Bezpečnostné systémy SHCH AZ

MaR
Róbert Hinca

Základné bezpečnostné funkcie podľa INSAG 12

INSAG-12 je revíziou pôvodného INSAG-3. (International Nuclear Safety Advisory Group)

Tento dokument MAAE definuje v rámci koncepcie ochrany do hĺbky tri **základné bezpečnostné funkcie:**

- **riadenie výkonu (reaktivity)**
- **chladenie paliva**
- **zadržanie rádioaktívnych materiálov**

Tieto základné bezpečnostné funkcie sú implementované predovšetkým sériou bariér.

Fyzické bariéry zabezpečujú zadržanie rádioaktívnych materiálov v príslušných miestach.

Spoľahlivosť fyzických bariér je zvýšená v rámci koncepcie ochrany do hĺbky sériou opatrení. Časťou týchto opatrení je zabudovanie Bezpečnostných systémov do projektu elektrárne.

Projektanti bezpečnostných systémov zabezpečujú, v rozsahu tak ako je to praktické, že rôzne bezpečnostné systémy ochraňujúce fyzické bariéry za havarijných podmienok sú funkčne nezávislé.

Vyhláška ÚJD SR č. 430/2011 definuje:

Projekt jadrového zariadenia na zaistenie bezpečnosti počas spúšťania, normálnej prevádzky, postulovanej iniciačnej udalostí, abnormálnej prevádzky, projektovej havárie a v primeranej miere aj počas havárie v podmienkach rozšíreného projektu musí projekt spĺňať tieto **základné bezpečnostné funkcie** na zaistenie bezpečnosti:

a) **reguláciu reaktivity,**

b) **odvod tepla,**

c) **zadržanie rádioaktívnych látok vnútri fyzických bariér,**

d) **reguláciu a obmedzenie množstva a druhu rádioaktívnych látok uvoľnených do životného prostredia.**

Bezpečnostné funkcie

FSF(1) Riadenie reaktivity

- SF(1) zabrániť neakceptovateľným zmenám reaktivity
- SF(2) udržiavať reaktor v podmienkach bezpečného odstavenia
- SF(3) odstaviť reaktor keď to je potrebné - **podkritičnosť**
- SF(18) udržiavať podkritičnosť paliva mimo primárneho okruhu

FSF(2) Chladenie paliva

- SF(4) udržiavať dostatok inventáru **chladiva** PO pre havárie typu non-LOCA accident
- SF(5) udržiavať dostatok inventáru **chladiva** PO pre všetky udalosti DB
- SF(6) **odviesť teplo** z AZ za LOCA podmienok
- SF(7) odviesť teplo z AZ za non-LOCA podmienok
- SF(8) previesť teplo z bezpečnostných systémov do okolia
- SF(17) odviesť rozpadové teplo z paliva mimo PO

FSF(3) Zadržanie radioaktívneho materiálu

- SF(10) udržiavať prijateľnú integritu povlaku v AZ
- SF(11) udržiavať integritu PO
- SF(12) obmedziť ra-úniky z hermetickej zóny za havarijných podmienok
- SF(13) obmedziť ra-úniky zo zdrojov mimo hermetickej zóny
- SF(14) obmedziť ra-výpuste počas prevádzkových stavov
- SF(16) udržiavať kontrolu ra-výpustí z paliva mimo PO
- SF(20) udržiavať integritu **hermetickej zóny**
- SF(21) obmedziť pôsobenia ra-výpustí na verejnosť a životné prostredie

FSF – fundamental safety function
SF – safety function

- Zabezpečiť potrebné služby ako podporu bezpečnostných systémov
- Udržiavať riadenie environmentálnych podmienok v rámci elektrárne
- Zabrániť zlyhaniu systému s potenciálnym poškodením BF

Zoznam bezpečnostných systémov JE V2

1. Systém havarijných ochrán reaktora (HO, novšie - **Automatické odstavenie AO**, RPS-RTS - Reactor Trip System, breaker).
2. Systém zaistenia bezpečnosti (SZB, po modernizácii **RPS-ESFAS** – Engineered Safety Feature Actuation System).
3. Vysokotlaký systém havarijného doplňovania reaktora (TJ) včítane oddeľovacích RČA . **SHCH AZ VT.**
4. Nízkotlaký systém havarijného doplňovania reaktora – aktívny i pasívny (TH) včítane oddeľovacích RČA. **SHCH AZ NT +HA.**
5. Sprchový systém hermetických boxov (TQ), včítane oddeľovacích RČA .
6. Vákuo-barbotážny systém (XL).
7. Prepúšťacie stanice do atmosféry na parovodoch PG (PSA PG).
8. Systém superhavarijného napájania PG (SHNČ).
9. Systém technickej vody dôležitej (VF, TVD).
10. Systém zaisteného elektrického napájania 1. kategórie (SYZAN I).
11. Systém zaisteného elektrického napájania 2. kategórie (SYZAN II).
12. Poistné ventily kompenzátora objemu (PV KO).
13. Poistné ventily parogenerátorov (PV PG).
14. RČA na parovodoch (RA..S03)
15. RČA na napájacej vode (RL..S06)
16. RČA na hraniciach hermetických priestorov

Bezpečnostné systémy JE MO 34. Dôležité ochranné a riadiace systémy

- **RTS - Reactor Trip System** – Systém automatického odstavenia reaktora
- **EX-CORE** - Neutron Flux Measurement System- Systém merania neutrónového toku
- **TRIP-BREAKERy** - Power Breakers of AO – Vypínače silového napájania Automatického odstavenia reaktora
- **ESFAS** - Emergency Safety Features Actuation System –Systém zaistenia bezpečnosti (Aktivácie bezpečnostných prvkov)
- **Manual control** means from MCR and ECR – Tlačidla ručného odstavenia reaktora z BD a ND (Mean and Emergency Control Room)
- **SMS** - Seismic Monitoring System- Systém monitorovania seizmicity

Bezpečnostné systémy JE MO 34.
Výkonné bezpečnostné systémy

Primárny okruh (Reaktor, Hlavné cirkulačné potrubia, Parogenerátory, Kompenzátor objemu, pripojovacie potrubia zaisťujúce integritu)

Potrubia ostrej pary (od PG po rýchločinné armatúry) a ostatné potrubia od PG po izolačné ventily

Vysokotlaký systém havarijného doplňovania chladiva do PO

Nízkotlaký systém havarijného doplňovania chladiva do PO

Pasívny systém havarijného doplňovania chladiva do PO (systém **hydroakumulátorov**)

Vákuobarbotážny systém

Sprchový systém HZ

Stavebné konštrukcie HZ – betónová časť a obklad (oblícovka), vrátane vákuobarbotážnej veže

Systém izolácie (uzatvorenia) HZ

Systém poistných ventilov PVKO

Systém havarijného odvodu parovzdušnej zmesi z primárneho okruhu (lokalizačný systém)

Systém poistných ventilov a prepúšťacích staníc do atmosféry **PVPG, PSA**

Systém havarijnej izolácie PG (na pare a na napájacej vode)

Systém superhavarijného napájania **SSHN** (nádrže demi vody a potrubia do PG)

Systém drenáže paluby HCČ

Systém rekombinátorov vodíka v HZ v pohavarijných podmienkach (vrátane ťažkých havárií)

Bezpečnostné systémy JE MO 34
Podporné systémy

Systém technickej vody dôležitej **TVD** (vrátane chladiacich veží)

Vložený medziokruh chladenia systémov chladenia aktívnej zóny.

Systém zaisteného napájania I. kategórie (**SYZAN 1,2,3**)

Systém zaisteného napájania II. kategórie (**SYZAN 1,2,3**) vrátane **DG**

Systém chladenia miestností HVAC

Systém chladenia miestností systémov havarijného chladenia AZ

Systém chladenia priechodiek na hranici HZ

Systém chladenia miestností I&C - RCS, RRCS, INCORE (SYZAN 3)

Systém chladenia miestností HVAC - I&C – 1., 2., 3. redundancie SYZAN

Systém chladenia miestností HVAC – switchrooms (SYZAN 1, 2, 3)

Aktívne bezpečnostné systémy sú také, ktoré pre plnenie svojej funkcie potrebujú:

dodávku energie zo zdroja nachádzajúceho sa mimo tento systém (elektrická energia, tlakový vzduch, para a podobne)

aktivačný signál na uvedenie do činnosti z riadiaceho systému (elektrický, pneumatický, hydraulický a pod.)

Aktívne systémy/prvky - závisia od správnej funkcie iného systému/prvku .

Takými systémami sú napr. systémy so zásobou vody v beztlakovej nádrži, ktorá sa pomocou odstredivého čerpadla poháňaného elektromotorom prečerpáva do tlakového systému.

Výhody aktívnych systémov

- zvládnutá výroba komponentov
- veľké skúsenosti z používania (zaručená funkčnosť)
- testovateľné v krátkych intervaloch (do značnej miery aj za prevádzky)
- sú schopné dlhodobej prevádzky (externé doplňovanie, recirkulácia, ...)

Nevýhody aktívnych systémov

- vyžadujú zdroje energie a niekedy pomocné systémy
- vyžadujú zložité aktivačné a riadiace systémy
- systémy obsahujú veľa prvkov a sú zložité

Pasívne bezpečnostné systémy sú také, ktoré pre plnenie svojej funkcie :

nepotrebujú dodávku energie, lebo ju majú naakumulovanú v stave pripravenosti (tlak plynu, hydrostatický tlak kvapaliny a pod.), alebo ju získajú z procesu nasledujúcom po vzniku iniciačnej udalosti (tlakový rozdiel, rozdiel teplôt a pod.)

nepotrebujú aktivačný signál zvonku, ale sa aktivujú bezprostredne, keď nastanú určité podmienky (zmena znamienka rozdielu tlakov, nárast teplotných rozdielov a pod.). Využívajú známe prírodné zákony (rozdiel hustoty média - prirodzená cirkulácia, rozdiel koncentrácií, rozdiel tlakov a pod.)

