Sborník přednášek pro JADERNOU MATURITU

Temelín 2014

1. DISPOZIČNÍ USPOŘÁDÁNÍ JE TEMELÍN

Jaderná elektrárny ve svém komplexu zahrnuje velké množství různých technologických celků, zařízení a řadu pomocných zařízení. Projektem jsou zařízení účelně rozmístěna tak, aby jejich funkce z provozního, pracovního a bezpečnostního hlediska byla efektivní a maximálně účinná a ve vzájemném propojení spolehlivě a bezpečně zajišťovala výrobu energie.

K osvojení si orientace v dispozičním upořádání elektrárny je nutné zapamatovat si umístění nejdůležitějších technologických budov a některých pracovišť, které jsou uvedeny v popisu.

1.1 Základní objekty a zařízení hlavního výrobního bloku

Hlavní výrobní blok (zkratka HVB) je nejdůležitějším objektem jaderné elektrárny. Jaderná elektrárna Temelín má dva shodné hlavní výrobní bloky.

Každý z nich se skládá se z těchto stavebních objektů:

- Budovy reaktoru,
- Strojovny,
- Blokové výměníkové stanice,
- Rozvodny,

1.1.1 BUDOVA REAKTORU (SO 800)

Budovu reaktoru můžeme rozdělit do dvou základních částí: na kontejnment a obestavbu.

V objektu jsou umístěna:

- zařízení primárního okruhu realizující přeměnu jaderné energie v tepelnou pomocí řízené štěpné reakce a její předávání do sekundárního okruhu,
- vybraná zařízení pomocných systémů primárního okruhu, která zajišťují bezpečný provoz zařízení primárního okruhu, případně umožňují lokalizaci a likvidaci možných havárií primárního okruhu,
- transportní zařízení umožňující manipulaci s částmi zařízení primárního okruhu a s jaderným palivem.

V obestavbě se nachází na podlaží +6,6 m **bloková dozorna**, která je hlavním řídícím centrem na elektrárně.

1.1.2 STROJOVNA (SO490)

Strojovna je část hlavního výrobního bloku, ve které se nacházejí zařízení, podílející se na přeměně tepelné energie na energii mechanickou a dále na energii elektrickou. Skládá se z těchto částí: mezistrojovny, strojovny a haly blokové úpravny vody.

Nachází se v ní tato zařízení:

- turbosoustrojí
- pomocné systémy parní turbíny
- další systémy sekundárního okruhu
- pomocné systémy generátoru
- vyvedení výkonu
- jeřáby a zdvihací zařízení

1.1.3 BLOKOVÁ VÝMĚNÍKOVÁ STANICE (SO 491)

Obsahuje zařízení určené k předávání tepelné energie ze sekundárního okruhu do horkovodního systému elektrárny.

Bloková výměníková stanice je stavební objekt přičleněný ke každému hlavnímu výrobnímu bloku. Je situována po pravé straně budovy strojovny.

1.1.4 ROZVODNA (SO 500)

Ve stavebním objektu přiléhajícím po levé straně ke strojovně jsou umístěny vnitřní rozvodny 6kV, akumulátorové baterie jako zdroj zajištěného napájení a další systémy a zařízení nezbytně nutné k zajištění elektrického napájení v různých režimech provozu bloku včetně havarijních. Dále se zde nachází dozorny a strojovny klimatizace.

1.2 Základní informace o zařízení a technologiích v dalších objektech

1.2.1 BUDOVA AKTIVNÍCH POMOCNÝCH PROVOZŮ (BAPP) (SO 801)

Sestává z těchto částí:

- 801/01 - BAPP - Dílny kontrolované zóny
- 801/02 - BAPP - Laboratoře a šatny
- 801/03 - BAPP - Čistící stanice aktivních médií

Budova aktivních pomocných provozů zajišťuje:

1. příjem, kontrolu a skladování čerstvého paliva
2. čistění kapalných radioaktivních médií přicházejících z obou HVB
3. čistění plynných radioaktivních médií před jejich vypouštěním do atmosféry
4. skladování kapalných radioaktivních odpadů
5. opravy zařízení z kontrolované zóny
6. hygienické smyčky pro vstup do kontrolovaného pásma
7. dekontaminaci vyjímatelných částí promárního okruhu

1.2.2 DIESELGENERÁTOROVÁ STANICE (DGS) - BLOKOVÁ (SO 442)

Bloková DGS je autonomní zdroj elektrické energie pro napájení systému zajištěného napájení spotřebičů důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti příslušného HVB. Stanice jsou součástí bezpečnostních systémů bloku realizovaných s 200% rezervou a zajišťující v havarijních situacích spojených s úplnou ztrátou napájení vlastní spotřeby bezpečné odstavení a dochlazení reaktoru.

Ke každému výrobnímu bloku patří tři blokové DGS s venkovními zásobními nádržemi nafty. V budovách blokových DGS se nacházejí tyto technologické celky důležité z hlediska JB:

1. Vlastní bloková DGS, která je tvořena jedním dieselmotorem, který pohání elektrický generátor.
2. Vysokotlaká kompresorová stanice, která je zdrojem vysokotlakého sušeného vzduchu systému příslušného HVB a je tvořena jedním vysokotlakým kompresorem.
3. Čerpací stanice technické vody důležité, která zajišťuje cirkulaci vody v systému technické vody důležité v okruhu.

1.2.3 DIESELGENERÁTOROVÁ STANICE - SPOLEČNÁ (SO 444)

Společná DGS je autonomním zdrojem elektrické energie pro napájení spotřebičů nemajících vliv na jadernou bezpečnost. Jsou to důležitá zařízení sekundární části a některé spotřebiče primární části, které sice nejsou nutné pro bezpečné odstavení bloku, avšak je vhodné mít je pod napětím i v havarijních situacích spojených s úplnou ztrátou napájení vlastní spotřeby.

Společná DGS je někdy označovaná jako nebloková a obsahuje dva dieselagregáty a nachází se vedle blokové DGS mezi hlavními výrobními bloky.

1.2.4 ČERPACÍ STANICE CIRKULAČNÍ CHLADÍCÍ VODY, TECHNICKÉ VODY DŮLEŽITÉ A POŽÁRNÍ VODY (SO 584)

Čerpací stanice cirkulační chladící vody, technické vody nedůležité a požární vody je stavební objekt, ve kterém jsou soustředěny čerpací stanice těchto vnějších chladících okruhů.

1.2.5 VENKOVNÍ TRANSFORMÁTORY

Před stavebním objektem rozvodny jsou instalovány venkovní transformátory:

1. Blokový transformátor (SO 510) je tvořený třemi jednofázovými jednotkami. Zajišťuje připojení HVB na elektrické vedení 400 kV, kterým se energie odvádí do rozvodny Kočín. Transformátory převádějí elektrické napětí z 24 kV na 420 kV.
2. Odbočkové transformátory jsou určeny k napájení vlastní spotřeby HVB a dalších objektů za normálních podmínek provozu JE.
3. Rezervní transformátory (SO 522) zajišťují elektrické napájení HVB při poruchových stavech, při kterých není možno využít k napájení vlastní spotřeby odbočkové transformátory.

1.2.6 CHLADÍCÍ VĚŽE (SO 581)

Slouží k chlazení cirkulační chladící vody a technické vody nedůležité. Jsou to směšovací tepelné výměníky zapojené do okruhu cirkulační chladící vody, přes které se předává nízkopotenciální tepelná energie do atmosféry.

1.2.7 VODOJEM SUROVÉ VODY (SO 576)

Vodojem surové vody se dvěma komorami, každá o kapacitě 15000 m^3 vytváří zásobu surové vody pro technologickou potřebu a vyrovnává rozdíly mezi čerpaným množstvím a potřebou jaderné elektrárny.

1.2.8 ÚPRAVNA CHLADÍCÍ VODY (ÚCHV) (SO 593)

Úpravna chladící vody má za úkol zajistit úpravu surové vody. To se provádí chemickými čiřicími pochody. Vzniká voda doplňovací, která je určena ke hrazení ztrát ve vnějších chladících okruzích:

1. cirkulační chladicí vody
2. technické vody důležité
3. technické vody nedůležité

V tomto objektu se dále nachází **vodohospodářská dozorna**, která zabezpečuje sledování a řízení všech zařízení souvisejících s přívodem, úpravou, čištěním vod v areálu elektrárny a vypouštěním odpadních vod z areálu.

1.2.10 CHEMICKÁ ÚPRAVNA VODY - Demineralizace (SO 590)

Slouží k výrobě demineralizované vody určené k plnění a doplňování ztrát ve vnitřních okruzích (primárním a sekundárním) a k výrobě změkčené vody pro okruh topné vody a pro okruh chlazené vody.

1.2.11 CHLADÍCÍ BAZÉNY S ROZSTŘIKEM (SO 586)

Chladicí bazény s rozstřikem chladí oteplenou technickou vodu důležitou v okruhu. Jedná se směšovací tepelné výměníky zapojené do příslušného systému technické vody důležité, přes které se předává nízkopotenciální tepelná energie do atmosféry.

1.2.12 ÚSTŘEDNÍ ELEKTRODOZORNA (SO 529)

Ústřední elektrická dozorna je určena k monitorování a řízení vlastní spotřeby zajištěného napájení. Tento velín slouží ke spojení s centrálním dispečinkem a k řízení vyvedení výkonu podle jeho požadavků. Dále je zde umístěno pracoviště směnového inženýra.

1.2.13 NÍZKOTLAKÁ KOMPRESOROVÁ STANICE A STANICE ZDROJE CHLADU (SO 882)

V tomto objektu se nacházejí:

1. Nízkotlaká kompresorová stanice, která vyrábí nízkotlaký vzduch o dvou parametrech (sušený a nesušený), sloužící k pohonu armatur, pracovních strojů a k tlakové zkoušce kontejnmentu.
2. Stanice zdroje chladu, která produkuje chladící vodu o parametrech 6°C - 12°C sloužící k chlazení klimatizačních jednotek.

1.2.14 POMOCNÁ PLYNOVÁ KOTELNA (SO 491)

Pomocná plynová kotelna je záložním zdrojem tepla potřebného k provozu bloku. Kotelna vyrábí jednak technologickou páru a dále topnou vodu pro potřeby ETE a Týna nad Vltavou.

1.2.15 VÝMĚNÍKOVÁ STANICE - NEBLOKOVÁ (SO 492)

Výměníková stanice nebloková slouží pro vyvedení tepla v podobě horké vody do Týna nad Vltavou, pro rozvod topné vody po areálu ETE a k výrobě teplé užitkové vody.

1.2.16 JÍMKA ODPADNÍCH VOD 500 m^3 (SO 362)

Slouží ke sběru přečištěných splaškových vod, odluhů z vnějších chladících řádů a vod z neutralizace před jejich vypouštěním do objektu MALÉ VODNÍ ELEKTÁRNY v Kořensku.

1.2.17 HLAVNÍ TECHNOLOGICKÉ DÍLNY (SO 634)

Komplex hlavních technologických dílen sestává z těchto částí:

1. Hlavní technologické dílny
2. Sklady
3. Sklady cizích dodavatelů
4. Hala stavební údržby
5. Garáže osobních a nákladních automobilů
6. Šrotiště a venkovní sklady

V hlavních technologických dílnách jsou vytvořeny prostory a soustředěna zařízení nutná k opravám neaktivního strojního zařízení, včetně technického zázemí jako jsou kovárny, svařovny, brusírny nářadí, sklad náhradních dílů a sociální zázemí tvořené kancelářemi jednotlivých specializací, šatnami a prádelnou. Technologické dílny slouží jak pro potřeby vlastní údržby elektrárny, tak i pro potřeby externích dodavatelů.

1.2.18 HOSPODÁŘSTVÍ TECHNICKÝCH PLYNŮ (SO 643)

Slouží k skladování a úpravě tlaku plynného dusíku a jeho rozvodu k HVB. Dále slouží k skladování vodíku a jeho přívodu k blokům.

1.2.19 SKLAD OLEJŮ A NAFTY (SO 703)

Slouží k stáčení, skladování, čištění, prohřevu a výdeji turbínového a motorového oleje pro HVB a DGS a k stáčení skladování, prohřevu a výdeji motorové nafty pro DGS.

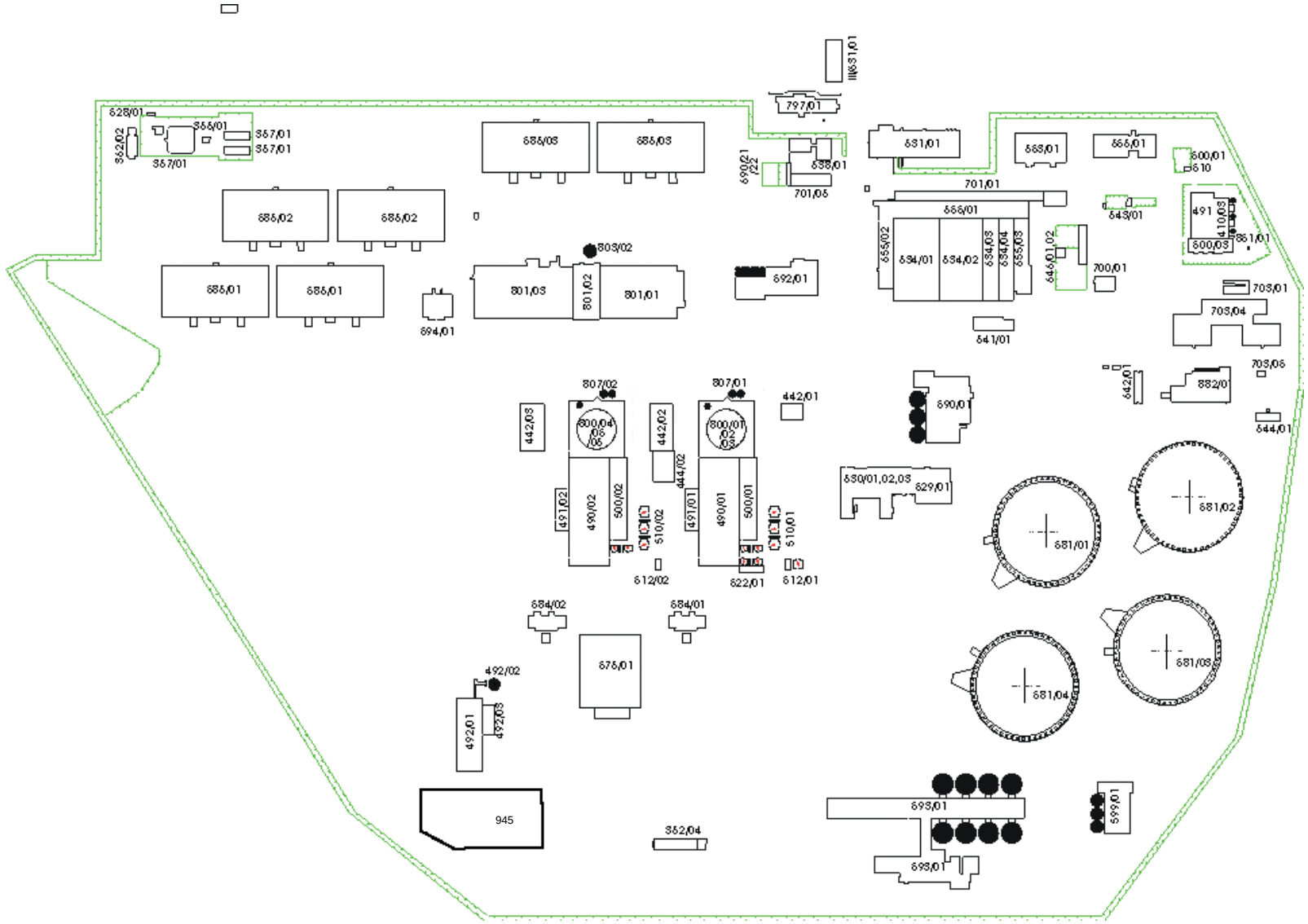
1.2.20 PROVOZNÍ BUDOVA (SO 630)

Zajišťuje technicko - administrativní podporu provozu elektrárny.

