

3. generációs nyomottvizes blokkok technológiája

Korszerű nukleáris energiatermelés

Dr. Yamaji Bogdán

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Nukleáris Technikai Intézet

Világ atomerőművi blokkjai

- Üzemelő

Típus	Blokkok száma	Össz MW(e)
BWR	70	69 713
FBR	3	1400
GCR	14	7725
LWGR	13	9283
PHWR	49	24 557
PWR	300	286 209
Összesen:	449	398 887

- Épülő

Típus	Blokkok száma	Össz MW(e)
BWR	4	5253
FBR	1	470
HTGR	1	200
PHWR	4	2520
PWR	42	44 216
Összesen:	52	52 659

PRIS database. Last update on 2019-10-27 (<https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>)

Statisztika

Építés alatt - 29:

- EPR: Olkiluoto-3, Flamanville-3, (Hinkley Point C)
- AP1000: Vogtle-3,-4, Virgil C. Summer-2,-3 leállítva :-(
- APR-1400: Barakah-2,-3,-4, Shin Hanul-1,-2, Shin Kori-5,-6
- VVER-1000: Kudankulam-3, -4
- VVER-1200: Leningrad II-2, Belarusz-1, -2, Rooppur-1, -2, (Akkuyu-1-4), (Hanhikivi) (Paks-5,-6)
- ACPR1000: Yangjiang-6, Hongyanghe -5, -6, Tianwan -5, -6,
- Hualong One (HPR1000): Fuqing -5, -6, Fangchenggang-3,-4, Zhangzhou-1, Karachi-2, -3

Üzemel - 18:

- EPR: Taishan-1, -2
- AP1000: Haiyang-1,-2, Sanmen-1, -2
- VVER-1000: Tianwan-1, -2, -3, -4, Kudankulam-1, -2
- VVER-1200: Novovoronyezs II-1, -2, Leningrad II-1
- APR-1400: Shin Kori-3, -4, (Barakah-1, üzemelési engedélyre vár)
- ACPR1000: Yangjiang-5



Gen 3, Gen 3+

Mit nevez(het)ünk harmadik generációs reaktortípusnak (nem csak PWR)?

- a meglévő, üzemelő *második generációs típusok* továbbfejlesztése
 - üzemanyagok
 - hatásfok
 - biztonság/biztonsági berendezések, rendszerek
 - passzív üzemzavari/biztonsági rendszerek
 - sztandardizált tervek alapján, modularizált gyártás
 - alacsonyabb építési költségek
 - alacsonyabb üzemeltetési költségek
- CDF <10⁻⁵
- a *most kapható*, építhető típusok
- amit *1992 után kezdtek építeni* (Kashiwazaki-Kariwa-6, ABWR)
 - amit *2000 után kezdtek építeni*

Gen 3, Gen 3+

Célok, elvárások

- megnövelt* biztonság
 - operátori beavatkozások csökkentése
 - fokozott redundancia
 - passzív elemek/rendszerek fokozott alkalmazása
 - jelentős kibocsátások valószínűségének csökkentése
- cél: CDF csökkentése
- fokozott proliferáció-állóság
- továbbfejlesztett (digitális) I&C, továbbfejlesztett vezénylő (man-machine interface, I&C, ergonómia)

*: (azonos kapacitású) „hagyományos” blokkhoz képest

Gen 3, Gen 3+

Célok, elvárások

Versenyképesség/gazdaságosság

- megnövelt tervezett üzemidő: 60 év
- rövidebb* építési idő: 3-5 év
 - alacsonyabb építési/beruházási költség
- alacsonyabb üzemeltetési költség
- terheléskövetési képesség
- nagyobb egységteljesítmény
 - 1000-1200-1500-1600 MWe
 - de nem csak...: 600-700 MWe
 - alapvetően alaperőművi kapacitás biztosítására
 - de azért tudjon terheléskövetést is

*: azonos kapacitású „hagyományos” blokkhoz képest

Gen 3, Gen 3+

Példa – EUR – European Utility Requirements

Üzemidő

- a főberendezések élettartama minimum 40 év nagy rekonstrukció nélkül, a nem cserélhető és legfontosabb berendezések (pl. reaktortartály, konténment) élettartama minimum 60 év
 - az ezt nem teljesítő komponenseket tudni kell cserélni

Rendelkezésre állás

- cél a 90%-os rendelkezésre állás elérése 20 év átlagában
- rövid tervezett leállások évente
 - normál leállás átrakás nélkül max. 14 nap
 - normál leállás átrakással max. 20 nap
 - nagykarbantartás (turbina, generátor) max. 30 nap
 - nagykarbantartás, hatósági ellenőrzés max. 30 nap
- nem tervezett leállások:
 - 1 esemény/7000 óra üzemidő (kritikusság)
 - összesen kevesebb, mint 5 nap/év kényszerállás

Gen 3, Gen 3+

Példa – EUR – European Utility Requirements

Üzemanyag

- akár 50% MOX töltet lehessen
- magas kiegészi szint legyen elérhető

Biztonság

- földrengés tervezési alap: 0,25 g vízszintes talajgyorsulás
- zónasérülés gyakorisága (CDF): alacsonyabb, mint $10^{-5}/\text{év}$
- a konténment szivárgásmentesen ellen kell álljon egy tervezési alapba tartozó baleset esetén kialakuló T, p csúcsoknak, **valamint megfelelő beavatkozással a tervezési alapon túli esetekben kialakulóknak is**; szekunder konténment, mely képes az esetleges kibocsátások teljes, vagy részben teljes visszatartására
- a konténmentben garantáltan korlátozott a hidrogén koncentráció
- **ha a zónaolvadék hűtése és visszatartása nem biztosított a reaktortartályon belül, akkor annak biztosítottnak kell lennie azon kívül (a konténmenten belül)**

Gen 3, Gen 3+

Példa – EUR – European Utility Requirements

Biztonság

- súlyos baleset utáni intézkedések
 - az első 24 órában nincs szükség balesetelhárítási intézkedésre 800 m-es sugarú körön túl
 - semmilyen balesetelhárítási intézkedésre nincs szükség 3 km-es sugarú körön túl
 - élelmiszerfogyasztási korlátozás csak korlátozott környezetben, max. 1-2 évig

EPR, US-EPR

- *Francia Framatome N4 + német Siemens Konvoi = EPR*

		<i>EPR</i>	<i>N4 Framatome</i>	<i>Konvoi (Isar 2) Siemens</i>
Thermal power	<i>MWth</i>	4300	4250	3950
Electrical output	<i>Mwe</i>	~1600	1475	~1400
Efficiency	%	37	35	35,4
Primary Loops		4	4	4
N° of fuel assemblies		241	205	193
Design lifetime	Jahre	60	40	40*



* Effective full power years

Oikiluoto 3

Chooz 1+2
Civaux 1+2

Neckar 2
Emsland
Isar 2

EPR, US-EPR

- *Francia Framatome N4 + német Siemens Konvoi = EPR*



N4

- concrete cylindrical containment prestressed inner wall
 - Cessna, Lear jet
 - fuel building
 - safety systems:
 - 2 100% trains w connections
 - spray system
 - RHR inside the containment
 - bottom in-core instr.
 - computerized MCR
 - core: 205 FAs 17x17



KONVOI

- steel spherical containment
 - military aircraft Phantom
- spent fuel pit inside the reactor building
 - safety systems:
 - 4 independent 50%trains
 - no spray system
 - top mounted in-core instrumentation
- main control room with dedicated panels
 - core: 193 FAs 18x18

EPR, US-EPR

European Pressurized Reactor

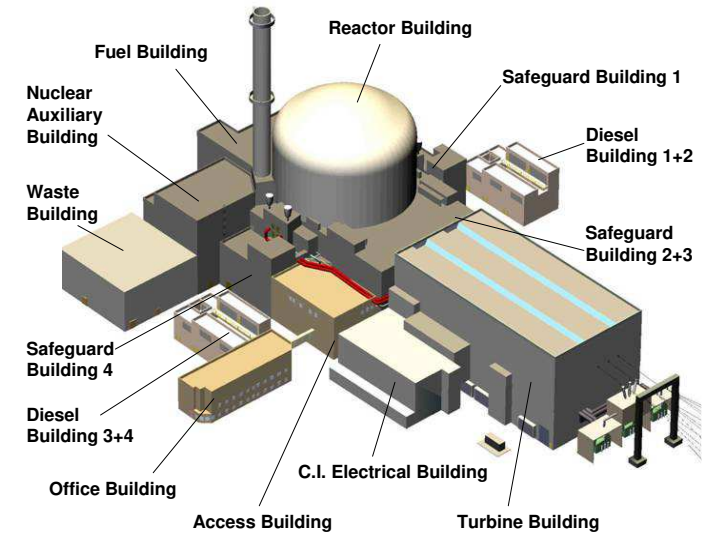
- Megnövelt primer és szekunder köri vízmennyiség
- Alacsonyabb lineáris teljesítmény-sűrűség a zónában
- Nincsenek alsó reaktortartály-penetrációk
- Nagyméretű repülőgép rázuhanására tervezve
- Alacsonyabb üzemeltetési/üzemeltetői személyi dózis
- Kisebb mennyiségű LLW
- Kedvezőbb üzemeltetési/termelési költségek (-10%)
- Egyszerűsített karbantartás

EPR, US-EPR

- redundancia: négyszeres többszörözés üzemzavari rendszerekre
 - szükség esetén egyik karbantartásra kivehető üzem mellett → magasabb rendelkezésre állás, rövidebb leállási idő
- térbeli szeparáció
 - a 4-ből 2-re „akár repülő is ráeshet”
 - a másik 2 az épület áttellenes pontjain vannak

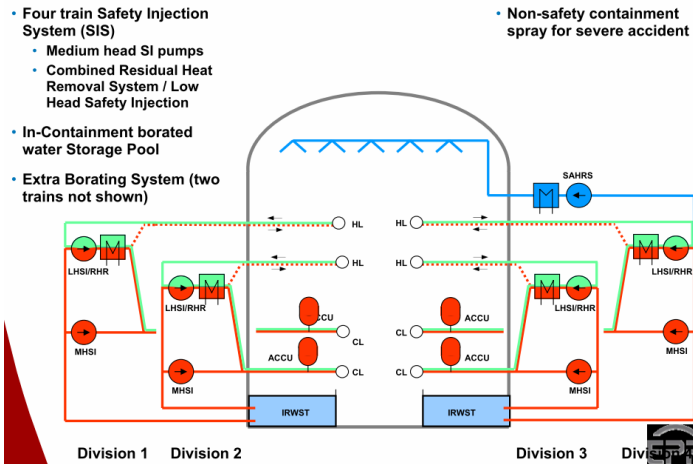


EPR, US-EPR



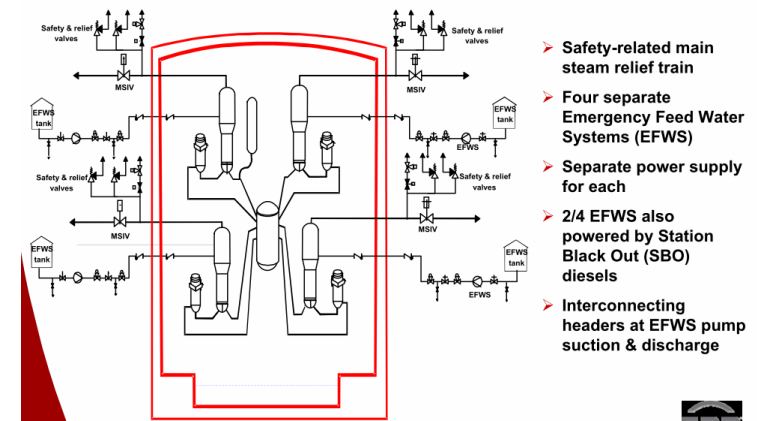
EPR, US-EPR

- redundancia: négyszeres többszörözés üzemzavari rendszerekre, primer oldal



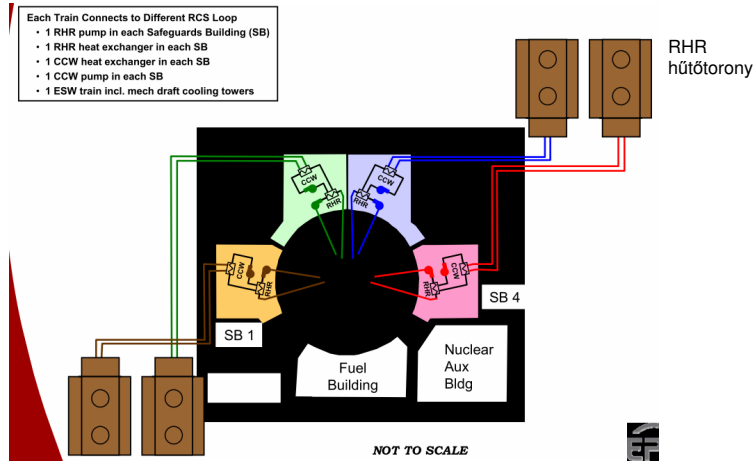
EPR, US-EPR

- redundancia: négyszeres többszörözés üzemzavari rendszerekre, szekunder oldal



EPR, US-EPR

- redundancia: négyszeres többszörözés üzemzavari rendszerekre, leállítási hűtés/remanenshő elvonás



