

A VVER reaktorcsalád új tagja: VVER-S

Paksi Energetikai Kerekasztal

2026. január 27.

Dr Vámos Gábor

Tartalom

- Közepes teljesítményű VVER-S: tervezési célok és feltételek
- VVER-S aktív zónájának tervezési megoldásai
- A zónaolvadék kezelése a VVER-S-600 reaktorban
- VVER-S-600 technológiai megoldások
- A VVER-S-600 prototípusának telephelye: Kólai Atomerőmű II.
- Megéri-e közepes teljesítményű atomerőműveket építeni?
- VVER fejlesztési kilátások

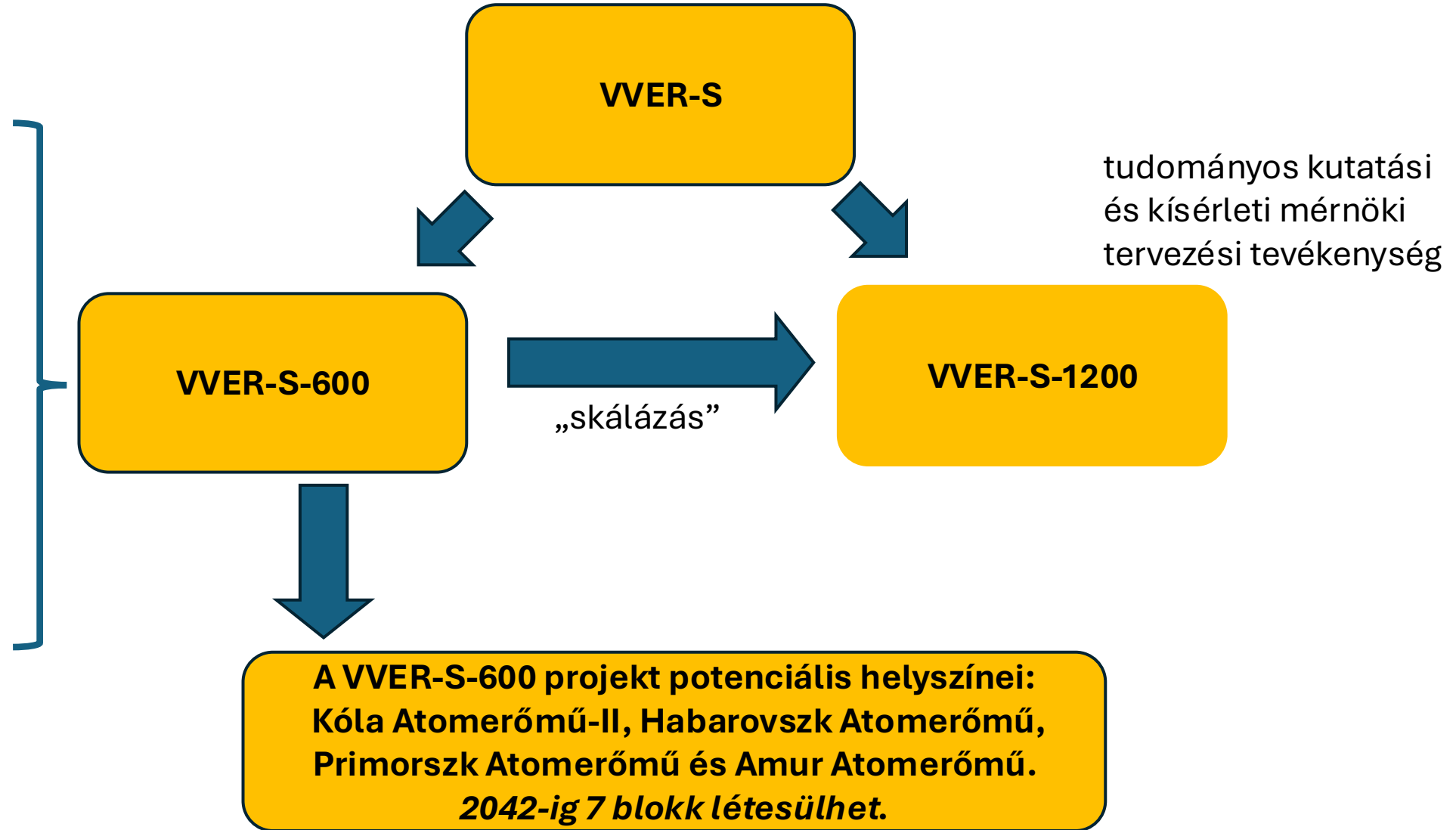
A VVER reaktorcsalád fejlődése

Generáció	Típus	Jellemzők	Teljesítmény
I. Generáció	VVER-210 (V-1)	Az első VVER reaktor (<i>Novovoronyezs-1, 1964</i>). Kezdeti, demonstrációs típus.	210 MWe
	VVER-365 (V-3M)	Továbbfejlesztett korai típus. (<i>Novovoronyezs-2, 1969</i>).	365 MWe
II. Generáció	VVER-440 (V-230)	Az első sorozatgyártású típus. Korlátozottabb biztonsági rendszerek, hiányzó konténment. (<i>Már csak 3 blokk üzemel</i>)	440 MWe
	VVER-440 (V-213)	Továbbfejlesztett VVER-440. Megerősített biztonsági rendszerek, pl. lokalizációs torony a baleseti túlnyomás csökkentésére. (<i>Paksi Atomerőmű 1-4. blokkjai is ilyenek</i>)	440 MWe
II./III. Generáció	VVER-1000 (V-320)	Jelentős ugrás a teljesítményben és a biztonságban. Teljes, kettős falú konténment épület, modernizált biztonsági rendszerek. <i>A legelterjedtebb VVER dizájn.</i>	1000 MWe
III.+ Generáció	VVER-1200 (AES-2006)	Evolúciós, továbbfejlesztett VVER-1000. Passzív és aktív biztonsági rendszerek kombinációja. Megfelel a fukushimai baleset utáni szigorúbb nemzetközi biztonsági követelményeknek. (<i>Paks II. blokkjai is ilyenek</i>)	1150–1200 MWe
III.+ Generáció	VVER-TOI (AES-2010)	"Optimalizált és Információs". Még jobban optimalizált tervezés és építés, továbbfejlesztett gazdaságossági és biztonsági paraméterek, digitális irányítási és vezérlőrendszerek. (<i>Kurszk II-1 első hálózatra kapcsolása 2025. 12.31-én</i>)	1255 MWe

Spektrális szabályozású VVER-S fejlesztési változatai

Műszaki tervezés 2026-ban:

- Az üzemeltető szervezet követelményei
- A engedélyezési tapasztalat figyelembevétele
- A modern biztonsági követelmények figyelembevétele
- A Kólai Atomerőmű környezetének feltételei
- Kipróbált műszaki megoldások



A VVER-S közepes teljesítményű blokk főbb műszaki célkitűzései

- Két blokk építése a Kólai atomerőmű telephelyén 2027-2037 között
- Villamos teljesítmény a generátor kapcsain ≥ 600 MW
- Hatásfok $\geq 37\%$
- Üzemanyag-ciklus időtartama – 12, 18, 24 hónap
- Üzemanyag típusa – urán, és urán-plutónium
- Napi terhelésszabályozási üzemmód – $100 - 40(50)^* - 100\%$

* Különböző forrásokban eltérő adatok

- Biztonsági szint – nem alacsonyabb, mint a 3+ generációs atomerőművekkel szemben támasztott követelmények
- A reaktor tervezett üzemideje – 80 év

VVER-S-600 tervezési feltételek 1/2

- Hagyományos bóros szabályozás és spektrális szabályozás alkalmazása:
 - nincs bóros szabályozás a manőverező üzemmódokban, sem a reaktivitás tartalék kompenzálása, csak lehűtésekor és leálláskor → folyékony radioaktív hulladék mennyiségének csökkentése
- Referencia megoldások megőrzése: a VVER-S-600 reaktor kialakításához VVER-1200 berendezéseit alkalmazzák, de a hurkok száma 4 helyett 2
- Aktív zóna kifejlesztése 100% U-Pt üzemanyag-töltettel, 0,7 Pu tenyésztési tényező elérése
- Az olvadék-csapda helyett olvadék visszatartás és hűtés a reaktortartályban
- A tervezési és műszaki megoldások későbbi „méretarányos” átvitele 600-ról 1200 MW-ra
- Oroszországban gyártott turbógenerátor egységek alkalmazása 37% hatásfokkal
- 4x100%-os biztonsági rendszer alkalmazása (variáns: 2x200%-os rendszer)
- A VVER-TOI (Kurszk II. Atomerőmű) passzív maradványhő-elvezető rendszerének alkalmazása

VVER-S tervezési feltételek 2/2

- A reaktorépület fokozottan szeizmikus régiókban történő alkalmazásra való tervezése
- A villamos kábelkapcsolatok rövidítése azáltal, hogy az elektrotechnikai berendezéseket a fogyasztók közelében helyezik el
- Az üzemeltetés biztonságának növelése: A 10 kV-os és 0,4 kV-os berendezések szétválasztása, külön helyiségek kijelölése a tervezési alapon túli üzemzavarok biztonsági rendszerei számára
- A reaktorépület villamos helyiségeinek kivitele a szabad hozzáférésű zónába
- Kezdetben átmenetileg U, távlatban U-Pu üzemanyag használatát tervezik
- TUK 137.E konténer alkalmazása a telephelyen belüli üzemanyag szállításra, a friss és a kiégett üzemanyagra egyaránt

Spektrális szabályozású VVER-S reaktorok aktív zónájának tervezési megoldásai

A spektrális szabályozás alapjai

Az üzemanyag ciklus kezdetén a neutron spektrumot keményebbre alakítják, emiatt:

- A ciklus elején a páratlan tömegszámú izotópok hasadási keresztmetszete alacsonyabb,
- A ^{238}U izotópok hasadásának részaránya magasabb
- A ^{238}U izotópok neutron befogása, és így a Pu felhalmozódás magasabb
 - $^{238}\text{U}(n,\gamma)\rightarrow^{239}\text{Np}(\beta^-) \rightarrow ^{239}\text{Pu}$
- A ciklus végén a neutron spektrum lágyabb, a Pu intenzívebben kiég
- A cél nem Pu termelés, hanem a ^{238}U nagyobb mértékű felhasználása
 - A) az intenzívebb hasadás,
 - B) a ^{239}Pu -má történő átalakulás révén
- Célkitűzés: természetes U igény csökkentése 130 t/(GW_e*év) értékig