Pasívne systémy/prvky – ich fungovanie závisí iba od vzniku udalosti ktorá ich k tomu vyzve a nezávisia od práce iného systému/prvku (napríklad riadiaceho systému, zdroja energie, a pod.)

Takými systémami sú napr. systémy so zásobou vody v tlakovej nádrži, alebo v beztlakovej nádrži položenej vyššie, ktorá sa pomocou tlakového spádu prečerpáva do tlakového systému s nižším tlakom.

Pasívne bezpečnostné systémy
Výhody a nevýhody

Výhody pasívnych systémov

v niektorých aplikáciách **zvládnutá výroba**

nevyžadujú pomocné zdroje energie (na úrovni bezpečnostných systémov)

nevyžadujú zložité riadiace systémy

napomáhajú dosiahnuť taký stav bezpečnosti, že havarijné plánovanie by mohlo byť obmedzené iba na areál elektrárne

Nevýhody pasívnych systémov

niekedy obmedzená kapacita a potreba ťažkých tlakových nádrží (napr. hydroakumulátory)

nemožnosť testovať funkčnosť za prevádzky

sú mnohé obavy z citlivosti týchto systémov na **poruchy so spoločnou príčinou**

nové aplikácie si vyžadujú rozsiahly experimentálny program

použitie pasívnych systémov na SHCHZ - systém chladenia aktívnej zóny znamená, že každá udalosť LOCA končí úplným zaplavením reaktora a dolnej časti ochrannej obálky, čo vyžaduje veľký rozsah dekontaminačných prác

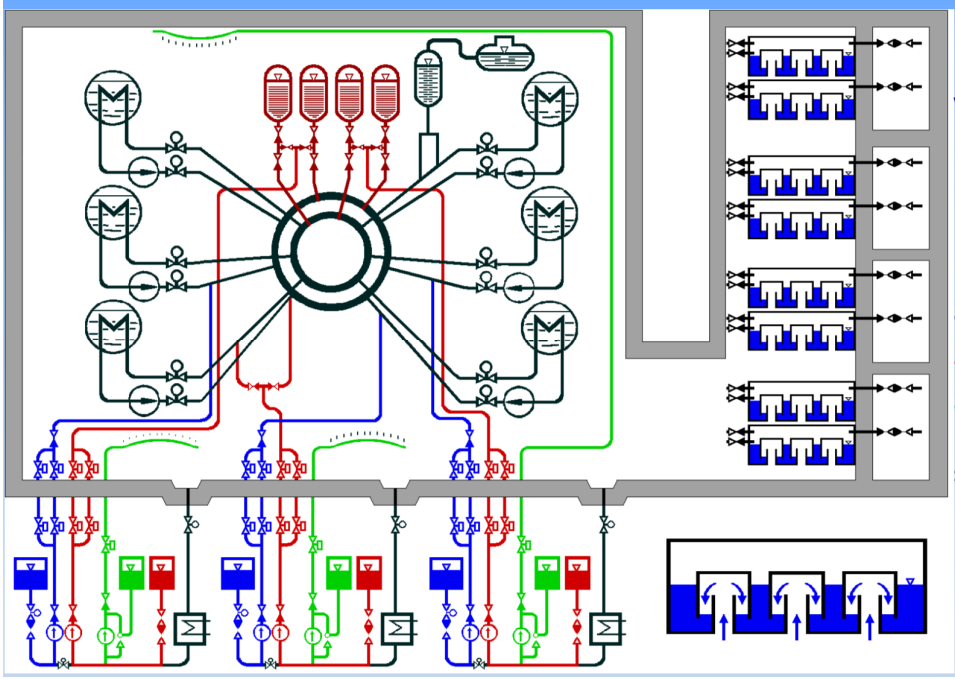
Systémy havarijného chladenia aktívnej zóny

- **SHCHAZ VT**
- **SHCHAZ NT**
- **HA**

Systém havarijného chladenia aktívnej zóny sa skladá z vysokotlakého a nízkotlakého systému.

Nízkotlaký systém obsahuje aktívny a pasívny systém.

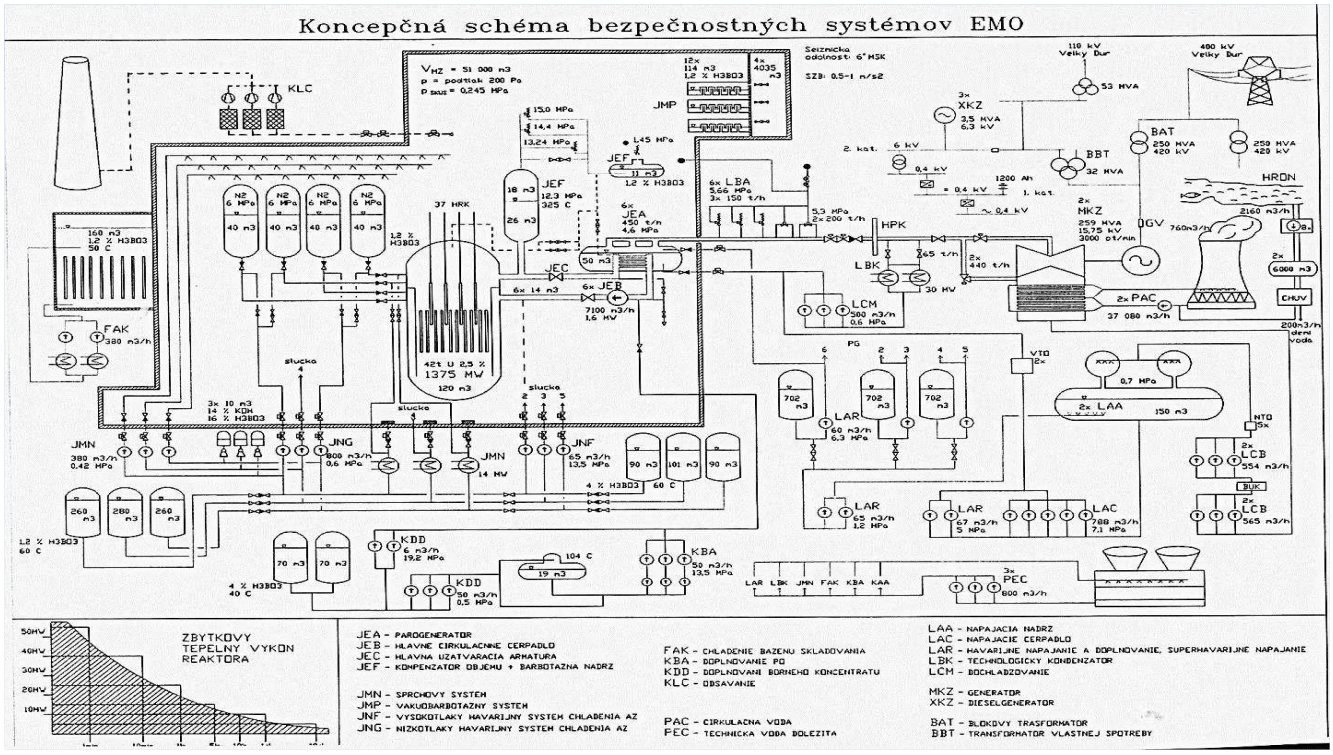
Bezpečnostné systémy JE VVER 440-V 213



Barbotážna veža (XL)
vákuo-barbotážny systém
plynojemy

HA
SHCH AZ VT (TJ)
SHCH AZ NT (TH)
Sprchový systém (TQ)
Recirkulačná slučka SHCH AZ +
systém drenáže paluby NCČ

Princíp činnosti žľabov



SHCHAZ VT

VT systém havarijného doplňovania má na tretej úrovni ochrany do hĺbky za úlohu plniť viacnásobné bezpečnostné funkcie:

- **bezpečnostná funkcia chladenia paliva** - úloha zabezpečiť bezpečnostné funkcie **odvodu tepla** z aktívnej zóny za podmienok LOCA, spôsobenej netesnosťou (prasknutím) systému primárneho okruhu zadržiavajúceho chladivo reaktora. K tomu patrí aj bezpečnostná funkcia **udržiavať dostatočnú zásobu chladiva** v PO vo všetkých udalostiach v rámci projektu, teda aj pri únikoch chladiva sekundárneho okruhu.
- **bezpečnostná funkcia riadenia reaktivity** – úloha zabezpečiť bezpečnostné funkcie **predísť** neakceptovateľným **prechodovým procesom** s reaktivitou a **udržať** reaktor v podmienkach **bezpečného odstavenia**. Teda má za úlohu zaviesť zápornú reaktivitu na úrovni bezpečnostného systému pomocou doplňovania bórovej vody na dosiahnutie odstavnej koncentrácie, alebo kompenzovať kladné efekty reaktivity spôsobené vychladzovaním zo strany sekundárneho okruhu, napr. roztrhnutím parovodu.

Činnosť SHCHAZ VT

VT havarijné doplňovacie čerpadlá nasávajú roztok **40 g H_3BO_3/kg H_2O** z nádrží havarijnej zásoby cez kolektor havarijných čerpadiel.

Výtlak čerpadiel má dve trasy, ktoré plnia nasledovné funkcie:

- **jedna z trás je hlavná výtlačná trasa**. Je zaústená do neoddeliteľnej časti studenej vetvy slučky č. 2 (TJ21), 3 (TJ41), 5 (TJ61). – plní bezpečnostnú funkciu. Táto trasa je uvedená do činnosti príslušnými ochranami (ESFAS) ak sa reaktorový blok, dostane do havarijnej situácie.
- **druhá trasa je rozbehová a skúšobná**. Trojcestný ventil plní funkciu spätného ventilu na výtlaku čerpadla TJ21(41,61)D01, proporcionálne delí dopravované množstvo chladiva na recirkuláciu, resp. do reaktora, zabezpečuje protitlak pre rozbeh a prevádzku čerpadla. Zaisťuje tak optimálne podmienky práce komponentu.