EPR, US-EPR

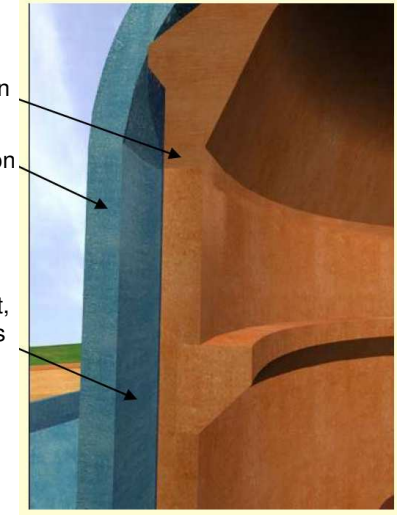
Konténment

- dupla fal

belső fal: előfeszített beton acél plattírozással

külső fal: vasbeton

gyűrűs akna: szűrt, szubatmoszferikus



- tervezési értékek:

- légtérfogat: 79 300 m³
- terv. nyomás: 4,275 bar
- IRWST: 1900 m³ bóros víz

EPR, US-EPR

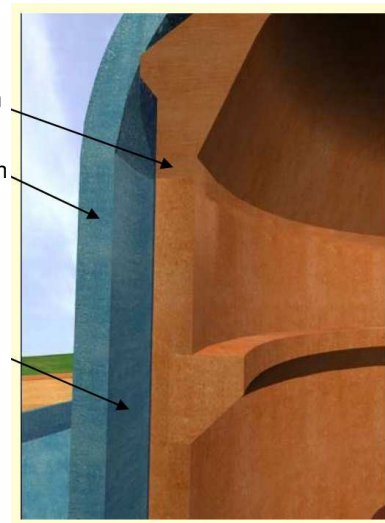
Konténment

- dupla fal

belső fal: előfeszített beton acél plattírozással

külső fal: vasbeton

gyűrűs akna: szűrt, szubatmoszferikus



- tervezett külső hatások:

- repülőgép-rázuhanás (nagy személyszállító)
- külső robbanás
- hóvihár, stb...

EPR, US-EPR

Konténment

EPR Designed to Withstand Impact of:

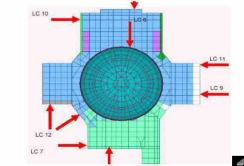
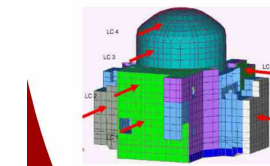
Large Commercial Airplane

& Military Aircraft



At various Elevations

& From different Sides



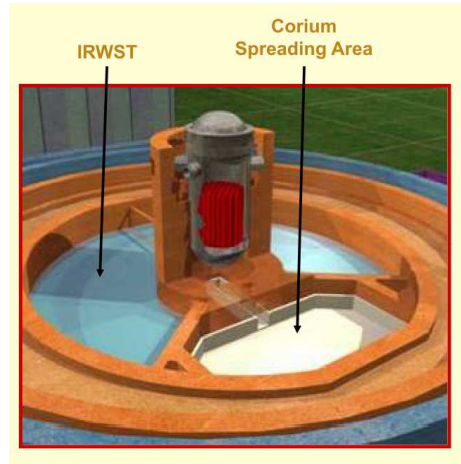
- tervezett külső hatások:

- repülőgép-rázuhanás (nagy személyszállító)
- külső robbanás
- hóvihár, stb...

EPR, US-EPR

Konténment

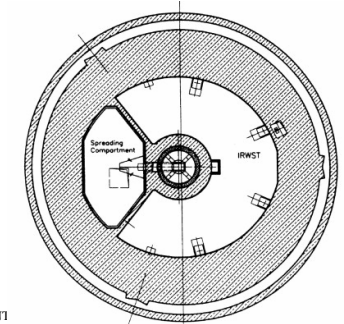
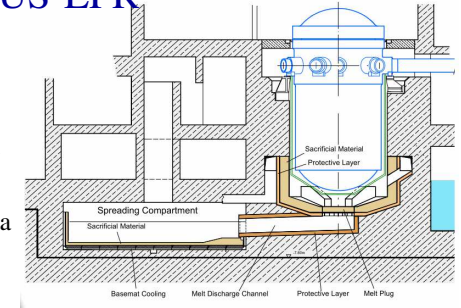
- belső elemek nem csatoltak a külső falhoz
- súlyosbaleset-kezelés:
 - reaktortartályon kívüli, de konténmenten belüli zónaolvadék-csapda
 - nyomáscsökkentés
 - terítő tér
 - hűtővíz
 - hidrogén rekombinátorok



EPR, US-EPR

Konténment

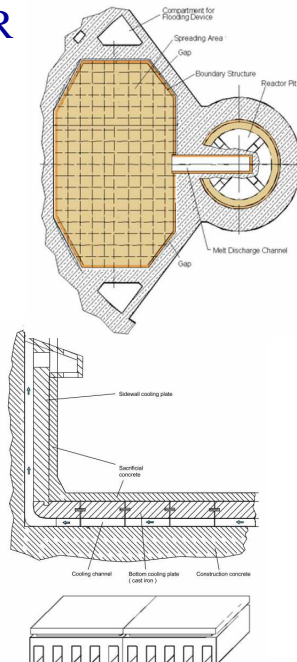
- a reaktortartályt körülvevő térrész átmenetileg visszatartja a zónaolvadékot
 - csökken az olvadék olvadáspontja a beton-olvadék reakció során
 - segíti a terítést



EPR, US-EPR

Konténment

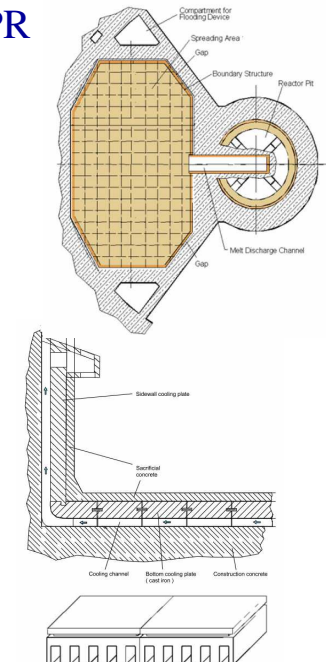
- az olvadékdgugó átszakadása után
 - a nagy tömegű, alacsony viszkozitású közeg átfolyik a terítőtérbe
 - nagy felületű terítőtérben hűlés
 - a terítőtér száraz a gőzrobbanás elkerülése érdekében



EPR, US-EPR

Konténment

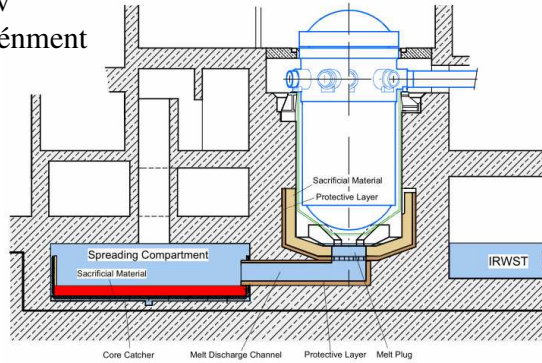
- IRWST vízzel passzív hűtés 12 órán keresztül
 - bordázott hűtőfelület a terítőtér körül
 - a terítőtér belső felületén roncsolható, nem reaktív betonréteg
 - az IRWST vize passzív hőérzékeny szelep nyitása után gravitációs úton jut a terítőtér körüli hűtőrendszerbe



EPR, US-EPR

Konténment

- az IRWST víz elárasztja a terítőteret, illetve az átömlőalagutat
- a 12 óra eltelte után aktív hőelvonás indítása, konténment nyomáscsökkentése



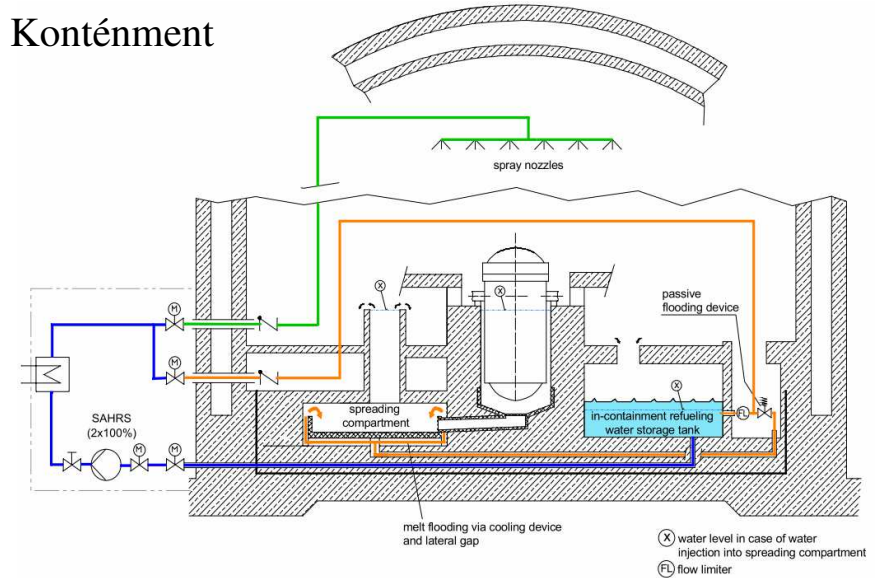
KoNET, Gen3 PWR

Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

25

EPR, US-EPR

Konténment



KoNET, Gen3 PWR

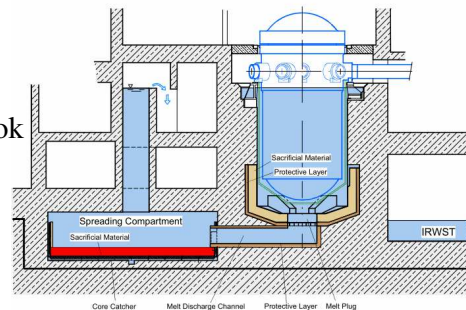
Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

26

EPR, US-EPR

Konténment

- aktív súlyosbaleseti hűtőrendszer (Severe Accident Heat Removal System – SAHRS) feltölti a terítőteret és az afeletti térrészt, ezzel együtt a sérült reaktortartályt és az átömlő tereket
- passzív hidrogén rekombinátorok



KoNET, Gen3 PWR

Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

27

EPR, US-EPR

Zónaolvadási gyakoriság

- belső kiinduló esemény: $<10^{-6}/\text{év}$
- nagy kibocsátással járó súlyos baleset: $<10^{-7}/\text{év}$

Gazdasági jellemzők

- jobb uránhasznosítás
- MOX
- 12-24 hónapos kampány
- magas kiégés szint ($>60\text{MWnap/tU}$)