Spektrális szabályozás elve víz kizorító elemekkel

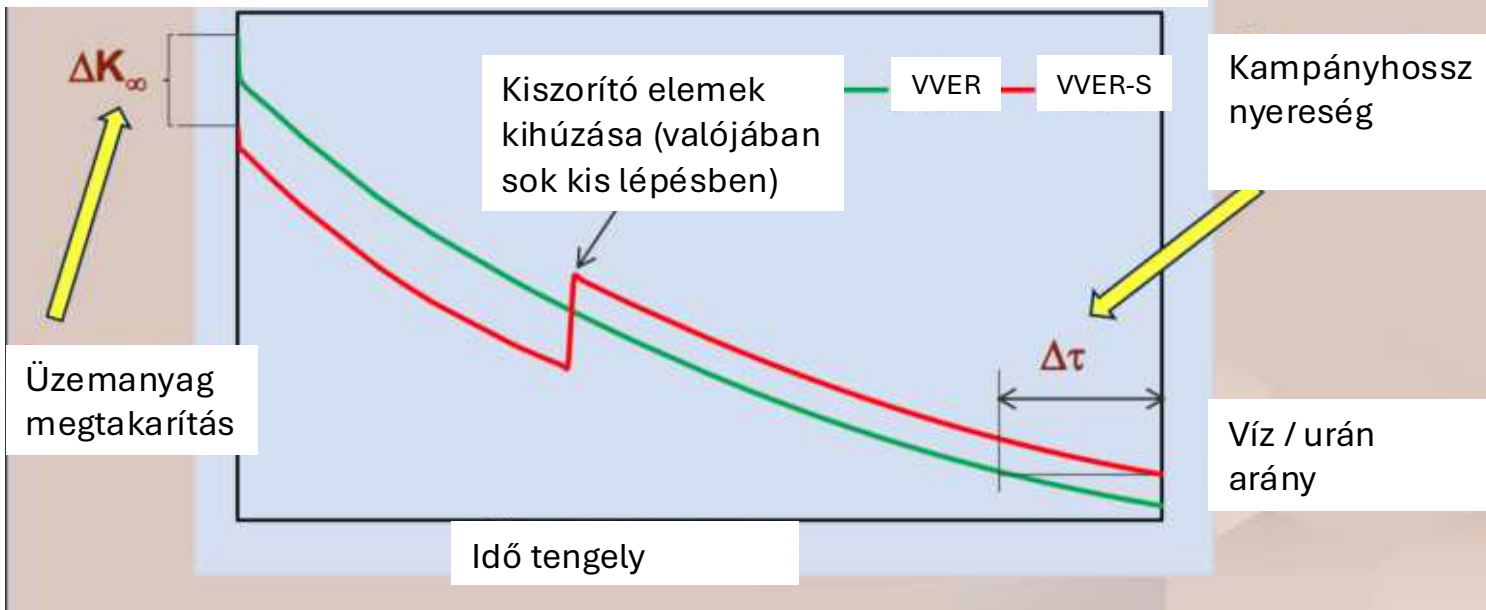


Üzemanyag:

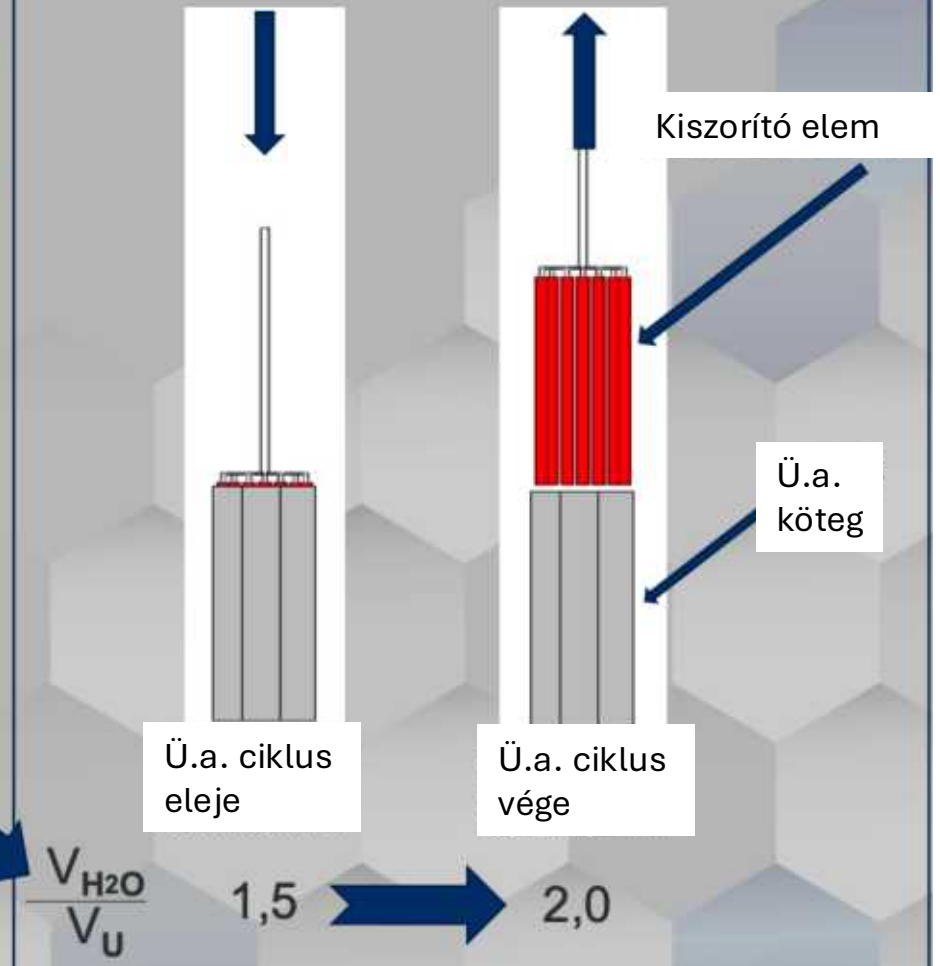
BBЭP: ^{235}U ;

BBЭP-C: $^{235}\text{U}+^{239}\text{Pu}$ (из $^{238}\text{U}(n,\gamma)$).

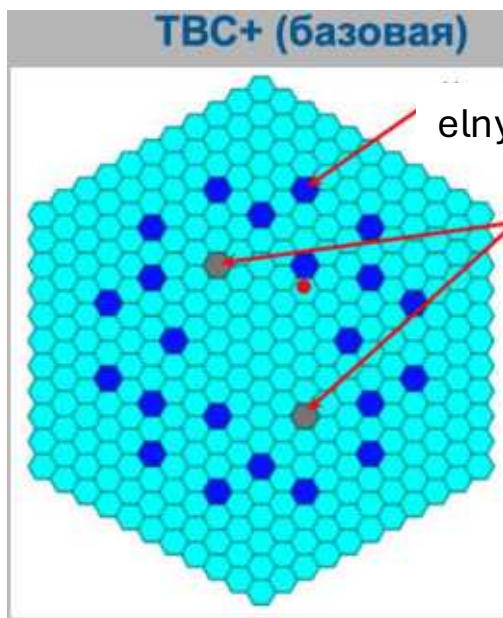
A kizorító elem működésének hatásai



A kizorító elem működése



A VVER-S-600 üzemanyagának két fejlesztési koncepciója

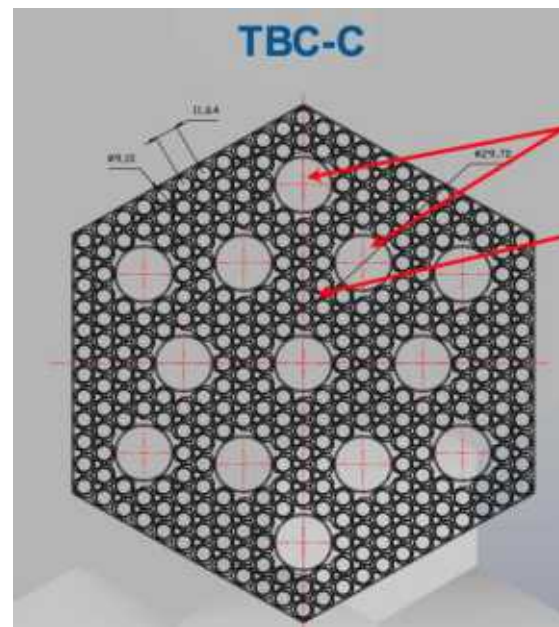


elnyelő pálca vezetőcső

mérő csatorna

Közös vonások:

- VVER 1200 reaktor tartály (kisebb fajlagos energia sűrűség)
- 121 SZBV köteg



kiszorító elem vezetőcsövei

mérő csatorna

TVS+ (Kóla 1,2 alapváltozat) műszaki jellemzői

- A TVS-2006 (TVS-M) műszaki megoldásai
- Az elnyelő pálcák számának megnövelése 22-re



- Az elnyelő köteg hatékonysága 25%-al nagyobb
- A reaktivitás szabályozása az elnyelő kötegekkel történik

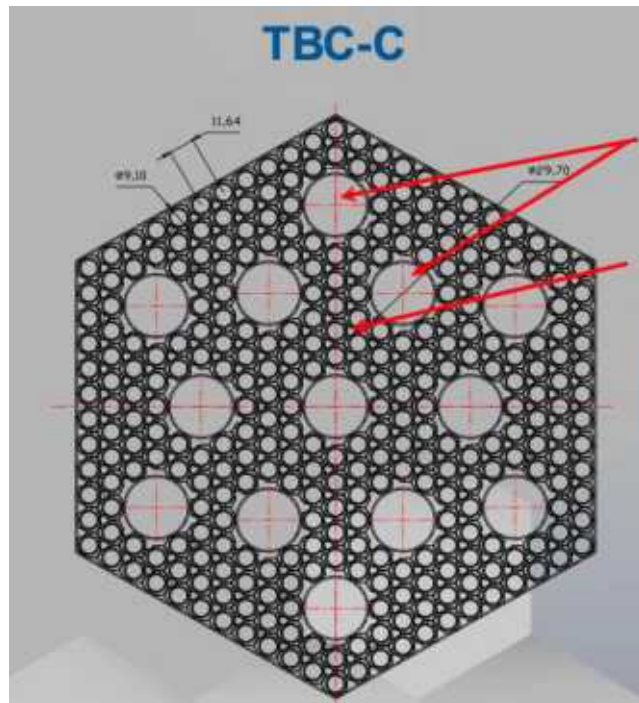
A perspektivikus TVS-S (spektrális) műszaki jellemzői

- Sűrű rácsosztás (11,64 mm)
- A víz-urán arány változtatása (1,5-2,0 tartományban)

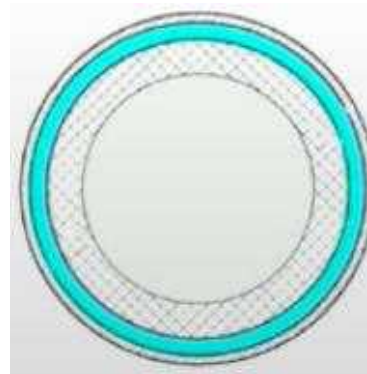


- A természetes U felhasználás kb. 5%-al kisebb
- Nem szükséges bóros szabályozás teljesítmény üzemben
- A teljesítmény igény (napi, éves) követése a kiszorító rudak használatával valósítható meg

A TVS-S üzemanyag köteg főbb jellemzői

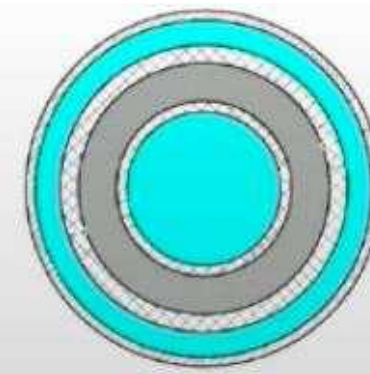


Kiszorító elemek



Kiszorító elem

Zr cső neutron nem elnyelő anyaggal kitöltve (SiO_2/MgO)

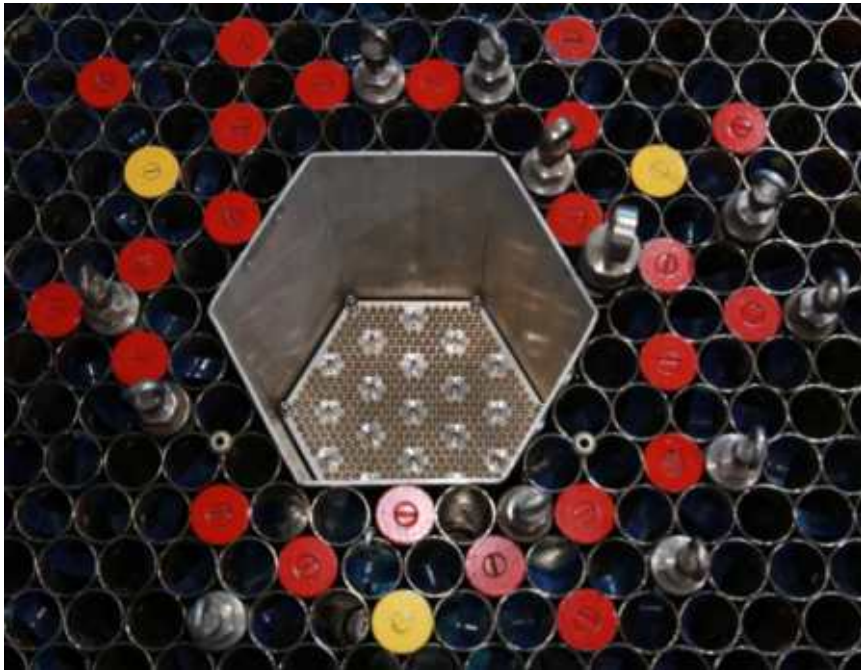


SZBV elnyelő pálca

Hengeres kialakítás
acél burkolattal

- TVS-M-el azonos méret
- 305 ü.a. pálca $d=9,1$ mm
- rácsméret 11,64 mm
- Cr burkolat
- 13 vezetőcső a kiszorító elemekhez