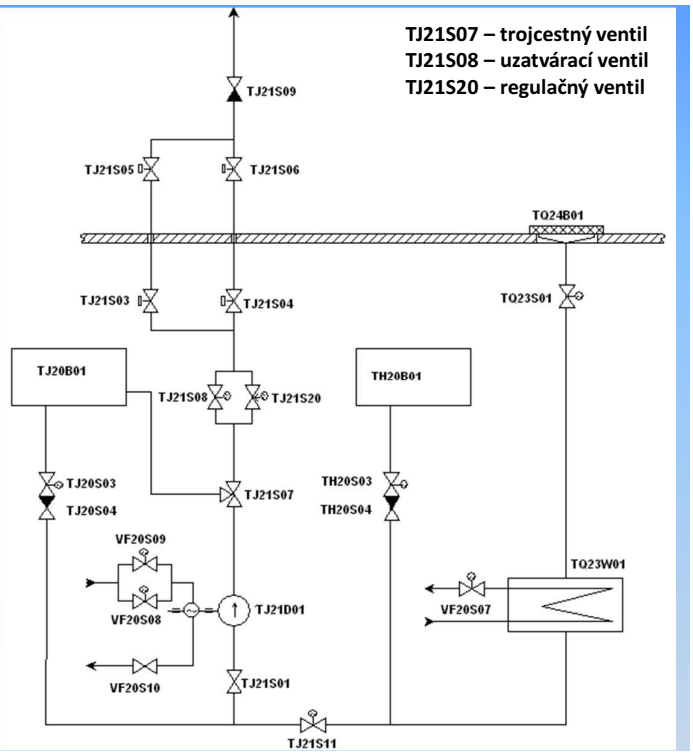
SHCHAZ VT

Nádrž havarijnej zásoby roztoku H_3BO_3 - TJ 20,40,60B01
Slúži ako havarijný zásobník roztoku H_3BO_3

Náplň roztoku H_3BO_3	90 m^3
Menovitý objem:	109 m^3
Koncentrácia H_3BO_3:	40 g/kg

VT havarijné doplňovacie čerpadlo TJ21 (41,61) DO1
Je to odstredivé čerpadlo typu CN 65 - 130.

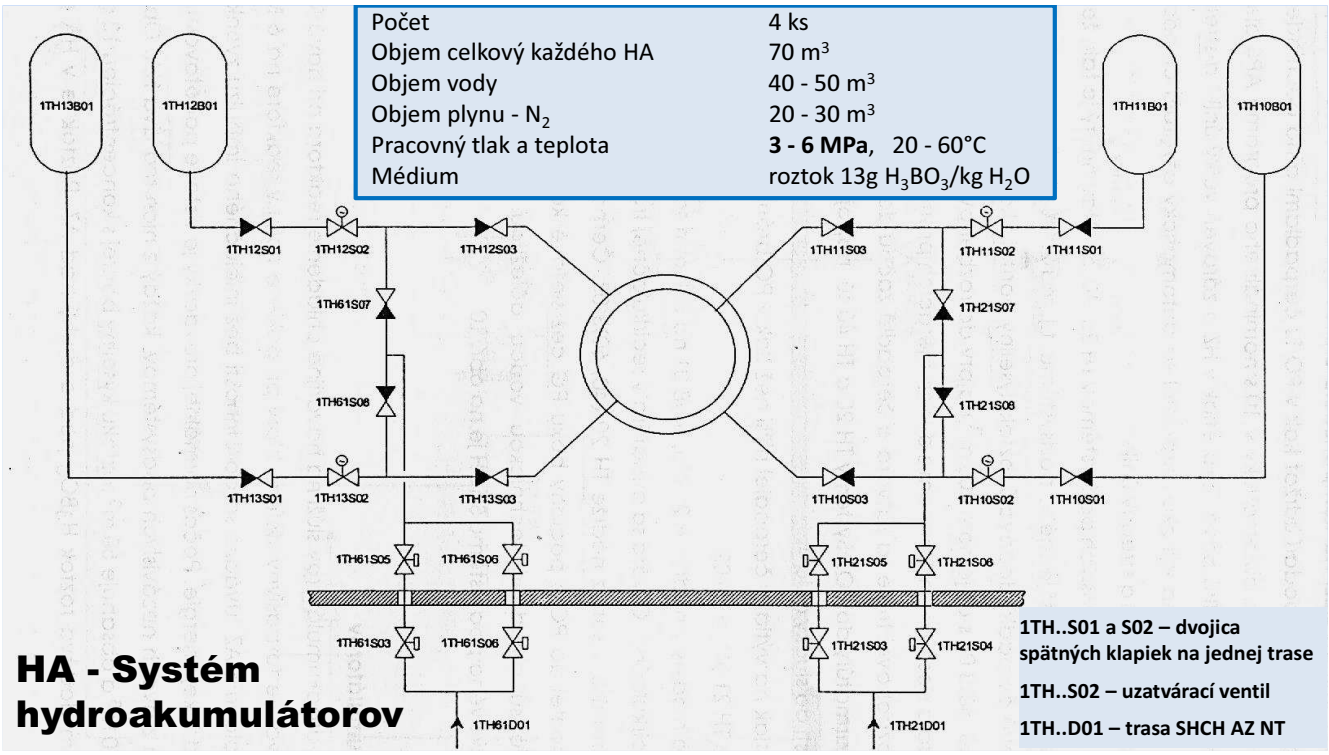
Výkon: - nominálny	65 m^3/h
- maximálny	130 m^3/h
Tlak na výtlaku: pri nom. výkone	13 MPa
pri max. výkone	4,4 MPa
Max. teplota prečerpávaného média	104°C
Elektromotor: - výkon	500 kW
- napätie	6000 V
- prúd	54,8 A



Činnosť SHCNAZ VT

- Pri nábehu čerpadla trojcestný ventil (TJ21(41,61)S07) zabezpečuje proporcionálne delenie dopravovaného množstva na recirkuláciu resp. do reaktora pri rôznych tlakových pomeroch v PO.
- Pre naregulovanie veľmi malého prietoku roztoku kyseliny boritej do reaktora (malé netesnosti) sú vo výtlačnej trase TJ čerpadla nainštalované dva ventily – TJ21(41,61)S08 je uzatvárací a TJ21(41,61)S20 je regulačný ventil.
- Požiadavky na chladenie TJ čerpadla sú pokryté z rozvodu TVD.
- Ložiská, barierový okruh chladenia mechanických upchávok rotora čerpadla a vzduch elektromotora čerpadla je chladený TVD VF20(40,60).
- Olej ložísk je ochladzovaný technickou vodou z odbočky pre chladenie statora elektromotora pohonu VT čerpadla.

Počet	4 ks
Objem celkový každého HA	70 m^3
Objem vody	40 - 50 m^3
Objem plynu - N_2	20 - 30 m^3
Pracovný tlak a teplota	**3 - 6 MPa**, 20 - 60°C
Médium	roztok 13g H_3BO_3/kg H_2O



HA - Systém hydroakumulátorov

1TH..S01 a S02 – dvojica spätných klapiek na jednej trase

1TH..S02 – uzatvárací ventil

1TH..D01 – trasa SHCH AZ NT

Činnosť systému HA

- Pasívny systém havarijného doplňovania PO tvorí **medzistupeň** medzi aktívnymi VT a NT systémami.
- Je schopný krátkodobo zabezpečiť pomerne veľký prietok vody s obsahom bóru do reaktora v prípade **strednej a veľkej udalosti LOCA**.
- Tento systém pracuje samovoľne. Uvádza sa do činnosti bez iniciačného impulzu zvonku a bez prívodu energie.
- Po vyčerpaní vlastnej zásoby energie (danej Δp medzi hydroakumulátorom a PO) musí byť vystriedaný aktívnym NT systémom.
- Z hľadiska jadrovej bezpečnosti, pre prípad zlyhania niektorého zariadenia pasívneho NT systému, je tento systém **100% zálohovaný**. Tvoria ho dva nezávislé i funkčne identické podsystémy (2 x 100%).

Činnosť systému HA

Jeden pasívny systém je tvorený dvomi hydroakumulátormi o vnútornom pretlaku **3,5 MPa**.

Hydroakumulátory sú spojené s reaktorom potrubnými trasami **Js 250** a to z TH10, 12B01 so zaústením pod AZ a z TH11, 13B01 nad AZ reaktora.

Tlakový rozdiel medzi PO a objemom hydroakumulátora je udržovaný dvomi **spätnými klapkami Js 250**.

Medzi spätnými klapkami je umiestnený uzatvárací ventil TH10,11,12,13S02, ktorý zabraňuje vyprázdneniu hydroakumulátora pri plánovanom odstavení bloku, spojenom so znížením tlaku PO pod tlak v hydroakumulátore.

Medzi spätný ventil a hrdlo hydroakumulátora je pripojené potrubie slúžiace pre plnenie, resp. doplňovanie roztoku do hydroakumulátora, ak by došlo z nejakých príčin k jeho úbytku.

Proti nadmernému stúpnutiu tlaku dusíkového vankúša je hydroakumulátor poistený dvomi poistnými ventilmi o otváracom tlaku 6,2 - 6,4 MPa. Výfuk poistných ventilov je zavedený do priestoru boxu PG.

