

**A VVER-1200 (AES-1200) atomerőmű:**  
A primerköri biztonsági és technológiai rendszerek,  
a víztisztító berendezések vízüzemének, vegyészetének  
szakmai és biztonsági összehasonlító elemzése, értékelése.  
A hatósági kritériumok megfogalmazása.

**OAH TSO szeminárium**

**Dr. Ósz János**

Budapest, 2017. május 31.



**LG Energia Kft.**  
Zöld energetika és vízüzem

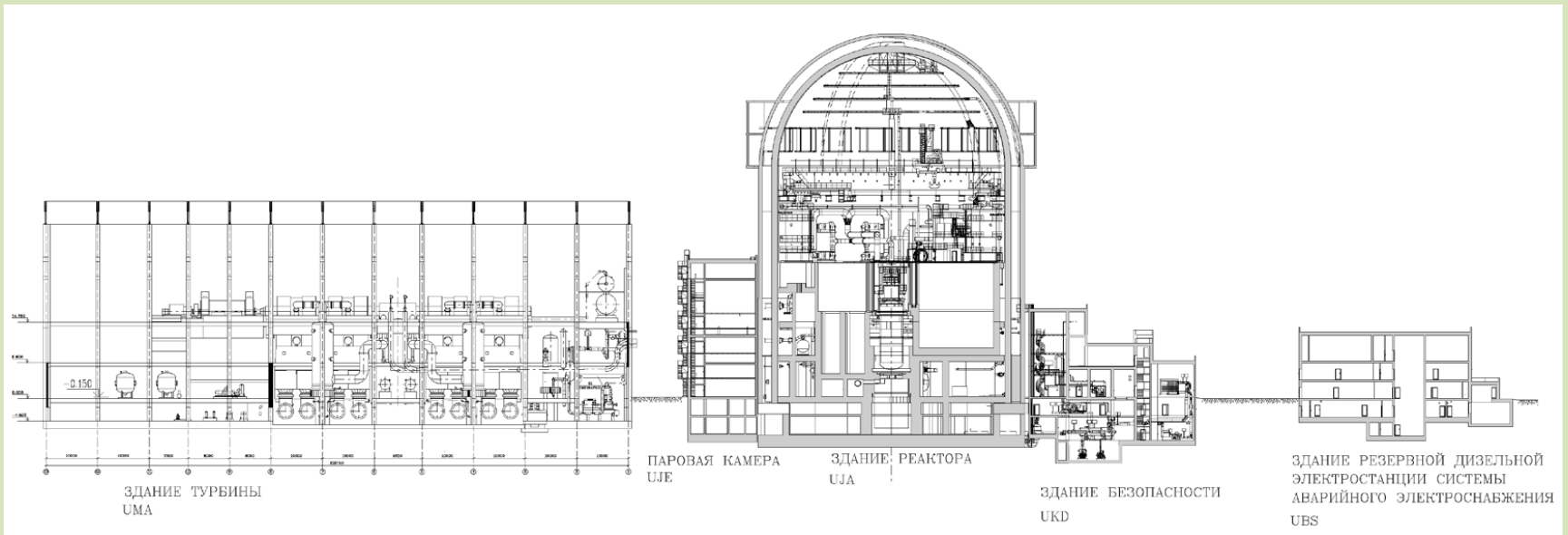
# Vízüzem

- A konstrukció, szerkezeti anyag és a vízkémia harmonikus egysége a NGB fő és mellékvíz körében, ill. **kiterjesztve a biztonsági rendszerekre és berendezéseire.**
  - *Konstrukció*: hő és anyagátvitel és lokális egyenlőtlenségei;
  - *Szerkezeti anyag*: átl. korrózió min. tömegfogyása és lokális korróziós érzékenysége;
  - *Vízkémia*: befolyásolja az átl. korróziót és a lokális korróziós környezet kialakulását.
- A biztonsági rendszerek állnak, időszakosan (ellenőrzés, baleset) üzemelnek.