A ROSATOM «ГНЦ РФ – ФЭИ»
intézetében 2025. márciusban
megkezdték a VVER-S MOX
kazetták neutronfizikai jellemzőinek
kísérleti meghatározását a БФС-1
kritikus rendszeren



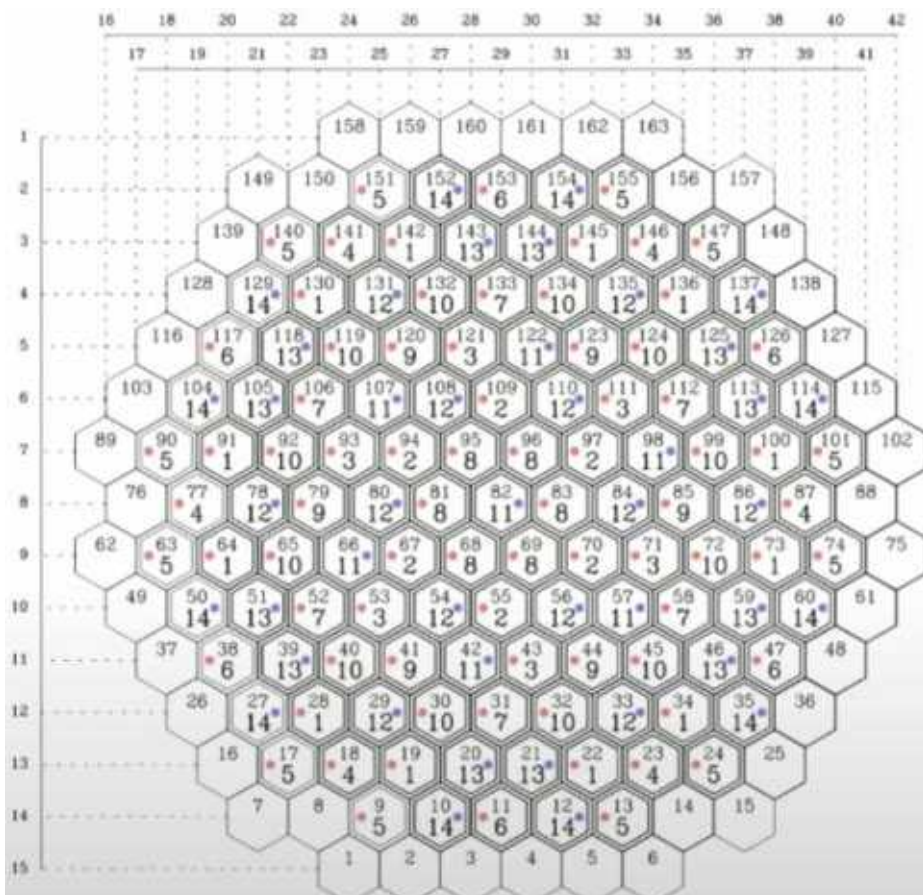
A TVS-S-el működő VVER-S-600 reaktor főbb jellemzői

Jellemző	Érték
Névleges hőteljesítmény	1600 MW
Villamos teljesítmény	600 MW
Hűtőközeg nyomása az aktív zóna kilépésénél	16,2 MPa
Hűtőközeg hőmérséklete az aktív zóna belépésénél	298 C
Hűtőközeg forgalom az aktív zónán keresztül	48 200 m ³ /h
Üzemanyag kötegek száma	163 db
Kiszorító elemeket tartalmazó üzemanyag kötegek száma	78 db
Elnyelő elemeket tartalmazó üzemanyag kötegek száma	43 db
Az üzemanyag kötegek rácsoztása	236 mm
Az aktív zóna magassága	3,73 m

A reaktivitás szabályozás koncepciója 1/2

- A VVER-S-600 reaktivitás szabályozását a kiszorító és elnyelő elemek együtt végzik
- A második független reaktivitás szabályozó rendszer: a folyékony elnyelő (bórsav) bevitele
- A bóros szabályozás a reaktor átrakásra történő leállításakor és a teljesítmény üzembe felvitel során van használatban
- A bóros szabályozás a reaktor teljesítmény üzeme során nincs használatban
- Az üzemanyag ciklus kezdetén a bórsav koncentráció kb. 0,3 g H_3BO_3 / kg H_2O . A ciklus során a bórsav koncentráció csökken (kb. 100 nap alatt 0-ra) a szervezetlen szivárgások tiszta kondenzátummal történő pótlása miatt. Így ioncserélő szűrők használata nem szükséges, ami a folyékony radioaktív hulladék mennyiségét csökkenti.

A reaktivitás szabályozás koncepciója 2/2



Piros: szabályozó elem

Kék: kiszorító elem

Felső szám: a köteg száma

Alsó szám: a szabályozó csoport száma

- A reaktivitás szabályozás teljesítmény üzemben a kiszorító elemekkel történik
- A kiszorító elem mozgatása a mért teljesítményeloszláson és optimalizáló számításokon alapuló algoritmus szerint történik, az egyenlőtlenségi tényező csökkentése érdekében
- A teljesítmény +/-2% tartományban történő változtatása a hőmérsékleti effektus segítségével történik (GF nyomás változtatással)
- A kiszorító elemek külön csoportja van kijelölve a 10%-ig történő teljesítmény változtatáshoz
- Ennél nagyobb teljesítmény változtatás és a reaktor leállítása meleg állapotba az elnyelő és a kiszorító szabályozó elemek együttes használatával történik. Ehhez bõros szabályozás nem szükséges.

Következtetések a reaktorfizikai számításokból

- Mindkét aktív zóna változat lehetővé teszi:
 - Takarékos természetes urán igényű üzemanyag ciklusok megvalósítását (nem több, mint 130 t természetes U / (GW_e*év)
 - 100 % MOX üzemanyag töltet alkalmazását
 - A bóros szabályozás elhagyását teljesítmény üzem során
- Mindkét aktív zóna változat kielégíti az orosz nukleáris biztonsági követelményeket
- A Kóla II. 1. és 2. blokkjához a TVS-600+ zóna változatot választották ki
- A TVS-S aktív zóna változatot vázlattevé szinten a nagy teljesítményű reaktorokra dolgozzák ki, hogy kihasználható legyen a spektrális szabályozás teljes potenciálja

VVER-S reaktor változatok

VVER-S-600

- Villamos teljesítmény 600 MW
- VVER-1200-as reaktortartály
- 163 üzemanyag köteg
- Aktív zóna magassága 3,73 m
- Telephely: Kóla II. atomerőmű



VVER-S-1200^X

- Villamos teljesítmény 1200 MW
- VVER-1500-as reaktortartály
- 241 üzemanyag köteg
- Aktív zóna magassága 4,2 m
- Telephely: nincs meghatározva
- ^X A VVER-S-600-as projekt megvalósításának eredményeként az adatok változhatnak

Kóla II: Átmenetileg U, távlatban U-Pu üzemanyag használata

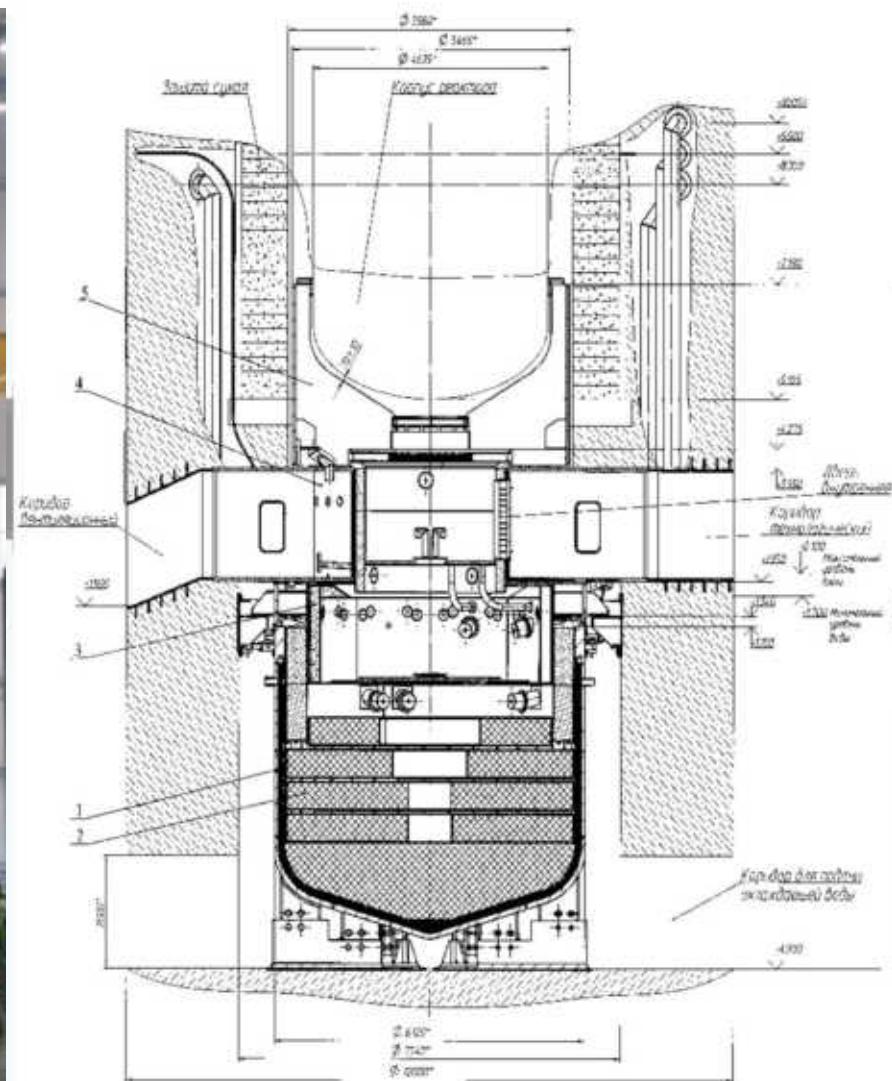
- Időhiány miatt kezdetben U üzemanyagra történik az engedélyeztetés, de a tervezés már az U-Pu üzemanyag feltételei szerint történik, ami egy újabb lépésként lesz engedélyeztetve
- A friss üzemanyag tároló tervezése eleve az U-Pu üzemanyag figyelembe vételével történik (átrakógép elhelyezhető, távműködtetett kezelés kialakítható)
- A friss üzemanyag tároló sugárvédelemi tervezése is az U-Pu üzemanyagra történik
- A pihentető medence kapacitása 10 éves tárolást tesz lehetővé
- Az üzemanyag belső mozgatására a nehéz TUK-137.E konténert használják, az erre tervezett szállító berendezések az U-Pu üzemanyagra később készülő konténert is nagy valószínűséggel kezelni tudják

A zónaolvadék kezelése a VVER-S-600 reaktorban

A 3+ generációs blokkok egyik legfontosabb passzív biztonsági berendezése a zónaolvadék csapda.

