az FKSZ
 - Ház tervezett élettartama 60 év

FKSZ – VVER-440

- **Üzemi paraméterek**
 - Szállított mennyiség: 7100 m³/h
 - Emelő magasság 4,25 bar
 - Min. szívóoldali nyomás 10 bar
 - Fordulatszám 1500 /perc
 - Felvett teljesítmény 1400-1600 kW
- **Felépítés:**
 - *hidraulikus rész*: függőleges tengelyű, egyfokozatú centrifugálszivattyú,
 - *tömítőblokk*: bonyolult konstrukció (a nagynyomású primer hűtőközeg ne szivároghasson ki a forgó tengely és a ház között ⇒ bonyolult tömítés és csapágyazás),
 - az FKSZ tömítése ún. *tömítőblokk* segítségével történik, amelyre záróvizet kell juttatni;
 - $P_{\text{záróvíz}} > P_{\text{pr}}$
 - *hajtás*: tengelykapcsoló a villamos motor és a hidraulikus rész között.
 - *Lendkerék* a szivattyú kifutási idejének növelése érdekében.
 - *Elektromágneses tehermentesítő* az axiális erők csökkentésére.



FKSZ - EPR

- Framatome N4-ből fejlesztve
- Plusz tömítő fokozat SBO-ra

REACTOR COOLANT PUMP ASSEMBLY

- Design pressure (bar) 176
- Design temperature (°C) 351

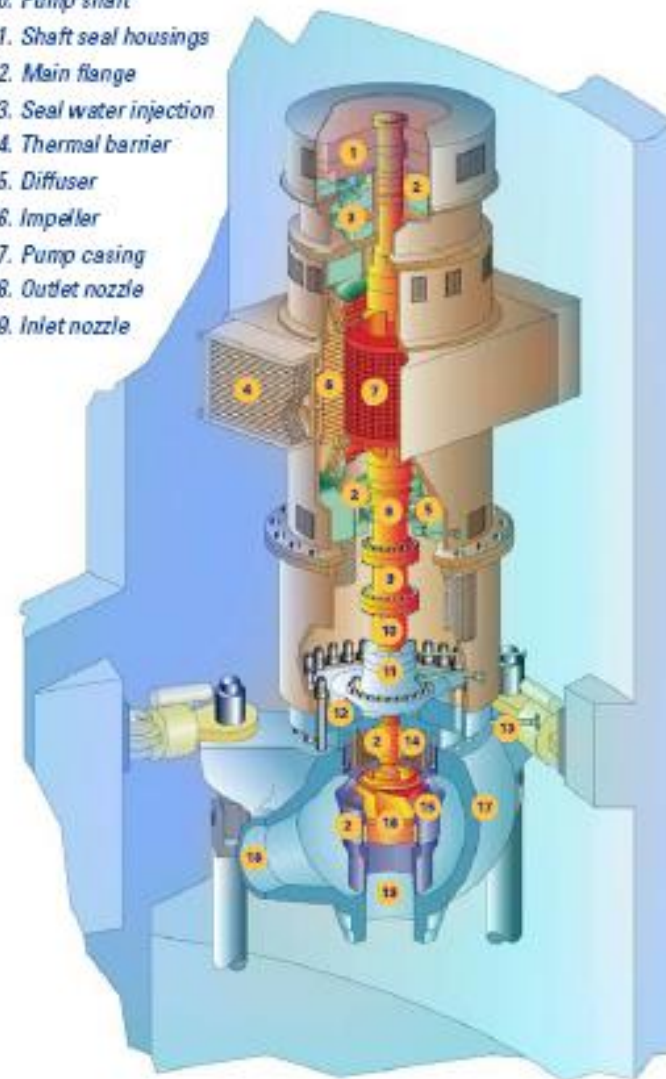
PUMP

- Thermo-hydraulic flow rate (m³/h) 27,195
- Suction temperature (°C) 295.9
- Mass without water (including motor support) (kg) 50,520

MOTOR

- Type Air cooled squirrel cage induction motor
- ~~Power rating (kW) 9,000~~
- Design input power, RCP [RCS] under normal conditions (kW) 8,000
- Voltage (volts) 10,000
- Phase 3
- Frequency (Hz) 50
- Insulation class Class F thermoelastic epoxy insulation
- Mass (without water or oil) (kg) 60,700
- Total inertia (pump and motor) of the rotor (kg.m²) 5210