# 1. Biztonsági rendszerek: alapelvek

- A biztonsági rendszerek négy teljesen független biztonsági láncból állnak.
- A tervezési alapú balesetek elhárítása a biztonsági rendszerekhez tartozik.
- Érintett épületek:
  - Reaktorépület (Reaktor building),
  - Gőzkamra (Steam cell),
  - Biztonsági épület (Safety building),
  - Irányító épület (Control building),
  - Segédépület (Auxiliary building),
  - Friss üzemanyag és szilárd radioaktív hulladék tároló épület (Fresh nuclear fuel and solide radioactive waste storage building),
  - Folyamatvíz-ellátó épületek (Process water supply buildings).

# Az épületek elrendezése



VVER-1200 atomerőmű: biztonsági rendszerek

## Biztonsági rendszerek: alapelvek 2

- A biztonsági rendszerek hierarchiája:
  - Védő rendszerek,
  - Lokalizáló rendszerek,
  - Támogató rendszerek,
  - Ellenőrző rendszerek.
- A biztonsági rendszerek általában bórsavoldatot tárolnak.
- Törekvés 3D és működési ábra (ahol lehetett) bemutatására.

N <sup>o</sup>	Megnevezés	A lánc száma és hatékonysága
	<b>Védő, lokalizáló, támogató és ellenőrző biztonsági rendszerek</b>	
1.	Nagynyomású ZÜHR (Emergency Core Cooling System)	4 x 100 %
2.	Kisnyomású ZÜHR (ECCS)	4 x 100 %
3.	Biztonsági borbefecskendező rendszer (Emergency boron injection system)	4 x 50 %
4.	Biztonsági tápvíz és hőelvonás a blokk redukáló berendezésen keresztül (Emergency feedwater and heat removal through BRU-A)	4 x 100 %
5.	Konténment beporlasztás (Sprinkler) rendszer (Containment spray system)	4 x 50 %
6.	Maradék hő-elvonás és reaktorhűtés a primerköri rendszeren keresztül (Residual heat removal and RP cooling through the primary circuit system)	4 x 100 %
7.	A fontos fogyasztók közbenső hűtőkörének hűtőrendszere (Intermediate circuit important consumers cooling system)	4 x 100 %
8.	A fontos fogyasztók folyamatvíz-rendszere (Important consumers process water system)	4 x 100 %
9.	A biztonsági rendszerek helyiségeinek szellőző rendszere (Safety System premises ventilation system)	4 x 100 %
10.	Belső konténment lokalizáló, pótló rendszer (Inner containment localizing reinforcement system)	2 x 100 %
11.	Bórsavoldat-tároló rendszer (Boric water storage system)	2 x 100 %
12.	Biztonsági gázeltávolító rendszer (Emergency gas removal system)	2 x 100 %
13.	Primerköri nyomásvédő rendszer (Primary circuit overpressure protection system)	2 x 100 %
14.	Szekunderköri nyomásvédő rendszer (Secondary circuit overpressure protection system)	2 x 100 %
15.	Főgőz-vezeték leválasztó rendszer (Main steam pipelines cutting of system)	2 x 100 %
16.	Dízelgenerátor biztonsági villamosenergia-ellátó rendszer (Diesel-generator emergency power supply system)	4 x 100 %
17.	Biztonsági rendszereket indító rendszer (Safety systems launching system 4 sensors/parameters)	4 érzékelő/paraméter 4 (2/4) logikai csatorna
18.	Reaktor biztonsági leállító rendszer (Reactor emergency shutdown system)	4 érzékelő/paraméter 4 (2/4) logikai csatorna*