1.2.21 ČISTÍCÍ STANICE ODPADNÍCH VOD (SO 367)

Čistící stanice odpadních vod slouží k čištění odpadních (splaškových) vod před jejich vypouštěním do jímky odpadních vod.

Dispoziční uspořádání JE Temelín



Legenda k dispozičnímu plánu (schématu) JE Temelín

ČÍSLO SO	NÁZEV STAVEBNÍHO OBJEKTU - SO
362/02	JÍMKA ODPADNÍCH VOD
362/04	GRAVITAČNÍ ODLUČOVAČ OLEJE
367/01	ČISTIČKA ODPADNÍCH VOD - ČOV
442/01, 02, 03	DGS, VT KOMPRESOROVÁ A ČERPACÍ STANICE TVD
444/02	DGS, VT KOMPRESOROVÁ A ČERPACÍ STANICE TVD
445/01, 02, 03	NAFTOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ PRO DGS STANICE
490/01	STROJOVNA 1.BLOK
490/02	STROJOVNA 2. BLOK
491	POMOCNÁ PLYNOVÁ KOTELNA
491/01	BLOKOVÁ VÝMĚNÍKOVÁ. STANICE - 1.BLOK
491/02	BLOKOVÁ VÝMĚNÍKOVÁ. STANICE - 2.BLOK
492/01, 02, 03	STROJOVNA VYVEDENÍ TEPLA (NEBLOKOVÁ VÝMĚNÍKOVÁ. STANICE)
500/01	ROZVODNA PRO 1. BLOK
500/02	ROZVODNA PRO 2. BLOK
510/01	BLOKOVÉ TRANSFORMÁTORY-1.BLOK
510/02	BLOKOVÉ TRANSFORMÁTORY - 2.BLOK
522/01, 02	TRANSFORMÁTORY REZERVNÍHO NAPÁJENÍ
529/01	ÚSTŘEDNÍ ELEKTRO DOZORNA - ÚED
576/01	VODOJEM 2X15000 m^3
581/01	CHLADÍCÍ VĚŽ ITTERSON, 1.BLOK
581/02	CHLADÍCÍ VĚŽ ITTERSON, 1. BLOK
581/03	CHLADÍCÍ VĚŽ ITTERSON, 2. BLOK
581/04	CHLADÍCÍ VĚŽ ITTERSON, 2. BLOK
584/01	ČERPACÍ STANICE CIRKULAČNÍ CHLADÍCÍ VODY, TVN A POŽÁRNÍ VODY - 1. BLOK
584/02	ČERPACÍ STANICE CIRKULAČNÍ CHLADÍCÍ VODY, TVN A POŽÁRNÍ VODY - 2. BLOK
586/01, 02, 03	BAZÉNY S ROZSTŘIKEM
590/01	CHÚV DEMINERALIZACE, LAB. CHEM. KONTROLY
592/01	SKLAD CHEMIKÁLIÍ A STÁČENÍ

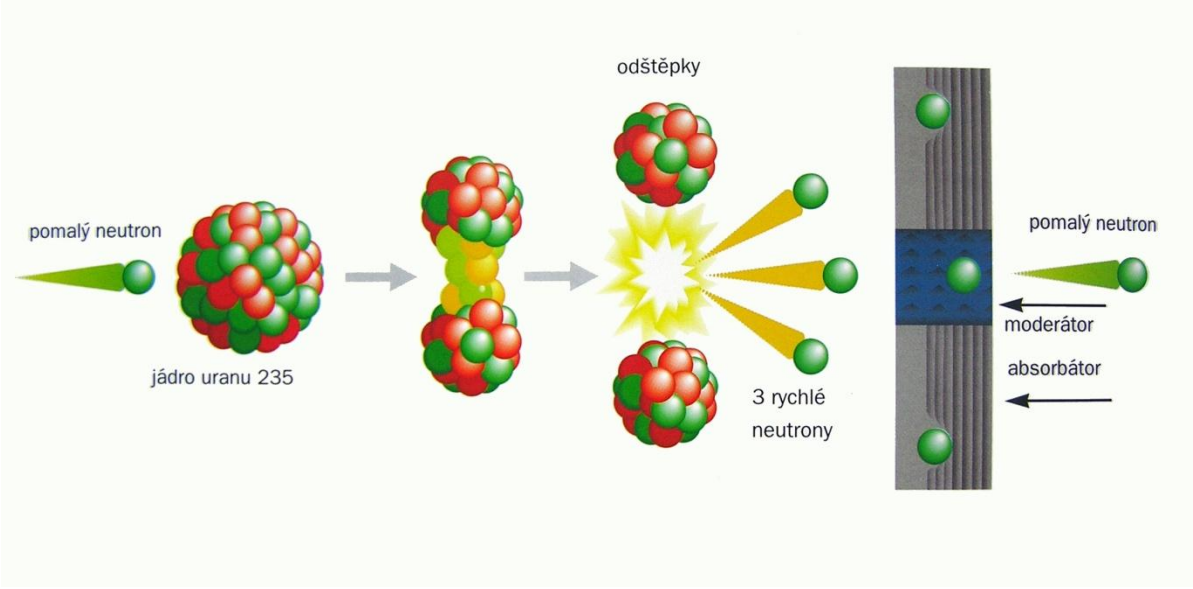
ČÍSLO SO	NÁZEV STAVEBNÍHO OBJEKTU - SO
593/01	ÚCHV DEKARBONIZACE
594/01	ÚPRAVA VODY PRO CHLADÍCÍ NÁDRŽE S ROZSTŘIKEM (STANICE BOČNÍ FILTRACE)
599/01	ÚCHV KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ
630/01, 02, 03	PROVOZNÍ BUDOVA
631/01	ADMINISTRATIVNÍ BUDOVA - AB; VÝDEJNA IK
634/01, 02, 03, 04	HLAVNI DÍLNY TECHNOLOGICKÉ
638/01	ŘÍDÍCÍ CENTRUM OCHRANY ETE
641/01	SKLAD OLEJŮ A HOŘLAVIN
642/01	SKLAD TECHNICKÝCH PLYNŮ
643/01	HOSPODÁŘSTVÍ TECH. PLYNŮ
644/01	PÍSKOVÁNÍ ROTORŮ
646/01, 02	VENKOVNÍ SKLADY A ŠROTIŠTĚ
653/01	ZDRAVOTNÍ STŘEDISKO, TECH. KNIHOVNA, DOZIMETRIE
655/01, 02, 03	PŘÍSTAVKY U HLAVNÍCH DÍLEN
656/01	POŽÁRNÍ STANICE, TECHNICKÝ ODBOR, OCÉ
700/01	REMÍZA LOKOMOTIV
703/01	ČERPACÍ STANICE POHONÝCH HMOT
703/04	CENTRÁLNÍ HOSPODÁŘSTVÍ MOTOROVÉ NAFTY A OLEJŮ
797/01	ŠKOLÍCÍ A VÝCVIKOVÉ STŘEDISKO, SIMULÁTOR
800/01,02,03	BUDOVA REAKTORU - 1. BLOK
800/04,05,06	BUDOVA REAKTORU - 2. BLOK
801/01	BUDOVA AKTIVNÍCH POMOCNÝCH PROVOZŮ - BAPP, AKTIVNÍ DÍLNY
801/02	BAPP, ŠATNY A LABORATOŘE
801/03	BUDOVA AKTIVNÍCH POMOCNÝCH PROVOZŮ - BAPP, SVO
882/01	NT KOMPRESOROVÁ STANICE A STANICE ZDROJE CHLADU
III/631/01	BUDOVA OPRAV A GENERÁLNÍCH OPRAV - BOGO; ODBOR SLUŽBY, OBCHOD
652/01	NÁKLADOVÁ VRÁTNICE
652/03	VLEČKOVÁ VRÁTNICE
945	SKLAD VYHOŘELÉHO JADERNÉHO PALIVA

2. Principy jaderného reaktoru VVER 1000

2.1 Fyzikální principy jaderného reaktoru

V tlakovodním jaderném reaktoru typu VVER 1000 se na výrobu tepla využívá řízené řetězové štěpné reakce, která vychází ze skutečnosti, že při interakci tepelných neutronů s jádry některých těžkých prvků (uran - 235, plutonium - 239) dochází k rozštěpení těchto jader na štěpné produkty a přitom vzniknou 2-3 rychlé neutrony, které mohou štěpit další jádra těžkých prvků a tak vznikne řetězová reakce. Popsaný děj je možné vyjádřit rovnicí:

$$^{235}U + {}^{1}n \rightarrow {}^{A}X + {}^{B}Y + 3\,{}^{1}n$$



kde symboly X a Y znamenají štěpné produkty vzniklé rozštěpením jádra uranu. Nejčastěji vznikají dva nestejné odštěpky v hmotnostním poměru 2:3.

Při této reakci se uvolní energie o velikosti cca 200 MeV a z níž zhruba 82% je kinetická energie štěpných produktů, která se při jejich zabrzdění v palivu přemění na energii tepelnou a ta je odvedena chladivem.

Tento děj by však byl nekontrolovanou tj. lavinovitou řetězovou reakcí, která probíhá např. při výbuchu atomové bomby a takovou reakci není možné využít pro výrobu energie. Pro výrobu energie je potřebné řetězovou reakci řídit. Z experimentů, které vykonali jaderní fyzici víme, že štěpné reakce mezi rychlými neutrony, které vznikají v okamžiku štěpení, a jádry ^{235}U a ^{239}Pu jsou málo pravděpodobné. Pravděpodobnost štěpné reakce se zvýší pro "tepelné" tj. podstatně pomalejší neutrony. Optimální cesta zpomalení neutronů jsou interakce typu "pružný rozptyl" s jinými jádry atomů. Atomům, které zpomalují neutrony říkáme "moderátory".

Je možné výpočtem i experimentálně odvodit, že nejúčinnějšími moderátory jsou jádra lehkých prvků (vodíku, deuteria, berilia a uhlíku), které se k tomuto účelu také využívají v reaktorech různého typu. V reaktoru VVER-1000 se jako moderátor využívá tzv. lehká voda tj. známá a rozšířená voda (H_2O).

Pro řízení jaderného štěpení však nestačí jen rychlé neutrony zpomalit na tepelné, musíme také zajistit, aby počet štěpících neutronů neřízeně nerostl nebo neklesal. Stav řízené řetězové

reakce z tohoto hlediska nám popisuje "multiplikační koeficient" **k**, který je definovaný vztahem:

$$k = \frac{\text{počet štěpících neutronů nové generace}}{\text{počet štěpících neutronů v předcházející generaci}}$$

Podle velikosti multiplikačního koeficientu rozlišujeme tři základní stavy reaktoru - při k=1 je reaktor v kritickém stavu a počet štěpících neutronů se s časem nemění, při k<1 mluvíme o podkritickém reaktoru (počet štěpících neutronů klesá s časem) a při k>1 jde o nadkritický stav reaktoru, kdy dochází k rozvoji řetězových štěpných reakcí. Počet neutronů v aktivní zóně regulujeme zvyšováním nebo snižováním koncentrace kyseliny borité v chladivu resp. vytahováním nebo zasouvání regulačních orgánů reaktoru klastrů. Pokud jsou v multiplikačním koeficientu zohledněny skutečné podmínky reálného reaktoru, nazýváme jej "efektivní multiplikační koeficient" a značíme jej k_{ef}.

V praxi častěji popisujeme stavy reaktoru pomocí "reaktivity reaktoru" ρ, která je definována jednoduchým vztahem:

$$\rho = \frac{k_{ef} - 1}{k_{ef}}$$

Jednoduchým dosazením zjistíme, že kritický reaktor má ρ = 0, podkritický má ρ<0 a nadkritický ρ>0.

Reaktivita je závislá na dalších veličinách, která charakterizují aktivní zónu (AZ) reaktoru (teplota, výkon, tlak a koncentrace kyseliny borité v chladivu) a závislost na těchto parametrech je popisována koeficienty reaktivity (teplotním, výkonovým, tlakovým a koncentračním), které nám udávají jak se změní reaktivita v případě, že vzroste nebo se sníží teplota chladiva o 1 K resp. vzroste nebo klesne výkon AZ o 1 MW resp. vzroste nebo klesne tlak v AZ o 1 MPa resp. zvýší se nebo sníží koncentrace kyseliny borité v chladivu o 1g/dm^3. Většina koeficientů reaktivity je záporná a to znamená, že se vzrůstající teplotou, výkonem a koncentrací kyseliny borité reaktivita klesá, jen tlakový koeficient reaktivity je kladný a reaktivita se vzrůstajícím tlakem v primárním okruhu velmi mírně vzrůstá.