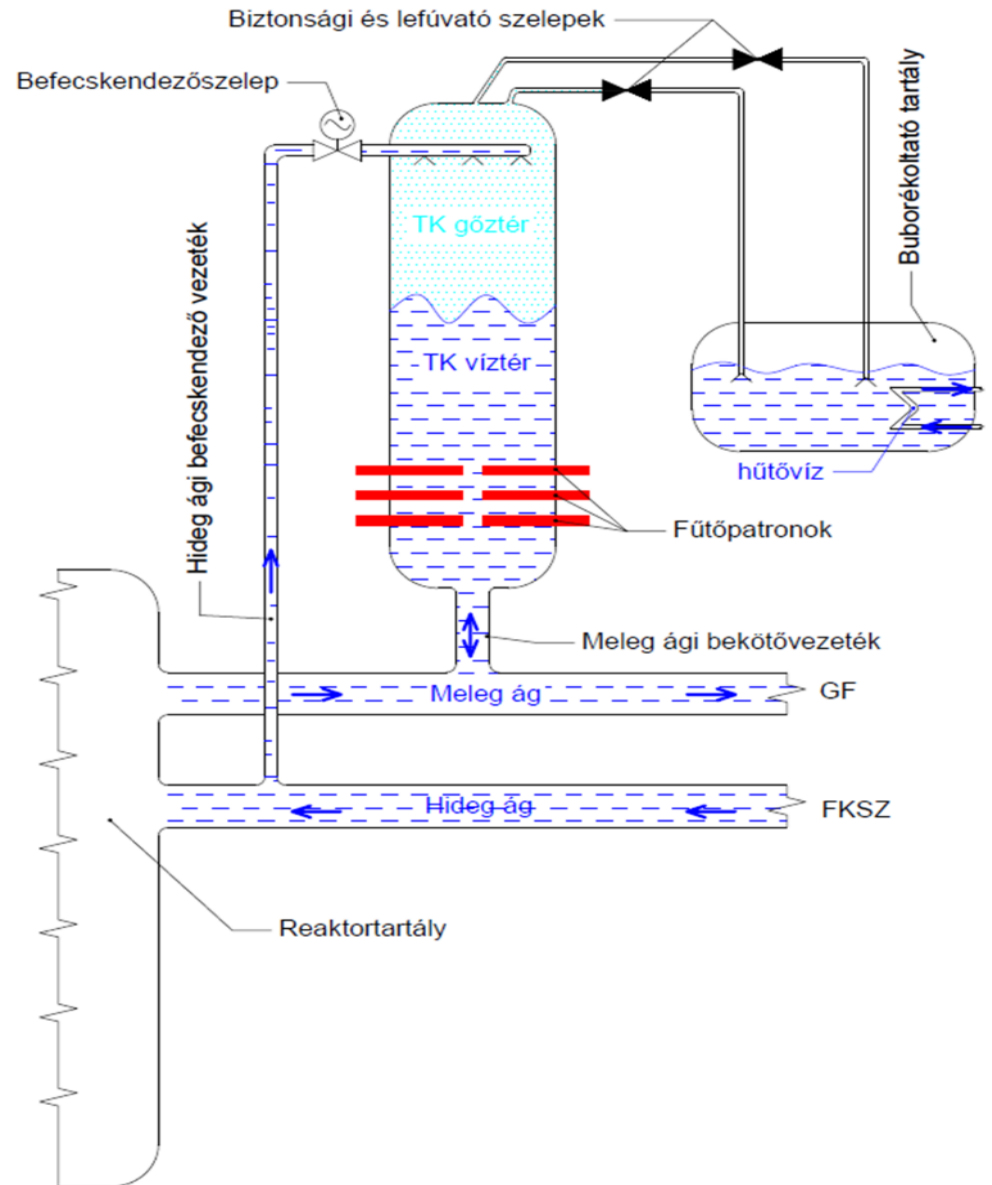
1. Flywheel
2. Radial bearings
3. Thrust bearing
4. Air cooler
5. Oil cooler
6. Motor (stator)
7. Motor (rotor)
8. Motor shaft
9. Spool piece
10. Pump shaft
11. Shaft seal housings
12. Main flange
13. Seal water injection
14. Thermal barrier
15. Diffuser
16. Impeller
17. Pump casing
18. Outlet nozzle
19. Inlet nozzle



Primer köri főberendezések Térfogatkompenzátor (TK)