	Passzív biztonsági rendszerek	
19.	ZÜHR hidroakkumulátor rendszer (ECCS hydraulic accumulator tank system)	4 x 50 %
20.	Reaktorteret lepecsételten elkerítő rendszer (Reactor compartment sealed enclosure system)	+
<b>Tervezési alapú baleseteken túli biztonsági rendszerek</b>		
21.	A gőzfejlesztők hőelvonó passzív rendszere (Passive system of heat removal from steam generators, PSHR SG)	4 x 33 %
22.	A konténment hőelvonó passzív rendszere (Passive system of heat removal from containment, PSHR C)	4 x 33 %
23.	Zónaolvadást lokalizáló rendszer (Core melt localizing system)	1 x 100 %
24.	A hidrogént elfojtó rendszer a konténmenten belül (System of hydrogen suppression within the containment)	1 x 100 %
25.	Az illó jódokat megkötő kémiai rendszer (Iodine volatile forms chemical bonding system)	1 x 100 %
26.	Biztonsági primerkörü nyomáscsökkentő berendezések (Emergency primary circuit depressurizing facilities)	2 x 100 %
27.	A konténmentek közötti horpadás-védelem ventilációs rendszere (Ventilation system for depression maintenance between the containments)	2 x 100 %

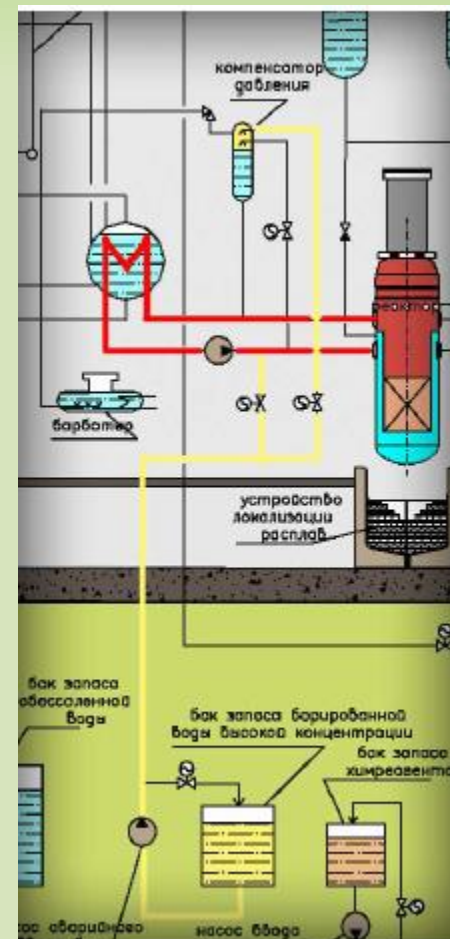
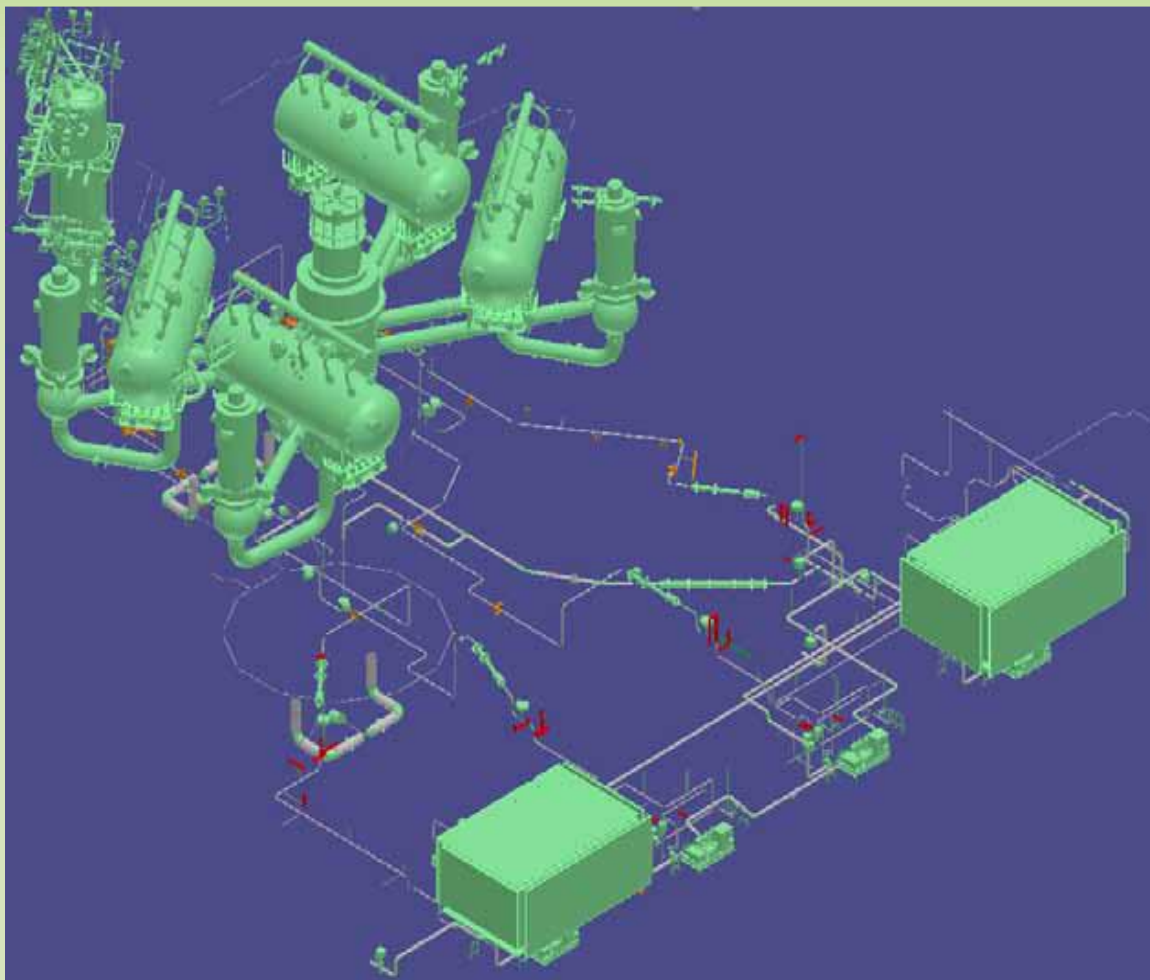
## A tárolt bórsavoldatok összehasonlítása