SHCHAZ NT

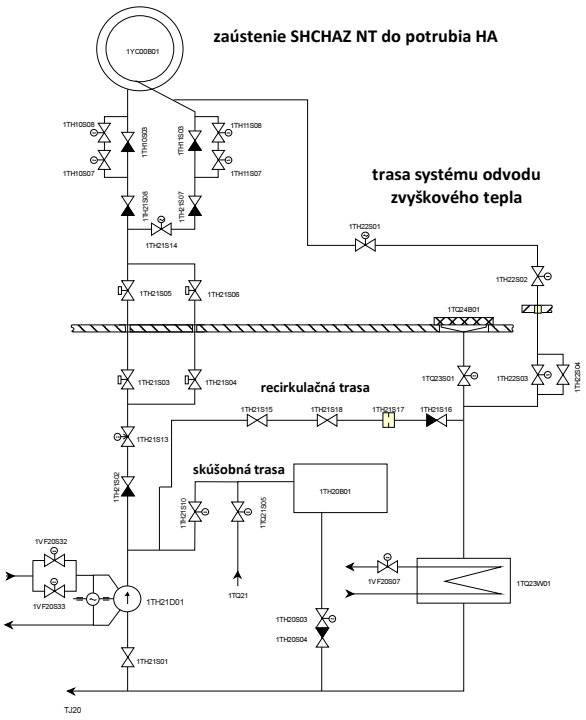
Nádrž havarijnej zásoby kyseliny boritej TH20,60B01

Menovitý objem 316 m^3
Pracovný objem 261 m^3
Médium roztok 13 g H_3BO_3/kg H_2O
Nádrž TH 40B01 je z priestorových dôvodov rozdelená na 2 časti, má však obdobné parametre.

Nízkotlaké havarijné doplňovacie čerpadlo TH21(41,61) 01

Odstredivé čerpadlo 8 CH - 6K - 2G
Výkon: - nominálny 200 m^3/h
- maximálny 360 m^3/h
Tlak na výtlaku:
- pri nomin. výkone 0,78 MPa
- pri maxim. výkone 0,64 MPa

Elektromotor:
- výkon 110 kW
- napätie 380 V



Činnosť SHCHAZ NT

- Každý aktívny NT systém je tvorený uzlom, ktorý pozostáva z jedného NT **čerpadla** havarijného chladenia AZ, zásobnej **nádrže** roztoku H_3BO_3 a spojovacieho **potrubia**.
- NT havarijné čerpadlá nasávajú roztok 13 g H_3BO_3/kg H_2O z uvedených nádrží havarijnej zásoby cez kolektor havarijných čerpadiel. Výtlak čerpadiel TH21,61 DO1 je zaústený do **potrubia od hydroakumulátora** cez spätné ventily TH21,61 S07,08. Výtlak čerpadla TH41DO1 ústi do neoddeliteľnej časti štvrtej **slučky PO**. Pri prechode výtlačnej trasy cez stenu HZ je potrubie rozdvojené a potom sa znovu spája. NT aktívny havarijný systém sa uvedie do činnosti, ak sa RB dostane do havarijnej situácie príslušnými ochranami.
- **Výtlak čerpadiel má tri trasy**, ktoré plnia nasledovné funkcie:
  - jedna z trás je hlavná výtlačná a je zaústená do PO cez RČA, tak ako to je vyššie uvedené – plní bezpečnostnú funkciu. Táto trasa je uvedená do činnosti príslušnými ochranami ak sa reaktorový blok –RB, dostane do havarijnej situácie
  - druhá trasa je trasa trvalej recirkulácie (cez TH21 (41,61) S15) – zaisťuje optimálne podmienky práce komponentu a slúži na overovanie tesnosti chladiča sprchového systému
  - tretia trasa slúži ako skúšobná (cez TH21 (41,61) S10) – slúži na overenie funkčnosti komponentu v oblasti pracovného bodu

Systém odvodu zvyškového tepla

RHR (Residual Heat Removal system)

Dva z troch systémov sú upravené tak, aby boli schopné plniť funkciu systému odvodu zvyškového tepla na primárnom okruhu – RHR (Residual Heat Removal system).

Systém RHR je určený:

- k zabezpečeniu dochladenia AZ reaktora po seizmickej udalosti
- k obnoveniu prirodzenej cirkulácie v reaktore po jej prerušení
- k odvodu zvyškového tepla z AZ reaktora pri odstavenom reaktore (výmena paliva)

Systém RHR je tvorený dvomi funkčne samostatnými podsystémami 1TH22,62. Je projektovaný so **100% zálohovaním**, t.j. k úspešnému odvodu zvyškového tepla z AZ postačuje činnosť jedného okruhu (podsystému).

Ten pozostáva z čerpadla 1TH21(61)D01, výtlačnej vetvy 1TH21(61), 1TH10(12), reaktora, potrubnej vetvy 1TH22(62), 1TQ23(63), sprchového chladiča 1TQ23(63)W01 a sacej vetvy 1TH21(61). Prietok možno regulovať pomocou armatúry 1TH21(61)S13.

Akceptačné kritériá prijateľnosti systémov havarijného chladenia aktívnej zóny

- AC1 Je zabezpečené krátkodobé i dlhodobé chladenie palivových prútikov. **Teplota pokrytia** palivových prútikov neprekročí 1 200°C.
- AC2 Je zabezpečené krátkodobé i dlhodobé chladenie palivových prútikov. Lokálna **oxidácia pokrytia** palivového prútika neprekročí 17% z počiatočnej hrúbky pokrytia.
- AC3 Je zabezpečené krátkodobé i dlhodobé chladenie palivových prútikov. Celkové **množstvo vodíka** z chemickej reakcie pokrytia palivových prútikov s vodou alebo parou neprekročí 1% z hypotetického množstva, ktoré by vzniklo pri zreagovaní všetkých pokrytí palivových článkov v aktívnej zóne.
- AC4 Nedôjde k lokálnemu **taveniu** jadrového paliva.
- AC5 Nedôjde k **deštrukcii** palivových prútikov. Radiálna spriemerovaná špecifická entalpia jadrového paliva v žiadnej axiálnej pozícii prútika neprekročí limitnú hodnotu pre čerstvé jadrové palivo ani pre vyhorené jadrové palivo (hodnota kritéria závisí od hĺbky vyhorenia jadrového paliva).
- AC6 Je zabezpečené **dlhodobé chladenie** aktívnej zóny.

Systémy odvodu tepla na sekundárnej strane
Systém havarijného napájania PG

- Pôvodným účelom systému havarijného napájania PG bolo dodať vodu do parogenerátorov za havarijných podmienok, alebo prechodových stavov, keď systém elektronapájacích čerpadiel nie je funkčný. Tým zabezpečuje **odvod tepla** naakumulovaného v PO a v PG a odvod zvyškového tepla AZ. Odtiaľ zrejme je odvodený jeho názov.
- Okrem toho je systém havarijného napájania PG schopný dodávať vodu do PG pri normálnej prevádzke ako **nábeh a odstavovanie bloku,** pokiaľ je potreba napájacej vody pre blok menšia ako 60 t/h a tiež pri odstavení v horúcom stave. Na tieto funkcie sa využíva prednostne, lebo je schopný dodať predhriatu vodu z napájacích nádrží a tým minimalizovať teplotné namáhanie PG.
- V projekčnej terminológii iných elektrární sa podobné čerpadlá nazývajú „**Nábehové napájacie čerpadlá**“.

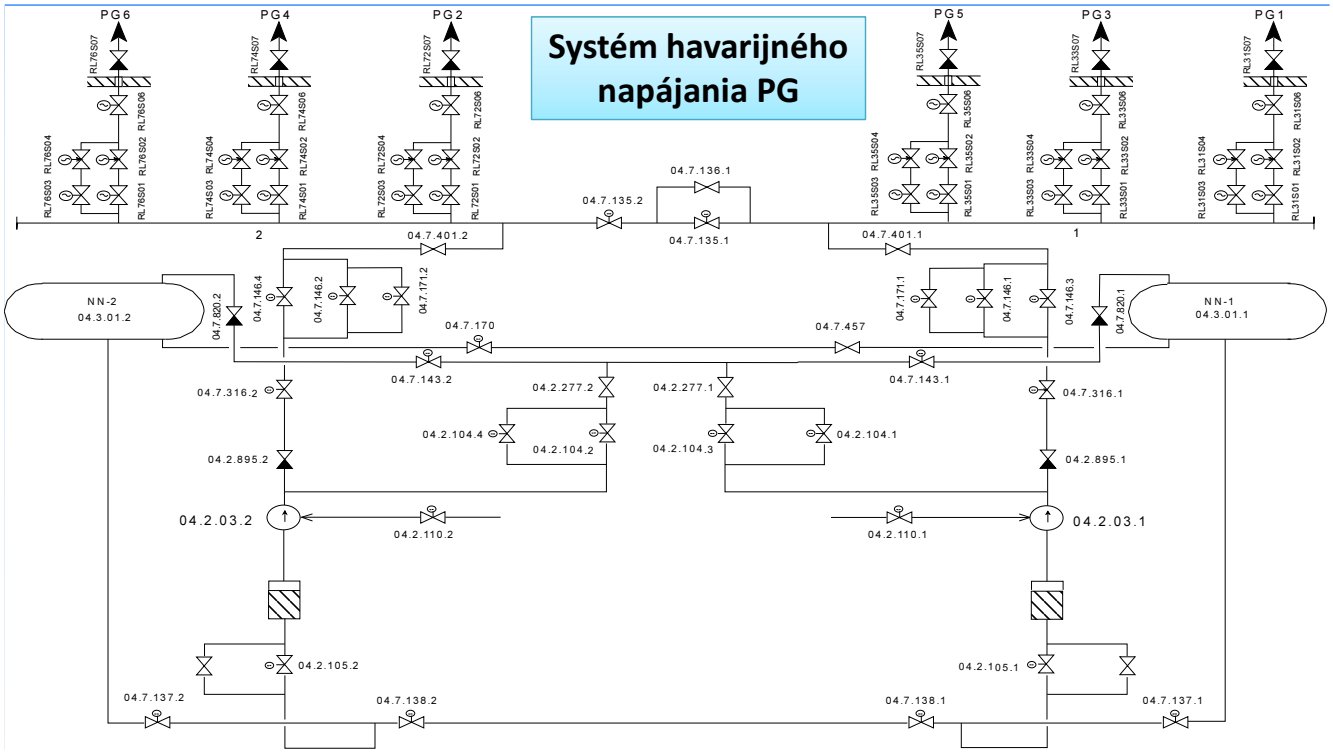
Technické parametre čerpadla:

čerpaná kvapalina	- napájacia voda upravená
teplota napájacej vody	- 164°C
tlak v napájacej nádrži	- 0,7 MPa
tlak na vstupnom hrdle	- 0,87 MPa
tlak na výtlačnom hrdle	- 5,15 MPa
dopravované množstvo	- 60 t/h
príkon čerpadla/pri t =164°C	- 117,7 kW

Elektromotor 2V 115 - 02H

Menovitý trvalý výkon	- 170 kW
Menovité napätie	- 6000 V

Elektrické napájanie čerpadiel a armatúr je zabezpečené z II. kategórie SYZAN z 1. a 2. systému (V,W).