A VVER-S ettől eltérően a **reaktortartályon belüli megtartás és hűtés** koncepcióját alkalmazza.

AES-2006 blokk olvadékcsapdája



Tömege 730 t
Magassága 15,2 m
Átmérője: 11 m



Megérkezett a zónaolvadék-csapda Paksra 2024 augusztus

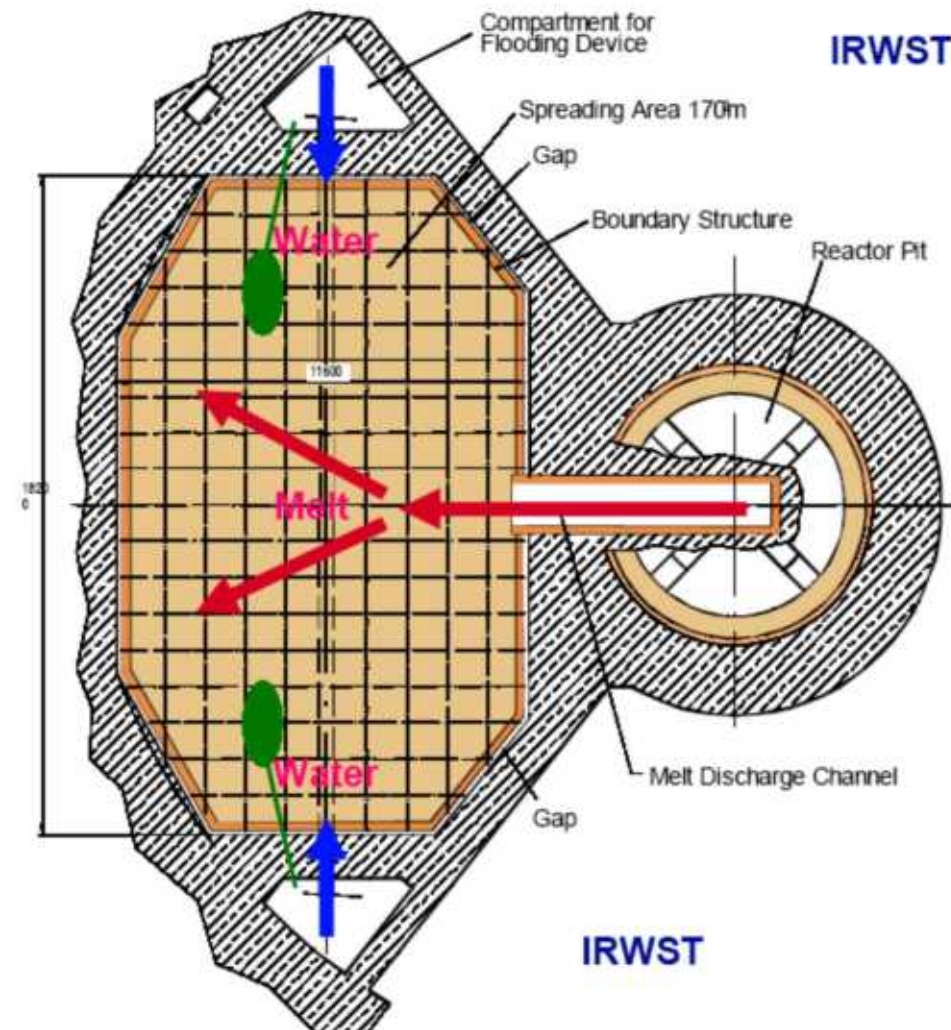
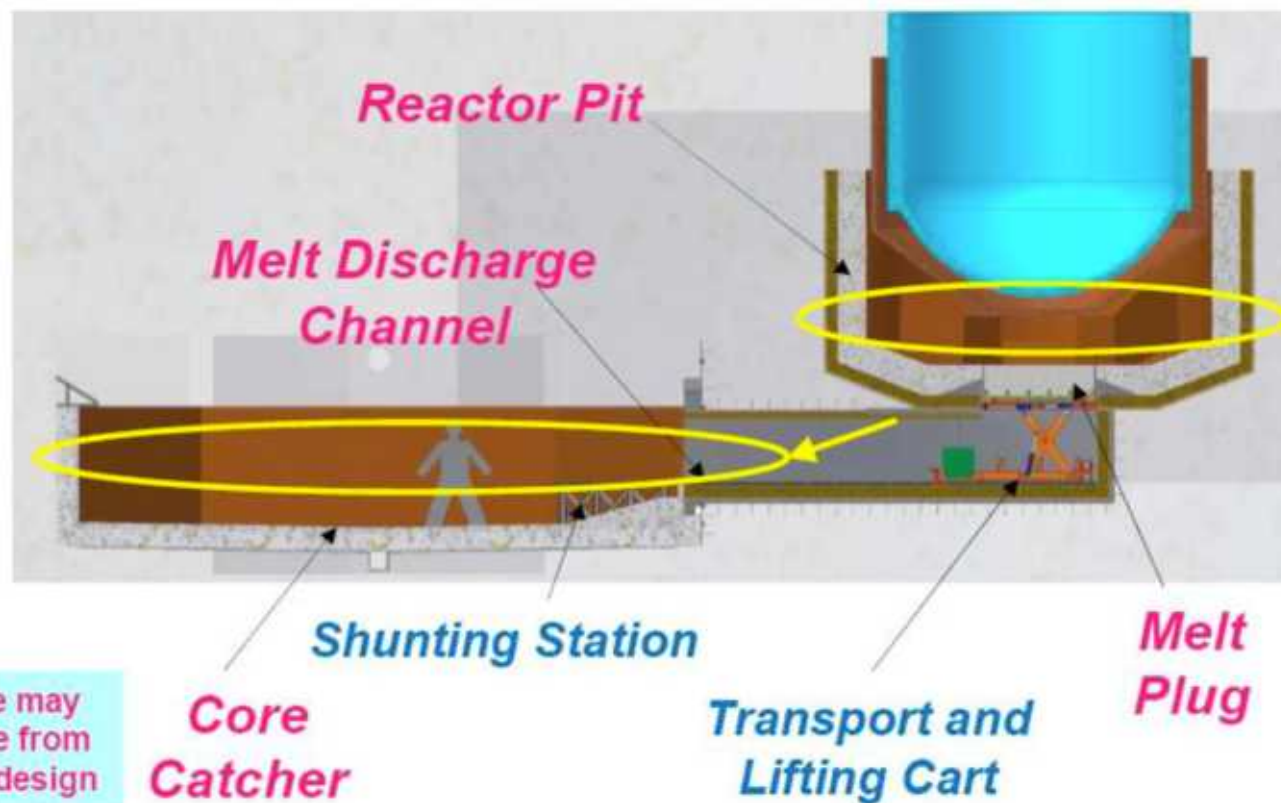
A 730 t-ás berendezés az Energotex gyárból
42 nap és 4000 km út után jutott Paksra.

A gyártási dokumentáció jegyzőkönyvekkel,
műbizonylatokkal, hőkezelési diagramokkal
együtt közel 500 kg tömegű.



EPR-1600 blokk olvadékcsapdája

Az olvadék 170 m² felületen terül szét, ami segíti a hűtést és a szilárdulást.
Az olvadék felületére és a területi zóna alatti hűtőcsatornákat passzív megoldással vizet juttatnak.

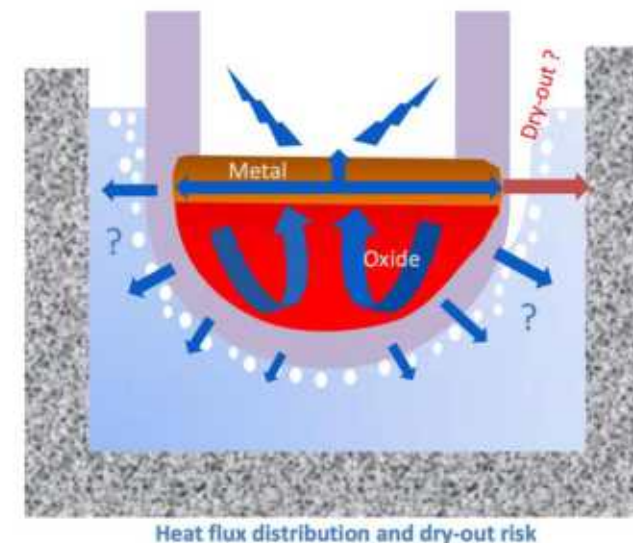


A zónaolvadék reaktortartályon belüli megtartása és hűtése

A **reaktortartályon belüli megtartás és hűtés** (IVR – In-Vessel Retention) olyan súlyosbaleset-kezelési stratégia, amelynek célja, hogy a **zónaolvadék** *ne jusson ki a reaktortartályból*, miközben külső hűtést biztosítanak a tartály számára.

- Az olvadék felületén kerámia szerű anyag képződik, amely akadályozza a hőelvezetést
- Ezért a reaktortartályt körülvevő aknát árasztják el vízzel
- A tartály külső felületét a víz közvetlenül hűti
- A víz a tartályfalon **buborékos forrásos hőátadásba** lép
- A gőz eltávozik, a víz pótlódik → **folyamatos hőelvonás**

A buborékos forrás hatékony hőátadás, de ha a felület túlmelegszik, átmehet filmforrásba, amely sokkal rosszabb hőátadó.



Tartályon belüli olvadék megtartás VVER-600 és VVER-S

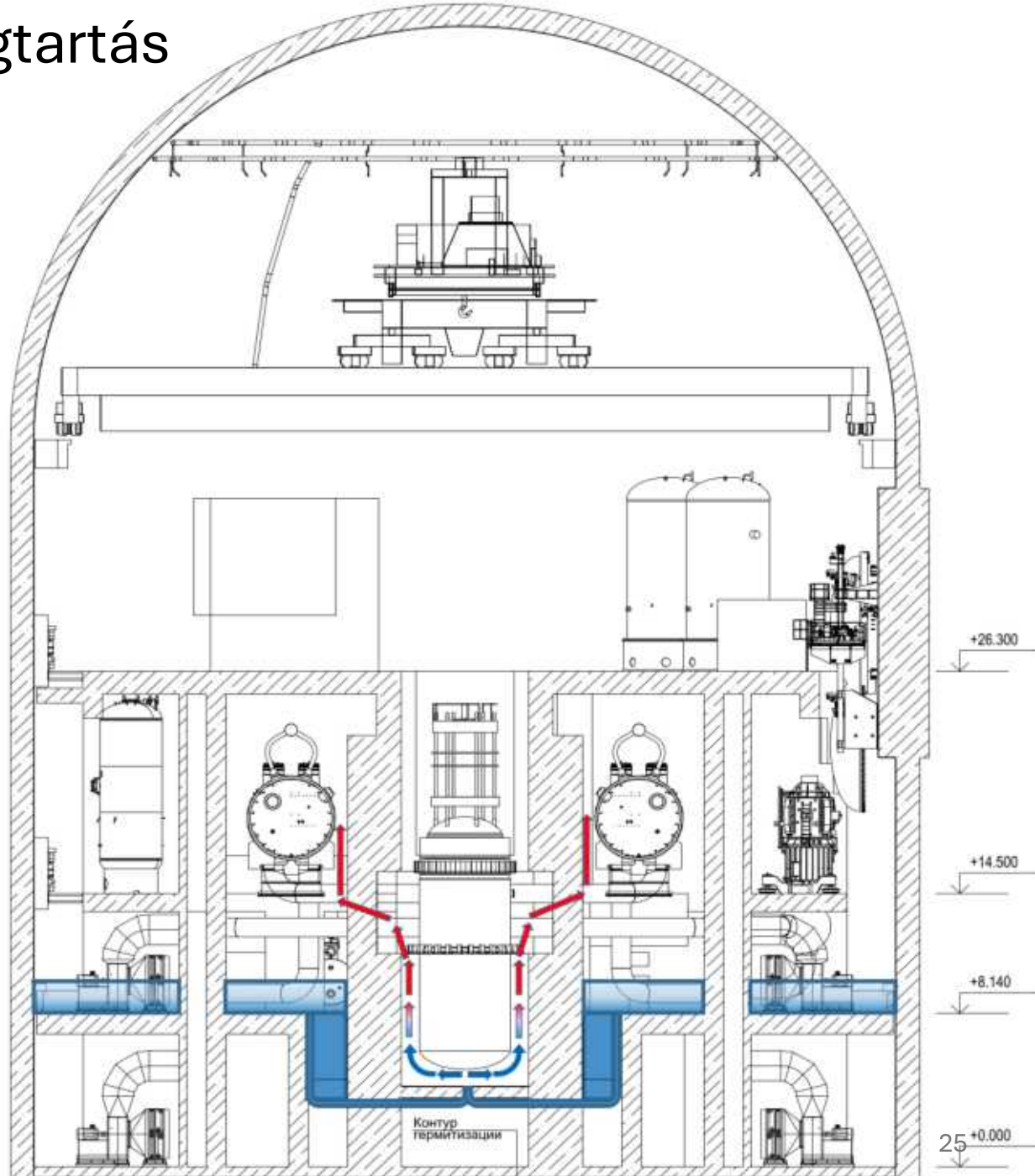


СУРОК – Система Удержания
Расплава и Охлаждения
Корпуса реактора
(oroszul: mormota)