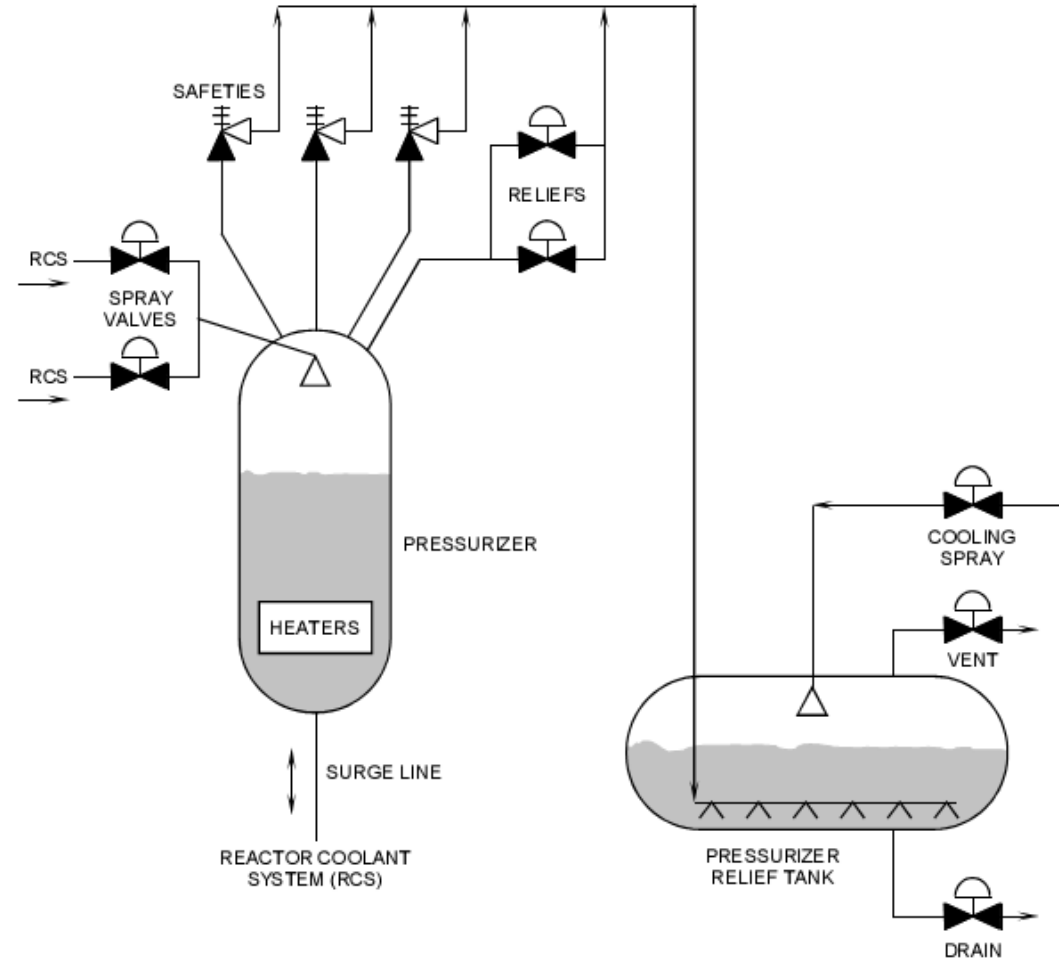
Térfogatkompenzátor

- Feladata: biztosítani, hogy a nyomás, hűtőközeg-mennyiség vagy termodinamikai tulajdonságok változása ne okozza a nyomáshatároló sérülését
 - Primer köri nyomástartás
 - Vízsint (gőztér) tartás
 - Indításkor nyomásra hozás
 - Túlnyomásvédelem
 - Nem kondenzálódó gázok eltávolítása
- Kialakítása:
 - Függőleges hengeres tartály
 - Telített állapotú víz-gőz keverék
 - Kapcsolat egy hurok hideg- és meleg ágával (hideg befecskendezés / meleg víz átáramlás)
 - Nyomás szabályozás: elektromos fűtőpatron / befecskendezés
 - Nyomásvédelmi eszközök: lefúvató és biztonsági szelepek (buborékoltató tartály)