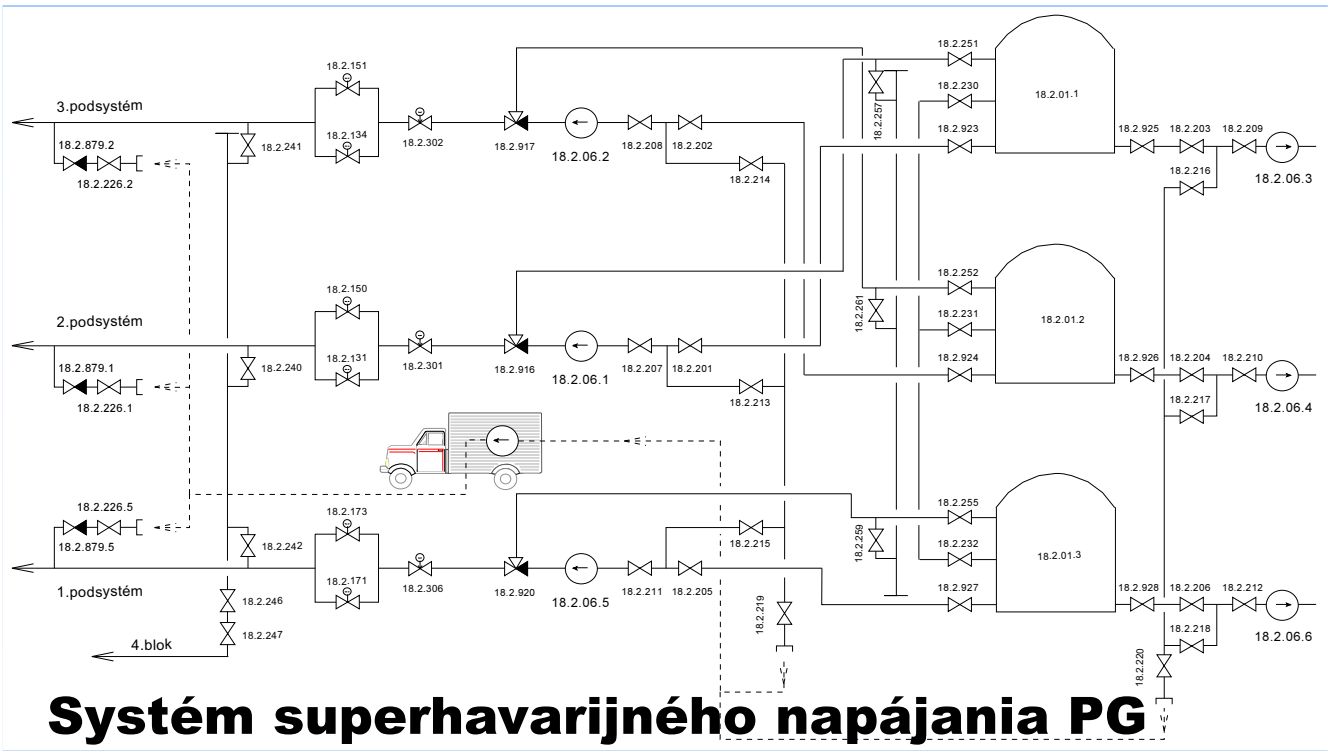


Systém superhavarijného napájania PG

- Primárnou funkciou systému superhavarijného napájania PG je dodať vodu PG za havarijných podmienok, alebo abnormálnej prevádzky, **keď systém hlavných ani havarijných napájacích čerpadiel nie je funkčný**.
- Tým plní hlavnú bezpečnostnú funkciu **chladenie paliva** a bezpečnostné funkcie odvodu tepla z aktívnej zóny za podmienok LOCA (ak je LOCA taká malá, že nestačí na chladenie AZ) a za podmienok bez LOCA.
- V princípe systém SHNČ je schopný dodávať napájaciu vodu do PG pri nábehu a odstavovaní za normálnej prevádzky. Na tieto účely sa nevyužíva, ale používajú sa HNČ.
- Systém superhavarijného napájania PG koncipovaný s 200% zálohovaním t. zn., že je tvorený tromi nezávislými, funkčne identickými systémami (3x100%).

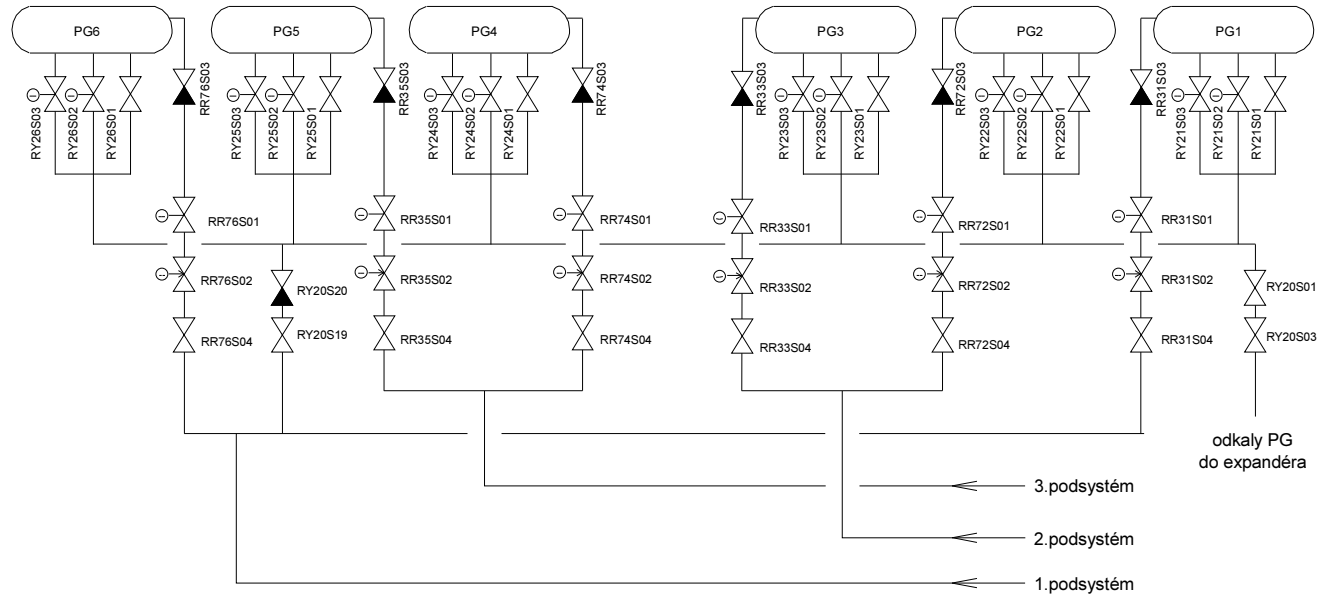
Činnosť SHNČ

- Superhavarijné napájacie čerpadlá slúžia k dodávke demivody o teplote 20 - 50°C **z troch 1000 m^3 nádrží** v CHÚV v havarijných prípadoch do parogenerátorov.
- Napájanie PG týmto spôsobom sa pripúšťa **iba 10x** za dobu životnosti JE.
- SHNČ sú v zapojení 1 pracovné + 2 rezervné /pre jeden blok/, šesť havarijných napájacích hláv /pre jeden blok/ a spojovacie potrubie.
- Funkčne k tomuto zariadeniu patria aj tri **1000 m^3 uskladňovacie nádrže demivody**, ktoré sú na CHÚV a slúžia na vyrovnávanie rozdielov medzi okamžitou výrobou a odberom demineralizovanej vody.
- Superhavarijné napájacie čerpadlo je napojené na príslušný **sací kolektor** sacím potrubím cez uzatváraciu elektroarmatúru. Výtlaky každého SHNČ sú vedené **samostatne potrubím** do strojovne, kde napájajú vždy **dvojicu parogenerátorov** príslušného bloku.
- **Elektrické napájanie** čerpadiel a armatúr je zabezpečené z **II. kategórie SYZAN**.
- Ovládacie signály zabezpečuje vždy príslušný systém zaistenia bezpečnosti **ESFAS**.



Systém superhavarijného napájania PG

Rozvod SHNČ do PG



PSA - prepúšťacie stanice do atmosféry

- Účelom prepúšťacích staníc do atmosféry PSA je **obmedziť nárast tlaku** v PG a HPK pri zhoršení odvodu tepla na SO. Cieľom je predísť, alebo aspoň znížiť frekvenciu uvedenia do činnosti poistných ventilov PG.
- Druhým účelom je **zabezpečiť odvod tepla z PG** pri úplnej strate odvodu tepla do SO. Túto funkciu PSA plnia v súčinnosti so systémami napájania PG (ENČ, HNČ, SHNČ) a plnia ju za predpokladu, že strata odvodu tepla na SO je takého charakteru, že HPK zostáva pripojený k PG.
- Z pohľadu plnenia hlavných bezpečnostných funkcií má za úlohu plniť hlavnú bezpečnostnú funkciu **chladenie paliva** a bezpečnostnú funkciu **odvod tepla z AZ za podmienok bez LOCA** a **za podmienok LOCA** (pre malé LOCA, ktoré nie sú schopné odviesť teplo z AZ)
- Systém prepúšťacích staníc do atmosféry je koncipovaný s 200% zálohovaním t. zn., že je tvorený tromi nezávislými, funkčne identickými systémami. Je možné predpokladať zlyhanie niektorého z komponentov jedného systému.