Jellemző	Mértékegység	Várt érték	Határérték (kritérium)
Bórsav koncentráció	g/kg	16-20 41-46	
Nátriumion koncentráció	mg/kg	<0,1	0,15
Kloridion koncentráció	mg/kg	<0,1	0,15
Összes korróziótermék	mg/kg	<0,1	0,15

Jellemző	VVER-440 Paks	VVER-1200
Nagy koncentrációjú bórsavoldat	41-46 g/kg	41-46 g/kg
Bórsavoldat-adagoló és tároló	20+45	?
Nagynyomású ZÜHR tartályok	3x80=240	
Hidroakkumulátor (passzív, 59 bar)		4x50=200
Kis koncentrációjú bórsavoldat	14,0-17,5 g/kg	16,0-20,0 g/kg
Pihentető medence	160/335	?
1. sz. akna	60	
Bóros gáztalanító	19	
Fűtőelem-kazetta átrakó csatorna		?
Bórsavoldat-adagoló és tároló	20+45	?
Kisnyomású ZÜHR tartályok	4x250=1000	
Hidroakkumulátor (52, ill. 39 bar)	4x40=160	
Nagy és kisnyomású befecskendező rendszer		4x2x120=960
3 db Sprinkler tartály + 12 db buborékoltató tálca	27+100=127	
Konténment minimálisan szükséges (számított)		975