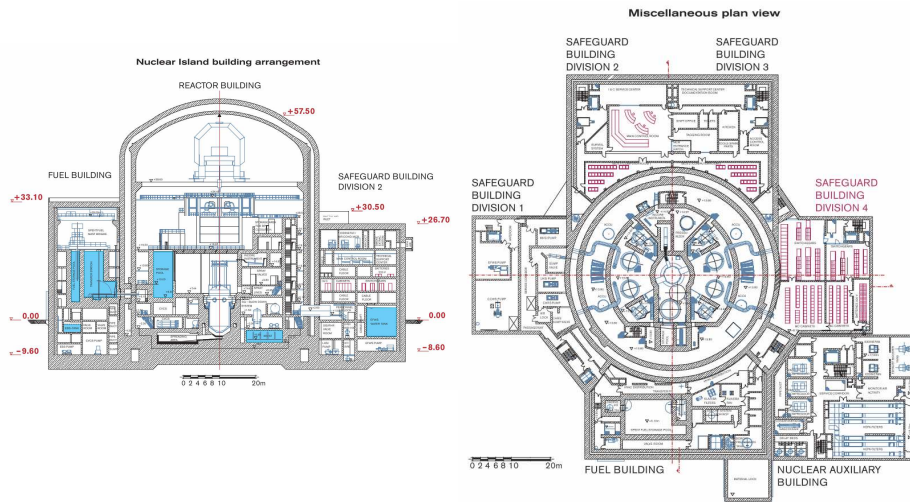
KoNET, Gen3 PWR

Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

28

EPR, US-EPR

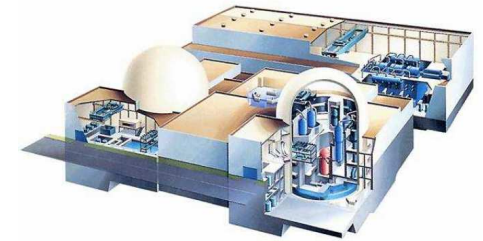
*



APWR, US-APWR, EU-APWR

Advanced Pressurized Water Reactor

- 1500/1700 MWe
- 4-hurkos PWR (MHI)
- a reaktortartály alsó részén (tartályfenéken) nincsenek átvezetések
- fokozott redundancia (a "hagyományos" 4-hurkos PWR-hez képest)
- konténmenten belüli tartalék vízforrás (RWSP)

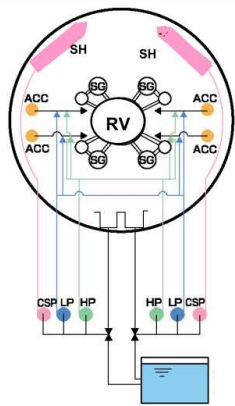


APWR, US-APWR, EU-APWR

- Négyeszeres redundancia

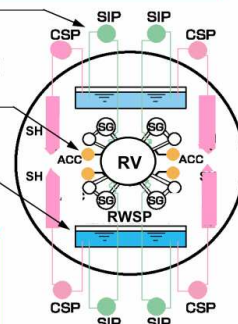
Current 4 Loop PWR (2 train)

APWR (4 train)



- ◆ 4 train (DVI)
 - Higher Reliability
 - Simplified Pipe Routing
- ◆ Advanced Accumulator
 - Elimination of LP
- ◆ In-containment RWSP
 - Higher Reliability

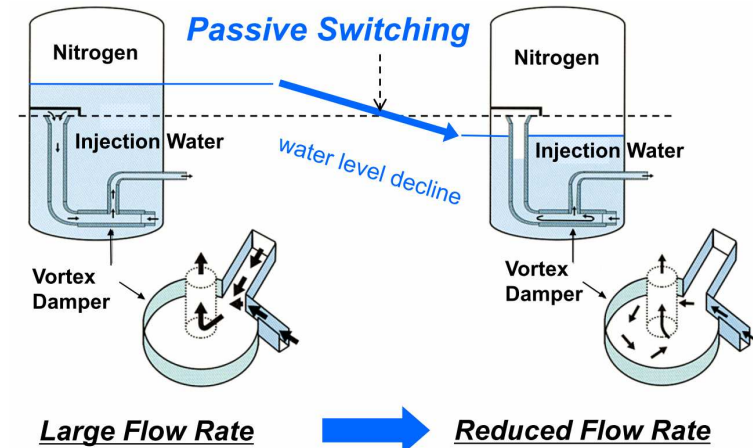
ACC : Accumulator
 HP : High Head SIP
 LP : Low Head SIP
 SIP : Safety Injection Pump
 CSP : Containment Spray Pump
 SH : Spray Header
 RV : Reactor Vessel
 RWSP : Refueling Water Storage Pit



DVI: direct vessel injection

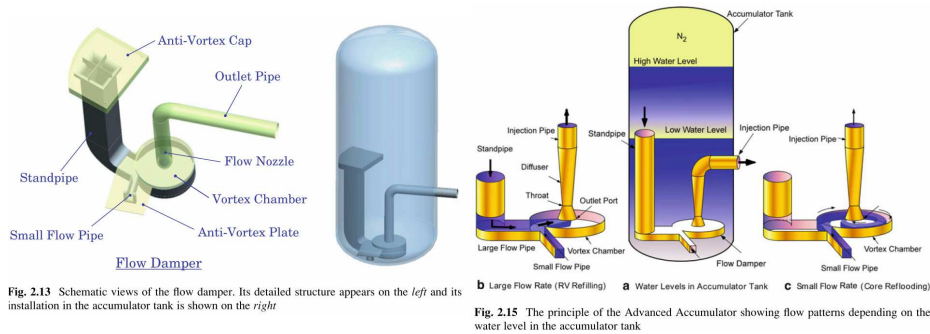
APWR, US-APWR, EU-APWR

- továbbfejlesztett hidroakkumulátor
 - tömegáram automatikus, **passzív** váltása



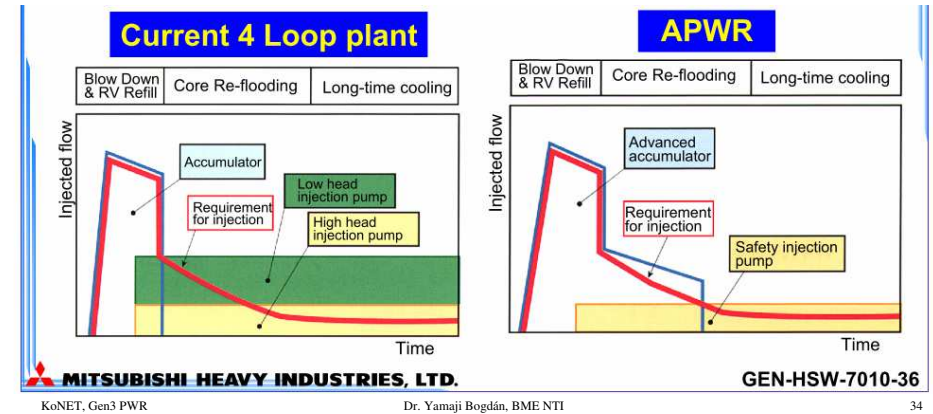
APWR, US-APWR, EU-APWR

- továbbfejlesztett hidroakkumulátor
 - tömegáram automatikus, **passzív** váltása



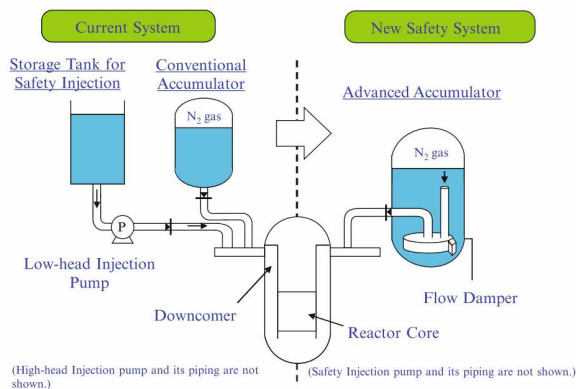
APWR, US-APWR, EU-APWR

- továbbfejlesztett hidroakkumulátor
 - kisnyomású ZÜHR szivattyúk elhagyhatók
 - hosszabb befecskendezési idő az üzemzavari szivattyúk indulásához



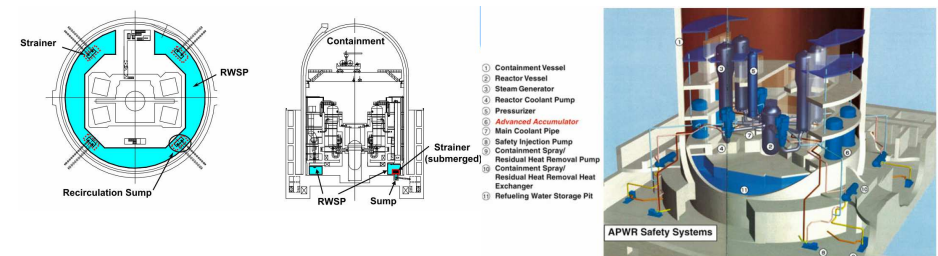
APWR, US-APWR, EU-APWR

- továbbfejlesztett hidroakkumulátor
 - kisnyomású ZÜHR szivattyúk elhagyhatók
 - hosszabb befecskendezési idő az üzemzavari szivattyúk indulásához --> akár üzemzavari GT is alkalmazható



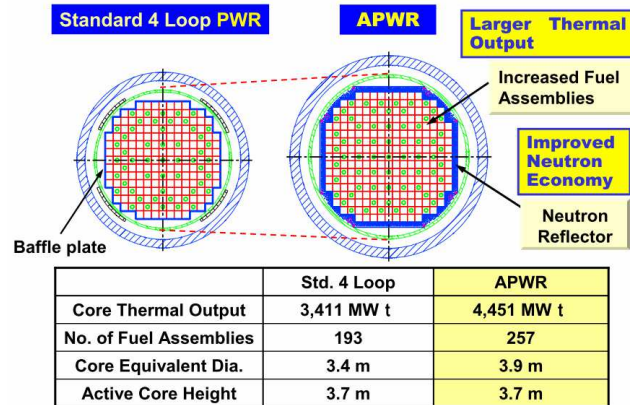
APWR, US-APWR, EU-APWR

- konténmenten belüli víztérfogat: Refuelling Water Storage Pit – RWSP
 - üzemzavari hűtések víztartálya
 - konténment sprinkler víztartálya
 - GF lefűtás



APWR, US-APWR, EU-APWR

- Továbbfejlesztett zóna – reflektor
 - jobb neutronháztartás → jobb uránhasznosítás
 - reaktortartályt alacsonyabb fluxus éri (~1/3)



KoNET, Gen3 PWR

Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

37

APWR, US-APWR, EU-APWR

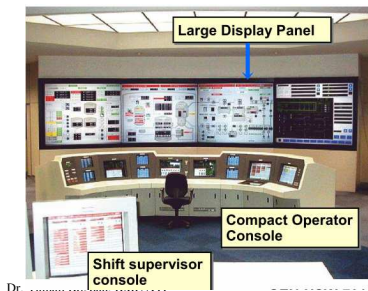
★

- Továbbfejlesztett ÜA
 - 24 hónapos kampány
- Továbbfejlesztett gőzfejlesztők
 - nagyobb kapacitás
 - jobb gőzseparátor
 - kompaktabb kialakítás
- Továbbfejlesztett turbinák
- Továbbfejlesztett irányítástechnika
- Kompakt, digitális vezénylő
- Üzemzavari GT
 - csak léghűtés!

1970's Improvement after TMI



1980's Systematic Human-Factor approach



KoNET, Gen3 PWR

Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

38

APWR, US-APWR, EU-APWR

★

- Összefoglalva

	APWR	US-APWR
Electric Output	1,538 MWe	1,700 MWe Class
Core Thermal Output	4,451 MWt	4,451 MWt
Core	3.7 m Fuel 257 Assem.	4.2 m Fuel 257 Assem.
SG / Heat Transfer Area per SG	6,500 m ²	8,500 m²
Main Turbine	54 inch blades	70 inch class blades
Containment Vessel	PCCV	PCCV
Safety Systems	Electrical 2 trains Mechanical 4 trains	Electrical 4 trains Mechanical 4 trains
	HHSI × 4 Advanced Accumulator x 4 Elimination of LHSI	HHSI × 4 Advanced Accumulator x 4 Elimination of LHSI
I&C System	All Digital	All Digital

KoNET, Gen3 PWR

Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

39



KoNET, Gen3 PWR

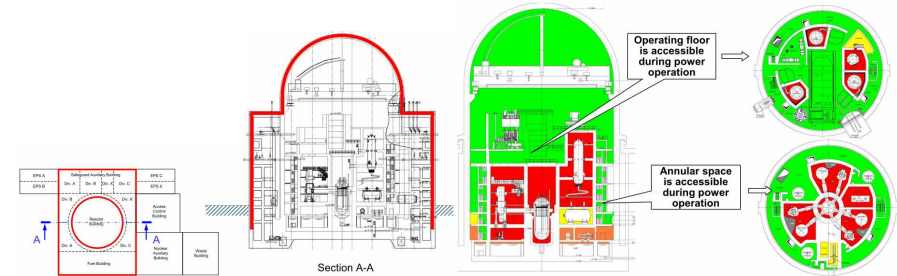
Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