Činnosť PSA

Na bloku sú umiestnené tri dvojice PSA. Každá PSA je pripojená k jednému parogenerátoru.

Škrtiaci ventil má hltnosť 100 t/h pri parametroch vstupnej pary 5,6 MPa a 271°C.

Výfuk je vyvedený na strechu. PSA sú vybavené regulačným obvodom, ktorý má nastavené hodnoty:

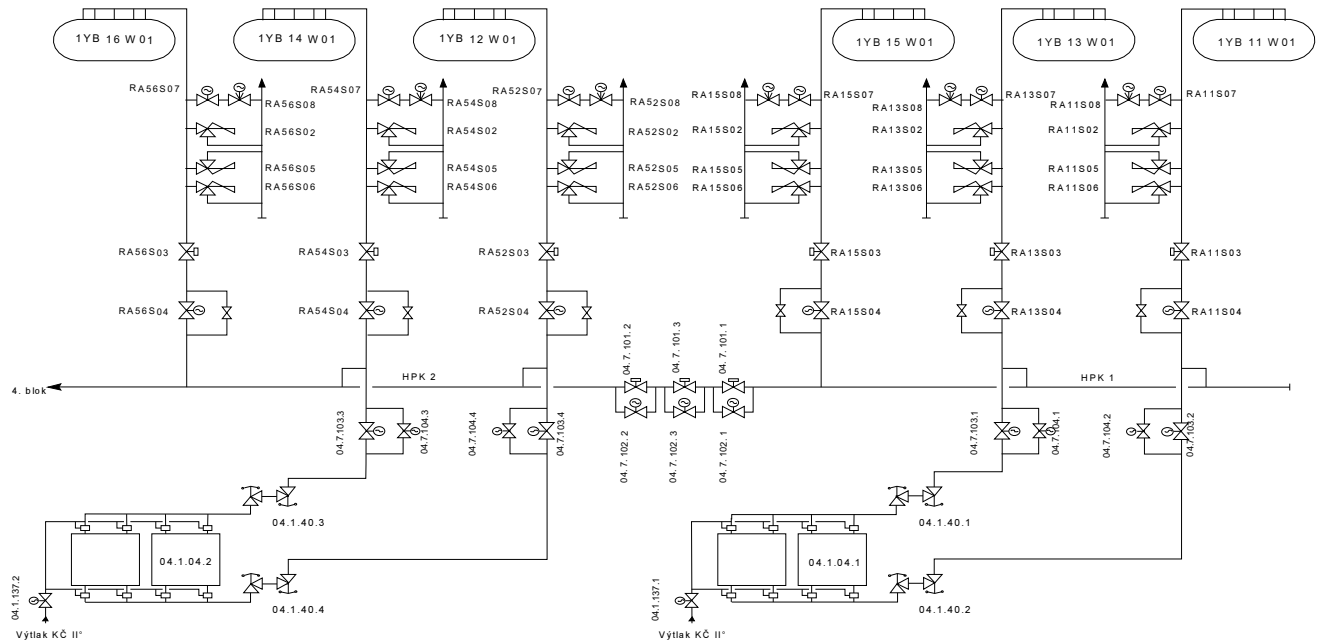
- otvárací tlak 5,3 MPa
- regulovaný tlak 4,8 MPa
- zatvárací tlak 4,7 Mpa

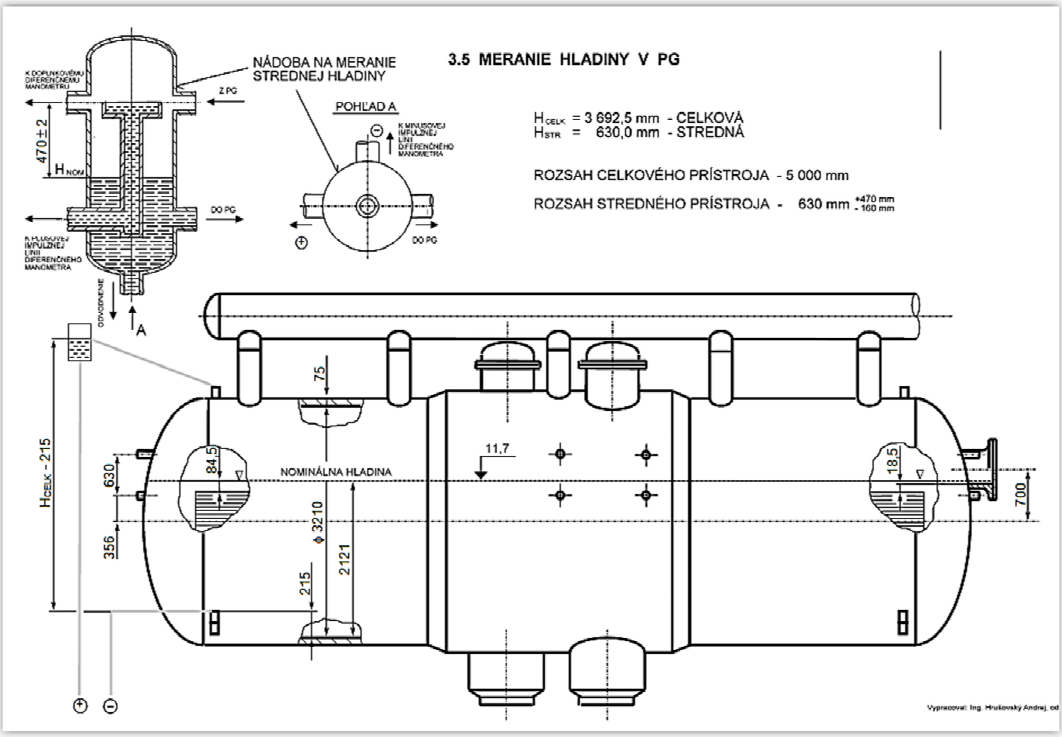
Každá stanica má regulačný a uzatvárací ventil. Ovládanie je pomocou bezpečnostného systému ESFAS (SZB) a pomocou systému RLS.

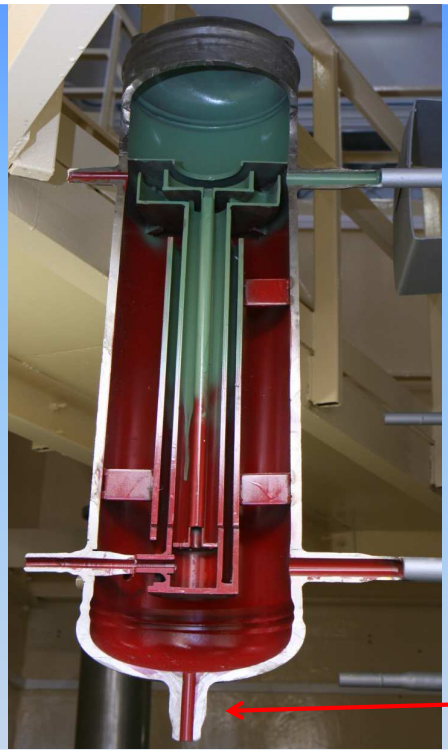
Poistné ventily parogenerátorov

- Z hľadiska klasickej bezpečnosti (Industrial safety) bezpečnostnou funkciou poistných ventilov PG (PVPG) je **ochrániť zariadenia sekundárneho okruhu (PG)** pred prekročením najvyššieho pracovného pretlaku.
- Počas prechodového procesu vedúceho k otvoreniu poistného ventilu sa dovoľuje krátkodobé prekročenie najvyššieho pracovného pretlaku o normou stanovenú hodnotu.
- Umiestnené sú na časti **parovodu neoddeliteľnej od PG.**
- Parovod od každého PG je osadený **súborom troch riadených PV** ovládaných riadiacimi prístrojmi.
- Z hľadiska koncepcie nie je úplne vyjasnený projektový princíp (3 x 33%, alebo 3 x 50% ?) a tiež vzťah k PSA PG
- **Parametre PV PG**
  - Otvárací tlak:
  - RA 11, 56, S01.....5,68 - 0,02 MPa
  - RA 11, 56, S02.....5,78 - 0,02 MPa
  - RA 11, 56, S05.....5,78 - 0,02 MPa
  - Prietok pary.....150 t/h