IVR – In-Vessel Retention

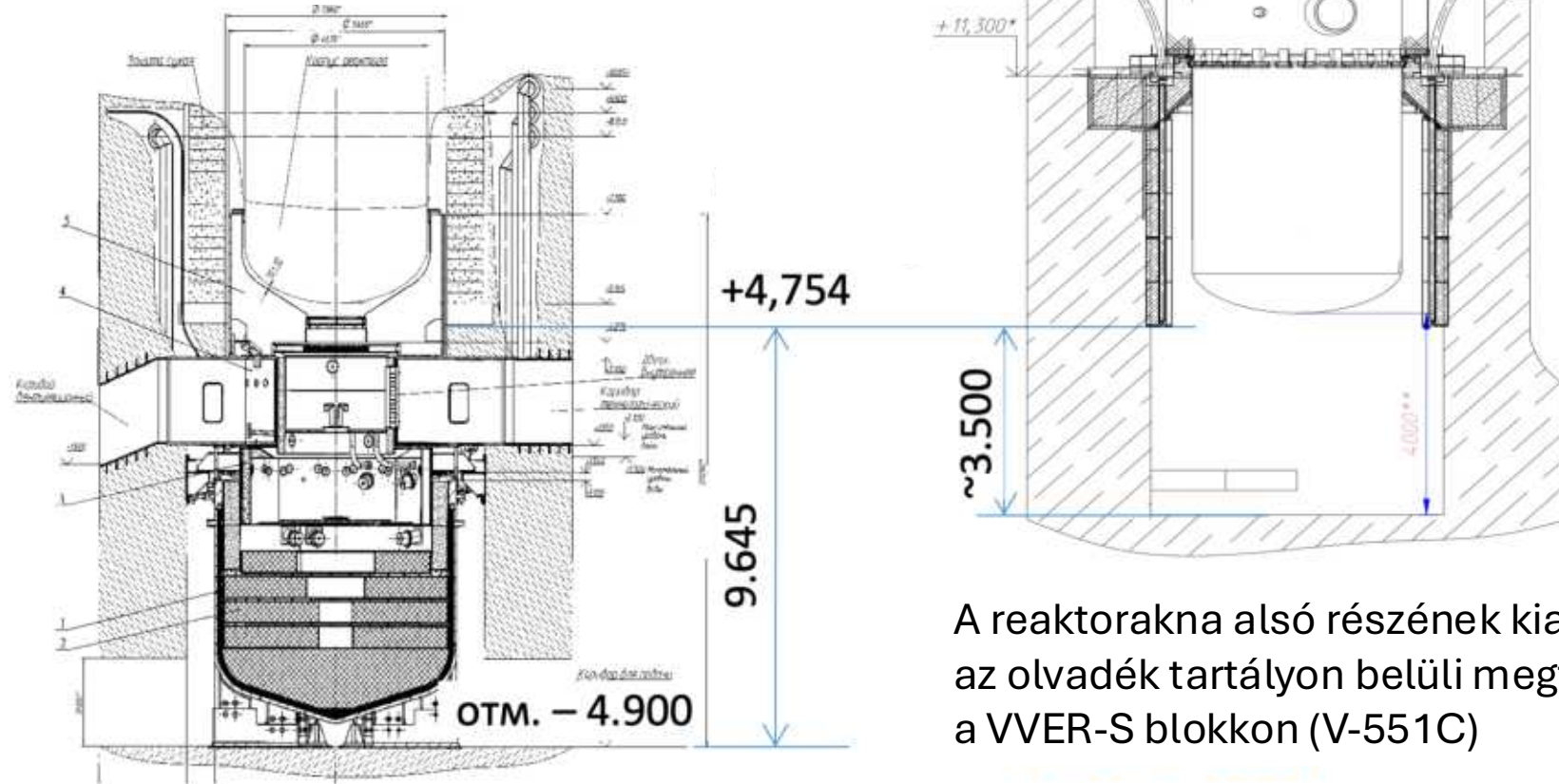
- A tartályon belüli olvadék megtartási koncepció közepes méretű VVER reaktoroknál (VVER-600 és VVER-S-600) megvalósítható a reaktortartály külső hűtésével.
- A koncepció nem igényli a primerköri főberendezések elrendezésének módosítását.

Pantyushin: Razrabotka_sistemy_uderzania_rasplava_i_ohlazdeniya_korpusa_dla_proektov_VVER-S-600, GIDROPRESS, 09/2024



Az olvadék kezelés két módszerének szerkezeti megoldása VVER reaktoroknál

Olvadékcsapda kialakítása VVER 1200-as NV-2 erőműnél



Az olvadék tartályon belüli megtartásának előnyei:

- A 700-800 t tömegű olvadékcsapda fémszerkezetének megtakarítása,
- A reaktor alatti tér és a konténment magassága minimum 6 m-el kisebb

A zónaolvadék reaktortartályon belüli megtartásának referenciái

Nyomottvizes reaktorok, amelyek IVR-t alkalmaznak:

- A Westinghouse AP600 reaktort az NRC 1999-ben ezzel a koncepcióval engedélyezte – de ilyen blokk soha nem épült meg.
- Az AP600 esetében alkalmazott megközelítést később kiterjesztették az AP1000-re is, 6 ilyen blokk üzemel: Vogtle 3&4; Sanmen1&2 és Haiyang 1&2
- VVER-440-es blokkok biztonságnövelő átalakítása: Loviisa, Paks, Dukovani, Mohovce
- SMR-ek több típusa: NuScale (USA), CAREM (Argentína), SMART (Korea), ACP100 (Kína)

IRSN jelentés 2015: A 600 MW_e vagy annál kisebb teljesítményű reaktorok esetében a jelenlegi ismeretek lehetővé teszik a tartályon belüli olvadék visszatartási stratégia alkalmazását, feltéve, hogy a tartály geometriája és a külső hűtőrendszer kialakítása megfelelő.

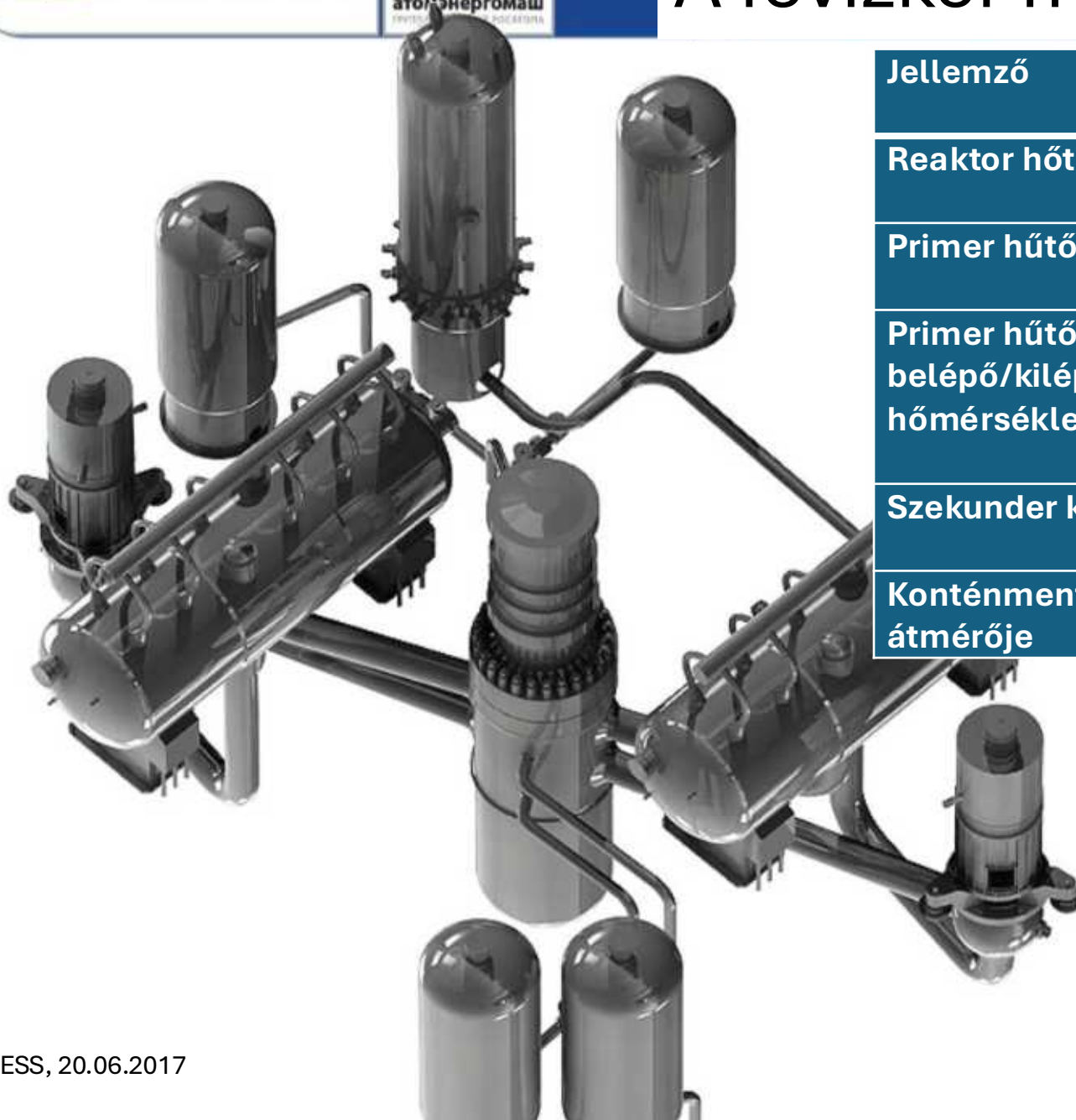
VVER-S-600

technológiai megoldások

Biztonsági rendszerek összehasonlítása

	VVER TOI	VVER-S-600 (két változat)	
Hőteljesítmény, MW	3300	1600	
Üzemanyagciklus hossza, hónap	12 - 18	12 – 18 - 24	
Teljesítmény szabályozás	bóros szabályozás	spektrális szabályozás	
Reaktor tervezett üzemideje	60 év	80 év	
MOX üzemanyag	lehetősége előirányozva	100%	
Primerköri hurkok száma	4	2	
Biztonsági rendszerek redundanciája	2 csatorna 2 x 100%	4 csatorna 4 x 100%	2 csatorna 2 x 200%
Üzemzavari zónahűtő szivattyúk	nagy- és kisnyomású szivattyú minden csatornában	egy szivattyú kiterjesztett jelleggörbével	
		minden rendszerben	minden alrendszerben
3. fokozatú hidroakkumulátor	igen	nem	
Biztonsági dízel teljesítménye	2 x 6,3 MW	4 x 5 MW	
Biztonsági rendszer tervezett karbantartása üzem közben	nem engedélyezett	a rendszer egésze 720 órára	az alrendszer egésze 720 órára
Zónaolvadék kezelése	olvadékcsapda	reaktortartályon belüli megtartás	
Segédépület (rad. hulladékkezelés)	blokkonként külön	két blokkra közös	