40

- Francia-japán nyomottvizes reaktor az EPR és az APWR alapján
 - (az Areva és a MHI teljes vertikumot felölelő kapacitásainak egyesítésére)
 - 1000-1150 MWe
 - 3 hurok
 - magas gőznyomás: 7,3 MPa
 - magas erőmű hatásfok: 37%

NSSS Thermal Power	3,150MWth
Primary System Flow Rate	24,800m ³ /h/loop
Vessel Inlet Temperature	291C
Vessel Outlet Temperature	326C
SG Outlet Steam Pressure	7.3MPa

- >92% rendelkezésre állás
- <16 nap karbantartás átrakással
- szimpla falú konténment repülőgép rázuhanásra tervezve
- „kéttermes” konténment
 - leállásokon kívül is megközelíthetőek egyes területek, így ott karbantartás végezhető



- rugalmas üzemeltetés, jó teljesítménykövető képesség
 - széles tartomány: 100-25%
 - gyors: 1-3%/perc
- akár 1/3 töltet MOX
- 24 hónapos kampány
- alkalmazza az APWR továbbfejlesztett HA-át
- alkalmazza az EPR zónaolvadék csapdáját

- Redundancia – üzemzavari hűtés: 3x100% + 1 tartalék
 - passzív továbbfejl. HA, egyébként aktív

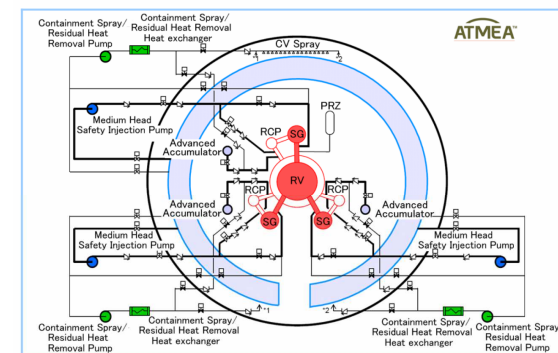


Figure 3 Independent 3-train safety system configuration
This figure shows independent safety system trains.

ATMEA1

*

• Redundancia – üzemzavari erőforrások

In case of Loss of Offsite Power....

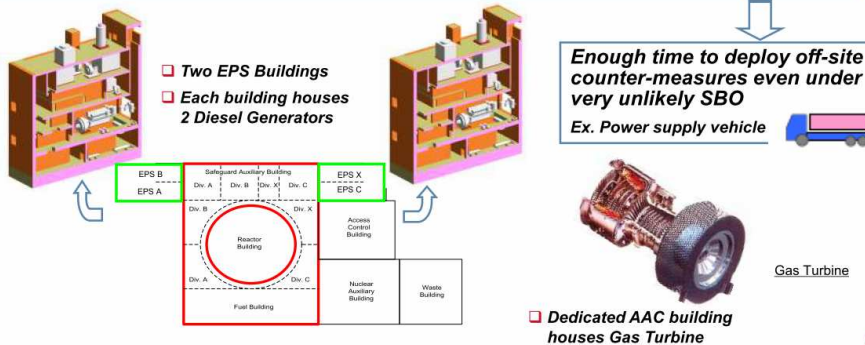
Emergency Power Sources (EPS) will provide AC Power

✓ Redundant 4 Diesel Generators ensures very low possibility of Station Black Out (SBO)

In very unlikely case of SBO....

Additional Alternative AC power system (AAC) will provide AC Power

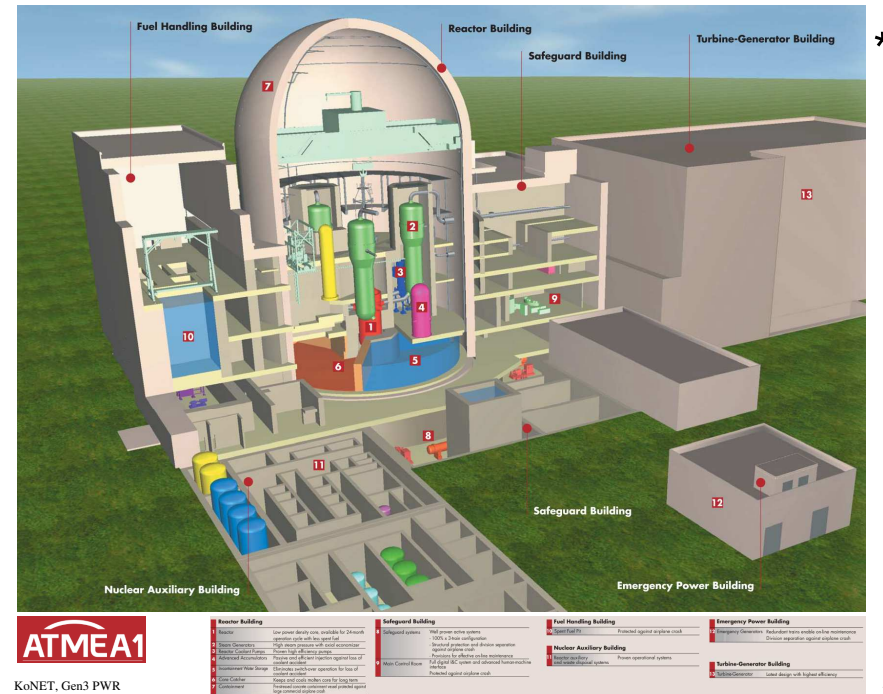
✓ Gas Turbine provides the electricity for more than 7 days



KoNET, Gen3 PWR

Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

45

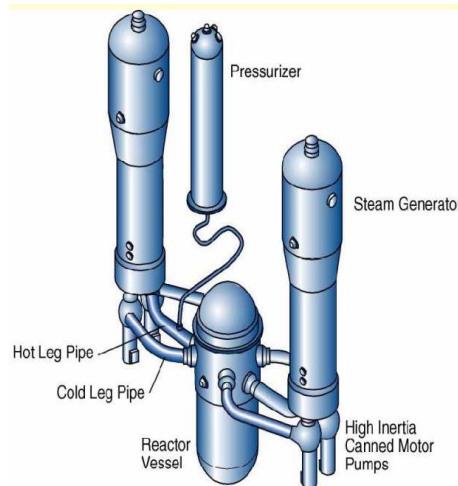


KoNET, Gen3 PWR

46

AP1000

- Advanced Passive 1000 (WH-Toshiba)
- 1100 MWe
- kéthurkos, 4 FKSZ
 - új, kompakt FKSZ
 - csökkentett méretű primer kör
- megnövelt TK térfogat
 - több primerköri víz
- üzemzavari rendszerek mind passzívak
- nincsenek alsó reaktortartály átvezetések



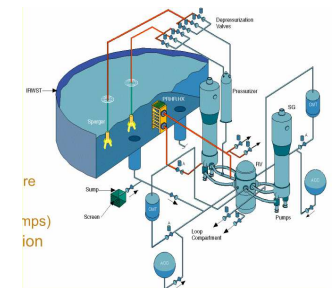
KoNET, Gen3 PWR

Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

47

AP1000

- Passzív remanenshő elvonás
 - hőelvonás természetes cirkulációval (PRHR HX)
- Passzív üzemzavari hűtőrendszer
 - Zónaelárasztó tartályok (CMT)
 - természetes cirkulációs befecskendezés magas nyomáson
 - nagynyomású ZÜHR kiváltása
 - Hidroakkumulátorok (Acc)
 - közepes nyomású ZÜHR
 - IRWST befecskendezés
 - kisnyomású ZÜHR
 - Nyomáscsökkentés



KoNET, Gen3 PWR

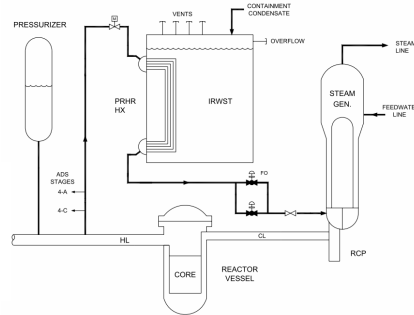
Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

48

AP1000

• Passzív remanenshő elvonás - PRHR HX

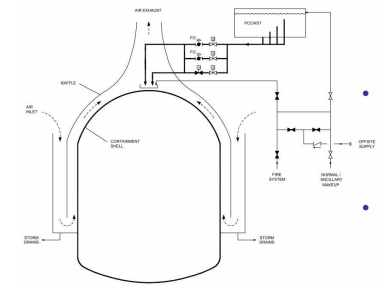
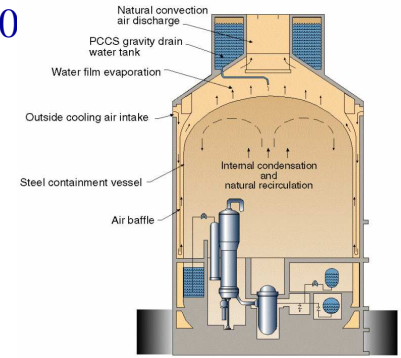
- a reamanenshő az IRWST-be jut
- az IRWST-ben megindul a forrás (1-2 óra)
- a gőz a konténmentben kondenzálódik, a kondenzátum visszafolyik az IRWST-be
- a hőt konténment külső felületén kialakuló passzív léghűtés viszi el



AP1000

• Passzív konténment hűtés

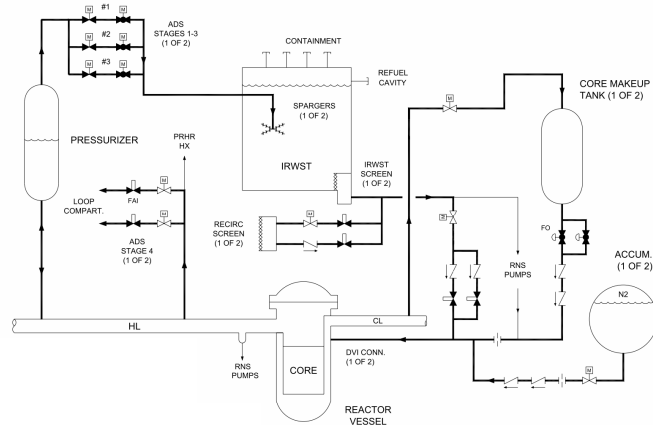
- felső tartály vízmennyisége 72 órára elegendő
- passzív forgalomszabályozás
 - 4 álló csontk
- kezdeti fázisban nagy térfogatáram
 - konténment tartály felületén víz film alakul ki
- később alacsony térfogatáram, mely a remanenshő eltávolításának megfelelő
- redundáns, 3 útvonalon történő befecskendezés
 - eltérő szelepek



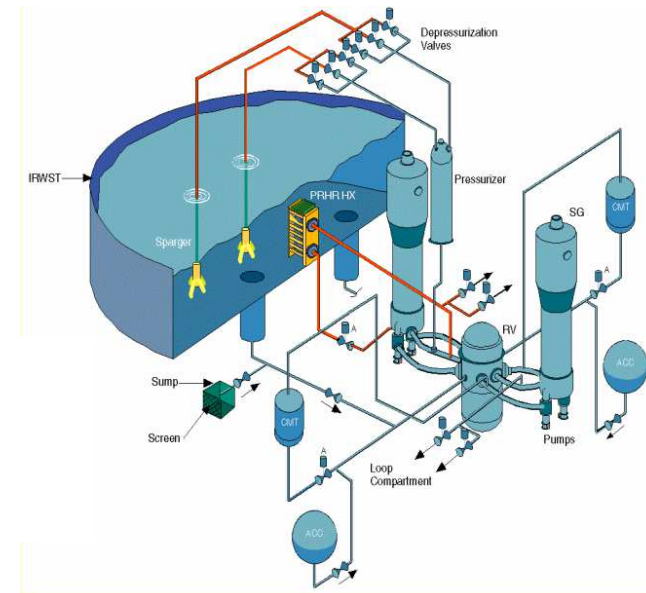
AP1000

• Passzív üzemzavari hűtés

- hidroakkumulátor 2x, nitrogén párna
- elárasztó tartály (core makeup tank – CMT) 2x
- automatikus nyomáscsökkentés (automatic depressurization – ADS), 2x
- IRWST