Térfogatkompenzátor

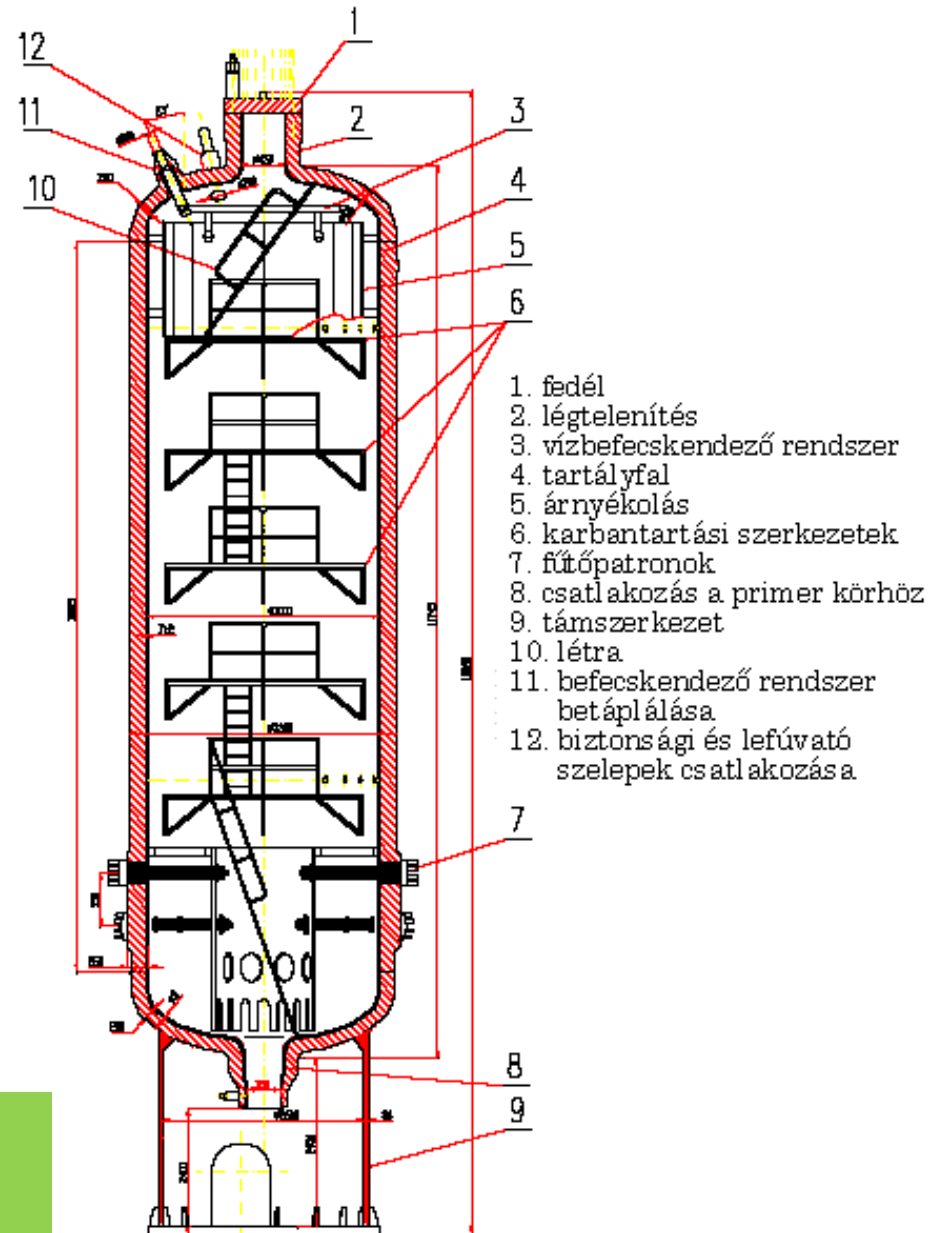
- Feladata: biztosítani, hogy a nyomás, hűtőközeg-mennyiség vagy termodinamikai tulajdonságok változása ne okozza a nyomáshatároló sérülését
 - Primer köri nyomástartás
 - Vízsint (gőztér) tartás
 - Indításkor nyomásra hozás
 - Túlnyomásvédelem
 - Nem kondenzálódó gázok eltávolítása
- Kialakítása:
 - Függőleges hengeres tartály
 - Telített állapotú víz-gőz keverék
 - Kapcsolat egy hurok hideg- és meleg ágával (hideg befecskendezés / meleg víz átáramlás)
 - Nyomás szabályozás: elektromos fűtőpatron / befecskendezés
 - Nyomásvédelmi eszközök: lefúvató és biztonsági szelepek (buborékolató tartály)



TK – VVER-440

- Függőleges elrendezésű, szigetelt szénacél tartály, 9 mm-es plattírozással
- Alján NA300-as csonk
- 108 fűtőpatron (*15 kW)
- Térfogata 44 m³
- Működési elve:
 - Nagyobb nyomásváltozás esetén a nyomástartás külső beavatkozással történik:
 - *nyomáscsökkenés*: fűtőtestek bekapcsolnak, gőz képződik $\Rightarrow p_{pr} \uparrow$
 - *nyomásnövekedés*: a gőztérbe „hidegági” vizet befecskendező szelepek kinyitnak, a gőz kondenzálódik, $\Rightarrow p_{pr} \downarrow$