# Vész bórbeefecskendező rendszer



## 2. Primerköri hűtővíz fogyasztók

- Technológiai:
  - Maradék hő-elvonó rendszer,
  - Felelős fogyasztók (VVER-1200 terminológia, becsült hőteljesítménnyel):
    - FKSZ hűtés ( $\approx 5$  MWth),
    - Pótvíz rendszer utóhűtő ( $\approx 3$  MWth),
    - Pihentető medence borsavoldat hűtés ( $\approx 13$  MWth).
    - Víz tisztítók hűtői.
- Primerkör biztonsági:
  - Nagy és kisnyomású ZÜHR hűtői,
  - Aktív zóna passzív vész hűtő rendszer hűtője.
- Konténment biztonsági:
  - Passzív hőelvonó rendszer hűtője,
  - Gőzfejlesztők passzív hőelvonó rendszer hűtője,
  - Zónaolvadást lokalizáló rendszer hűtője.
- Közbenső hűtőkör folyamatvízzel?

# Közbenső kör hűtővíz – folyamatvíz – ionmentes víz

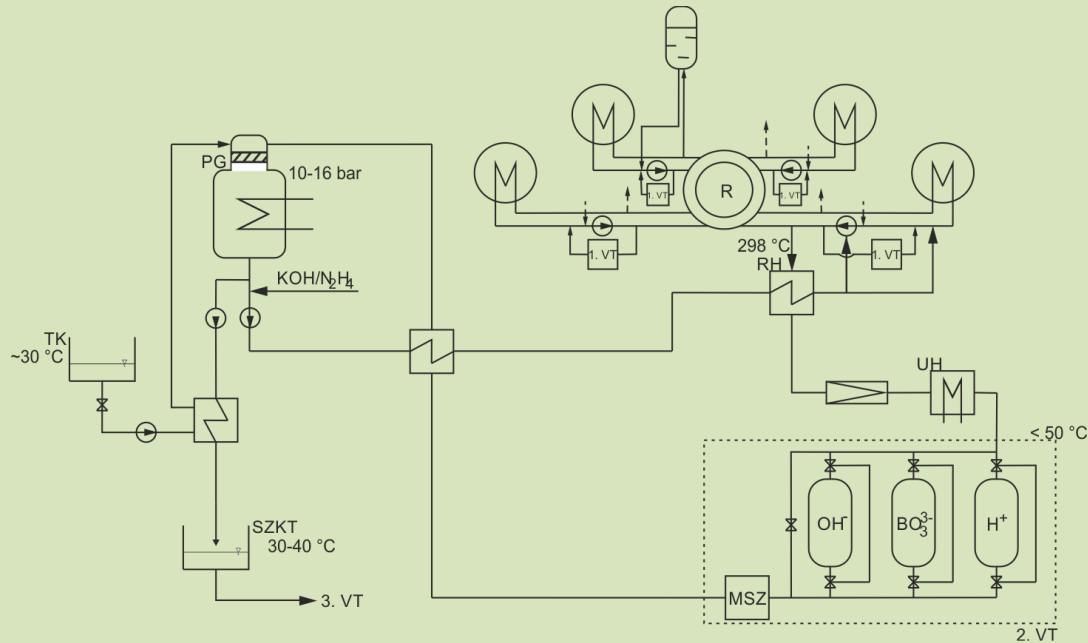
- Szerkezeti anyag: kizárólag ausztenites (08H18N10T) acél!
- Vízkémiai jellemzők:

Jellemző	Mértékegység	Várt érték	Határérték (kritérium)
Vezetőképesség 25 oC-on	μS/cm	<1	5
pH 25 oC-on	-	6,5-7,5	6,0 ill. 8,0
Kloridion koncentráció	mg/kg	<0,1	0,15
aktivitás koncentráció	Bq/kg	<30	100
Összes korróziótermék	mg/kg	<0,1	0,15