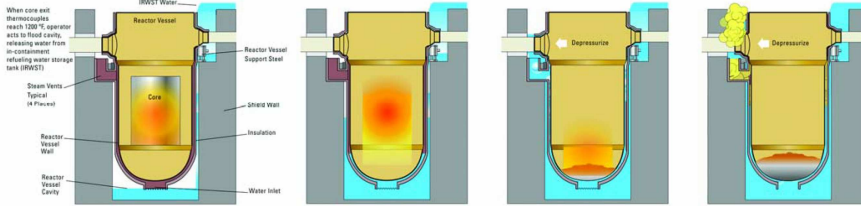
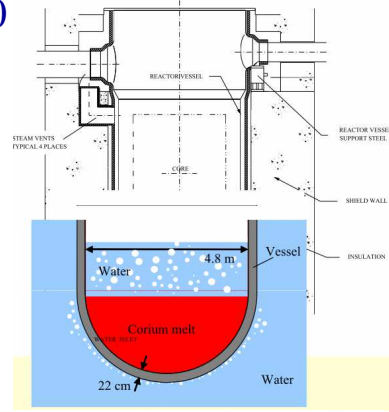


AP1000



Súlyosbaleset-kezelés

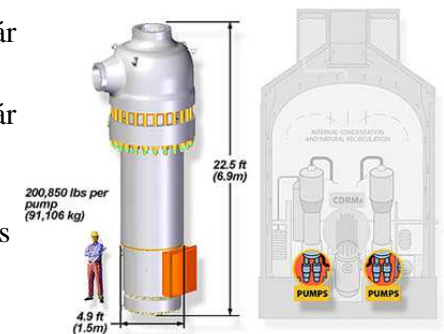
- A sérült zóna, a zónaolvadék bentartása a reaktortartályban



- 1 perc: station blackout: leszakadás a hálózatról és az üzemzavari dízelek nem indulnak
- 2 perc: BV rudak a zónába kerülnek, a pihentető medence aktív hűtése leáll. Mind a zóna, mind a pihentető medence remanenshő forrás
- 2 perc – 2 óra: GF vízszint csökken, passzív üzemzavari zónahűtés aktiválódik. A passzív hőcserélőben (PRHR HX) a sűrűség-különbség automatikusan beindítja az áramlást (hideg kinti hűtőközeg, meleg zónán belüli hűtőközeg).
- 2 – 3 óra: A zóna remanenshő-teljesítménye a névleges teljesítmény 1%-ára csökken
- 3 – 5 óra: a pihentető medence vize forrni kezd. A pihentető medence vizét gravitációs úton egy másik tartály pótolja.
- 5 – 6 óra: az IRWST vize elkezdi forrni, gőz fejlődik a konténmentben
- 6 – 7 óra: aktiválódik a passzív konténment hűtés. A felső hűtőmedence vize elkezdi hűteni az acél konténmentet
- 7 óra – : Az IRWST gőze az acél konténment falon kondenzálódik. Az IRWST-n keresztül elszállított remanenshőt az acél konténment passzív lég- és vízhűtése vonja el

- 7 – 36 óra: a konténmentben a kondenzátum visszajut az IRWST-be
- 36 – 72 óra: a reaktor eléri a lehűtött leállított állapotot
 - operátori beavatkozás nélkül
 - AC használata nélkül
 eddigre a remanenshő-teljesítmény a névleges teljesítmény fél %-a
- – 7 nap: az operátorok beindítják a kisegítő (üzemzavari) dízelgenerátorokat a baleset utáni monitorozó rendszerek ellátására, aktív hűtőrendszerek ellátására, a vezénylő ellátására
A külső kisegítő tartályokból vizet pótolnak a konténment passzív hűtését biztosító medencék számára
Pótolják a pihentető medencék hűtését
- további felhasználható vízforrások: további tartályok, tengervíz, telephelyen kívüli vizek, stb

- Kompakt FKSZ elvárások
 - biztosítsa az üzem közbeni hűtési forgalmat
 - megfelelő tehetetlenséggel rendelkezzen, ha pillanatszerűen elveszítjük mind a négy FKSZ-t, még átmenetileg képes legyen hűtőközeget szállítani
 - megfelelő tömítés/nyomáshatár biztosítása
 - megfelelő tömítés/nyomáshatár biztosítása lendkerék meghibásodásakor
 - ne legyen karbantartás-igényes
 - amerikai sztandard: az FKSZ nem rendelkezhet forgó tömítéssel



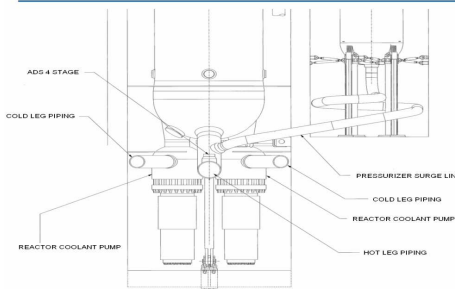
AP1000

• Kompakt FKSZ jellemzők

- egyfokozatú, vertikális centrifugálszivattyú, változtatható sebesség
- nincs forgó tömítés
- nincs szükség aktív záróvíz rendszerre, nem következhet be záróvíz LOCA
- egyszerűbb GF/hurok tartóstruktúra

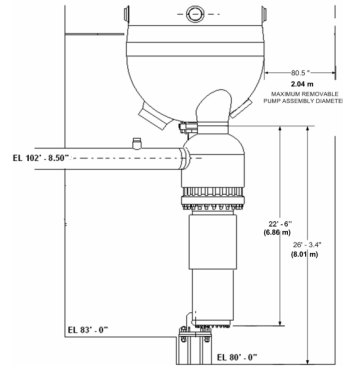
Westinghouse Non-Proprietary Class 3 © 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Steam Generator and Loop Piping Interface



KoNET, Gen3 PWR

Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

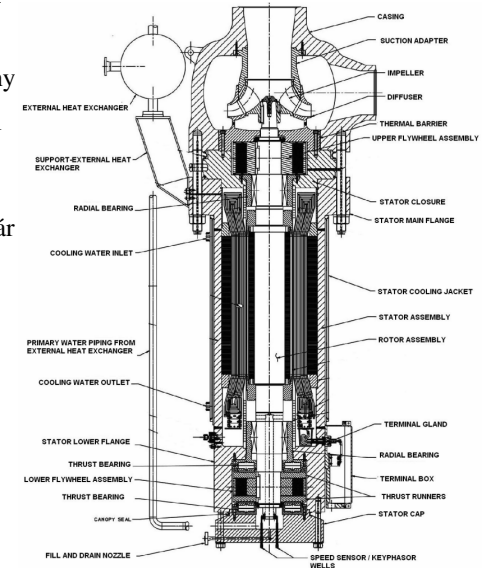


57

AP1000

• Kompakt FKSZ jellemzők

- kisebb méret
 - alacsonyabb teljesítményigény
- ház csatlakozás közvetlenül a GF-n
 - kevesebb vezeték, kisebb nyomásvesztés, nincs vízzár
- kenés: víz
 - nincs szükség olaj kenőrendszerre
 - tűzkockázat eliminálása



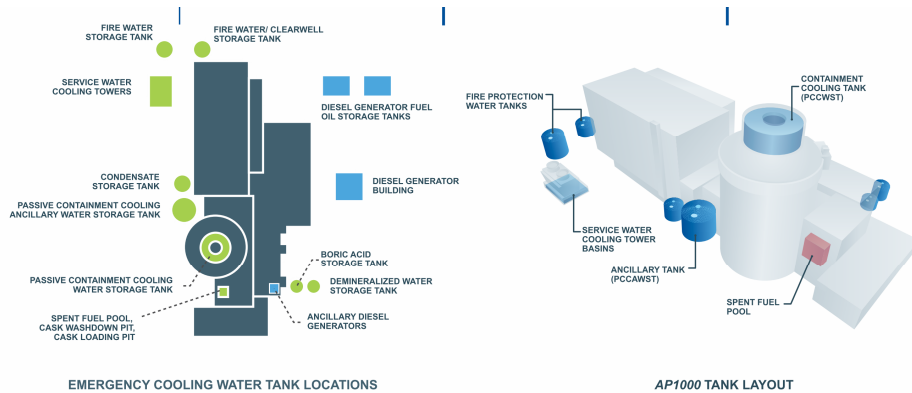
KoNET, Gen3 PWR

Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

58

AP1000

*



EMERGENCY COOLING WATER TANK LOCATIONS

AP1000 TANK LAYOUT

KoNET, Gen3 PWR

Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

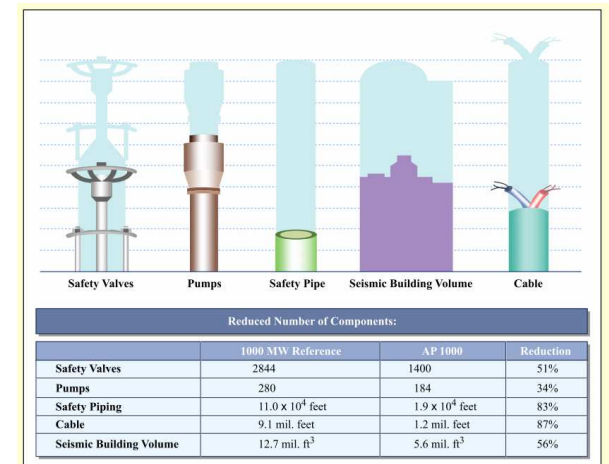
59

AP1000

*

Passzív rendszerek

- Rendszerek mérete, komplexitása csökkenthető
- elemek száma csökkenthető



KoNET, Gen3 PWR

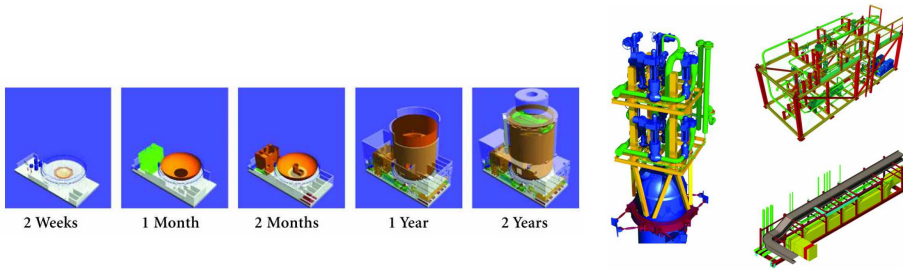
Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

60

AP1000

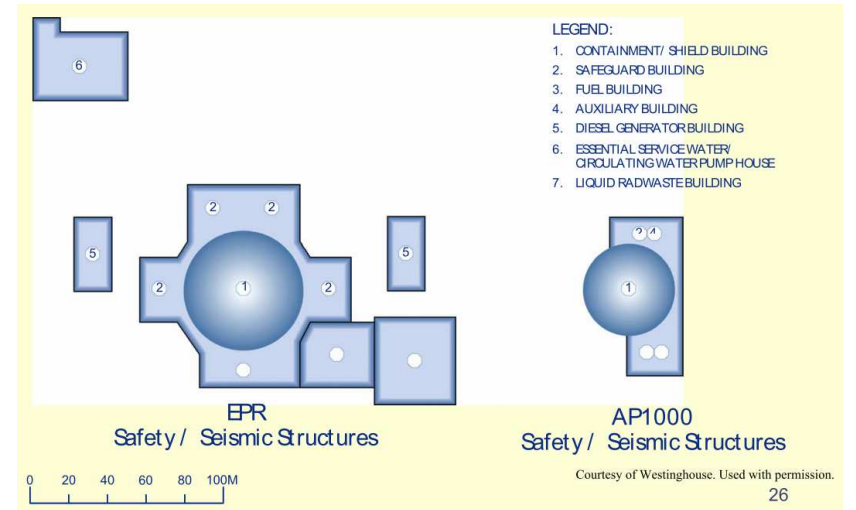
Modularizáció: építési költség és idő csökkentése

- a korábban egymás után végzett lépések párhuzamosítása
- a modulokat a gyártó szereli össze saját üzemben, az építkezésen már csak össze kell illeszteni a modulokat
- a modulok sztenderd méretűek és tömegűek
 - szállítás