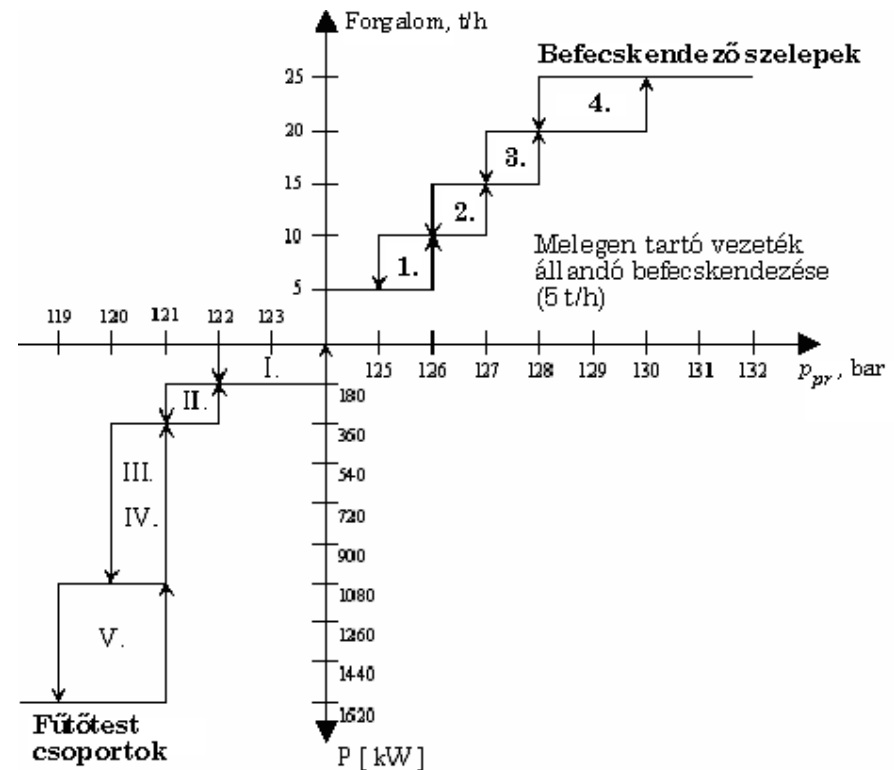
Üzemi paraméterek: $T_{Tel} = 325 \text{ °C}$ $p_1 = 123 \text{ bar}$
Hideg befecskendezés: kb 270 fok, 126-129 baros tartományban szabályoz
Fűtőpatron: 119-122 baros tartományban szabályoz