A fővízkör műszaki jellemzői



Jellemző	Érték
Reaktor hőteljesítmény	1600 MW
Primer hűtőkör nyomása	16,2 MPa
Primer hűtőközeg belépő/kilépő hőmérséklete	299/325 C
Szekunder kör nyomása	7 MPa
Konténment belső átmérője	36 m

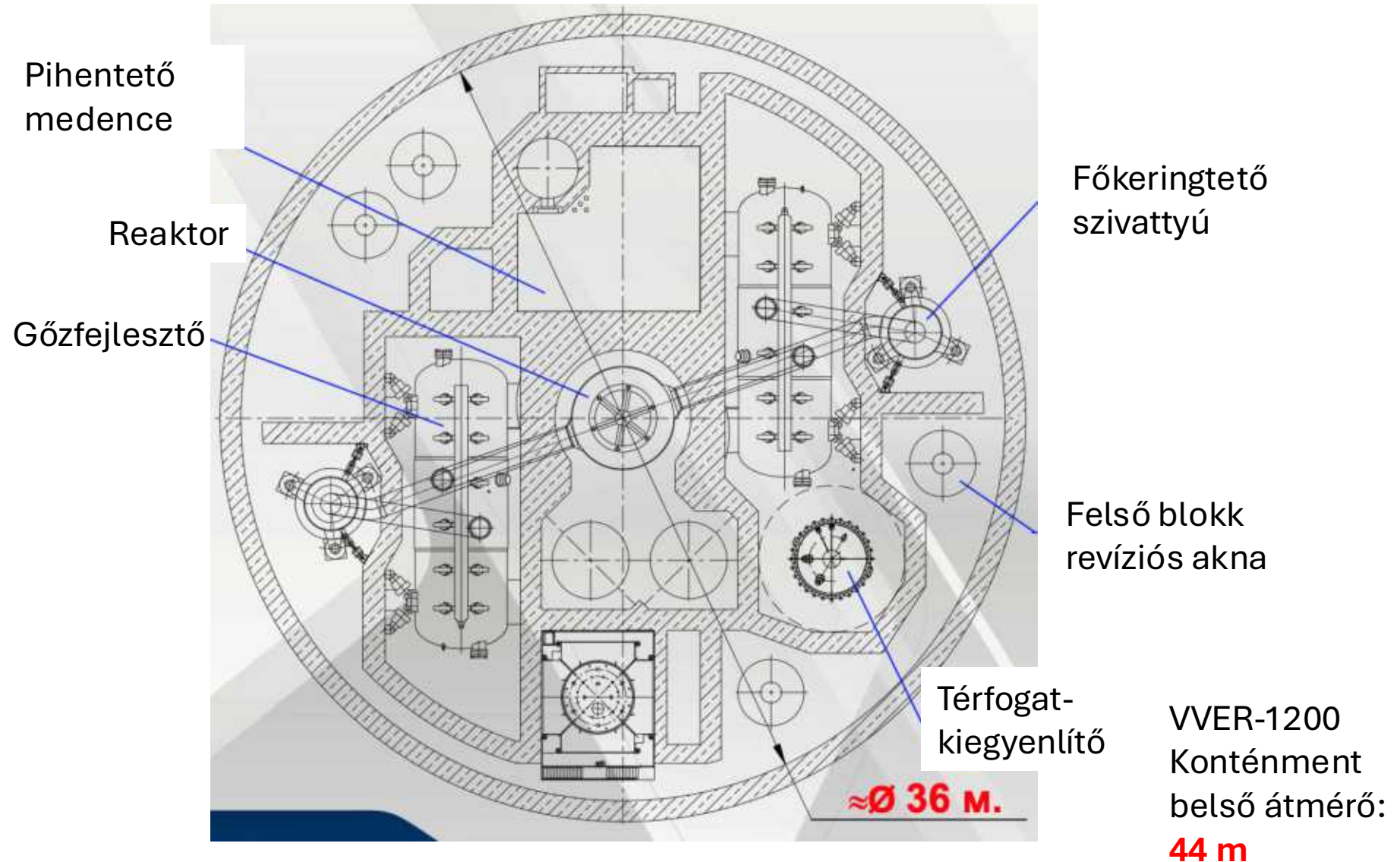
A főberendezések jellemzői

Berendezés	Jellemzők
Gőzfejlesztő	PGV-1000MKP, a VVER-1200-nál alkalmazott
Főkeringtető szivattyú	GCN-1753, a VVER-TOI-nál alkalmazott
Főkeringtető vezeték	NÁ 850, mint a VVER-1200-nál és TOI-nál
Térfogatkiegyenlítő	mint a VVER-1200-nál és TOI-nál
Hidroakkumulátor 1. fokozat	mint a VVER-TOI-nál
Hidroakkumulátor 2. fokozat	mint a VVER-1200-nál és TOI-nál



A főberendezések gyártása bejártott, gyártási dokumentációja és technológiája rendelkezésre áll

VVER-600 primerköri főberendezések elrendezése 1/2



VVER-600 primerkörü főberendezések elrendezése 2/2

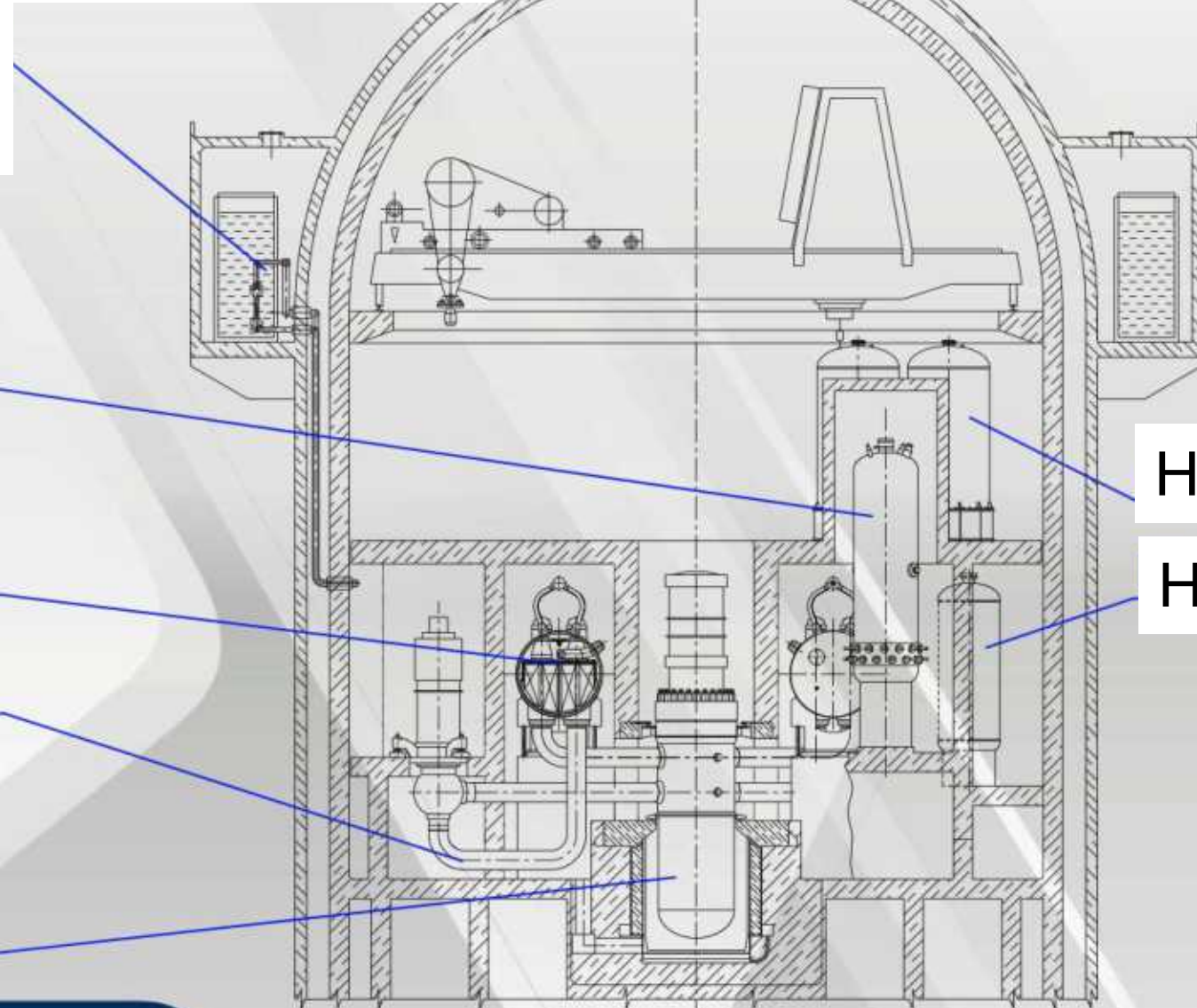
Passzív
hűtőrendszer

Térfogat-
kiegyenlítő

Gőzfejlesztő

Főkeringtető
vezeték

Reaktor



HA-2

HA-1

S. B. Rizhov, GIDROPRESS, ATOMEXPO 2010

K-600-5.9/50 turbina

- Gyártó: a Leningrádi Fémművek (LMZ), a Szilovüje Masini holding része
 - Névleges villamos teljesítménye 600 MW
 - Eredetileg a nem megvalósult koztromai VVER-600-as blokkhoz tervezték
- Bár az LMZ sok referenciával rendelkezik a nagyobb (1000-1200 MW) és kisebb (VVER-440) turbinák terén, ez a konkrét K-600-5.9/5 változat jelenleg a tervezési és előkészítési fázisban van, így referenciaként egyelőre csak a tervek és a gyártói kapacitás szolgál.
- *Az atominfo.ru 2025.12.11-én a „Kommerszant”-ra hivatkozva azt írja, hogy a Kóla II. atomerőmű 3. és 4. blokkjaira a turbinát a kínai Dongfang Electric szállíthatja, mert az olcsóbb lehet, mint az LMZ turbinája*

A VVER-S-600 prototípusának
telephelye: Kólai Atomerőmű II.

Kólai Atomerőmű 1-4 blokk





Blokk	Típus	Üzembe helyezés	Várható leállítás
Kola-1	VVER-440/230	1973	2033*
Kola-2	VVER-440/230	1975	2034*
Kola-3	VVER-440/213	1981	2036
Kola-4	VVER-440/213	1984	2039
Kola II-1	VVER-C 600	2035 (terv)	
Kola II-2	VVER-C 600	2037 (terv)	

* 1. és 2. blokk:

- Első üzemidő hosszabbítás 15 évvel 2018-ig ill. 2019-ig
- Második üzemidő hosszabbítás 15 évvel 2033-ig ill. 2034-ig a 2019-ben befejezett biztonságnövelő programot követően

Kóla 1. és 2. blokk második üzemidő hosszabbítása 2019-ben

*Meglepő lehet, hogy lokalizációs
torony nélküli reaktorok
üzemelhetnek 2033-34-ig*

Egy példa az 1. és 2. blokk
biztonságnövelő átalakításaira:
a hidroakkumulátorok helyszínre
emelése

2016.11.03

<https://www.atomic-energy.ru/>



Alekszej Lihacsov 2025.07.02-én a helyszínen megerősíti,
hogy 2027-2037 között két VVER-S 660-s blokkot építenek Kólán.