Systém prepúšťacej stanice do atmosféry a PV PG







k doplnkovému diferenčnému manometru

z PG

Meranie hladiny v PG VVER 440

diferenciálny hladinomer je pripojený k PG cez vyrovnávaciu meraciu nádobu, ktorá kompenzuje kondenzáciu pary a prenikanie kvapiek do vstupnej rúrky meracej nádoby

k plusovej impulznej línii difmanometra

do PG

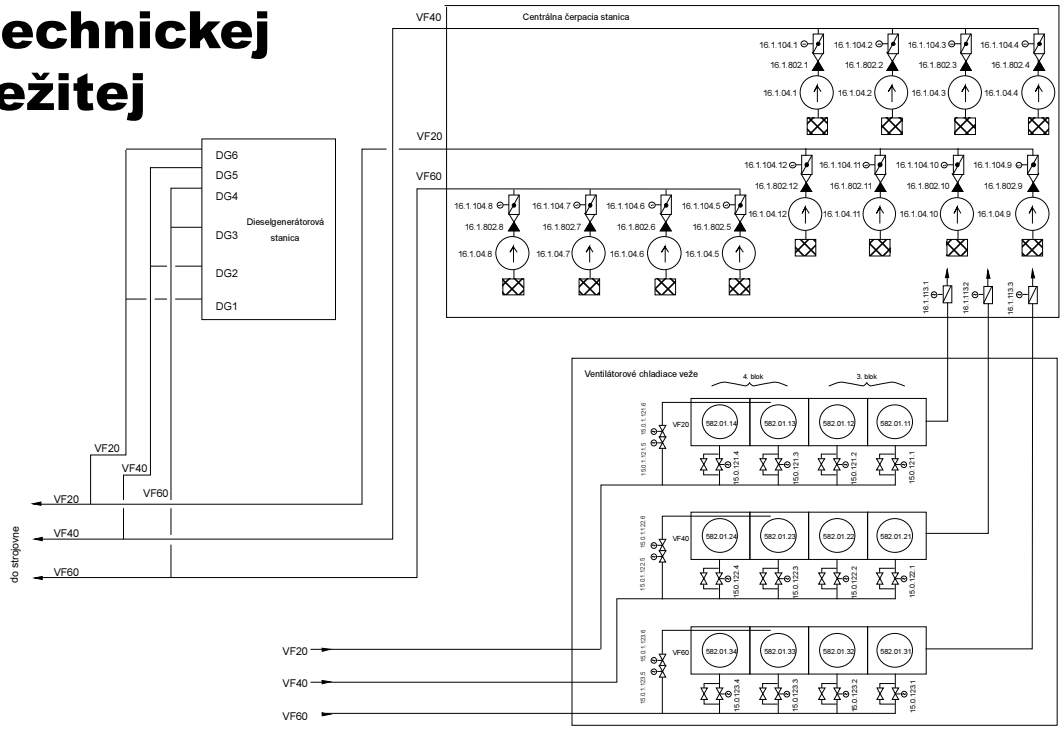
odvodnenie

Systém odvodu tepla do okolia - systém TVD

Systém technickej vody dôležitej plní nasledovné **funkcie**:

- **odvod tepla z aktívnej zóny** pri netesnosti primárneho okruhu pomocou chladiča sprchového systému
- **odvod tepla z hermetickej zóny** pri netesnosti primárneho, alebo sekundárneho okruhu pomocou chladiča sprchového systému
- **odvod tepla zo sekundárneho okruhu** pomocou technologického kondenzátora
- **chladenie systémov** vytvárajúcich normálne podmienky hlavných komponentov (medziokruh HCČ- TF 10, medziokruh pohonov HRK- TF 30, vzduchotechnika HZ- TL 10, HNČ, DG ...).
- **chladenie pomocných systémov** obsahujúcich Ra-látky (chladenie bazénu skladovania vyhoretého paliva -TG, spaľovanie traskavej zmesi -TS,...)

Rozvod technickej vody dôležitej



Činnosť TVD

Technická voda dôležitá sa používa pre bezpečnostne dôležité spotrebiče, zúčastňujúce sa havarijného odstavenia bloku a pre spotrebiče, u ktorých sa nepripúšťa prerušenie dodávky chladiacej vody.
Systém TVD je veľmi rozsiahly. Zdrojom chladiacej vody je čerpacia stanica technickej vody dôležitej, ktorá je súčasťou centrálnej čerpacej stanice. Potom je rozvod TVD vedený k spotrebičom, umiestneným mimo hlavného výrobného bloku - HVB. V HVB sú chladené spotrebiče v strojovni i v reaktorovni. Oteplená chladiaca voda sa potom chladí na ventilátorových chladiacich vežiach. Odtiaľ sa okruh uzatvára späť na sanie čerpadiel TVD.

Čerpacia stanica technickej vody dôležitej

Každý z troch nezávislých systémov (línií - redundancií) má štyri čerpadlá. Pritom vždy dve sú napájané z jedného systému zaisteného napájania II. kategórie jedného, resp. druhého bloku. V každej dvojici je jedno čerpadlo **pracovné** a jedno **záskokové**. V jednom systéme sú teda dve čerpadlá pracovné a dve záskokové. V havarijnej situácii však pracujú všetky štyri čerpadlá jedného systému.

Charakteristiky čerpadiel TVD :

Prietok : Q = 272 l/s (980 m^3/hod)
Otáčky : n = 740 ot/min.
Príkon : N = 250 kW

Systémy zadržania aktivity

Vákuobarbotážny systém

Funkciou ochrannej obálky **HZ** ako štvrtej fyzickej bariéry proti úniku rádioaktívnych látok do okolia je zadržať a riadiť akékoľvek výpuste rádioaktivity do okolia za normálnej, abnormálnej prevádzky a havarijných podmienok vrátane ťažkých havárií.

Stavebná časť budovy HZ zabezpečuje **biologické tienenie** za normálnych a havarijných podmienok.

Na ochranu tejto bariéry sú skonštruované systémy, ktoré majú za úlohu zabezpečiť jej integritu tým, že **redukujú tlak parovzdušnej zmesi**, ktorá vznikne v HZ po úniku chladiva netesnosťou PO (LOCA) alebo sekundárneho okruhu (SLB).

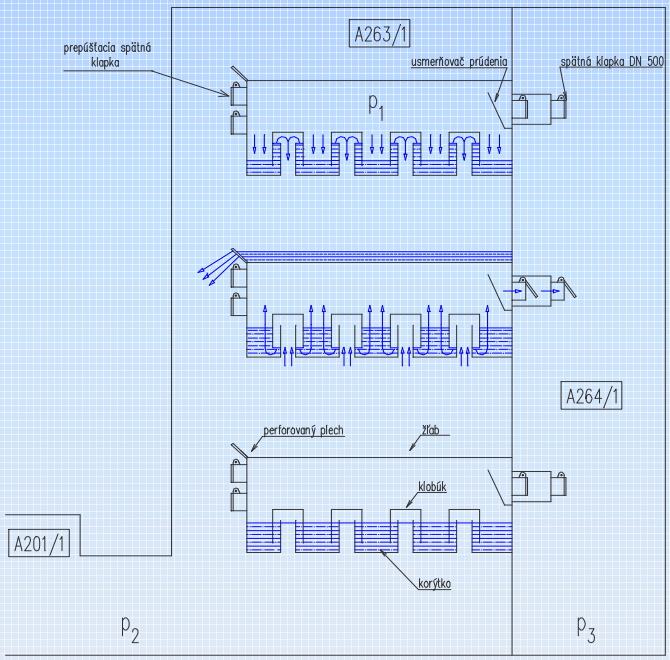
Vákuobarbotážny systém HZ má na tretej úrovni ochrany do hĺbky za úlohu plniť bezpečnostnú funkciu:

- pre základnú bezpečnostnú funkciu **zadržanie rádioaktívnych látok** je zabezpečiť bezpečnostnú funkciu **udržiavať integritu hermetickej zóny**, v situácii spôsobenej nadbytkom energie v HZ.

Charakteristika vákuobarbotážneho systému

- Vákuobarbotážny systém XL je **pasívny systém**.
- Systém je vyprojektovaný v koncepcii 1 x 100%. Jeden zo žľabov je v bezpečnostných analýzach považovaný za nefunkčný. To možno považovať za určitú formu bezpečnostnej rezervy.
- Obmedzuje nárast tlaku parovzdušnej zmesi v počiatočných fázach havárie pod hodnotu projekčného tlaku HZ v prípade udalosti so stratou chladiva PO (LOCA), alebo roztrhnutia parovodu vo vnútri HZ (SLB).
- Čiastočne pôsobí na odstraňovanie aerosolových štiepnych produktov z atmosféry HZ.
- Do systému patria:
  - pasívne **autokatalytické rekombinátory vodíka**, aby sa predišlo neprijateľným formám horenia vodíka
  - systém **núdzového zdroja chladiva**, ktorý môže byť použitý na sprchovanie atmosféry hermetickej zóny
  - **rušič vákua v HZ** na zabránenie hlbokému podtlaku v HZ
  - **sprchový systém HZ** na zabezpečenie prevádzkyschopnosti za podmienok ťažkej havárie na dlhodobý odvod tepla z HZ.

Barbotážny systém – jedna sekcia

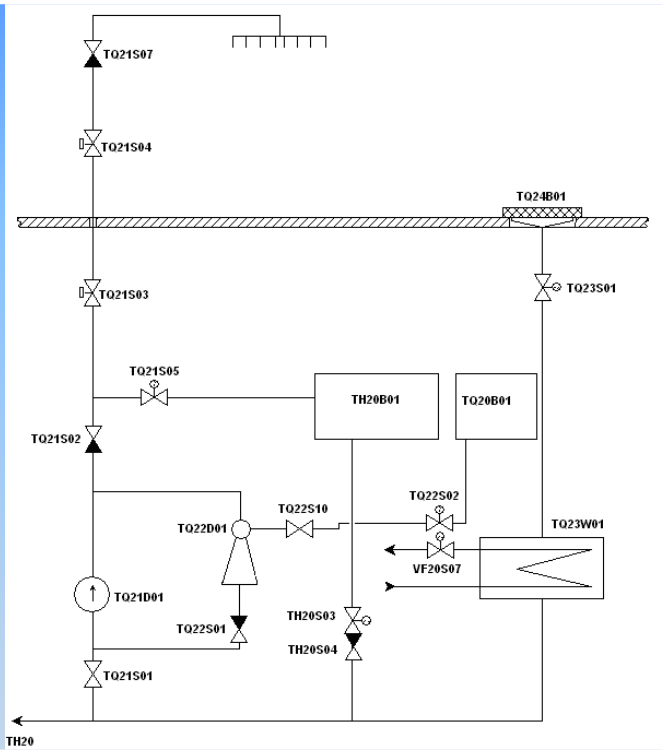


Systémy zadržania aktivity
Sprchový systém boxu parogenerátorov

- Sprchový systém boxu parogenerátorov je aktívny systém, ktorý má funkciu **obmedziť dlhodobý nárast tlaku v HZ**, skrátiť dobu trvania pretlaku (nad atmosférický) v HZ v prípade udalosti so stratou chladiva PO (LOCA), alebo roztrhnutia parovodu vo vnútri HZ.
- Účelom systému je tiež pôsobiť na odstraňovanie aerosolových štiepnych produktov „zvlášť jódu“ z atmosféry HZ ak sú tieto prítomné v dôsledku poškodenia povlaku paliva.
- V režime recirkulácie systém zabezpečuje **odvod tepla z HZ**.
- Sprchový systém TQ patrí do „Systému zníženia tlaku v hermetickej zóne a lokalizácie únikov“. Je aktívnym lokalizačným zariadením a pracuje v úzkej súčinnosti s vákuobarbotážnym systémom v prípade havárie jadrovoenergetického bloku, spojenej s únikom pracovných médií do hermetickej zóny s následným zvyšovaním tlaku a teploty v týchto priestoroch.