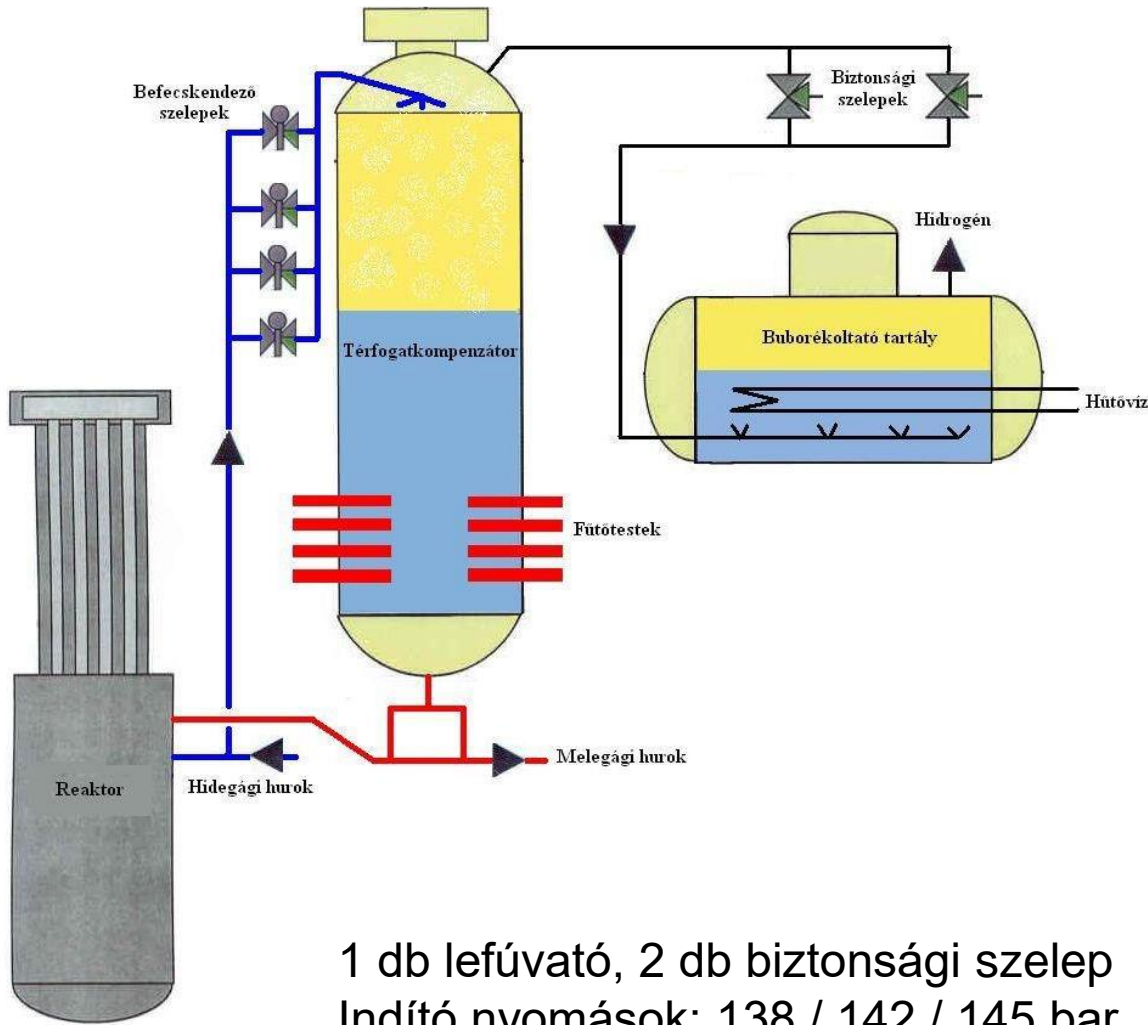
TK – VVER-440

- **Nyomásszabályozás működése:**

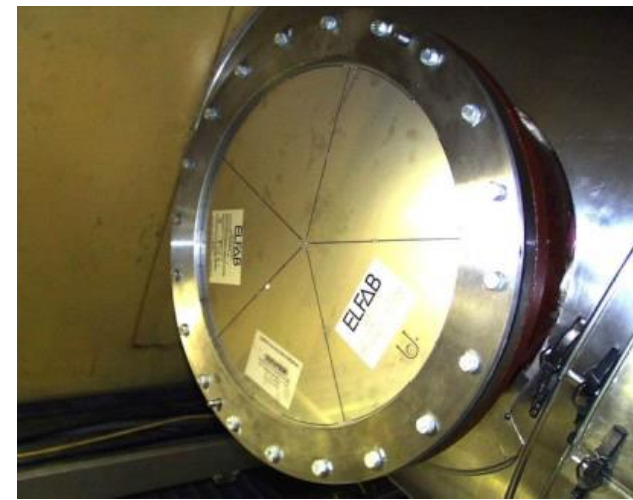
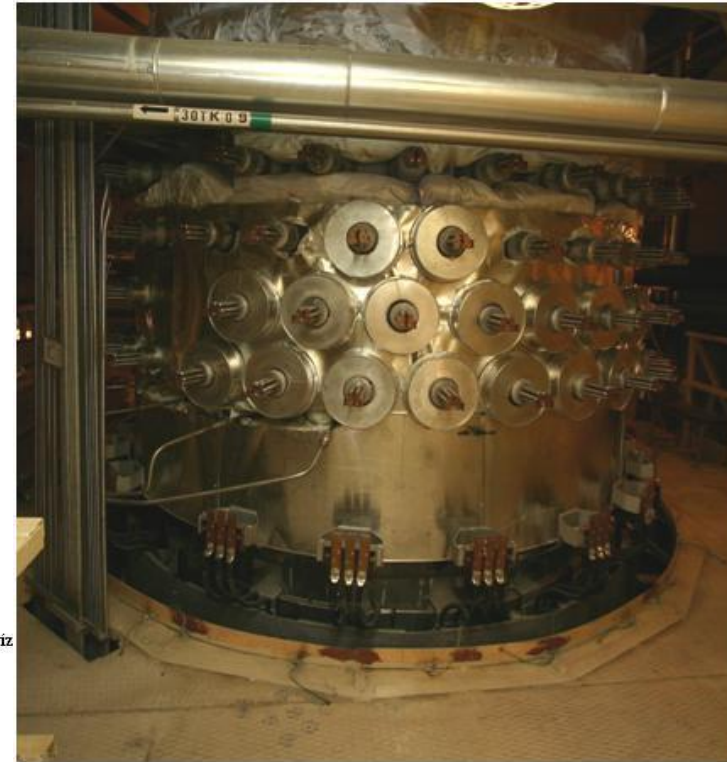
- nyomáscsökkentés: 4 befecskendező szeleppel (1. v. 6. hurok hidegágából);
 - nyomásnövelés: öt fűtőtestcsoport segítségével (1. v. 6 hurok melegágába)
- Ha a primer nyomás a szabályozási tartományon kívüli értékre növekedik:
 - Lefúvató szelep
 - Biztonsági szelep(ek) nyitásával lehetséges a primer nyomás csökkentése.
 - Buborékoltató tartályba ürítenek