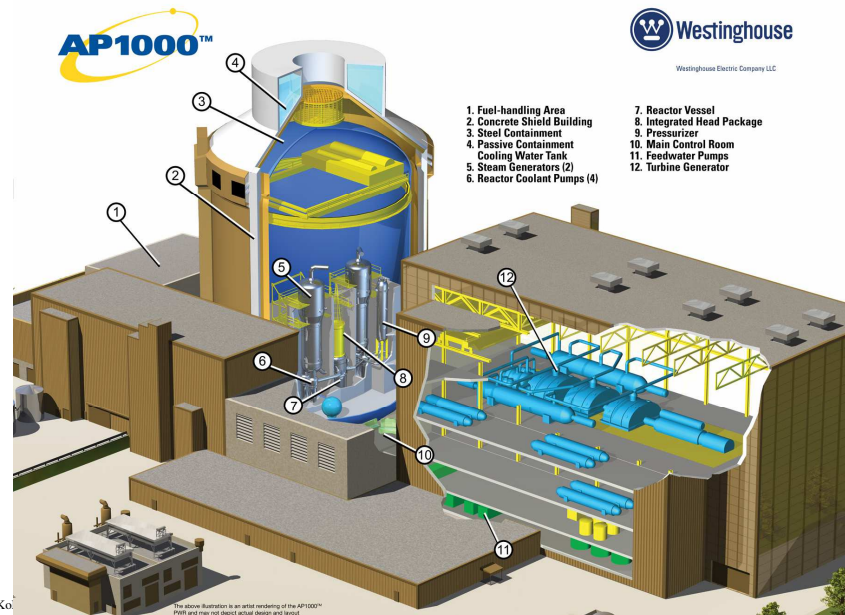


AP1000 vs EPR

★



AP1000

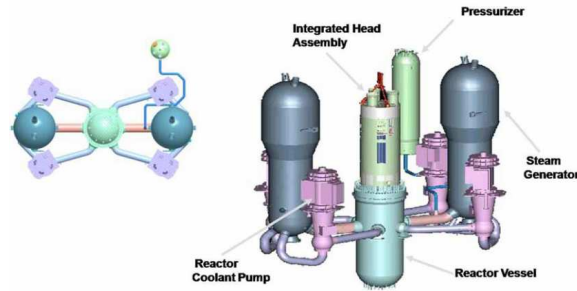


Összehasonlítás

Reactor	US-EPR	US-APWR	AP1000	ABWR	ESBWR
Neutron spectrum	Thermal	Thermal	Thermal	Thermal	Thermal
Coolant/moderator	H ₂ O/H ₂ O	H ₂ O/H ₂ O	H ₂ O/H ₂ O	H ₂ O/H ₂ O	H ₂ O/H ₂ O
Fuel	LEU pins	LEU pins	LEU pins	LEU pins	LEU pins
Use of proven technology	++	++	+	++	+
Plant simplification			++		++
Modular construction			+		+
Economy of scale	++	++		+	++
High thermal efficiency	+	+			
Passive safety			+		+
Mitigation of severe accidents	Core catcher	Core catcher	In-vessel retention	-	Core catcher

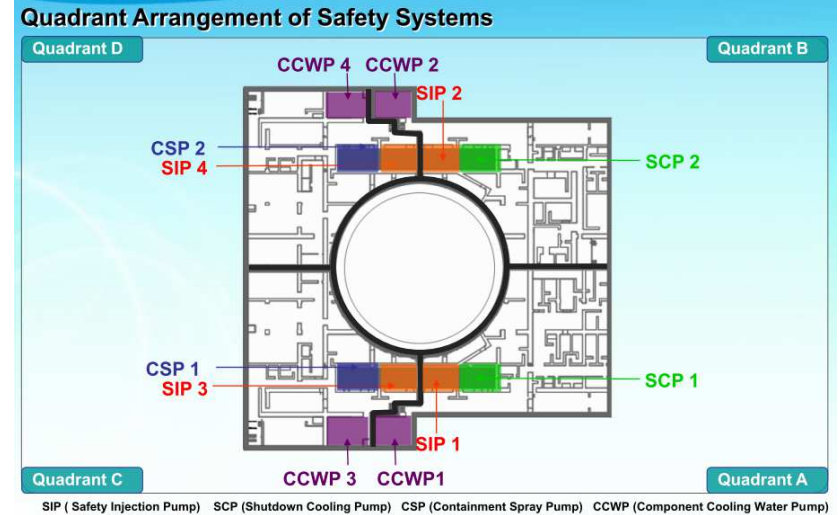
APR-1400

- Advanced Power Reactor 1400
 - 1400 MWe
 - 60 év üzemidő, 58 hónap építési idő
 - automatikus teljesítmény-követés
 - kampányhossz: 18 hónap
 - 4x-es redundancia
 - 2 hurok, 4 FKSZ



APR-1400

- 4x-es redundancia, térbeli szeparáció



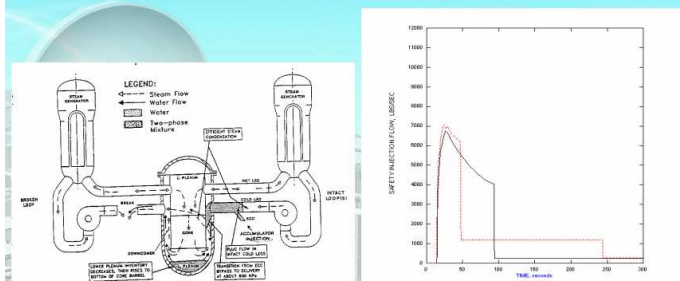
APR-1400

- Passzív állítású HA

Safety Injection System

Passive Fluidic Device in SIT

- Safety Injection Tank (Accumulator)
 - Role : Refill reactor vessel lower plenum during LBLOCA
 - Initial Condition : Pressurization to ~40bar by Nitrogen gas, 1800ft³ for APR1400
 - Problem : Too much water to fill lower plenum



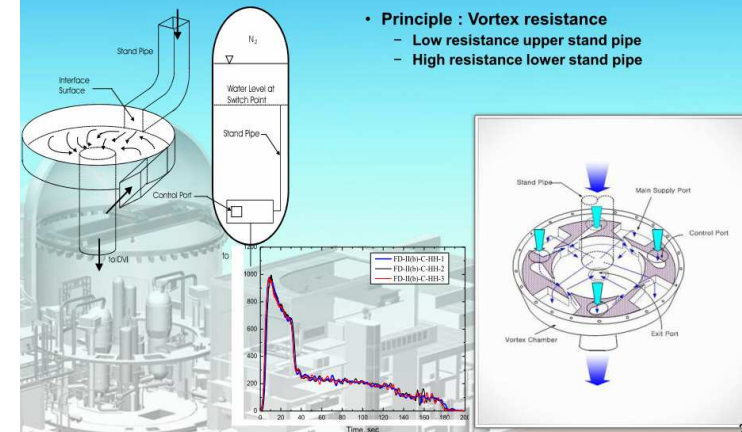
APR-1400

- Passzív állítású HA

Safety Injection System

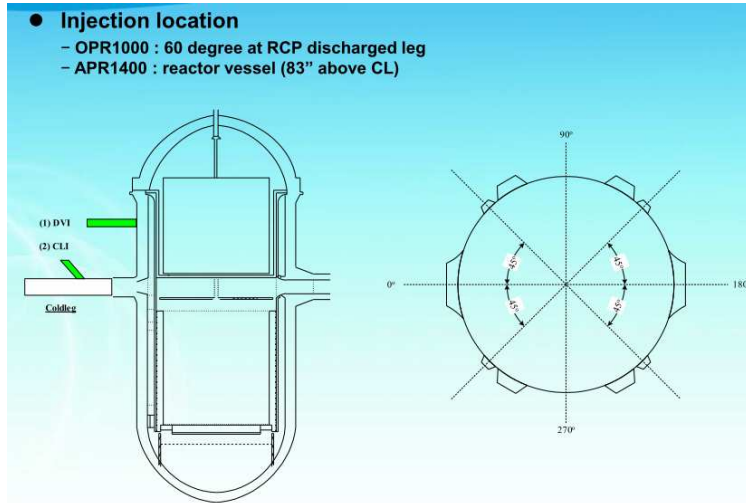
Passive Fluidic Device in SIT (APR1400 only)

- Principle : Vortex resistance
 - Low resistance upper stand pipe
 - High resistance lower stand pipe



APR-1400

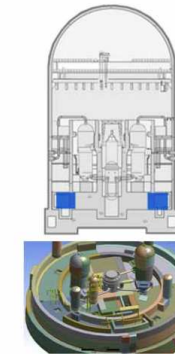
- Új HA betáplálás (DVI: direct vessel injection)



APR-1400

- Szimplafalú vasbeton konténment, acél fedőréteg, konténmenten belüli nagy víztérfogat

Cylindrical Containment with IRWST



Pre-stressed concrete structure

- Height: 229.5 ft, Diameter: 150 ft, Thickness: 4 ft
- Design Pressure: 60 psig

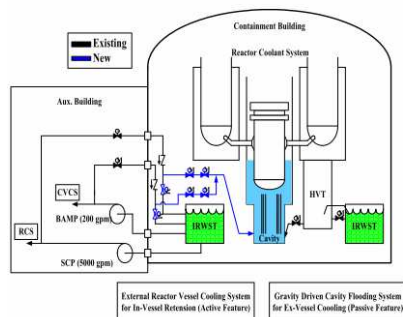
Steel-lined inner surface for leak-tightness

In-containment Refueling Water Storage Tank (IRWST)

- Eliminates switch-over operation during LOCA
- Heat sink for feed and bleed operation
- Minimizes contamination of Reactor Containment Building

APR-1400

- Súlyosbaleset-kezelés
 - zónaolvadék reaktortartályon belül tartása
 - passzív elárasztás IRWST-ből



Reactor Cavity Flooding System

- Flooding reactor cavity to cool molten core
- Water Source : IRWST
- Water driving force : Gravity
- Designed in accordance with SECY-93-087
- Cavity floor area > 0.02 m²/MW_t

In-Vessel Retention – ERVC strategy

- Submerging reactor vessel lower head to cool and to retain molten core in reactor vessel
- Water source : IRWST
- Water driving force : SCP, BAMP

APR-1400

- Shin Kori-3, -4
FOAK Project – Shin Kori 3&4

Site Views



APR-1400

- Shin Kori-3, -4

FOAK Project – Shin Kori 3&4

Manufacturing



KoNET, Gen3 PWR

Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

73

APR-1400

- Shin Kori-3, -4



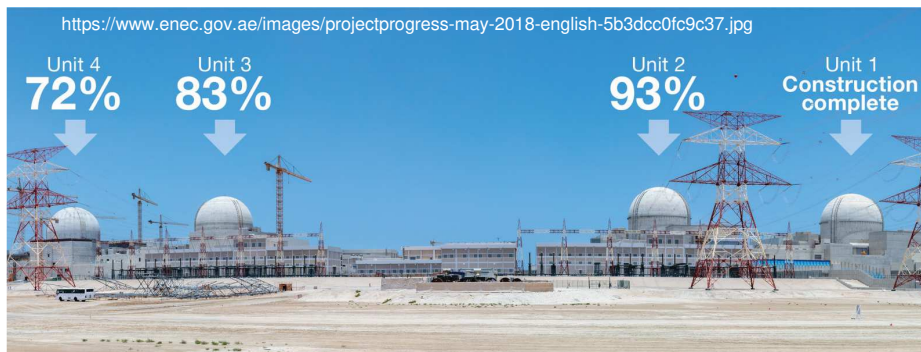
KoNET, Gen3 PWR

Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

74

APR-1400

- Barakah



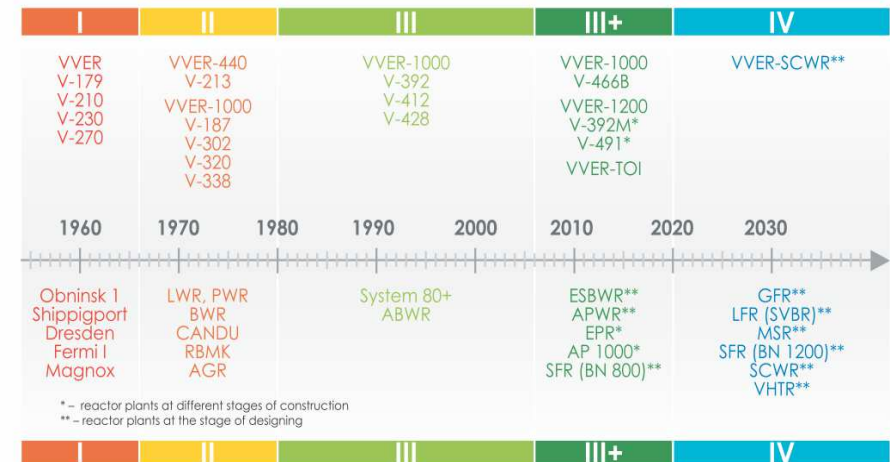
KoNET, Gen3 PWR

Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

75

VVER-1200

Generations of nuclear power reactors



KoNET, Gen3 PWR

Dr. Yamaji Bogdán, BME NTI

76

VVER-1200

- VVER-1000 (AES-91 és AES-92) alapján
 - AES-91: Tianwan
 - AES-92: Kudankulam
- III+ generációs reaktor
- névleges bruttó telj.: 1150-1200 MW
- éves csúskihasználási tényezője > 90%
- A nem cserélhető főberendezések tervezett élettartama 60 év
- 18 vagy 24 hónapos kampány is elérhető
- 0,25 g maximális talajfelszíni gyorsulásra méretezve
- zónaszerűlési gyakoriság 6×10^{-7} /év, a korai nagy radioaktív kibocsátás számított valószínűsége $< 10^{-7}$ /év.