Omelcsuk Vaszilij

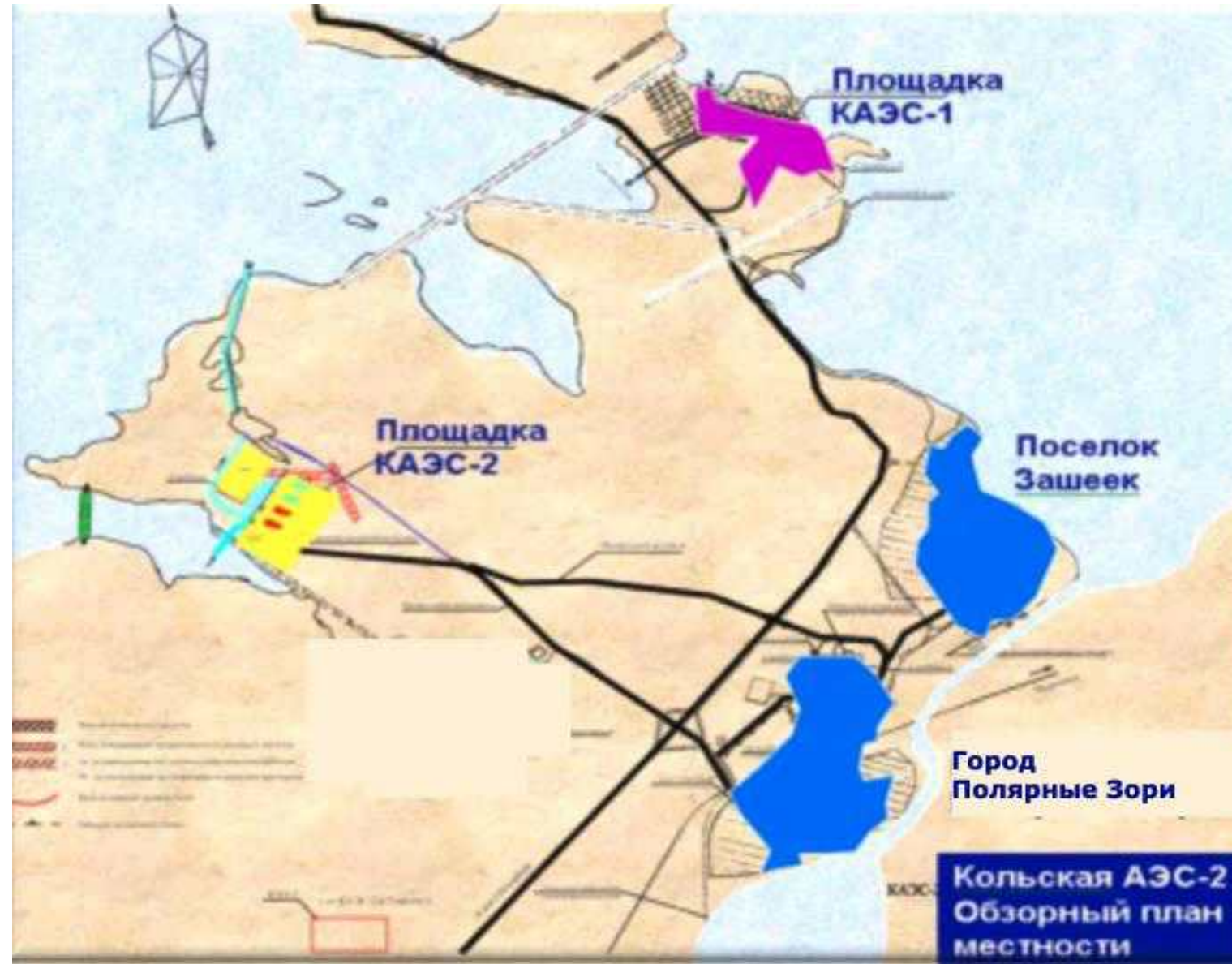


A Kóla Atomerőmű II. kiépítés tervezett elhelyezkedése

Kóla I. kiépítés távolsága

- Poljarnüje Zori településtől: 11 km
- Murmanszktól: 170 km

A Kóla félsziget villamos
energiarendszere max. 800
MW teljesítményű blokk
befogadására alkalmas





A Kóla-II erőműben a kondenzátor hűtését jelenleg hűtőtornyok alkalmazásával tervezik.

- Az Orosz Föderáció Vízügyi Törvényének 60. cikke szabályozza a víztestek védelmét a vízgazdálkodási rendszerek tervezése, építése és üzemeltetése során.
- „Közvetlen vízkivételű vízellátó rendszerek tervezése nem megengedett.”
- Remélik, hogy a közeljövőben megtörténik a törvény olyan módosítása, ami megengedi a friss vizes hűtés kialakítását az Imandra tóból





Növekvő villamosenergia igény

- A Kóla félsziget északi részén 20,4 M t/év kapacitású, úszó földgáz cseppfolyósító üzemet építenek, ami növeli a villamosenergia iránti igényt
- 2027-re várható az első 1/3 üzemrész indítása
- 1300 km gázvezeték építése van folyamatban, amit régóta terveztek, de az ukrajnai háború után döntöttek a megvalósításáról
- Az erőműtől egy új 330 kV-os távvezeték építenek Murmanszkig

Forrás: thebarentsobserver.com

Atomic-energy.ru

Ütemterv a VVER-S-600 blokk építéséhez

- 2025: A Főkonstruktor műszaki-tudományos tanácsának döntése a a Kola-II. Atomerőmű jellemzőinek kiválasztásáról
- 2026: Telephely engedély, a reaktorberendezés műszaki terve
- 2027: Tervezési dokumentáció, komplex mérnöki felmérések
- 2028: A tervezési dokumentáció állami szakértői vizsgálata, létesítési engedély az 1. és 2. Kola-II Atomerőmű blokk építésére
- 2030: Első beton az 1. blokknál
- 2032: Első beton az 2. blokknál
- 2035: Az első blokk indítása

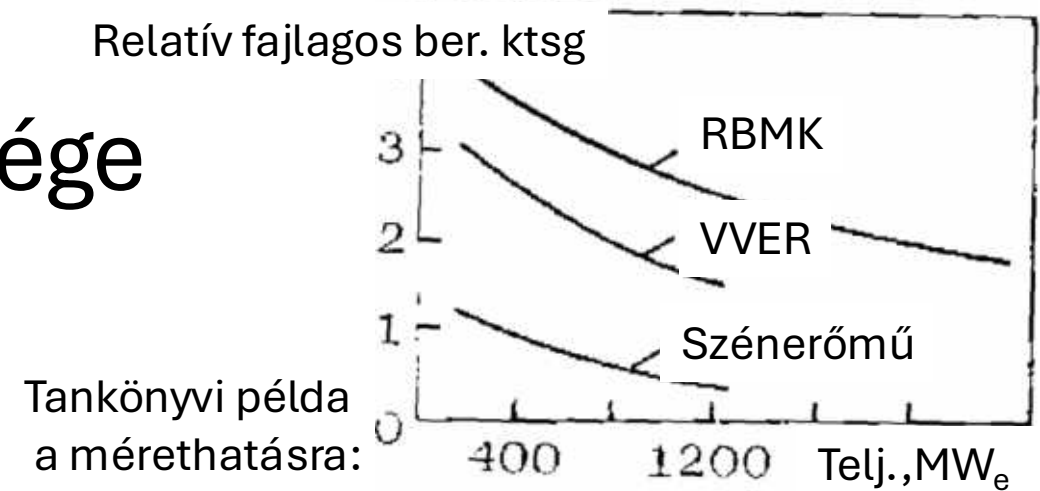
Megéri-e közepes teljesítményű atomerőműveket építeni?

Válasz: nem egyértelmű

ROSENERGOATOM követelmények közepes teljesítményű, kétblokkos atomerőműhöz, 2014

Megnevezés	Célérték	VVER-600
Üzemanyag ciklus hossza, hónap	12-24	12-18
Üzemviteli személyzet fajlagos létszáma, fő/MW	0,37	0,35
Ipari-termelő személyzet fajlagos létszáma, fő/MW	0,7	0,69
Teljesítmény változtatási képesség, %	100-50(40)*-100	100-50-100
Létesítési időtartam az első betontól az első kritikus állapotig, hónap • az első blokknál • a széria blokkoknál	48 40	48 / 56 ^X 40 / 48 ^X
Beruházási költségmegtakarítás a szériablokknál a VVER TOI-hoz képest, %	25	27

A VVER-600 beruházási költsége a VVER-1200-hoz viszonyítva



Ellentmondó információk:

- Vahrusin V. M. (GIDROPRESS) 2017.06.20-i előadása szerint a VVER-600 szériablokknál a beruházási költségmegtakarítás 27% a VVER TOI-hoz képest
- Szergej Rüzskov, a GIDROPRESS vezérigazgatója 2011.05.12-én adott interjúja szerint
 - a VVER-600 fajlagos beruházási költsége 5-7%-al nagyobb, mint a VVER-1200 blokké
 - Előnyös a kipróbált berendezések alkalmazása, az olvadékcsapda elhagyása, a kisebb konténment
 - Hátrány a mérethatásból adódó kétszeres különbségi faktor sok tételnél
- Omelcsuk V. V., a Kólai AE igazgatójának 2025. decemberben adott nyilatkozata szerint a két VVER-S blokk becsült beruházási költsége 800 Mrd Rubel (10,4 Mrd USD)

erőmű00	beruházási költség	forrás /megjegyzés	fajlagos beruházási költség
2x VVER-S-600, Kóla II	800 Mrd Rubel (10,4 Mrd USD)	2025.12.25. TASS/Reddit (Omelcsuk V.) <i>2025-ben a Rubel 44%-ot erősödött az USD-hez képest</i>	8,7 Mrd USD/GW
1x VVER-S-600, Habarovszki körzet	minimum 250 Mrd Rubel (3,25 Mrd USD)	2025.12.24. Forrás: TASS (A Habarovszki körzet kormányzójának, D. Demesinnek a nyilatkozata)	5,4 Mrd USD/GW (minimum)
2x VVER-1200, Paks-II	12,5 Mrd EUR	2015. évi szerződés <i>(azóta módosult, az új ár nem közzismert)</i>	5,2 Mrd EUR/GW (?)
4x VVER-1200 El-Dabaa, Egyiptom		2022.01.19. Forrás: Kommersant	6,25 Mrd USD/GW
2x koreai APR-1000, Dukovany II	18 Mrd USD	2025.06.04. forrás:Reuters CfD, az EB újra vizsgálná	9 Mrd USD/GW
2x EPR-1640, Hinlkey Point C	46 Mrd GBP	2022: 26 Mrd GBP (CfD) 2025: 46 Mrd GBP forrás:2024.01.23., BBC	16 Mrd EUR/GW
2x 1114 MW Westinghouse APR-1000, Vogtle 3,4	30 Mrd USD	2024.05.01. US Energy Information Administration	13,4 Mrd USD/GW
2x EPR-1660, Taishan 1,2	52 Mrd yuan (8,3 Mrd USD)	2019-2020, forrás: wikipedia	2,5 Mrd USD/GW
10x új kínai 1000 MW blokk építésének keretösszege	200 Mrd yuan (27,44 Mrd USD)	2025.04.28, forrás: Reuters, <i>a kínai államtanács által jóváhagyott keret</i>	2,74 Mrd USD/GW