TK – VVER-440



1 db lefúvató, 2 db biztonsági szelep
Indító nyomások: 138 / 142 / 145 bar

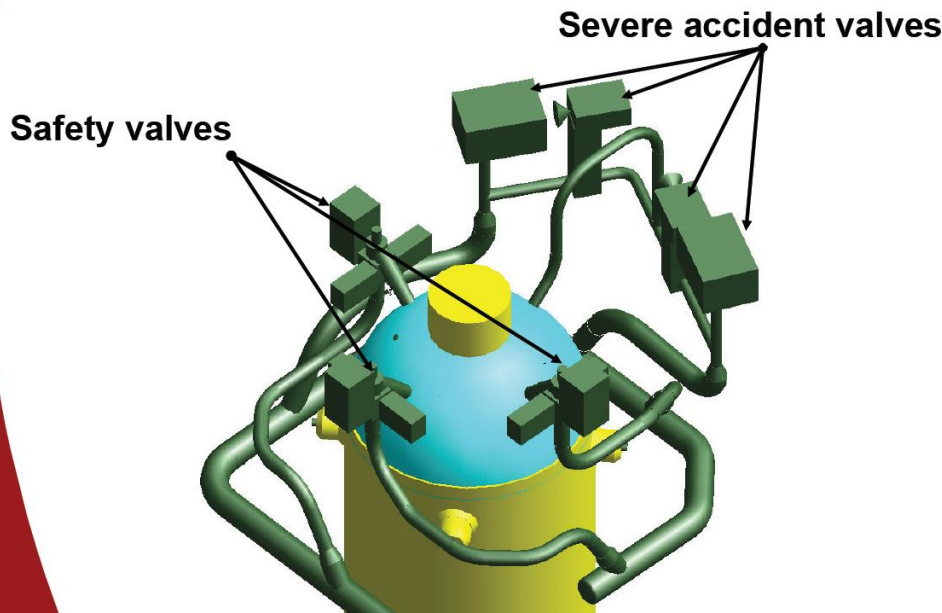


TK - EPR

- Új atomerőművek: súlyos baleseti nyomásmentesítés lehetősége!

Description	Technical Data
<p>Pressurizer Safety Valve Stations</p> <p><u>System Design Data under Normal Conditions</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Number • Design Pressure • Design Temperature • Relieving Capacity at 2550 psi (176 bar), each <p><u>Functions</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • RCS overpressure protection • LTOP during shutdown modes • Feed & Bleed cooling with MHSI <p>Severe Accident Bleed Valve Station</p> <p><u>System Design Data</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Number • Design Pressure • Design Temperature • Relieving Capacity at 2550 psia, each <p><u>Functions</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • RCS depressurization during severe accident 	<p>3</p> <p>2550 psia (176 bar) 684°F (362°C) 330 Tons/hr (300 Metric Tons/hr)</p> <p>4 (arranged in 2 paths)</p> <p>2550 psia (176 bar) 684°F (362°C) 992 Tons/hr (900 Metric Tons/hr)</p>