### 3. Primerköri víztisztítók

- Elhelyezés: mindegyik a segédépületben?
- *1. víztisztító*: alkalmatlan korróziótermék-szűrésre → el kell hagyni [Krickij] → ROSZATOM betervezi-e?
- *2. víztisztító* (p<25 bar, 60 m<sup>3</sup>/h, ágak száma?)
  - Fővízköri vízkémia szabályozása:
    - SZKT-TKT (fővízköri hőhordozó bórsav koncentrációja),
    - H kation, BO3 és 1 vagy 2 db OH anioncserélő (jobban szabályozható kevertágy hiánya?), diszperz szűrés?;
  - Időszakos feladatok:
    - indulás fővízköri hőhordozó kt-szűrése (?),
    - hőhordozó-anioncserélő gyanta egyensúly,
    - anioncserés borátion-kivonás (elegendő a gyantakapacitás?),
    - bórsavoldatok időszakos fogadása, tisztítása.

# 1. víztisztító (PG nyomása?), folyamatos vagy szakaszos üzemű?



## Primerköri víztisztítók 2

- **3. víztisztító:** SZKT hőhordozó és padlózatok megtisztítása a radioaktív szennyeződésektől.
  - Első VVER-1000 blokkok: VVER-440-el azonos kapacitású berendezések (főbepárló, utóbepárló, MSZ + H + OH ioncserélő, ellenőrző tartály),
  - Újabb VVER-1000 kapacitása nem ismert (600 g/kg-ig besűrítés?).
- **4. víztisztító:** Pihentető medence (+ biztonsági rendszerekben tárolt bórsavoldatok időszakos tisztítása).
  - 2 ág, VVER-440-el azonos (?), 65 m<sup>3</sup>/h, MSz+H+OH, diszperz szűrés?
  - Kapacitása elegendő-e a nagyobb térfogatú (PM + reaktorakna + fűtőelem-átrakó csatorna) bórsavoldat tisztítására?
- **5. víztisztító:** 4 db GF folyamatos és periodikus leiszapolás tisztítása.
  - Nagy tisztaságú pótvíz követelménye?
  - Kapacitása?
- **6. víztisztító:** a pót és elszennyeződött bórsavoldatok tisztítása.
  - Egy ág H + OH ioncserélő,
  - Kapacitása?

## Primerköri víztisztítók 3

- Szerkezeti anyag: kizárólag ausztenites (08H18N10T) acél;
- Vízkémiai jellemzők:

Jellemző	Mértékegység	Várt érték	Határérték (kritérium)
Főbepárló, utóbepárló	g/kg	bórsav=16-20	
		bórsav=41-46	
Korróziótermék-szűrő	mg/kg	kt<0,02	0,05
Kationcserélő	mg/kg	nátrium<0,1	0,15
Anioncserélő	mg/kg	klorid<0,1	0,15

## Pótvíz és vegyszer

- Elvárható felhasználás ( $V \approx 360 \text{ m}^3$ ):  $< 12.000 \text{ m}^3/\text{a}$ ;
- Tárolandó térfogat:  $3600\text{-}4600 \text{ m}^3$  + biztonsági tartalék;
- Becsült vegyszerfelhasználás:
  - Bórsav:  $> 46 \text{ t/a}$  (VVER-440:  $36 \text{ t/a}$ );
  - Hidrogén:  $225 \text{ g/h}$ ,
  - Káliumion:  $13 \text{ kg}$  (indulásnál).
- Töményebb koncentrációjú vegyszeroldat adagolása, precíziós szivattyúkkal!



## 4. Folyékony hulladék mennyisége

- A folyékony hulladék mennyiségének csökkentése:
  - Termikus regenerálású borát-formájú gyanta, esetleg 2VT OH gyantakapacitás növelése (bórsav koncentráció szabályozás),
  - Ammónia helyett hidrogén?
  - A hulladékvizek (aktivitáskoncentráció szerinti) szelektív gyűjtése,
  - 600 g/kg orosz bepárló (?).

**Köszönöm**

**a figyelmet!**