Kromě tzv. okamžitých neutronů, které se uvolňují v okamžiku štěpné reakce a mají vysokou kinetickou energii, vznikají v reaktoru také tzv. zpožděné neutrony, které se odlišují jednak nižší kinetickou energií a také mechanizmem svého vzniku - vznikají přeměnou štěpných produktů např. podle rovnice:

$$^{87}\text{Br} \rightarrow {}^{87}\text{Kr} + {}^{-}\text{e} \rightarrow {}^{85}\text{Kr} + 2\,{}^{1}\text{n}$$

Zpožděné neutrony se také odlišují dobou svého vzniku (až několik minut po štěpné reakci) a jejich existence umožňuje řídit reaktor.

2.2 Vyhořívání a změny paliva

V obohaceném palivu se zvýšeným obsahem izotopu ^{235}U ubývá s časem především jader tohoto nuklidu. V důsledku záchytu neutronů a štěpení rychlými neutrony ubývá i obsah ^{238}U. Současně vznikají v palivu i nové produkty, jako jsou např. plutonium ^{239}Pu, které jsou štěpitelné tepelnými neutrony a celkovou bilanci štěpitelných izotopů v palivu zlepšují.

V důsledku průběžné realizace štěpných procesů nejrůznějšího typu během provozu dochází k významným změnám izotopického složení paliva. Okamžité množství každého štěpného produktu závisí na rychlosti jeho vzniku štěpením, záchytem a radioaktivním rozpadem - stejně jako na rychlosti jeho zániku stejnými procesy. Z hlediska řízení reaktoru jsou nejvýznamnější produkty s vysokou schopností záchytu tepelných neutronů (např. xenon nebo samarium). Existence těchto štěpných produktů ztěžuje proces štěpení, protože zachytávají tepelné neutrony.
Kromě izotopických změn dochází během kampaně v důsledku dlouhodobého tepelného i radiačního namáhání paliva ke změnám jeho vnitřní struktury projevující se navenek ztrátou původních mechanických vlastností. Je pozorována vyšší náchylnost paliva k tvorbě radiálních prasklin, zvětšování původního objemu - tzv. napuchání paliva - a uvolňování plynných produktů štěpení.
Uvolňování plynných štěpných produktů vede ke zvýšení tlaku uvnitř hermetického obalu. Dlouhodobé tepelné a radiační namáhání paliva se tedy projevuje ve výše uvedených nevratných objemových změnách, deformacích a mechanickém narušení. Materiál hermetické obálky palivového článku je také vystaven značnému radiačnímu namáhání, což způsobuje postupnou degradaci jeho původních vlastností a zvyšuje nebezpečí vzniku trhlin, které mohou vést k úniku štěpných produktů do chladiva primárního okruhu.
I když vlastní izotopické změny jaderného paliva jsou v procesu nejdůležitější, nesmíme zapomínat ani na jaderné reakce, ke kterým dochází v konstrukčních materiálech palivových článků a AZ. Tyto procesy vedou k dlouhodobé aktivaci materiálů a vzniku silných radiačních polí.
Z výše uvedeného je zřejmé, že palivo je nutné po jisté době vyměnit za nové. Doba bezpečného využití paliva od jedné výměny do druhé se nazývá "kampaň" (přibližně 300 efektivních dní). V uvažovaném případě tlakovodních reaktorů typu VVER se realizuje koncepce každoroční výměny více jak jedné čtvrtiny paliva při odstaveném reaktoru.

2.3 Základní informace o aktivní zóně reaktoru VVER 1000 TVSA-T

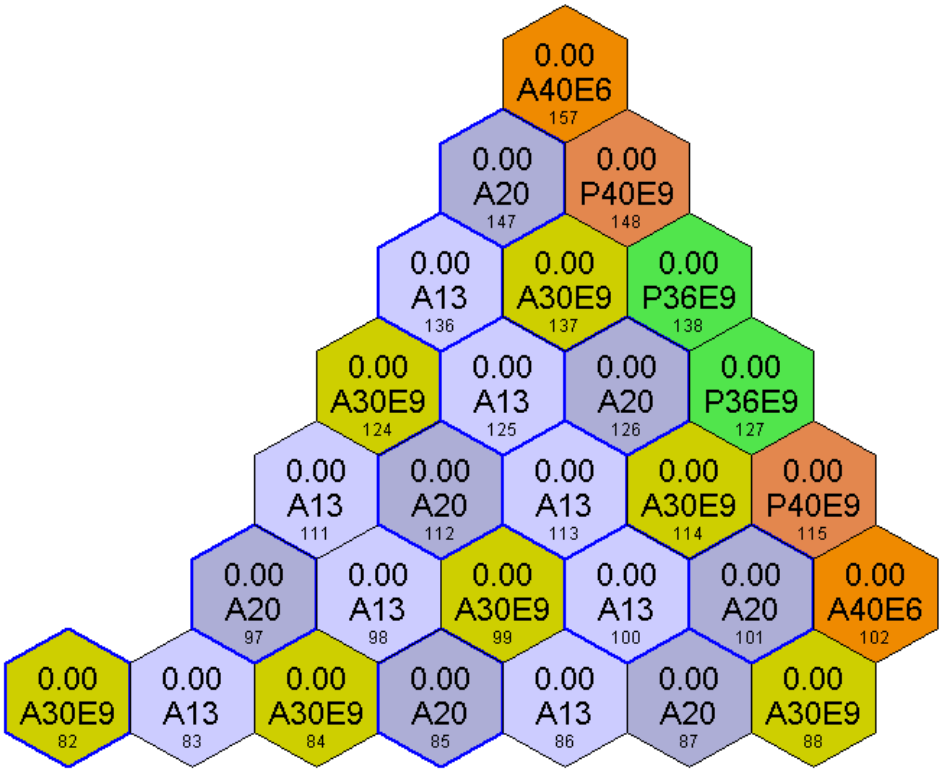
a) Palivo

Počet palivových souborů	163
Počet palivových proutků v souboru	312
Pokrytí palivového proutku	Slitina E110
Počet vodících trubek v souboru	18
Počet instrumentačních trubek v kazetě	1
Délka palivového článku	3925 mm
Palivové články s tabletami z UO_2	tvel
Palivové články s tabletami z UO_2 s Gd_2O_3	tveg
Výška palivového sloupce	3680 mm
Výška blanketu	2 x 150 mm
Tableta - průměr	7,6 mm
Průměr centrálního otvoru	1,2 mm
Šířka mezery mezi tabletou a pokrytím	0,13 mm
Výška tablety z UO_2	9 - 12 mm
Výška tablety z UO_2 s Gd_2O_3	10 mm
Maximální obohacení ^{235}U	5%
Obsah Gd_2O_3 v tabletách tveg	3,35 – 8%

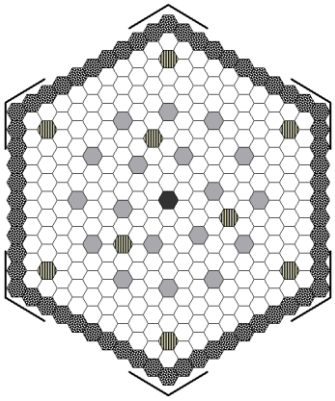
b) Regulační orgány - klastry

Počet klastrů v aktivní zóně	61
Počet prstů v jednom klastru	18
Absorbátor spodní část	Dy_2TiO_5
Absorbátor spodní část - délka	300 mm
Absorbátor horní část	B_4C_3
Absorbátor horní část - délka	3245 mm

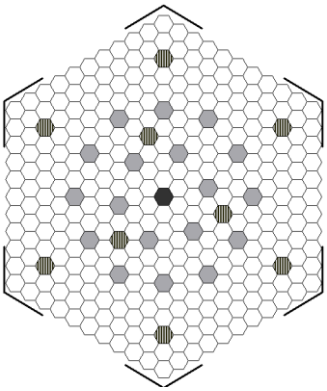
c) Aktivní zóna – první vsázka TVEL a její palivové soubory



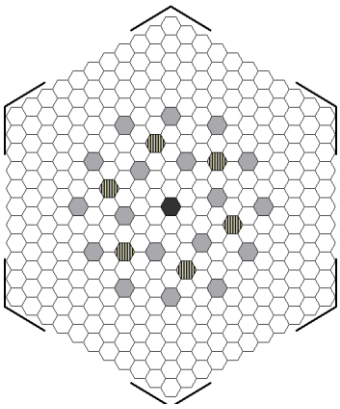
P40E9, P36E9



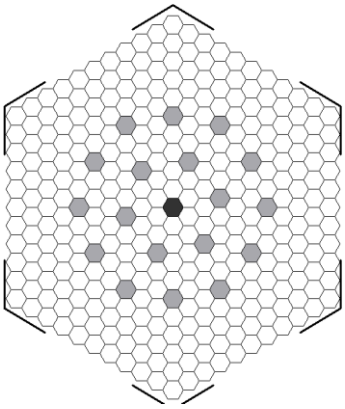
A30E9



A40E6



A13, A20



Vysvětlivky:
48 kazet TVSA-T - 312 článků s obohacením 1,3% ^{235}U (tvel) bez blanketů (A13);
ostatní TVSA-T s blankety:
42 kazet TVSA-T - 312 článků s obohacením 2,0% ^{235}U (tvel) (A20);
37 kazet TVSA-T - 303 článků s obohacením 3,0% ^{235}U +9 s obohacením 2,4% ^{235}U (tvegy) (A30E9);
12 kazet TVSA-T - 243 článků s obohacením 3,6 % ^{235}U + 60 článků s obohacením 3,3% ^{235}U +9 článků s obohacením 3,3% ^{235}U (tvegy) (P36E9);
12 kazet TVSA-T - 243 článků s obohacením 4,0% ^{235}U + 60 článků s obohacením 3,6% ^{235}U +9 článků s obohacením 3,3% ^{235}U (tvegy) (P40E9);
12 kazet TVSA-T 306 článků s obohacením 4,0% ^{235}U +6*3,3% ^{235}U (tvegy) (A40E6).
Palivové tablety tveg obsahují UO_2 s 5% Gd_2O_3.

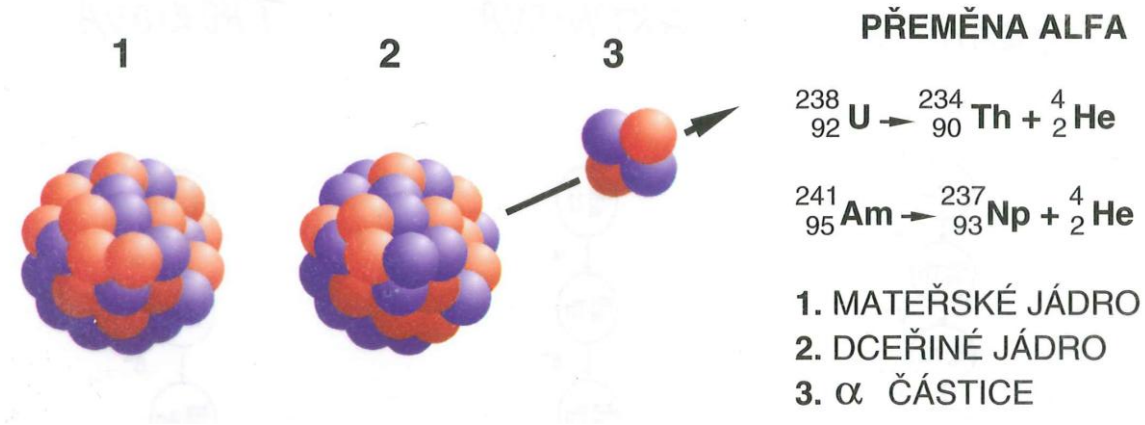
d) Zdroje neutronů
Primární zdroj - dva zdroje obsahující kalifornium ^{252}Cf (Cf_2O_3 - Pd).

Sekundární zdroj - tři zdroje obsahující antimon a berylium.

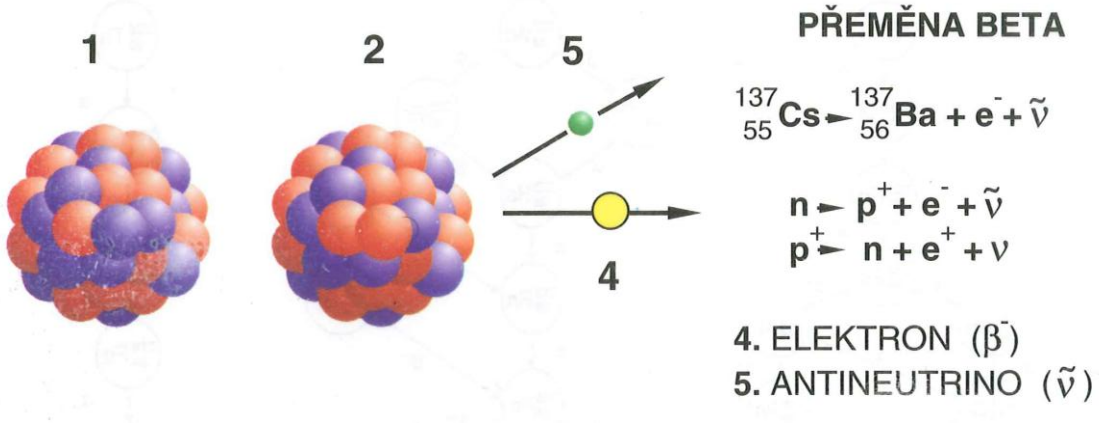
3. Radiační ochrana

3.1 Radioaktivita

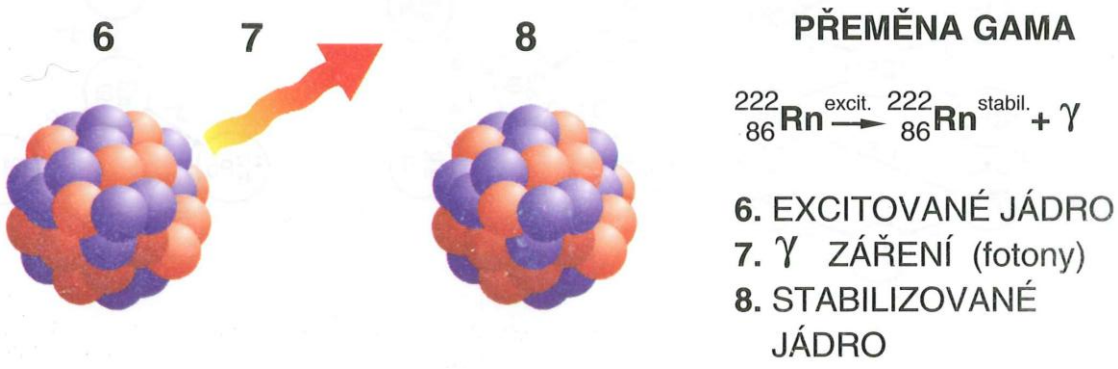
Radioaktivita je jev, který důsledkem přeměny nestabilních jader některých prvků na jádra stabilnější. Tato přeměna je doprovázena uvolněním částic nebo kvant záření gama, které nazýváme ionizujícím zářením.
Nejběžnějšími typy ionizujícího jsou záření alfa, beta a gama a v radiační ochraně nás bude zajímat interakce tohoto záření s elektronovými obaly atomů a molekul v neživé hmotě ale především živých orgánech a tkáních.
Částice alfa (složená ze dvou protonů a dvou neutronů) se vyznačují vysokou pro daný rozpad specifickou energií (1 - 10 MeV) a velkou schopností ionizace, ale krátkým doletem i ve vzduchu. Zářiče alfa je proto možné snadno odstínit (hliníková fólie, štít z umělé hmoty apod.), jsou však velmi nebezpečné v případě vnitřní kontaminace. Částice alfa o energii 1MeV vytvoří například ve vzduchu na dráze 1cm 60 000 párů iontů a mají dolet jen několik centimetrů.