Kudankulam (Roszatom)



Leningrád II (Titan2)

<http://www.titan2.ru/en/media-press/lenta-novostej/1308-at-the-construction-site-of-the-leningrad-npp-the-specialists-of-jsc-concern-titan-2-are-testing-two-pieces-of-equipment-of-combined-gas-building>

VVER-1200

VVER-1200 (AES-2006) – THE BASIC DATA, FOR THE ST PETERSBURG AEP AND MOSCOW AEP VERSIONS

	V392M	V491
	ST PETERSBURG AEP	MOSCOW AEP
Service life (years)	60	60
Unit output, electric, low sea temp. site (MWe gross)	1198	1198
Reactor thermal output (MWt)	3212	3212
Heat supply capacity (MWt)	300	300
Availability (%)	>90	>90
Hourly load (including power for re-circulating cooling water supply) (%)	7	6.83
Power plant efficiency (turbine in condensing mode) (%)	37.0 gross, 34.5 net	37.0 gross, 34.5 net
Unplanned automatic scram per year	<1	<1
Planned outage duration (annual) over seven years of operation (days, max)	4 x 16, 2 x 26, 1 x 30	4 x 16, 2 x 26, 1 x 30
Duration of outage required every eight years to include turbine disassembly (days, max)	40	40
Number of operating personnel (person/MW)	0.42	0.37
Design basis maximum fuel burn-up (average per fuel assembly) (MWd/kgU)	60	60
Fuel campaign duration (in fuel in the core) (years)	4	4
Refueling frequency (months)	12(18)	12(18)
Primary coolant temp. at core inlet (°C)	298.2	298.2
Primary coolant temp. at core outlet (°C)	328.9	328.9
Primary coolant flow rate through reactor vessel (m ³ /hour)	86 000	86 000
Primary coolant pressure at reactor vessel outlet (MPa)	16.2	16.2
Steam pressure at the steam generator outlet (MPa)	7	7
Steam production rate per SG (t/hour)	1602	1602
Feed water temperature at SG inlet (°C)	225	225
Steam moisture content at SG outlet (%)	< 0.2	< 0.2
Total probability of core damage due to internal initiating events (per reactor year)	< 7.37 x 10 ⁻⁷	< 4.16 x 10 ⁻⁷
Total probability of accidental sequences involving large releases caused by containment bypass or initial lack of leak tightness	< 3.71 x 10 ⁻⁷	< 1.77 x 10 ⁻⁷

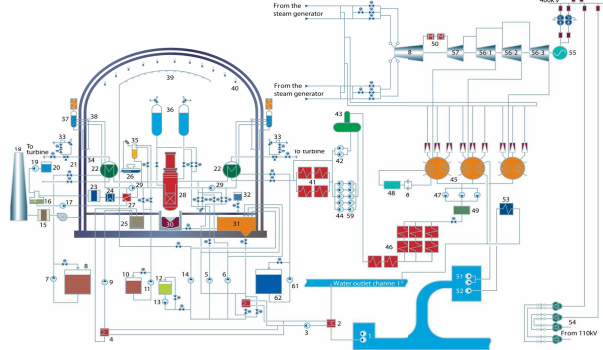
DOUBLE CONTAINMENT DIMENSION	ST PETERSBURG AEP	MOSCOW AEP
EXTERNAL, PROTECTIVE, CONTAINMENT (REINFORCED CONCRETE):		
Internal diameter (m)	50	50.8
Height of dome (m)	71.4	65.4
Thickness (cylindrical section) (m)	2.2	1.5
Thickness (dome part) (m)	0.8	1.5
INTERNAL, HERMETIC, CONTAINMENT (ALSO REINFORCED CONCRETE):		
Internal diameter (m)	44	44
Height of the dome (m)	67.1	61.7
Thickness (cylindrical section) (m)	1.2	1.2
Thickness (dome part) (m)	1.1	1.2

Két altípus:

- V491 – Atomenergoprojekt moszkvai iroda
- V392M – szentpétervári iroda
- Fő paraméterek azonosak, biztonsági rendszerekben vannak különbségek
- V392M épül: Novovoronyezs-II (2 blokk)
- V491 épül: Leningrád-II (2 blokk), Belarusz (2 blokk), Balti (1 blokk), ; illet rendelt Finnország és Magyarország

VVER-1200

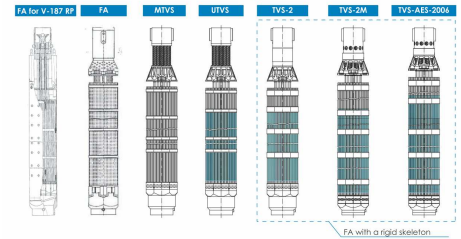
Schematic diagram, simplified



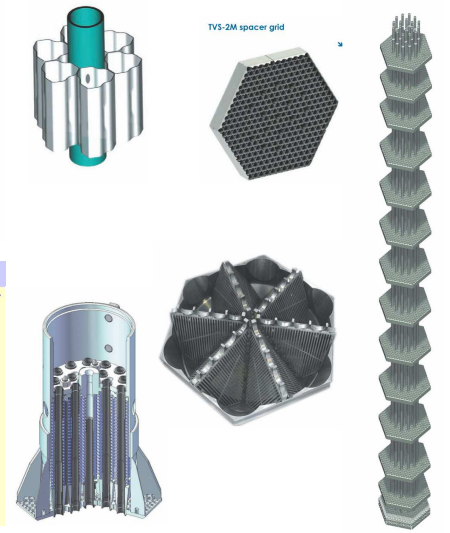
1. Inertial cooling water for "hot" water pump
2. Inertial cooling water for hot water pump
3. Inertial cooling water for hot water pump
4. Inertial cooling water for hot water pump
5. Inertial cooling water for hot water pump
6. Inertial cooling water for hot water pump
7. Inertial cooling water for hot water pump
8. Inertial cooling water for hot water pump
9. Inertial cooling water for hot water pump
10. Inertial cooling water for hot water pump
11. Inertial cooling water for hot water pump
12. Inertial cooling water for hot water pump
13. Inertial cooling water for hot water pump
14. Inertial cooling water for hot water pump
15. Inertial cooling water for hot water pump
16. Inertial cooling water for hot water pump
17. Inertial cooling water for hot water pump
18. Inertial cooling water for hot water pump
19. Inertial cooling water for hot water pump
20. Inertial cooling water for hot water pump
21. Inertial cooling water for hot water pump
22. Inertial cooling water for hot water pump
23. Inertial cooling water for hot water pump
24. Inertial cooling water for hot water pump
25. Inertial cooling water for hot water pump
26. Inertial cooling water for hot water pump
27. Inertial cooling water for hot water pump
28. Inertial cooling water for hot water pump
29. Inertial cooling water for hot water pump
30. Inertial cooling water for hot water pump
31. Inertial cooling water for hot water pump
32. Inertial cooling water for hot water pump
33. Inertial cooling water for hot water pump
34. Inertial cooling water for hot water pump
35. Inertial cooling water for hot water pump
36. Inertial cooling water for hot water pump
37. Inertial cooling water for hot water pump
38. Inertial cooling water for hot water pump
39. Inertial cooling water for hot water pump
40. Inertial cooling water for hot water pump
41. Inertial cooling water for hot water pump
42. Inertial cooling water for hot water pump
43. Inertial cooling water for hot water pump
44. Inertial cooling water for hot water pump
45. Inertial cooling water for hot water pump
46. Inertial cooling water for hot water pump
47. Inertial cooling water for hot water pump
48. Inertial cooling water for hot water pump
49. Inertial cooling water for hot water pump
50. Inertial cooling water for hot water pump
51. Inertial cooling water for hot water pump
52. Inertial cooling water for hot water pump
53. Inertial cooling water for hot water pump
54. Inertial cooling water for hot water pump
55. Inertial cooling water for hot water pump
56. Inertial cooling water for hot water pump
57. Inertial cooling water for hot water pump
58. Inertial cooling water for hot water pump
59. Inertial cooling water for hot water pump
60. Inertial cooling water for hot water pump

VVER-1200 ŰA – TVSz-1200 (TVSz-2006)

TVS-2M is a consistent development of TVS-2 Generation 2 "titanium" fuel assembly design (with a rigid skeleton) in aspects belonging to an increase in fuel loading and service reliability enhancement that allow rising the capacity factor. TVS-2M is intended for operation in the environment of VVER-1000 reactor core both with the central and lateral positioning of the instrumentation tube. At present TVS-2M is the basic type of fuel operated at the Russian NPPs with VVER-1000 and the basis for fuel to be applied of NPPs with VVER-1200 (AES 2004).

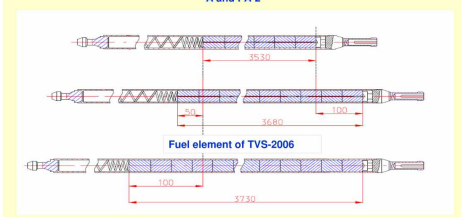


szétszerelhető



VVER-1200

The fuel assembly design is based on the experience accumulated in reference projects FA-A and FA-2

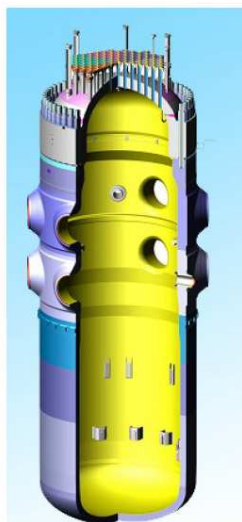


VVER-1200 reaktortartály

Reaktortartály

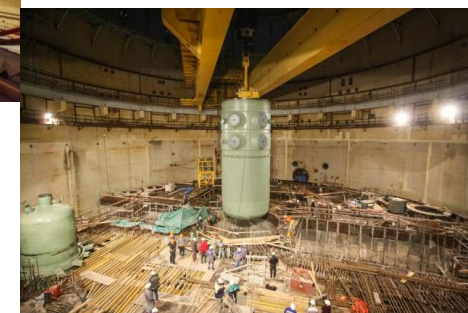
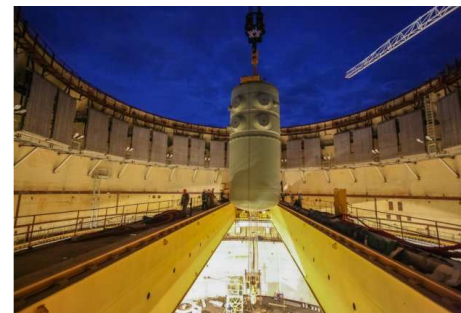
Reactor pressure vessel

Parameter	Value	
	V-320	V-491
Length, mm	10897	11185
Inner diameter, mm	4150	4250
Wall thickness in the belt line region, mm	192,5	197,5
Mass, t	320	330



VVER-1200 reaktortartály

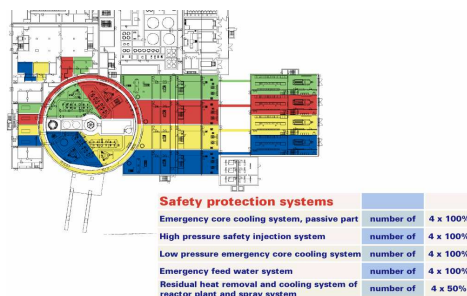
Reaktortartály



Leningrad II (titan2.ru)

VVER-1200

- Megnövelt teljesítmény*
- Javított erőmű hatásfok: 36%
 - megemelt gőznyomás a GF kilépésnél
 - csökkentett gőzvezeték nyomásesés
- Üzemidő: 50-60 év
- Biztonság, üzemzavari rendszerek:
 - Négyeszeres redundancia
 - Konténmenten belüli tartály
 - Passzív kont. hűtés
 - Passzív GF hőelvonás
 - 72 órás betáp függetlenség