Pressurizer Discharge Valves Arrangement

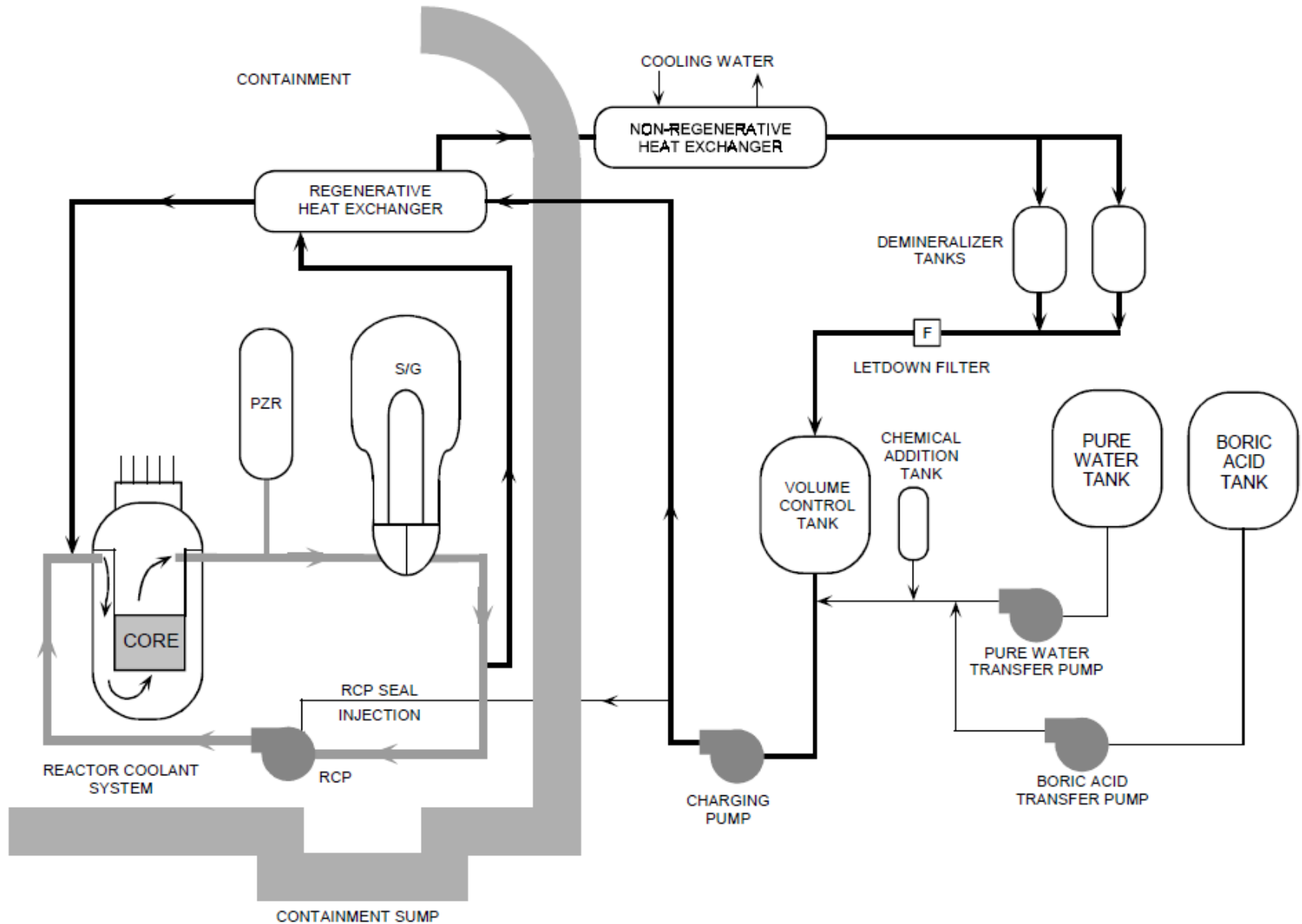


Primer köri főberendezések CVCS

Chemical and volume control system (CVCS)

- Tisztító és térfogat-szabályozó rendszer
- Feladatai:
 - primer közeg tisztítása szűrőkkel, sótelenítőkkel (vízkémia és szennyezőanyag-mentesítés)
 - Reaktivitás-szabályozás (bór hozzáadás / kivonás)
 - Primer hűtőközeg leltár – azaz pótvíz – biztosítása (TK szinttartás, befecskendezés, igen kis LOCA esetén)
 - Záróvíz biztosítása az FKSZ tömítéshez
- Részáramú tisztítóként üzemel (leiszapoló rendszeren keresztül)
- Folyamatos tisztítás
- Leeresztés a folyékony radioaktív hulladék kezelő rendszerhez is
- VVER-nél két külön rendszer

Chemical and volume control system (CVCS)



Chemical and volume control system (CVCS)

- Tervezési követelmények:
 - Tisztítás célja a primer köri korrózió és a zónán belüli lerakódások minimalizálása
 - Figyelembe kell venni a vegyszerek reaktivitásra gyakorolt hatását
 - Figyelembe kell venni gázok felhalmozódását
 - Szándékolatlan bórsavhígulást ki kell zárni (vagy ne okozzon elfogadhatatlan reaktivitásbevitelt)

Hamaoka, 2001



Atomerőművek főberendezései

CVCS – EPR

Chemical and Volume Control System