Pro **záření beta** (uvolňování elektronu z jádra) je charakteristická maximální energie (E_{max}) a spojité spektrum energií elektronů od nuly do maximální energie. Pronikavost záření beta je mnohem větší než u záření alfa. Elektrony o energii 1 MeV mají ve vzduchu dolet několika metrů, ionizační účinky jsou však značně nižší než u částic alfa. Nejvyšší ionizační účinky mají elektrony s energií 145 eV, které vytvoří na 1cm dráhy ve vzduchu cca 7 700 iontových párů. Také záření beta je také snadné odstínit. Stačí hliníková fólie nebo ochranné štíty ze skla nebo umělé hmoty. Zářiče beta jsou také nebezpečné při vnitřní kontaminaci lidského těla.



Další typ ionizujícího záření - **záření gama** vzniká při gama přeměně t.j. při přechodu jader ze vzbuzeného stavu na nižší energetické hladiny a má charakteristické hodnoty energií pro mateřské jádro. Záření gama doprovází většinu jaderných reakcí a rozpadů beta. Má nízkou specifickou ionizaci - nízký počet vytvořených iontových párů v 1cm vzduchu, ale vysokou pronikavost. Ochrana pracovníků před gama zářením spočívá v používání krytů a stínících stěn z látek s velkým hmotovým číslem. Nejpoužívanějším materiálem je olovo.



Nejpoužívanější charakteristickou konstantou specifickou pro jednotlivé radioaktivní rozpady (přeměny) je **poločas rozpadu**. Je to čas, za který se **aktivita A** zdroje ionizujícího záření sníží na polovinu.

3.2 Veličiny a jednotky v oblasti ionizujícího záření

3.2.1 Aktivita

Základní parametr charakterizující zdroj ionizujícího záření je **aktivita A**, která udává počet radioaktivních rozpadů ve zdroji za čas. Základní jednotkou aktivity je 1 becquerel [1Bq], který odpovídá jednomu rozpadu za sekundu.

Pro provoz jaderně-energetických zařízení i pro práci s radioaktivními látkami se používají odvozené veličiny:

- ***plošná aktivita (plošná kontaminace)*** a_S, která je pro plochu S definována vztahem

$$a_S = A/S \qquad [Bq/m^2]$$

Plošná aktivita udává míru kontaminace (zamoření) povrchu zařízení, stavebních konstrukcí ochranných oděvů apod.

- ***objemová aktivita*** a_V, která je pro objem V definována vztahem

$$a_V = A/V \qquad [Bq/m^3]$$

Objemová aktivita udává míru kontaminace (zamoření) kapalin a plynů.

3.2.2 Dávka

Nejčastěji používaná veličina charakterizující účinky ionizačního záření je ***dávka D***, která je mírou střední sdělené energie *E* hmotě *m*. Základní jednotkou dávky je 1 gray (čti grej).

$$D = E/m \qquad [1\ Gy]$$

Odvozenou veličinou od dávky je ***dávkový příkon D****, který udává závislost dávky na čase t a je definovaný vztahem

$$D^* = D/t \qquad [1\ Gy/hod]$$

3.2.3 Veličiny z oblasti ochrany zdraví před ionizujícím zářením

Nejdůležitější veličinou z této oblasti je ***ekvivalentní dávka*** H_T. Jednotkou ekvivalentní dávky je 1 sievert (čti sívrt). Ekvivalentní dávka je definovaná vztahem

$$H_T = D_{TR} . w_R \qquad [\ 1\ Sv]$$

kde D je střední absorbovaná dávka záření R v tkáni nebo orgánu T [Gy]
w_R je bezrozměrný koeficient ionizujícího záření R - radiační váhový faktor, který závisí na druhu a energii záření

pro záření beta a gama je pro všechny energie roven 1
pro neutrony podle energie se pohybuje od 5 do 20
pro záření alfa všech energií je 20

Odvozenou veličinou je ***úvazek ekvivalentní dávky*** $H_{T(50)}$ [1 Sv], který je definovaný jako součet ekvivalentních dávek způsobených přijatým radionuklidem od okamžiku příjmu po dobu 50 let. Vyjadřuje se ním vliv vnitřní kontaminace organismu radionuklidy.
Další odvozenou veličinou je ***kolektivní ekvivalentní dávka*** je definovaná jako součet ekvivalentních dávek skupiny osob. Jeho jednotkou je také 1 Sievert [1 Sv]

3.3 Biologické účinky ionizujícího záření

3.3.1 Vnější ozáření

Na základě poznatků o vlastnostech ionizujícího záření můžeme předpokládat jeho účinky na živé organismy. Vliv ionizujícího záření, který nemusí být při malých ekvivalentních dávkách pouze negativní, můžeme hodnotit u:
1. buňky
2. orgánů a tkání
3. lidského organismu jako celku

1. Pro **buňky** platí, že na ionizující záření je nejcitlivější v okamžiku svého dělení. Z toho je možné odvodit, že v organismu budou citlivé na záření ty orgány a tkáně, kde dochází k dělení buněk a že nejcitlivější na záření budou rychle se dělící buňky (tvorba červených krvinek, růst plodu v těhotné ženě apod.)

2. **Orgány a tkáně** můžeme dělit podle relativní citlivosti na ionizující záření na:

- velmi citlivé (gonády, mléčné žlázy, kostní dřeň)
- citlivé (plíce, kůže)
- středně citlivé (štítná žláza, oko)
- málo citlivé (mozek, nervový systém, končetiny)

3. Účinky ionizujícího záření na **lidský organismus** jsou individuální a značně se liší v rámci sledovaných skupin obyvatelstva. Dělíme na okamžité, pozdní a genetické.
A. Okamžité účinky podle ekvivalentní dávky jsou nejlépe prostudovány. Vzhledem k individuální citlivosti na ionizující záření musíme však níže uvedené ekvivalentní dávky brát pouze jako orientační.

- nad 250 mSv - zjistí se změny krevního obrazu při laboratorním vyšetření
- nad 1 Sv - lehká nemoc z ozáření (únava, nespavost, zažívací problémy)
- od 2 až 3 Sv- střední nemoc z ozáření (poškození kůže, oční čočky apod.)
- od 4 až 5 Sv - těžká nemoc z ozáření (úporné bolesti, odpor k jídlu)

B. Pozdní účinky
Mohou se projevovat po letech ve formě například nádorových onemocnění a leukémie. Statisticky byly tyto účinky prokázány např. u horníků v uranových dolech, u kterých se v pozdějším věku projevilo ve zvýšené míře onemocnění leukémií.
C. Genetické
Teoreticky se projevují v následujících generacích. Není však k dispozici dostatek potřebných statisticky průkazných podkladů vzhledem k působení dalších negativních vlivů (kancerogeny v potravě, znečištěné ovzduší, půda i vodní zdroje apod.)

3.3.2 Vnitřní kontaminace organismu
Při vnitřní kontaminaci organismu může docházet k hromadění jednotlivých radionuklidů v některých orgánech, které označujeme jako kritické orgány.

- štítná žláza - jód (^{131,132} I)
- kost - stroncium a plutonium (^{90}Sr, ^{239}Pu)
- svalovina - cesium (^{137}Cs)
- celé tělo - tritium ^{3}H, uhlík ^{14}C

3.4 Předpisy pro práci s ionizujícím zářením - Vyhláška SÚJB 307/2002Sb. o radiační ochraně
Vyhláška navazuje na zákon 18/1997 Sb. (Atomový zákon) a v souladu s požadavky Mezinárodní organizace pro atomovou energii stanovuje :

- kritéria pro kvalifikaci zdrojů ionizujícího záření
- limity pro uvolňování materiálů do životního prostředí
- kategorizaci pracovišť, ve kterých se vykonává radiační činnost
- způsoby optimalizace radiační ochrany
- limity ozáření

Tato vyhláška také upravuje podrobnosti ke způsobu a rozsahu zajištění radiační ochrany při činnostech vedoucích k ozáření a definuje řadu pojmů (osobní dávky, pracoviště s otevřenými zářiči, zevní a vnitřní ozáření, pracovní místo, kritická skupina obyvatel apod.) a veličin spojených s radiační ochranou (dávkový ekvivalent, ekvivalentní a efektivní dávka, osobní dávkový ekvivalent apod.)

Dávky ionizujícího záření jsou podle této vyhlášky minimalizovány pomocí optimalizace radiační ochrany a pomocí limitů.
Rozumně dosažitelná úroveň radiační ochrany se považuje za dostatečně prokázanou v případech, že roční efektivní dávka u žádného z radiačních pracovníků nepřekročí 1mSv a u žádné jiné osoby 50μSv. Radiačním pracovníkem je podle Atomového zákona každá osoba vystavená profesnímu ozáření.
Základní limity ozáření jsou ve vyhlášce rozděleny do tří skupin:
a) základní limity obecné
b) základní limity pro radiační pracovníky
c) základní limity pro učně a studenty v rámci specializované přípravy.
Pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků z efektivních dávek vnitřního ozáření u **základních limitů obecných** je stanoven limit **1mSv za kalendářní rok** výjimečně 5mSv za pět po sobě jdoucích kalendářních roků. Tento limit platí také pro obyvatelstvo v okolí pracoviště se zdroji IZ.
Základní limit pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků z efektivních dávek vnitřního ozáření **u radiačních pracovníků je 100mSv za pět po sobě jdoucích kalendářních roků a 50mSv za kalendářní rok.**

Vyhláška SÚJB č.307/2002 Sb. také řeší:

- podrobnosti pro nakládání se zdroji IZ
- podrobnosti pro nakládání s radioaktivními odpady (shromažďování, třídění, zpracování, úprava, skladování, ukládání) a stanovuje limity a podmínky bezpečného nakládání s RAO)
- technické a organizační podmínky bezpečného provozu pracovišť se zdroji IZ
- sledování, měření, hodnocení veličin důležitých z hlediska radiační ochrany
- evidence zdrojů IZ

3.5 Zdroje ionizujícího záření a radionuklidů

3.5.1 Přirozené zdroje

Přirozené zdroje ovlivňují člověka po celou dobu jeho existence na Zemi. Můžeme rozdělit do tří skupin

a) ***Kosmické záření*** působící na lidský organismus je důsledek ionizující záření přicházejícího z vesmíru. Dělíme na dva typy

- primární záření (alfa, beta, gama, neutronové aj.) převážně interaguje v horních vrstvách atmosféry za vzniku sekundárního záření a kosmogenních radionuklidů
- sekundární (protonové záření atd.) je produktem jaderných reakcí probíhajících v horních vrstvách atmosféry

b) ***Kosmogenní radionuklidy*** vznikají v horních vrstvách atmosféry působením kosmického záření. Nejdůležitějšími zástupci této skupiny jsou tritium ^{3}H a uhlík ^{14}C

c) ***Primordiální radionuklidy*** se vytvořily při vzniku Vesmíru a zachovaly se do současné doby. Až na výjimku (draslík ^{40}K) jsou součástí rozpadových řad (uranová, thoriová a aktiniová). Ve všech řadách se vyskytuje radon (radioaktivní vzácný plyn), který difunduje z hornin.

K ekvivalentním dávkám, které obdržíme od přirozeného pozadí, přispívají výše uvedené přirozené zdroje v závislosti na místu pobytu následovně:

kosmické záření	200 μSv
kosmogenní radionuklidy	100 μSv
primordiální radionuklidy mimo radonu	400 μSv
radon	1300 μSv
celková suma	2000 μSv = 2 mSv

Hodnoty ekvivalentních dávek od přirozeného pozadí se významně liší např. podle nadmořské výšky a složení geologického podloží místa pobytu a proto nelze brát výše uvedené hodnoty ekvivalentních dávek absolutně.