VVER-1200

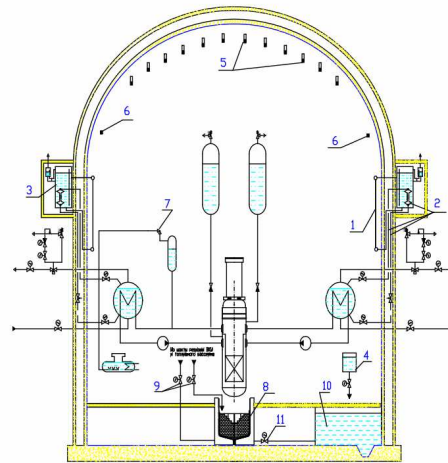
- Konténment
 - duplafalú
 - belső: előfeszített beton acél fallal
 - külső: monolitikus vasbeton



Double containment main characteristics	Unit of measurement	Value of parameter
Inner containment constructed of prestressed reinforced concrete with inner steel liner		
Inner diameter	mm	44000
Thickness	mm	1200
Design pressure at design basis Accident	MPa	0.5
Design temperature	°C	150
Free volume within containment	m ³	69169
Outer containment made of monolithic reinforced concrete		
Inner diameter	mm	50000
Thickness	mm	2200
Inter-containment space	mm	1800

VVER-1200/V491

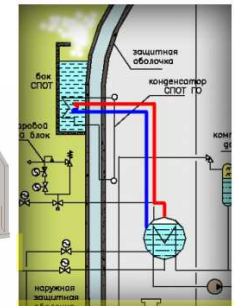
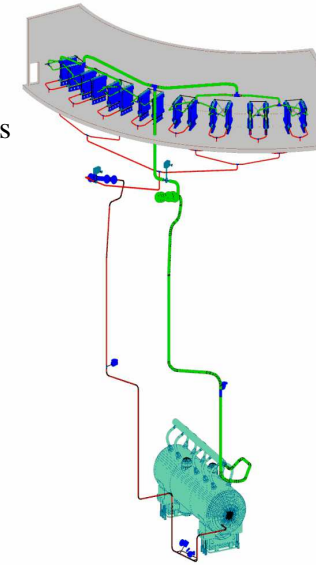
- **Konténment**
 - passzív hőelvonó rendszer
 - passzív konténment hőcserélő (PHRS/C)
 - passzív GF hőcserélő (PHRS/SG)
 - passzív kondenzátor (EHRT)
 - H rekombinátorok
 - H koncentrációmérők
 - Zónaolvadék-csapda
 - Konténment spray
 - Konténment bórosvíz



1 – PHRS/C, 2 – PHRS/SG, 3 – EHRT, 8 – Core catcher, 5- PARs

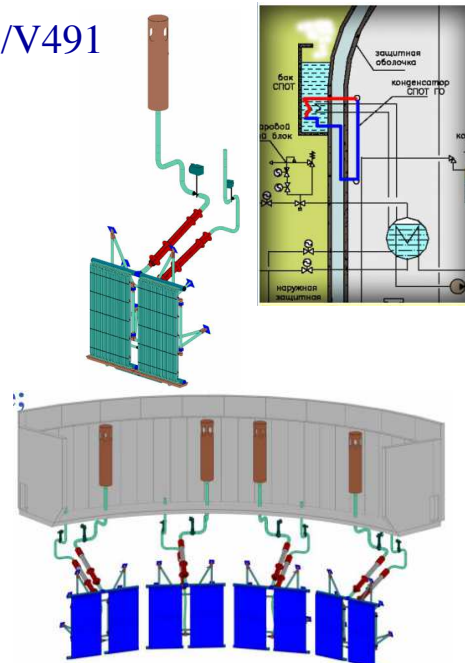
VVER-1200/V491

- **Passzív GF hőcserélő (PHRS/SG)**
 - remanenshő-elvonás leállított állapotban
 - üzemzavari hőelvonás
 - vízbetáplálás elvesztésekor
 - villamos betáp elvesztésekor

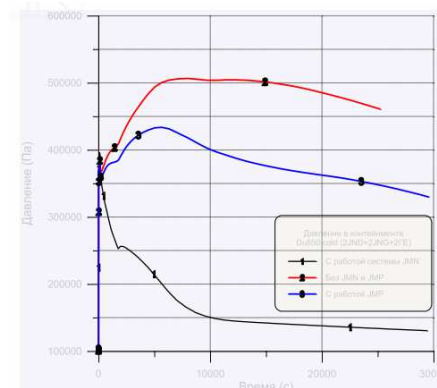


VVER-1200/V491

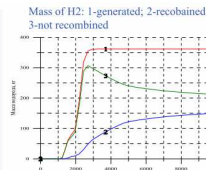
- **Passzív konténment hőcserélő (PHRS/C)**
 - természetes cirkuláció
 - konténment spray kiegészítés, illetve annak elvesztése esetén helyettesítés
- **Konténment víztartály (gyűrű) kívülről utántölthető**



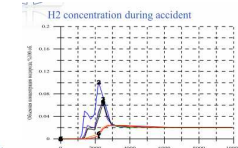
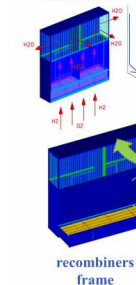
VVER-1200/V491



1) LLOCA (DBA) 2) LLOCA without Spray system, without PHRS/C 3) LLOCA without Spray system, with PHRS/C



catalytic element



Hydrogen Removal System

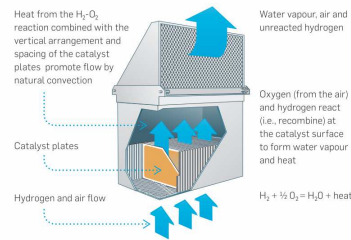


Passzív hidrogén rekombinátorok

- Platinával vagy palládiummal (katalizátorral) bevont lemezek
- A katalizátor segítségével a hidrogén és a levegő oxigénje alacsony T és H koncentráció mellett reagál gőzt képezve
- A reakció exoterm, ez a fűtés hajtja a lemezek között a természetes konvekciót
- Katalitikus rekombináció már 1-2% H koncentráció mellett
 - H égéshez vagy robbanáshoz min. 4% szükséges

Passive Autocatalytic Recombiner

A Hydrogen Management System



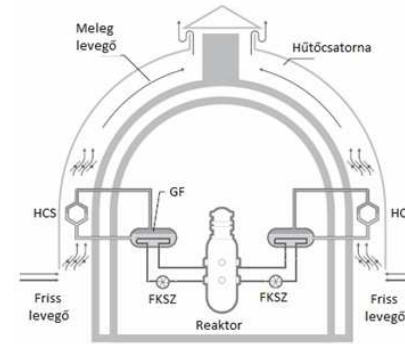
- > Self-starting
- > No power required
- > Removes hydrogen in non-flammable atmospheres
- > Easily retrofitted to any existing facility



http://www.snclavalin.com/en/files/documents/publications/pars_en.pdf

VVER-1200/V392M

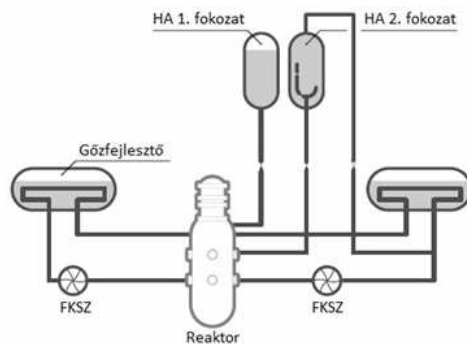
- Passzív GF hőcserélő
 - természetes cirkuláció, léghűtés



A kupola sapkájának elhelyezése a Novovoronezs 2-es blokkon [Atomenergoprojekt facebook]

VVER-1200/V392M

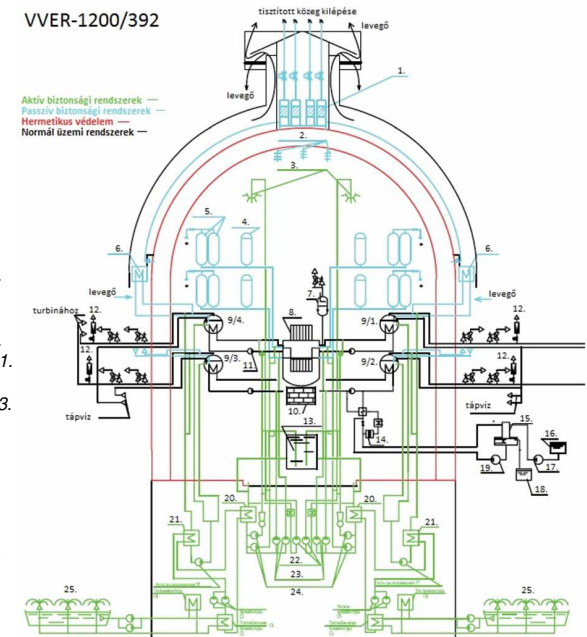
- Két hidroakkumulátor fokozat
 - „hagyományos” HA
 - gravitációs (AP1000 CMT-hez hasonló)



VVER-1200/V392M

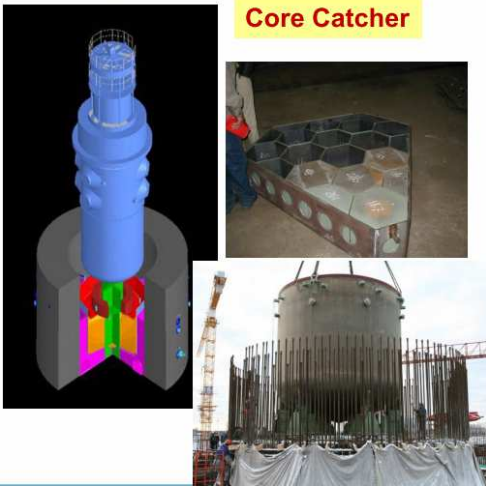
1. Légszűrők 2. Katalitikus H₂ rekombinátorok 3. Sprinkler rendszer 4. Primer hidroakkumulátor 5. Szekunder hidroakkumulátor 6. SPOT PG 7. Térfogatkompenzátor 8. Reaktor 9/x. X. gőzfejlesztő 10. Zónaolvadék csapda 11. Főkeringtető szivattyú 12. BRU-A (lefúvató-szelep atmoszférikus térbe) 13. Zsomp/ZÜHR tartály 14. Primer köri részarányú vztisztító 15. Gáztalanító pótvíz tartály 16. Szerves adalékok tartálya 17. Szivattyú 18. Szennyezett kondenzátum tartálya 19. Szivattyú 20. ZÜHR 21. Gőzfejlesztők vészhelyzeti hűtője 22. Biológiai védelem 23. Vészhelyzeti bórsav szivattyúk 24. Vészhelyzeti reaktorhűtés 25. Hűtőmedencék

VVER-1200/392

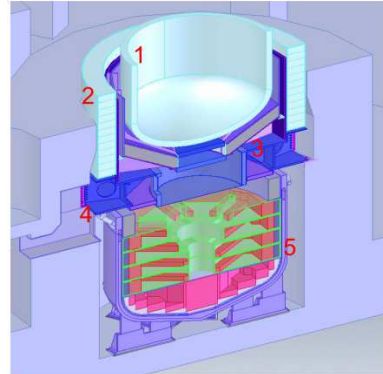


VVER-1200

• Zónaolvadék csapda



- 1: reaktortartály
- 2: száraz védelem
- 3: tartószerkezet
- 4: szerelőjárát
- 5: zónaolvadék csapda
olvadó töltet

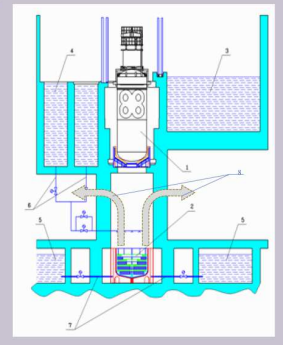


VVER-1200

• Zónaolvadék csapda

- zónaolvadék befogadása, lokalizációja
- reaktorakna integritásának megőrzése
- zónaolvadék hőelvezetése
- szubkritikusság biztosítása
- hidrogén és hasadási termékek konténmentbe jutásának korlátozása

- 1 - reactor
- 2 - core catcher
- 3 - fuel pool
- 4 - reactor internals inspection vault
- 5 - pit-tanks
- 6 - core catcher flooding pipes (water supply to the corium surface)
- 7 - core catcher heat exchanger feeding pipelines
- 8 - steam removal (pipes)



VVER-1200