Atomerőművek fajlagos beruházási költsége

megjegyzések az előbbi táblázathoz

- Nehéz a nemzetközi összehasonlítás, mivel befolyásol az építés időpontja, késedelme, az infláció és az árfolyamváltozások
- Olcsóbb az építés Kínában, drágább Európában és USA-ban
 - A tényleges költség gyakran meghaladja a tervezettet (főleg Európában és az USA-ban)
 - A jelentős költségtúllépés éppen a nagyteljesítményű blokkokat érinti
 - Nagy a hatása a szabályozási környezetnek
- A VVER-S-600-at adatok hiányában nem tudtam hasonlítani a VVER-1200-hoz vagy a VVER TOI-hoz
- A VVER-600 alkalmazási területe: Villamos hálózati korlátok, távoli gazdasági körzetek esetén nem a fajlagos beruházási költség az elsődleges

VVER fejlesztési kilátások

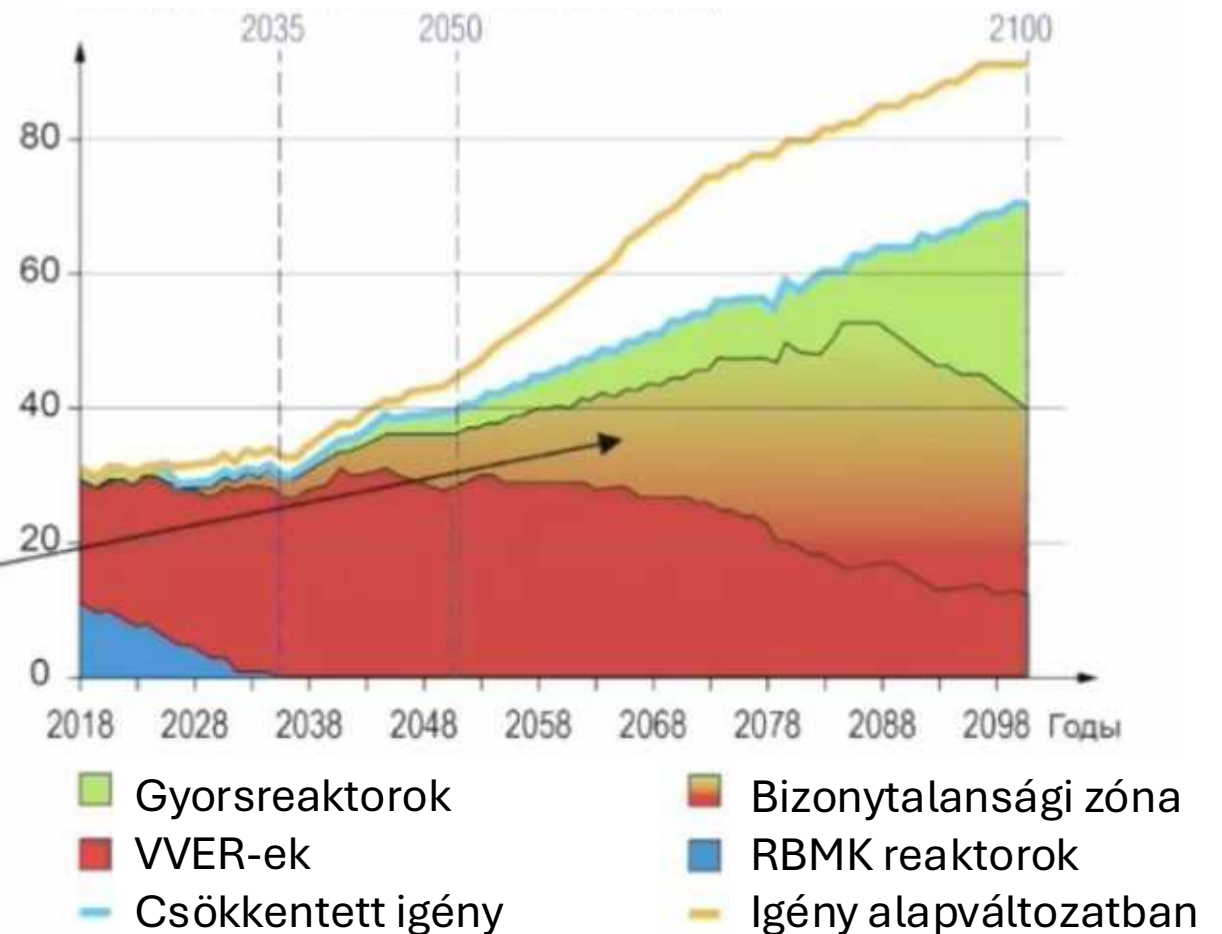
A VVER technológia fejlődése: VVER-S és szuperkritikus nyomású VVER-SKD

Célok:

- Természetes U igény csökkentése
- Bóros szabályozás elhagyása (legalább teljesítmény üzemben)
- Cirkónium ötvözetek elhagyása az aktív zónában
- Termikus hatásfok javítása

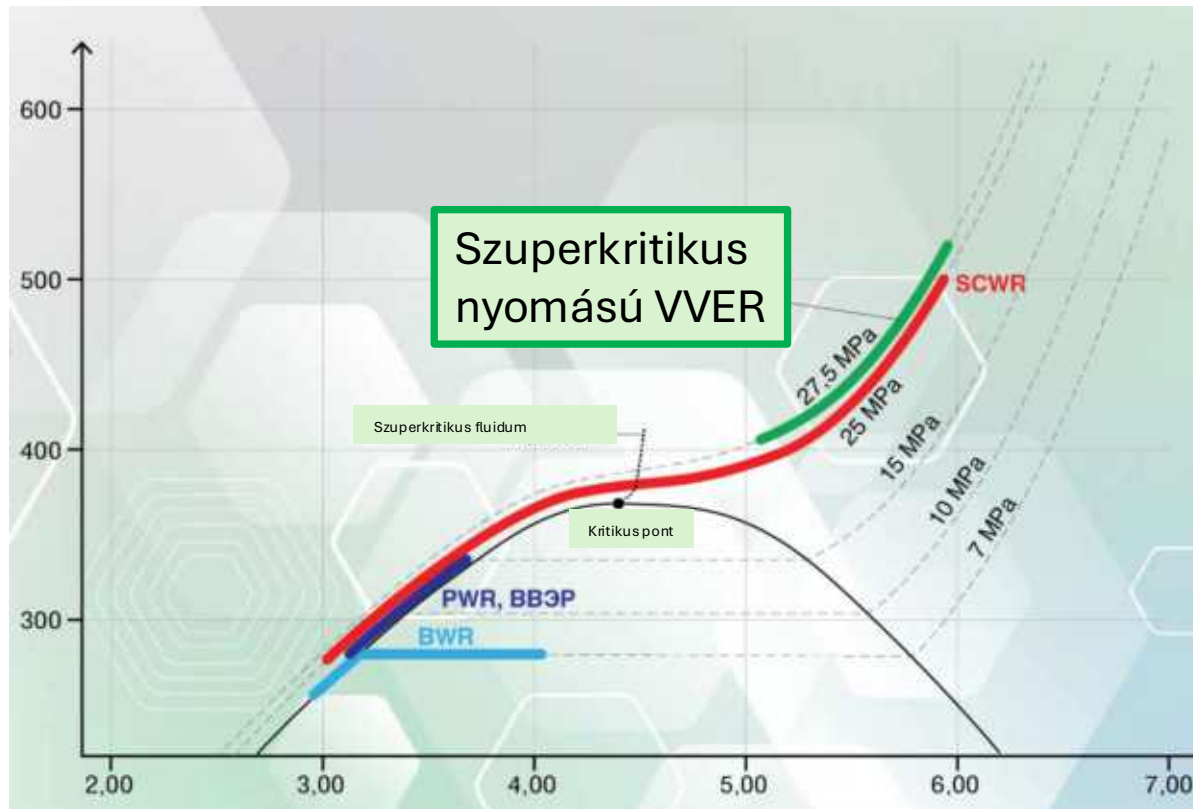
A VVER technológia fejlődése fedezi a gyorsneutronos reaktorok létesítésének esetleges lassúbb ütemét

Oroszországi atomerőmű összteljesítmény, GW



Szuperkritikus nyomású VVER - *scifi*?

Hőmérséklet, C



Fajlagos entrópia, kJ/(kg*K)

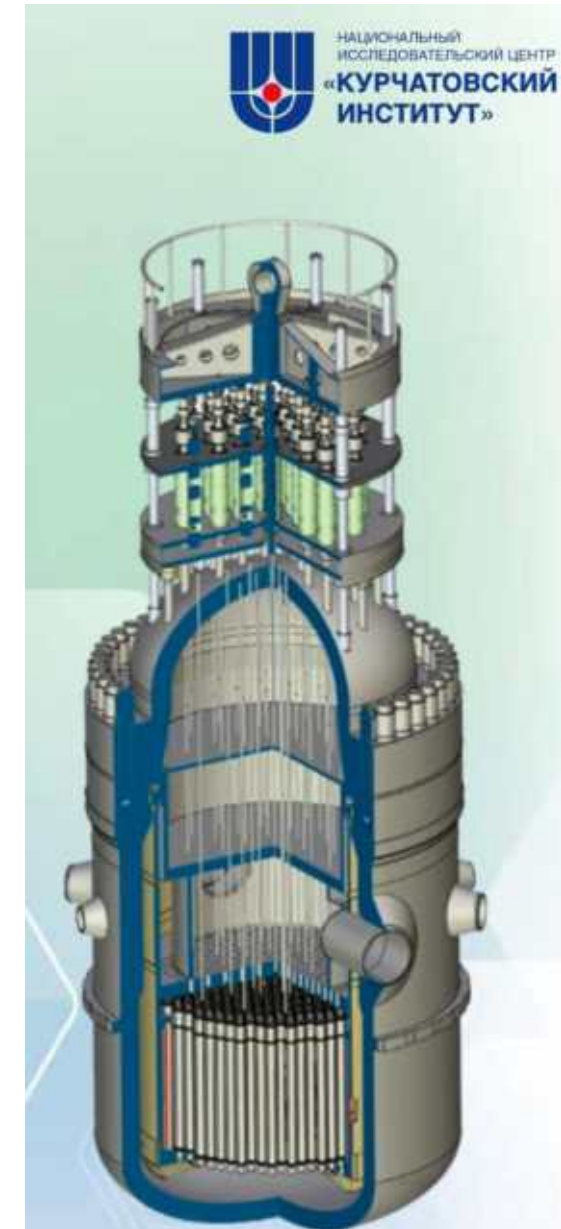
Hőteljesítmény: 1250 MW

Reaktor hűtőközeg nyomása: 27,5 MPa

Hűtőközeg sűrűsége a reaktorba belépésnél/kilépésnél: 207/85 kg/m³

Hűtőközeg hőmérséklete a reaktorba belépésnél/kilépésnél: 405/520 C

Az extrém paraméterek rendkívüli technológiai nehézséget jelentenek!



A VVER technológia fejlesztésének stratégiai céljai

Paraméter célértékek	VVER-1200	VVER-1300 (TOI)	VER-S-600	VVER-S- 1200	VVER- SKD
Villamos/hő teljesítmény	1170/3200	1255/3300	600/1600	1200/3200	?
Létesítés időigénye, év	6	6	5	<6	<5
Megvalósítás időpontja	2017	2025	2035	2040	>2050



РОСАТОМ



Национальный
исследовательский центр
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



Összefoglalás

- A spektrális reaktor szabályozás komoly technológiai váltás, a részletei ma még nincsenek kidolgozva
- A Kólán létesülő VVER-S-600 prototípus az időkényszer miatt kompromisszumos, átmeneti megoldásokkal valósulhat meg
- A VVER-S-600 gazdaságossága nehezen megítélhető, export potenciálját az U-Pu üzemanyag korlátozni fogja
- Magyarország szempontjából 2008 körül lett volna jó 600 MW-os VVER blokk, ma a VVER-S inkább csak szakmai érdekesség
- A VVER-S-600 létesítési és működési tapasztalatai hasznosak lesznek a VVER-S-1200 fejlesztéséhez
- A VVER-S-1200-nak komoly szerepe lehet a 2040 utáni időszakban Oroszországban