3.5.2 Umělé zdroje

Zdroje ionizujícího záření se v současné době úspěšně využívají v různých oblastech lidské činnosti (sterilizace obvazových materiálů, různé diagnostické metody apod.), mají však také v některých případech jejich nežádoucí účinky.

a) Lékařské expozice rozdělujeme na :

- diagnostické - nejsou limitovány, ekvivalentní dávky jsou řádově desítky mSv.
- terapeutické - léčebných účinků ionizujícího záření se využívá hlavně při léčbě nádorových onemocnění, ekvivalentní dávky jsou vysoké řádově stovky mSv, lokálně však dosahují i jednotky Sv.

b) Profesní expozice - např. u rentgenologů a defektoskopů

c) Stavební materiály (panely, kámen apod.) přispívají v některých případech značně k ekvivalentním dávkám, které dostáváme. Liší se podle druhu obydlí, ve kterém žijeme.
d) Důsledky zkoušek jaderných zbraní přispívají k ekvivalentním dávkám cca 30μSv/rok
e) Sledování televizního přijímače přispívá k ekvivalentním dávkám cca 10μSv/rok.
f) Provoz jaderných elektráren přispívá k ekvivalentním dávkám také cca 10μSv/rok

3.5.3 Zdroje radionuklidů na jaderné elektrárně

Radionuklidy na JE vznikají pouze v aktivní zóně reaktoru jako důsledek:
a) **štěpení paliva** - radioaktivní štěpné produkty (krypton ^{85}Kr, stroncium ^{90}Sr, zirkonium ^{93}Zr, ruthenium ^{106}Ru, jód ^{131}I, bárium ^{144}Ba, cesium ^{137}Cs, neodyn ^{147}Nd, xenon ^{135}Xe apod.) vznikají především při štěpení jader uranu ^{235}U a plutonia ^{239}Pu a jejich nukleonové číslo se pohybuje většinou v rozmezí od 70 do 165.
b) **aktivace paliva** - radioaktivní transurany (plutonium ^{239}Pu a ^{240}Pu, neptunium ^{239}Np, americium ^{243}Am, curium ^{244}Cm apod.) vznikají záchytem neutronů složkami paliva (^{238}U, ^{235}U) a následnými přeměnami produktů záchytu.
c) **aktivace korozních produktů** - radioizotopy (kobalt ^{60}Co, železo ^{55}Fe, nikl ^{63}Ni, chrom ^{51}Cr, mangan ^{54}Mn a další) vznikají interakcí neutronů v aktivní zóně reaktoru s částečkami korozní vrstvy odloupnuté s vnitřních povrchů primárního okruhu.
d) **interakcí neutronů s chladivem**, příměsemi a nečistotami v primárním chladivu vzniká celá řada radioizotopů, z nichž většina nemá zvláštní význam buď pro krátký poločas rozpadu (např. dusík ^{16}N) nebo pro nízkou koncentraci v chladivu (aktivované nečistoty). Zpracování chladiva primárního okruhu jako kapalného odpadu však komplikuje tritium (^{3}H) a radioaktivní uhlík (^{14}C). tritium vzniká jadernou reakcí neutronu s borem a radioaktivní uhlík interakcí neutronů s dusíkem.
e) **neznámých dějů**

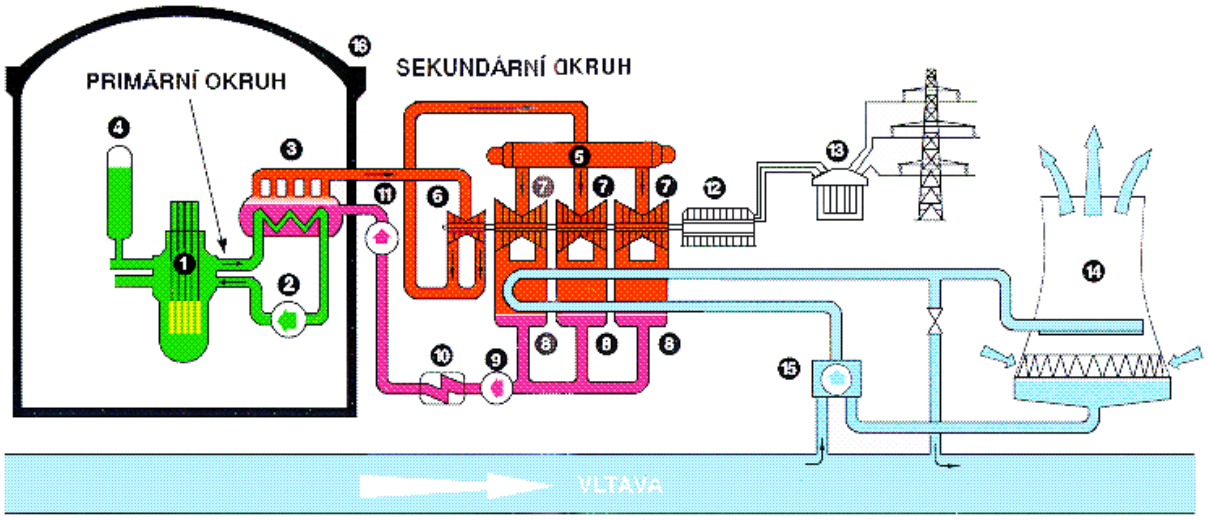
Odchod pracovníků z kontrolovaného pásma – měření povrchové kontaminace

4. Primární část VVER 1000

4.1 Všeobecná charakteristika primárního okruhu

Jaderná elektrárna Temelín je tvořena dvěma bloky s tlakovodními reaktory VVER 1000 V320. Každý blok je tvořen dvěma okruhy - primárním a sekundárním. Principiální schéma bloku je zobrazeno na obrázku 1. Proces přeměny jaderné energie na tepelnou probíhá v aktivní zóně reaktoru (1) a odvod tepla z aktivní zóny je realizován chladivem primárního okruhu - chemicky upravené demineralizované vody. Z reaktoru proudí ohřáté chladivo teplou větví primárního potrubí do parogenerátoru (3), kde přes teplosměnné plochy tvořené 11000 nerezových trubek o průměru 16mm, předá teplo vodě sekundárního okruhu, která se v parogenerátoru mění na sytou páru a je parovody vedena k turbíně. Z parogenerátoru proudí chladivo primárního okruhu studenou větví primárního potrubí za pomoci hlavního cirkulačního čerpadla (2) zpět do reaktoru, kde se ohřeje a přenos energie se opakuje. Parogenerátor hermeticky od sebe odděluje primární okruh, který obsahuje radionuklidy a neradioaktivní sekundární okruh. Cirkulaci chladiva mezi reaktorem a parogenerátorem zajišťuje hlavní cirkulační čerpadlo a probíhá shodným způsobem ve čtyřech identických cirkulačních smyčkách.

Obrázek 1. Principielní schéma výrobního bloku JE TEMELÍN



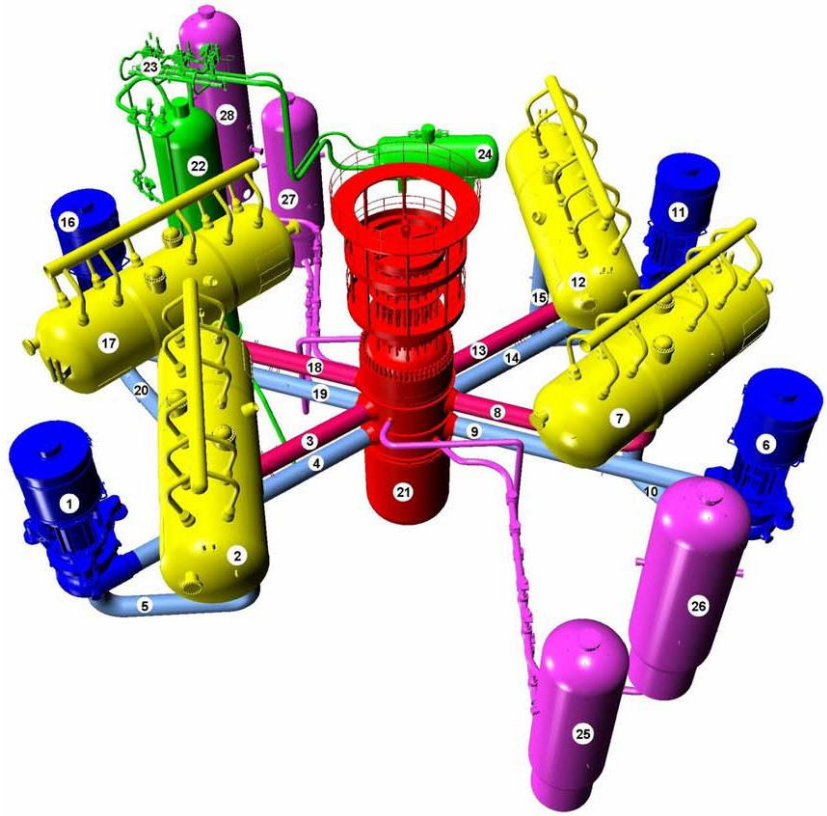
Popis schématu:

1. Reaktor
2. Hlavní cirkulační čerpadla
3. Parogenerátor
4. Kompenzátor objemu
5. Separátor přihřívač
6. Vysokotlaký díl turbíny
7. Nízkotlaký díl turbíny
8. Kondenzátor
9. Kondenzátní čerpadlo
10. Regenerace
11. Napájecí čerpadlo
12. Generátor
13. Transformátor
14. Chladicí věž
15. Čerpací stanice CCHV
16. Kontejnment

Primární okruh (viz obr.2) je v podstatě uzavřená tlaková nádoba zaplněná chladivem, jehož objem se mění v závislosti na teplotních změnách okruhu. Objemové změny chladiva vyvolávají změny tlaku v primárním okruhu. Tlak v primárním okruhu je řízen pomocí systému kompenzace, jehož součástí je kompenzátor objemu (22), pojišťovací ventily (23) a barbotážní nádrž (24) tak, aby nedošlo k takovému poklesu tlaku, které by způsobilo tvorbu

páry v aktivní zóně reaktoru, nebo k takovému zvýšení tlaku, při kterém by mohla být porušena celistvost primárního okruhu.

Obrázek 2. Primární okruh



Č.	Technologické zařízení	Značení
1	Hlavní cirkulační čerpadlo	YD10D01
2	Parogenerátor	YB10W01
3	Horká větev cirkulační smyčky	YA11Z01
4	Studená větev cirkulační smyčky	YA12Z02
5	Studená větev cirkulační smyčky	YA12Z01
6	Hlavní cirkulační čerpadlo	YD20D01
7	Parogenerátor	YB20W01
8	Horká větev cirkulační smyčky	YA21Z01
9	Studená větev cirkulační smyčky	YA22Z02
10	Studená větev cirkulační smyčky	YA22Z01
11	Hlavní cirkulační čerpadlo	YD30D01
12	Parogenerátor	YB30W01
13	Horká větev cirkulační smyčky	YA31Z01
14	Studená větev cirkulační smyčky	YA32Z02
15	Studená větev cirkulační smyčky	YA32Z01
16	Hlavní cirkulační čerpadlo	YD40D01
17	Parogenerátor	YB40W01
18	Horká větev cirkulační smyčky	YA41Z01
19	Studená větev cirkulační smyčky	YA42Z02
20	Studená větev cirkulační smyčky	YA42Z01
21	Reaktor	YC00B01
22	Kompenzátor objemu	YP10B01
23	Uzel pojistných ventilů systému kompenzace objemu	YP21,22, 23S01
24	Barbotážní nádrž	YP20B01
25	Hydroakumulátor	YT11B01
26	Hydroakumulátor	YT12B01
27	Hydroakumulátor	YT13B01
28	Hydroakumulátor	YT14B01

Na obrázku primárního okruhu jsou také znázorněny hydroakumulátory (25 - 28) naplněné roztokem kyseliny borité, které jsou pasivním havarijním systémem.

Základní parametry primárního okruhu:

Tepelný výkon reaktoru	3120 MW
Teplota chladiva při vstupu do reaktoru	290 ^{o}C
Teplota chladiva při výstupu z reaktoru	320 ^{o}C
Pracovní tlak chladiva	15,7 MPa
Objemový průtok chladiva reaktorem	24,4 m^3/s
Objem chladiva v primárním okruhu	337 m^3

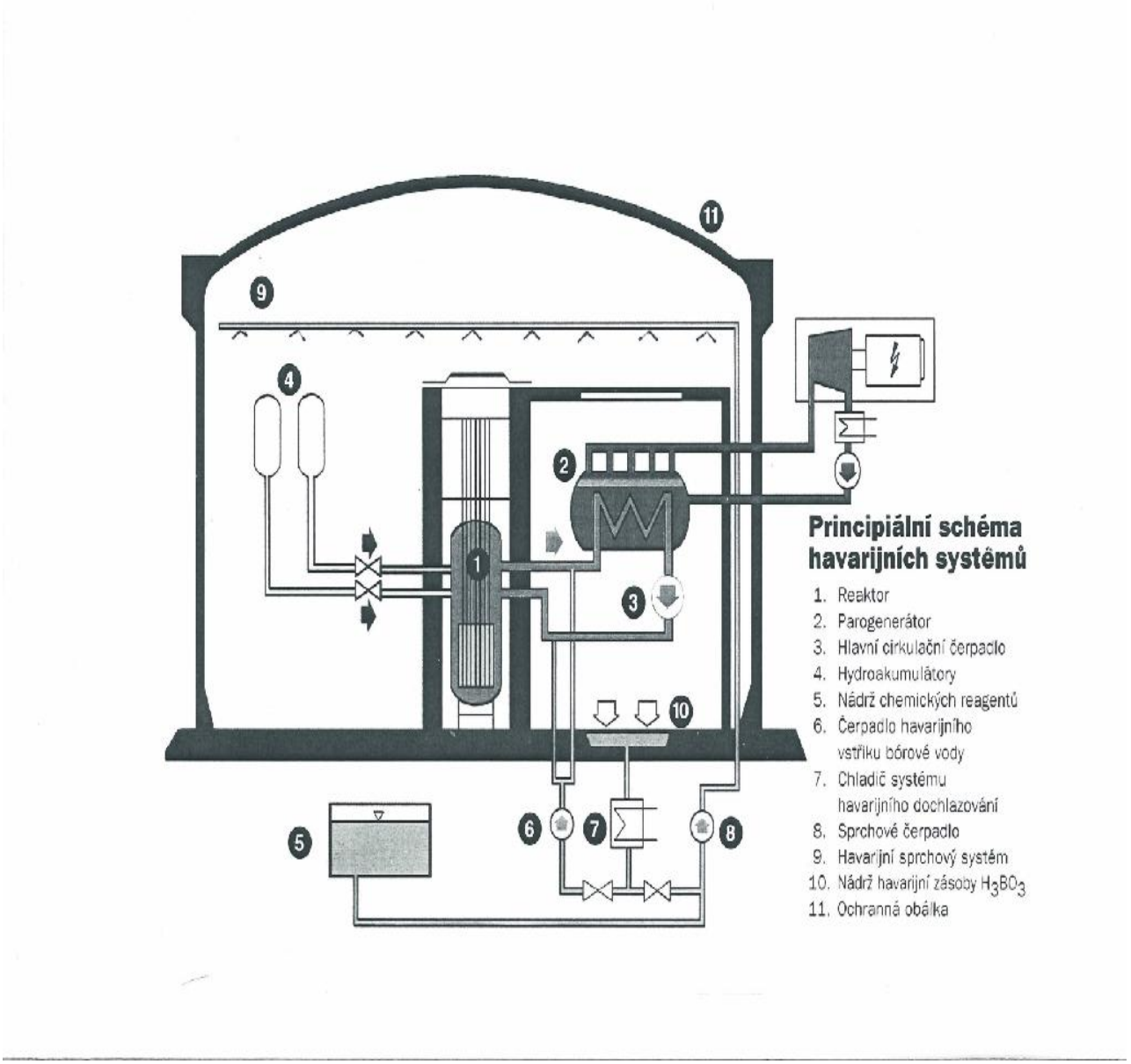
Pro bezpečný a bezporuchový provoz primárního okruhu jsou důležité také systémy čištění chladiva primárního okruhu, pomocné a havarijní systémy.