Sprchový systém hermetickej zóny - podsystém V (TQ20)

Sprchové čerpadlo TQ21(41,61)D01
Odstredivé čerpadlo 8 CH - 6K - 2G
Výkon:
nominálny 200 m3/h
maximálny 360 m3/h
Tlak na výtlaku:
pri nomin. výkone 0,78 Mpa
pri maxim. výkone 0,64 MPa
Elektromotor:
výkon 110 kW
napätie 380 V
Každý podsystém pozostáva z/zo:
sprchového čerpadla - TQ21 (41,61) D01
nádrže roztoku N_2H_4 a KOH, H_3BO_3 - TQ20 (40,60) B01 - hydrazín
vodoprúdeho čerpadla TQ22 (42,62) D01
tepelného výmenníka SHCHZ - TQ23 (43,63) W01
sieťových konštrukcií TQ24 (44,64) B01
spojovacieho potrubia a sprchových trysiek

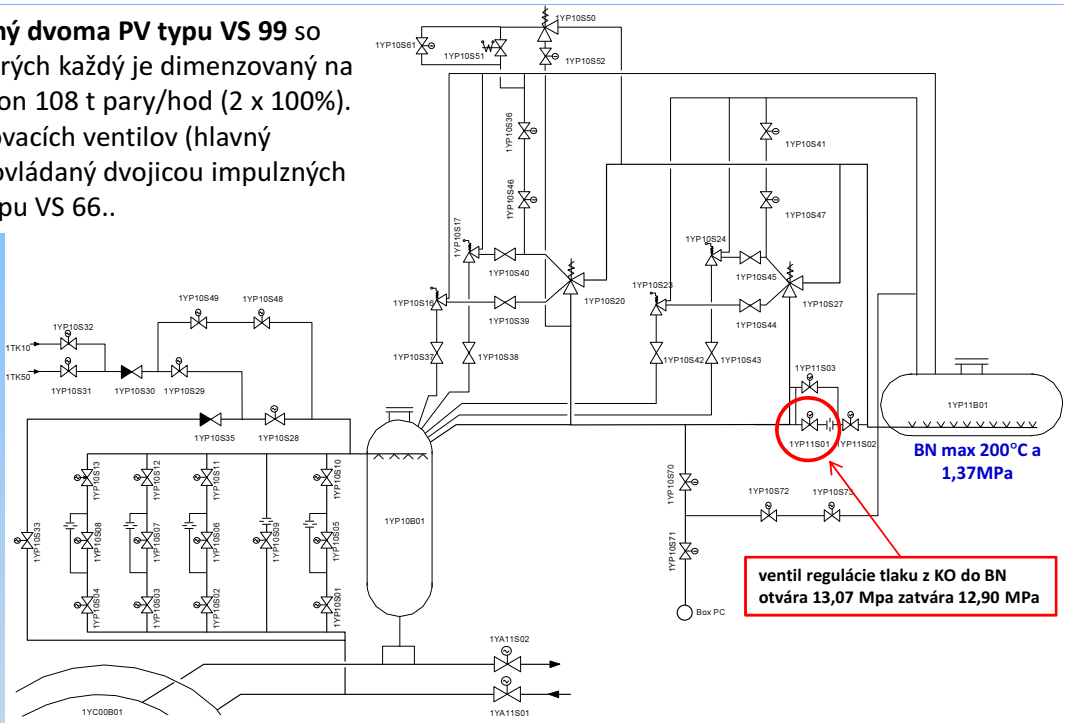


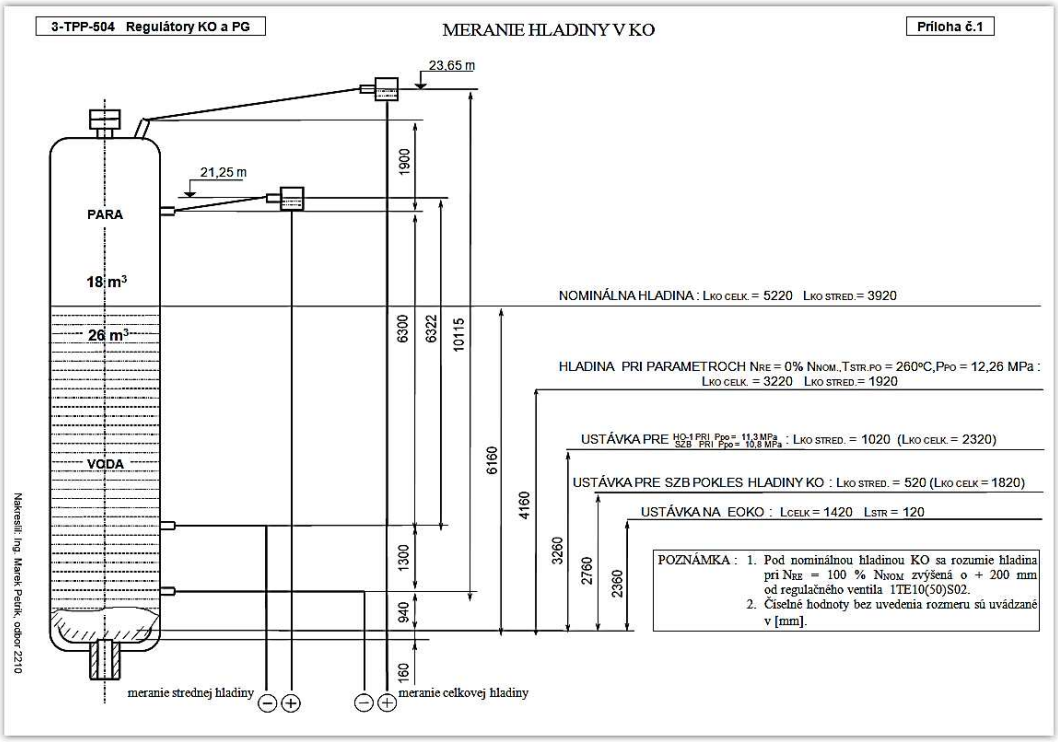
Poistné ventily kompenzátora objemu

- Bezpečnostnou funkciou poistných ventilov KO (PVKO) je **ochrániť zariadenia primárneho okruhu pred prekročením najvyššieho pracovného pretlaku**. Počas prechodového procesu vedúceho k otvoreniu poistného ventilu sa dovoľuje krátkodobé prekročenie najvyššieho pracovného pretlaku o normou stanovenú hodnotu (**6%**).
- Systém KO je poistený dvoma PV typu VS 99 so 100% rezervou, z ktorých každý je dimenzovaný na plný požadovaný výkon 108 t pary/hod (2 x 100%). Každý z týchto poisťovacích ventilov (hlavný poisťovací ventil) je ovládaný dvojicou impulzných riadiacich ventilov typu VS 66. Dvojica IPV pre riadenie jedného hlavného PVKO neplní úlohu redundancie, ale je iba posilnením spoľahlivosti otvorenia príslušného PVKO. V prípade netesnosti jedného IPV je možné tento počas normálnej prevádzky zatvoriť bez toho aby bola ovplyvnená prevádzkyschopnosť príslušného hlavného PVKO.

Systém KO je poistený dvoma PV typu VS 99 so 100% rezervou, z ktorých každý je dimenzovaný na plný požadovaný výkon 108 t pary/hod (2 x 100%). Každý z týchto poisťovacích ventilov (hlavný poisťovací ventil) je ovládaný dvojicou impulzných riadiacich ventilov typu VS 66..

ventily vstreku





Dimenzovanie ventilov KO

Výkon poisťovacích ventilov bol vybraný z podmienky ochrany okruhu chladenia reaktora od prekročenia tlaku pri nasledujúcej hypotetickej havárii:

- odľahčenie zaťaženia na obidvoch turbínach,
- porucha prepúšťacích ventilov pary do kondenzátorov turbín a odpúšťacích ventilov do atmosféry,
- výpadok elektrického napájania, nemožnosť vstrekovania do kompenzátora objemu
- a oneskorenie funkcie havarijnej ochrany od signálu výpadku elektrického napájania.

Feed & Bleed

Súčasťou procesu zvyšovania bezpečnosti bolo aj zaistenie použiteľnosti systému na (nadprojektové) havárie v podmienkach rozšíreného projektu, riešiace tretiu úroveň ochrany do hĺbky:

- pre základnú bezpečnostnú funkciu **chladenie paliva** zabezpečuje bezpečnostnú funkciu odvod tepla z AZ za podmienok **bez LOCA**, teda na režim doplňovania a odpúšťania chladiva (Feed & Bleed), ak došlo k strate odvodu tepla na sekundárnej strane.

Z toho dôvodu boli elektromagnetické (solenoidové) ventily v línii ručného ovládania PVKO nahradené uzatváracími ventilmi a bolo upravené ich elektrické napájanie tak aby nemohlo dôjsť k falošnému otvoreniu.