4.2 Havarijní systémy

Havarijní systémy (viz obr.3) můžeme rozdělit na:

- aktivní havarijní systémy
- pasivní havarijní systémy

Obrázek 3. Principiální schéma havarijních systémů.



Havarijní systémy zabezpečují při haváriích spojených s vývinem kladné reaktivity v aktivní zóně dodávku roztoku kyseliny borité do aktivní zóny reaktoru a při úniku chladiva primárního okruhu snížení tlaku uvnitř hermetické obálky - kontejnmentu.
Havarijní systémy chlazení aktivní zóny jsou zařazeny do I.kategorie seismické odolnosti a rozdělujeme je na

- aktivní
- pasivní

Aktivní havarijní systémy využívají pro dodávku roztoku kyseliny borité event. i dalších chemikálií do primárního okruhu různé typy čerpadel elektricky napájených ze systémů zajištěného napájení. Dělíme je na systém

- vysokotlaký
- nízkotlaký
- sprchový

Pasivní systém chlazení aktivní zóny je na JE Temelín tvořen čtyřmi hydroakumulátory, které slouží k rychlému zaplavení aktivní zóny reaktoru při poklesu tlaku v primárním okruhu pod 5,9 MPa. Cílem je zabránit roztavení paliva, minimalizování možnosti reakce pokrytí palivového článku s chladivem, vytvoření a udržení podkritičnosti aktivní zóny a společně s aktivními havarijními systémy dochlazování reaktoru.

4.3 Pomocné systémy

Pomocné systémy dělíme na:

- systém organizovaných úniků
- systém doplňování a bórové regulace
- systém spalování vodíku
- systém výměny a skladování paliva
- vložené okruhy chlazení
- systém borového koncentrátu
- speciální kanalizace
- ventilační systémy

Primární okruh s havarijními a pomocnými systémy tvoří primární část jaderné elektrárny. Zařízení primární části je umístěno v reaktorovně a budově aktivních pomocných provozů. Vlastní primární okruh je umístěn v ochranné obálce - kontejnmentu, který jej hermeticky odděluje od ostatních částí jaderné elektrárny a tvoří bariéru proti úniku radioaktivity do životního prostředí.

4.4 Účel hlavních zařízení primárního okruhu

4.4.1 Jaderný reaktor

Účel zařízení:

Jaderný reaktor je technologické zařízení, ve kterém dochází k přeměně jaderné energie na tepelnou. Teplo uvolněné v aktivní zóně reaktoru v důsledku řízené štěpné reakce přestupuje do chladiva primárního okruhu, které proudí aktivní zónou reaktoru.

4.4.2 Hlavní cirkulační čerpadlo

Účel zařízení:

Hlavní cirkulační čerpadlo (HCČ) je umístěno na studené větvi každé cirkulační smyčky a zabezpečuje cirkulaci chladiva primárního okruhu přes aktivní zónu reaktoru s cílem odvodu tepla vznikajícího při štěpné reakci.

HCČ je odstředivé jednostupňové ucpávkové vertikální čerpadlo s letmo uchyceným oběžným kolem a axiálním přívodem čerpané kapaliny. Skládá se z vyjímatelné části a ulity. Je poháněno asynchronním elektromotorem s příkonem za tepla 5,1 MW. Výkon HCČ je přibližně 6,1 m^3 chladiva za sekundu.

4.4.3 Parogenerátor

Účel zařízení:

Parogenerátor je tělesový horizontální tepelný výměník, ve kterém je předáváno teplo z chladiva primárního okruhu chladivu sekundárního okruhu. Z chladiva sekundárního kruhu vzniká pára, která je odváděna parovody na turbínu. Parogenerátor tvoří rozhraní mezi primárním a sekundárním okruhem a vzhledem k potenciální možnosti vzniku netěsnosti především v místech napojení teplosměnných trubek v kolektorech představuje z tohoto hlediska nejcitlivější část primárního okruhu.

4.4.4 Systém kompenzace objemu

Účel zařízení:

Systém kompenzace je určen k udržování tlaku v primárním okruhu, kompenzaci teplotních změn objemu chladiva, k vytváření potřebného tlaku v primárním okruhu v režimu spouštění a dochlazování a k ochraně primárního okruhu v havarijních režimech při prudkém nárůstu tlaku. Systém je složen z **kompenzátoru objemu, uzlu pojistných ventilů a barbotážní nádrže**

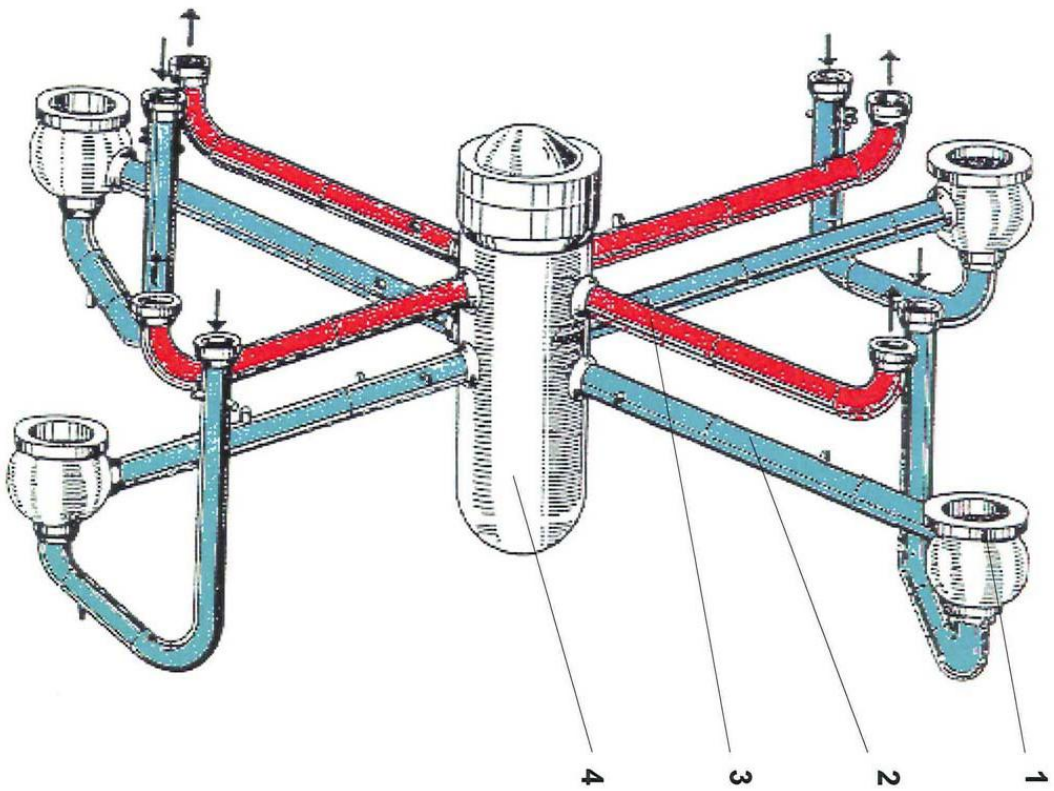
4.4.5 Hlavní cirkulační potrubí

Účel zařízení:

Hlavním cirkulačním potrubím (HCP) proudí chladivo primárního okruhu z reaktoru do parogenerátoru a odtud se vrací přes hlavní cirkulační čerpadlo zpět do reaktoru a vytváří tak tzv. smyčku.

HCP je vyrobeno z nízko legované oceli s dvouvrstevným nerezovým návarem o tloušťce 5 až 7 mm. Vnější průměr potrubí je 995 mm a vnitřní světlost je 850 mm (tloušťka stěny 145mm).

Obr.4. Hlavní cirkulační potrubí



Popis**:**

1. Ulita hlavního cirkulačního čerpadla
2. Studená větev cirkulační smyčky
3. Horká větev cirkulační smyčky
4. Reaktor

5. Sekundární část VVER 1000

5.1 Účel sekundární části JE

Sekundární část JE Temelín je tvořena velkým počtem různých zařízení, které zajišťují celou řadu úkolů. Pro naše potřeby můžeme rozdělit sekundární část JE do dvou skupin:

- zařízení umístěná na strojovně bloku, která jsou přímo zapojena do přeměny tepelné energie na mechanickou a dále na elektrickou nebo zařízení bezprostředně ovlivňující tyto činnosti
- zařízení umístěná v dalších objektech, která mají za úkol především zabezpečení dodávky vybraných médií a zpracování vedlejších výstupů z produkce

V rámci této kapitoly se budeme zabývat pouze první skupinou zařízení, která má za úkol zabezpečit:

- vysokou účinnost přeměny tepelné energie předané do sekundárního okruhu v parogenerátorech na energii mechanickou a dále na energii elektrickou pomocí parní turbíny a turboalternátoru
- udržování bloku v horké rezervě při krátkodobých odstávkách
- odvod nízkopotenciální tepelné energie z kondenzátorů parní turbíny do atmosféry

5.2 Základní tepelné schéma sekundárního okruhu

Sekundární okruh JE Temelín je projektován tak, aby výrobní blok mohl být provozován nejen jako zdroj elektrické energie, ale také jako zdroj tepla pro další objekty JE a město Týn nad Vltavou, což zlepšuje účinnost provozu JE. Sekundární okruh je však možné provozovat i v čistě kondenzačním režimu, kdy se teplo neodvádí vůbec, nebo až po režim, při kterém se odvede 306,8 MW tepelné energie.

Základní tepelné schéma sekundárního okruhu je znázorněno na obrázku 1. Parametry uvedené v následujícím textu se vztahují na čistě kondenzační režim, přičemž jsou to údaje aproximované. Zdrojem páry pro sekundární okruh JE Temelín jsou čtyři parogenerátory (PG), v nichž vzniká 6181 t páry za hodinu o teplotě 278^{o}C a tlaku 6,3MPa. Odtud je pára dopravována parovody do vysokotlakého dílu turbíny (VT), do kterého vstupuje 5595,6 t páry za hodinu o teplotě 276^{o}C a tlaku 6,0MPa. Zde předá zhruba 40% své energie. Přitom dojde k poklesu její teploty na 168^{o}C, tlaku na 0,77MPa a k zvýšení její vlhkosti. Proto je pára vystupující z vysokotlakého dílu turbíny vedena do dvou separátorů - přihřívačů (SPP), kde dochází k odloučení vlhkosti z pracovní páry a k jejímu ohřevu nad mez sytosti pomocí páry odebrané z rozdělovače (VIII) před vstupem do vysokotlakého dílu turbíny. Pracovní pára se tak ohřeje na 249^{o}C. Ze separátorů - přihřívačů se pára vede do tří nízkotlakých dílů turbíny (1.NT, 2.NT, 3.NT), kde dochází k další přeměně tepelné energie na mechanickou. Z nízkotlakých dílů turbíny proudí pára o teplotě 39^{o}C hrdly do tří kondenzátorů (1HK, 2HK, 3HK). Odvedením kondenzačního tepla do cirkulační chladící vody dochází ke kondenzaci páry a tím ke snížení tlaku v kondenzátorech přibližně na 6kPa. Kondenzát, který má teplotu jen o něco málo nižší než pára vstupující do kondenzátorů (38^{o}C), stéká do sběračů kondenzátu a je odtud odváděn na sání dvoustupňových kondenzátních čerpadel (KČ 1^{o} a KČ2^{o}), která jej dopravují přes nízkotlakou regeneraci složenou ze čtyř ohříváků (NTO 1, NTO 2, NTO 3, NTO 4) do tepelné úpravy vody. V případě potřeby (znečištění kondenzátu) je kondenzát z výtlaku prvního stupně kondenzátních čerpadel (KČ 1^{o}) veden na soustavu ionexových filtrů - blokovou úpravnu kondenzátu (BÚK), kde jsou nečistoty zachytávány. V nízkotlaké regeneraci se kondenzát postupně ohřívá párou z neregulovaných odběrů parní turbíny (I, II, III a V) na teplotu 164^{o}C a pak se odplyňuje v termických odplyňovačích (TO) vyhřívaných párou ze VI neregulovaného odběru turbíny. Po odplynění stéká kondenzát do napájecí nádrže (NN), kde je napájecí voda udržována při teplotě 185^{o}C a tlaku 1,123MPa. Objem napájecí vody v této nádrži je dostatečný pro zásobování parogenerátorů po dobu asi

dvou minut při nominálním provozu. Termické odplyňovače a napájecí nádrž tvoří systém tepelné úpravy vody.
Hlavní část systému napájení parogenerátorů ohřátým chladivem sekundárního okruhu je turbonapájecí soustrojí, které čerpá vodu z napájecí nádrže a tlačí ji přes vysokotlaké ohříváky (VTO) a napájecí hlavy do parogenerátorů. Turbonapájecí soustrojí se skládá z podávacího a napájecího čerpadla, která jsou poháněna parní turbínou (TBN), která je poháněna parou ze IV. neregulovaného odběru. Ve vysokotlaké regeneraci je napájecí voda ohřívána na 222^{o}C pomocí páry ze VII. odběru parní turbíny.

Parametry páry z odběrů:

Místo odběru	**Číslo odběru**	**Tlak MPa**	**Teplota ^{o}C**	**Spotřebiče**
PPR	VIII	5,4	270	SPP
VT díl	VII	2,6	226	VTO kolektor 1,2MPa
VT díl	VI	1,2	188	TO
Výstup z VT dílu	V	0,76	168	NTO 4 kol. 0,35 MPa BVS ŠO-2
Výstup SPP	IV	0,72	251	TBN
NT díly	III	0,29	161	NTO 3 BVS ŠO-1
NT díly	II	0,11	103	NTO 2 BVS ZO
NT díly	I	0,035	73	NTO 1

5.3 Účel hlavních zařízení sekundárního okruhu

5.3.1 Rozvod páry

Rozvod páry je tvořen potrubními systémy, které zajišťují dopravu páry od parogenerátorů k turbíně a rozvod páry pro vlastní spotřebu ve všech režimech provozu bloku. Čtyři vysokotlaké parovody vystupují z kontejnmentu hermetickými průchodkami, procházejí obestavbou a vstupují do mezistrojovny. V mezistrojovně mají parovody vnitřní průměr 700mm a jsou zde propojeny čtyřmi potrubími (vnitřní průměr 500mm) s hlavním parním rozdělovačem (HPR). Pára ve vysokotlakých parovodech je pak dále vedena přes vysokotlaké odlučovače vlhkosti ke čtyřem blokům rychlozávěrných a regulačních ventilů. Každý blok je tvořen jedním rychlozávěrným a jedním regulačním ventilem. Ventily jsou ovládány samostatnými hydraulickými servopohony a je nimi řízen vstup páry do vysokotlakého dílu turbíny. Před připojením k těmto blokům jsou parovody vzájemně propojeny pomocným parním rozdělovačem (PPR). HPR je dále napojen přes redukční stanice na kolektory 1,2MPa a 0,35MPa. Za nominálního provozu je však kolektor 1,2MPa napájen ze VII. a kolektor 0,35MPa z V. odběru parní turbíny

Základní prvky rozvodu páry tedy jsou

- hlavní parní rozdělovač
- pomocný parní rozdělovač
- kolektor 1,2MPa
- kolektor 0,35MPa

HPR je válec o vnitřním průměru 700mm, jehož účelem je:

- vyrovnávat množství a tlak páry mezi jednotlivými parovody

- v režimu udržování bloku v horké rezervě odvádět páru z parovodů do pomocného kondenzátoru (PK)
- při nenominálních režimech odvádět páru z parovodů do přepouštěcích stanic do kondenzátoru (PSK)
- zajišťovat záskokovou páru pro turbonapájecí soustrojí a tepelnou úpravu vody

Účelem PPR je zajišťovat topnou páru pro separátory přihřívače (VIII), páru pro zahlcování ucpávek na vysokotlakém dílu turbíny a pro náhřev bloků rychlozávěrných a regulačních ventilů.
Hlavními úkoly kolektoru 1,2MPa je doplňování systému zahlcování ucpávek nízkotlakých dílů parní turbíny a turbonapájecích čerpadel a vytápění napájecí nádrže.
Účelem kolektoru 0,35MPa je zabezpečovat páru pro jednotlivá zařízení pomocných systémů primárního okruhu.

5.3.2 Parní turbína

Účel zařízení:
Parní turbína je tepelný točivý stroj sloužící k přeměně tepelné energie obsažené v páře na mechanickou.

Popis zařízení:
Na JE Temelín je použita pro každý blok jedna čtyřtělesová rovnotlaká kondenzační turbína na sytou páru, se separováním vlhkosti, přihříváním páry za vysokotlakým dílem a s odběry páry pro regenerativní ohřev kondenzátu. Za nominálního provozu má turbína 3000ot./min. Je vybavena elektronicko hydraulickým regulačním a zabezpečovacím systémem. Regulace se provádí škrcením vstupující páry a proti úniku páry okolo rotoru je zabezpečena systémem ucpávek. Turbína je umístěna ve strojovně na podlaží + 15 m. Mechanická energie je přivedena společným hřídelem turbíny na spojku turbogenerátoru (TG), ve kterém se mění na energii elektrickou. Za turbogenerátorem je na podlaží + 15 m umístěn budič, který zabezpečuje vznik magnetického pole rotoru turbogenerátoru. Turbína je vybavena mechanickým otáčecím zařízením poháněným elektromotorem.
Vysokotlakou část turbíny tvoří jedno souměrné dvouproudé těleso s pěti stupni v každém proudu. Z vysokotlakého dílu jsou souměrně v obou proudech vyvedeny odběry - VII. odběr (za druhými stupni) a VI.odběr páry (za čtvrtými stupni).
Nízkotlakou část parní turbíny tvoří tři souměrná dvouproudá tělesa se čtyřmi stupni v každém proudu. Pára je na nízkotlakou část přiváděna ze dvou separátorů přihřívačů přes šest bloků rychlozávěrných a záchytných klapek.Za každým stupněm NT dílu turbíny je odebírána pára pro regeneraci a teplárenské účely (I., II., III. odběr). Stejné odběry z různých NT dílů jsou vzájemně propojeny.
Pomocné systémy parní turbíny:

- systém mazacího a regulačního oleje
- hydraulický regulační a zabezpečovací systém
- systém odběrů parní turbíny
- systém separace a přihřívání

5.3.3 Systém kondenzace

Účel systému:
Systém kondenzace je soubor zařízení, která mají tyto nejdůležitější funkce:

- zajistit odvod kondenzačního tepla páry vystupující z nízkotlakých dílů parní turbíny
- zajistit odvod tepla při provozu přepouštěcí stanice do kondenzátoru
- dopravovat kondenzát do napájecí nádrže

- zajistit kontinuální čištění teplosměnných ploch kondenzátorů

Popis systému:
K odvodu kondenzačního tepla z páry vystupující z parní turbíny slouží kondenzátor turbíny, který je tvořen třemi funkčně stejnými díly - kondenzátory pružně uloženými na základech pod nízkotlakými díly parní turbíny. Teplosměnnou plochu jednoho kondenzátoru (23°200°m^2) tvoří 31 900 titanových trubek dlouhých 12 m s vnitřním průměrem 20 mm resp.20,1 mm pro 2.blok JE Temelín. Výsledkem procesu je kondenzát chladiva sekundárního okruhu.
Chladící voda, která proudí titanovými trubkami (36°500°m^3/hod), je dodávána systémem cirkulační chladící vody. Cirkulaci v tomto systému zabezpečují dvě jednostupňová axiální čerpadla cirkulační chladící vody (ČCCHV) s natáčecími lopatkami. Čerpadla jsou umístěna mimo strojovnu v budově čerpací stanice a jsou poháněna elektromotorem o příkonu 7 MW. Jedno čerpadlo dodává za nominálního provozu 61°920°m^3/hod. Na chlazení cirkulační chladící vody jsou určeny pro každý blok dvě 154,8 m vysoké chladící věže (CHV) s přirozeným tahem, kde se část tepla předá sdílením a část odparem. Odpar z jedné věže je 0,4 m^3/sec.
Čistotu teplosměnných ploch kondenzátorů udržuje systém kontinuálního čištění TAPROGE pomocí kuliček z pěnové gumy o průměru 21 mm, které jsou vháněny pomocí čerpadla do přívodního potrubí cirkulační chladící vody před vstupem do kondenzátoru. Po průchodu kondenzátorem jsou kuličky zachycovány v lapači a opět dopravovány na sání oběhového čerpadla.
Kondenzát chladiva sekundárního okruhu stéká z kondenzátoru do sběračů kondenzátu a je veden jedním společným potrubí na sání dvoustupňových kondenzátních čerpadel umístěných na strojovně na - 9,5 m. Z výtlaku prvního stupně je možné jej dopravovat na sání druhého stupně buď přímo nebo přes blokovou úpravnu kondenzátu. Z výtlaku čerpadel druhého stupně je kondenzát veden přes regulační hlavy (RH) do souboru nízkotlaké regenerace. Na každém bloku JE Temelín jsou čtyři kondenzátní čerpadla a za nominálního provozu pracují tři a jedno čerpadlo je v rezervě.

5.3.4 Nízkotlaká regenerace
Účel systému:
Nízkotlaká regenerace zabezpečuje ohřev kondenzátu chladiva sekundárního okruhu pomocí páry z neregulovaných odběrů parní turbíny na teplotu 120 až 164 ^{o}C.

Popis systému:
Systém nízkotlaké regenerace je tvořen třemi identickými paralelními větvemi vždy se čtyřmi ohříváky NTO 1, NTO 2, NTO 3 a NTO 4. Dvě větve jsou schopny pokrýt plný výkon bloku. Celý systém je doplněn obtokem dimenzovaným na spotřebu vody na 50% nominálního výkonu.
NTO 1 je umístěn nad kondenzátorem a pod nízkotlakým dílem turbíny. Součástí NTO1 je podchlazovač kondenzátu topné pár, který je umístěný pod kondenzátorem, do kterého je ochlazený kondenzát zaveden přes sifon. Ohříváky NTO 2, NTO 3 a NTO 4 jsou umístěny nad sebou na levé straně strojovny a mají stejnou základní koncepci ohřevu kondenzátu s teplosměnnou plochou tvořenou trubkami ve tvaru U. Kondenzát topné páry z NTO 3 a NTO 4 je shromažďován spolu s kondenzátem topné páry z NTO 2 ve společné nádrži a pomocí podávacího čerpadla kondenzátu (PČK) vracen do hlavní trasy ohřátého kondenzátu před NTO 3.

5.3.5 Tepelná úprava vody

Účel systému:

Tepelná úprava vody je soubor technologických zařízení, jejichž nedůležitějším úkolem je termickým odplyněním snížit obsah kyslíku a oxidu uhličité v ohřátém kondenzátu a vytvořit zásobu odplyněného kondenzátu pro napájení parogenerátoru.

Popis systému:

Kondenzát z nízkotlaké regenerace vstupuje do čtyř termických odplyňovačů (TO) umístěných na mezistrojovně nad napájecí nádrží (NN), kde je rozptylován řadami trysek do formy drobných kapek. Takto rozptýlený kondenzát je ohříván párou ze VI. odběru, čímž dochází k jeho odplynění. Odplyněný kondenzát stéká do napájecí nádrže, která má celkový objem 414m^3. Pracovní objem 364 m^3 kondenzátu je dostatečný na dvě minuty provozu bloku na nominálním výkonu. Páry, které vznikají v procesu, kondenzují v chladičích brýdových par, které jsou umístěny také na mezistrojovně nad termickými odplyňovači.

5.3.6 Napájení parogenerátorů

Účel systému:

Napájení parogenerátorů je soubor zařízení, které mají za úkol dopravovat napájecí vodu z napájecí nádrže do parogenerátorů a regulovat výšku hladiny v parogenerátorech.

Popis systému:

Nejvýznamnější částí systému napájení parogenerátorů je napájecí stanice, která zajišťuje dopravu napájecí vody do parogenerátorů při najíždění, normálním provozu i při udržování bloku v horké rezervě. V napájecí stanici jsou umístěna tři turbonapájecí soustrojí a dvě pomocná napájecí čerpadla. Při provozu bloku na nominálním výkonu pracují dvě turbonapájecí soustrojí a třetí je ve studené rezervě. Pro najíždění, odstavování a udržování bloku v horké rezervě (výkon reaktoru 1 až 3% nominálního výkonu) slouží k napájení parogenerátorů pomocná napájecí čerpadla poháněná elektromotory. Sání těchto čerpadel je vyvedeno ze sacího potrubí prvního turbonapájecí soustrojí a výtlak je veden do trasy napájecí vody za vysokotlakou regeneraci.

Turbonapájecí soustrojí je tvořeno podávacím (PČ) a napájecím čerpadlem (NČ). Obě čerpadla jsou poháněna parní turbínou (TBN) s výkonem 8,5 MW. Pracovním zdrojem páry pro pohon turbíny je pára ze IV. odběru. Hnací pára kondenzuje za turbínou v kondenzátorech (K-TBN) s titanovou teplosměnnou plochou, které jsou také chlazeny cirkulační chladící vodou. Čistotu teplosměnných ploch udržuje stejně jako u kondenzátorů parní turbíny systém kontinuálního čištění TAPROGE. Pomocí regulace otáček se TBN podílí na regulaci množství napájecí vody dopravované do parogenerátorů a tím i na regulaci úrovně jejich hladiny.

Odplyněný kondenzát je veden z napájecí nádrže třemi samostatnými přívody na sání podávacích čerpadel a z jejich výtlaku jde na sání napájecích čerpadel. Výtlak napájecích čerpadel je sveden do jednoho potrubí, které se rozvětvuje a přivádí vodu do dvou vysokotlakých ohříváků. Podávací čerpadlo má pracovní otáčky 1470 ot./min a tlak na výstupu 2,4 MPa. Napájecí čerpadlo má 4687 ot./min a tlak na výstupu 7,67 MPa. Rozdílnost parametrů obou čerpadel je dána přímým spojením napájecího čerpadlo s hřídelí TBN a připojením podávacího čerpadla na tuto hřídel přes reduktor (1:3,187).

5.3.7 Vysokotlaká regenerace

Účel systému:

Vysokotlaká regenerace slouží k ohřevu napájecí vody před vstupem do parogenerátorů na teplotu na teplotu 180 až 222^{o}C pro zvýšení účinnosti tepelného oběhu a pro snížení tepelného namáhání teplosměnných ploch parogenerátorů.

Popis systému:

Vysokotlaká regenerace je jednostupňový proces ohřevu napájecí vody pomocí páry ze VII. neregulovaného odběr. Ohřev se provádí ve vysokotlakém ohříváku s nerezovou teplosměnnou plochou.

5.3.8 Bloková výměníková stanice

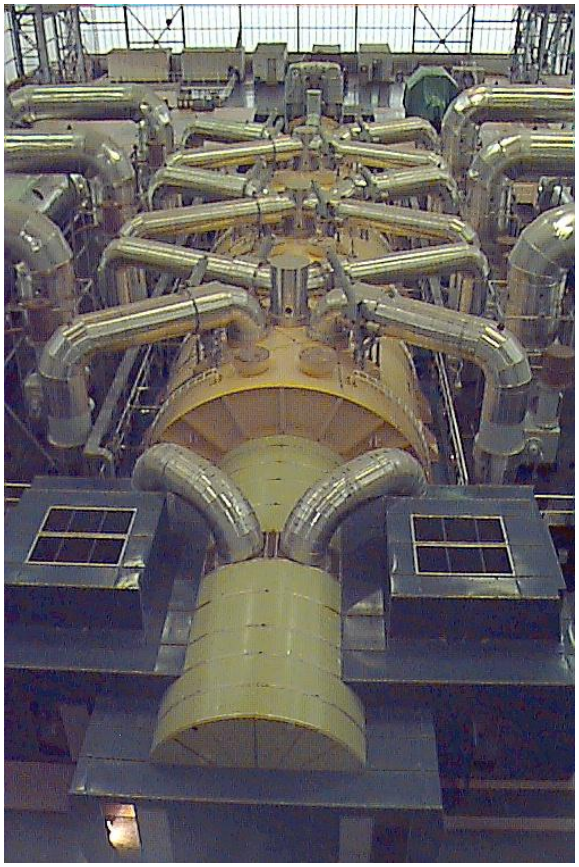
Účel systému:

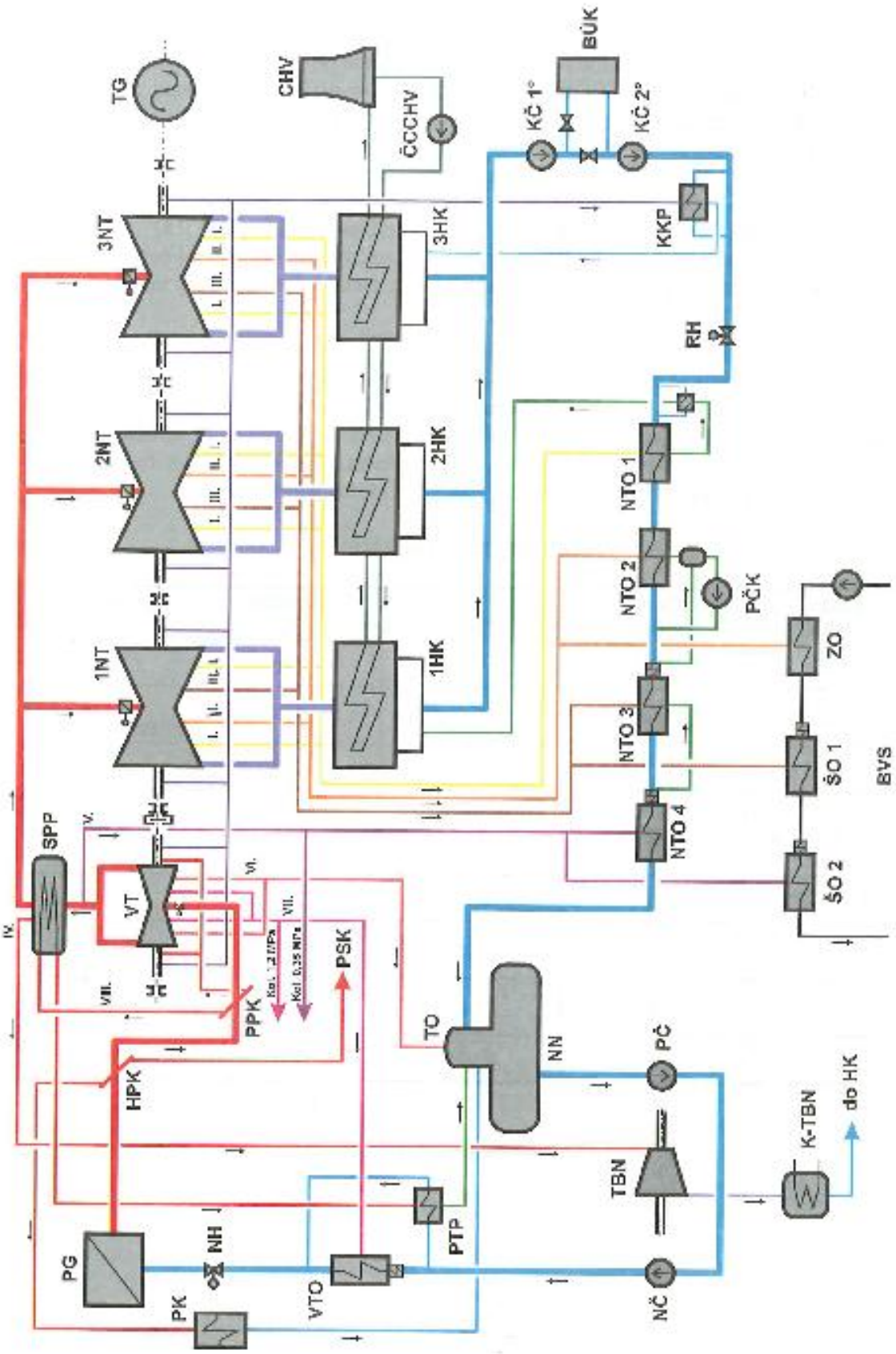
Bloková výměníková stanice (BVS) je součástí systému, jehož účelem je využití tepla z neregulovaných odběrů parní turbíny pro vytápění jednotlivých částí hlavního výrobního bloku i ostatních objektů JE a města Týna nad Vltavou.

Popis systému:

Bloková výměníková stanice je umístěna v přístavku strojovny a technologicky navazuje na neblokovou výměníkovou stanici, která zabezpečuje cirkulaci topné vody přes blokovou výměníkovou stanici. Na blokovou výměníkovou stanici je přiváděna o teplotě 65^{o}C a je vedena na základní ohřívák (ZO) a dále na dva špičkové ohříváky (ŠO-1 a ŠO-2). Ohřev je zajišťován u základní ho ohříváku párou z II. odběru parní turbíny a u špičkových ohříváků ŠO-1 ze III. odběru a ŠO-2 z V.odběru. Voda ohřátá na 150^{o}C se poté vrací zpět na neblokovou výměníkovou stanici.

Pohled na turbínu





Sekundární okruh JE Temelín

6. Elektrická část JE.

6.1 Vyvedení elektrického výkonu bloku JE Temelín

Na obrázku 1 je schématicky znázorněno vyvedení elektrického výkonu prvního bloku JE Temelín, jehož úkolem je spolehlivě zabezpečit přenos elektrické energie ze svorek turbogenerátoru (nSP), který je zdrojem elektrického výkonu a jehož rotor je spojen s hřídelí parní turbíny, do transformovny Kočín. Elektrický výkon (24 kV, 27 kA) je vyveden zapouzdřenými vodiči z turbogenerátoru přes generátorový vypínač (GV) na blokový transformátor (1AT), který je tvořen třemi jednofázovými transformátory. Zde dochází k transformaci proudu na napěťovou úroveň 400 kV. Na této napěťové úrovni je veden po lince dlouhé zhruba 3 km na blokový vypínač (BV) velmi vysokého napětí v transformovně Kočín. Ze zapouzdřených vodičů na generátorovém napětí 24 kV je provedena za generátorovým vypínačem odbočka pro napájení dvojice trojvinuťových odbočkových transformátorů (nBT1, nBT2), které transformují napětí na úroveň 6 kV a jsou pracovním zdrojem vlastní spotřeby.

6.2 Základy schématu vlastní spotřeby JE Temelín

6.2.1. Rozdělení zdrojů pro napájení vlastní spotřeby

Zdroje pro napájení vlastní spotřeby můžeme rozdělit na aktivní zdroje, které elektrickou energii vyrábějí (turbogenerátor nebo dieselgenerátor), a pasivní zdroje (transformátory).
Zdroje pro napájení vlastní spotřeby prvního bloku JE Temelín (viz obrázek1) je možné podle vlivu na zajištění bezpečnosti provozu rozdělit na:

- pracovní zdroje (odbočkové transformátory - 1BT1 a 1BT2)
- rezervní zdroje (rezervní transformátory - 7BT1 a 7BT2)
- havarijní zdroje - dieselgenerátory (DG) (systémové - 1GV, 1GW, 1GX, společné rezervní -7GJ, 7GK)
- zdroje nepřetržitého napájení - akumulátorové baterie (Aku) a s nimi související střídače

6.2.2 Rozdělení spotřebičů vlastní spotřeby

Spotřebiče na JE se dělí podle důležitosti svých vazeb na technologický proces a z toho vyplývajících nároků na napájení:

- spotřebiče neúčastnící se havarijního dochlazování bloku
- spotřebiče účastnící se havarijního dochlazování bloku

6.2.2.1. Spotřebiče neúčastnící se havarijního dochlazování bloku

- III. kategorie - *spotřebiče,které se neúčastní havarijního dochlazování bloku a ani nemají zvýšené nároky na spolehlivost napájení.* Do této skupiny patří hlavní cirkulační čerpadla (každé má příkon za tepla 5,1 MW) a kondenzátní čerpadla (každé má příkon 1,4MW)

- III./II. kategorie - *spotřebiče, které se neúčastní havarijního dochlazování bloku, avšak mají zvýšené nároky na spolehlivost napájení,* protože na jejich napájení závisí bezpečnost drahých zařízení a personálu. Vzhledem k těmto skutečnostem je připuštěno přerušení napájení pouze na dobu 10 sekund až 10 minut. Do této skupiny patří kromě jiného pomocné napájení čerpadla a čerpadla doplňování primárního okruhu.

- III./I. kategorie - *spotřebiče, které se neúčastní havarijního dochlazování bloku, avšak mají značně zvýšené nároky na spolehlivost napájení,* protože na jejich napájení závisí bezpečnost drahých zařízení a personálu. Vzhledem k těmto skutečnostem je připuštěno přerušení napájení na dobu nepřesahující zlomek sekundy. Do této skupiny patří kromě jiného také části řídících systémů reaktorovny a strojovny.

6.2.2.2 Spotřebiče účastnící se havarijního dochlazování bloku

- II. kategorie - *spotřebiče účastnící se havarijního dochlazování bloku, které mají zvýšené nároky na spolehlivost napájení a které vzhledem k podílu na zajištění jaderné bezpečnosti připouštějí přerušení napájení na dobu 10 sekund až 10 minut.* Do této skupiny patří spotřebiče, které se účastní na dochlazování bloku a přitom vyžadují vyšší příkon, nebo i spotřebiče s nižšími příkony, u nichž přerušení napájení na dobu 10 sekund neovlivní dochlazování bloku. Proto jsou zde zařazena čerpadla havarijních systémů, čerpadla technické vody důležité a vlastní spotřeba dieselgenerátoru.
- I. kategorie - *spotřebiče účastnící se havarijního dochlazování bloku, které mají značně zvýšené nároky na spolehlivost napájení a které vzhledem k podílu na zajištění jaderné bezpečnosti připouštějí přerušení maximálně na zlomek sekundy.* Do této skupiny patří kromě jiného řízení bezpečnostních systémů, ovládání důležitých armatur a napájení nouzového osvětlení.

6.2.3 Systémy napájení vlastní spotřeby

Z požadavků spotřebičů na zajištění napájení vyplývá i systémové dělení napájení vlastní spotřeby do pěti kategorií:

- systém normálního napájení III.kategorie (NN)
- systém zajištěného napájení II. kategorie (ZN II)
- systém zajištěného napájení I. kategorie (ZN I)
- systém zajištěného napájení III./II. kategorie (ZN III/II)
- systém zajištěného napájení III./I. kategorie (ZN III/I)

6.2.3.1 Systém normálního napájení (SNN)

Základem systému normálního napájení vlastní spotřeby prvního bloku JE Temelín jsou čtyři blokové rozvodny 6kV 1BA, 1BB, 1BC, 1BD, které jsou s ohledem na jejich dovolené zatížení rozděleny na dvě samostatné sekce (a, b). Ze všech těchto rozvoden jsou přímo napájeny některé spotřebiče (hlavní cirkulační čerpadla, kondenzátní čerpadla, čerpadla cirkulační chladící vody) a z rozvoden 1BA, 1BB a 1BC jsou také napájeny přes dva sériově zapojené vypínače sekční spojky a vlastní kabelovou sekční spojku rozvodny 6 kV ZN II 1BV, 1BW a 1BX. Z rozvoden 1BA a 1BC jsou přes dva sériově zapojené vypínače sekční spojky a vlastní kabelovou sekční spojku napájeny rozvodny 6 kV ZN III/II 1BJ a 1BK.
Z blokových rozvoden 6 kV jsou také napájeny přes transformátory 6kV/0,4kV úsekové rozvodny 0,4 kV, které jsou základem normálního napájení zařízení a podružných rozvoden primárního a sekundárního okruhu.

6.2.3.2 Systém zajištěného napájení(SZN) II. a I. kategorie (1. až 3.systém)

Zajištěné napájení II. a I. kategorie tvoří tři shodné a nezávislé systémy, které zajišťují s 200 % rezervou jadernou bezpečnost ve fázi havarijního odstavení a dochlazování bloku. Na napěťové úrovni 6 kV jsou tyto systémy napájeny z rozvoden BV, BW a BX. Jediným havarijním zdrojem na této napěťové úrovni jsou dieselgenerátory (6,3 MW) GV, GW a GX.
Každá rozvodna 6 kV ZN II napájí buď přímo některé pohony (např. havarijní čerpadla) a nebo přes transformátory 6/0,4 kV úsekové rozvodny 0,4 kV, které napájejí na této napěťové úrovni buď přímo některé pohony nebo podružné rozvaděče a rozvodny 0,4 kV, které zabezpečují napájení vlastní spotřeby dieselgenerátorové stanice.
Z rozvoden 0,4 kV ZN II jsou napájeny usměrňovače, které jsou zdrojem pro ZN I. Havarijním zdrojem pro ZN I jsou akumulátorové baterie (Aku). Usměrňovače a akumulátorové baterie jsou propojeny stejnosměrnou rozvodnou (220 V), z které jsou napájeny pohony na stejnosměrný proud a střídače, které jsou zdrojem střídavého napětí pro 0,4kV ZN I.

Bezpečnostní systémy (BS): Důležité řídící a ochranné systémy ((PRPS, DPS, NPL a část PAMS viz kapitola 10) jsou napájeny ze SZN I. a II. kategorie. Ostatní BS mimo MaR jsou také napájeny jsou rovněž napájeny ze SZN I. a II. kategorie. Výjimkou jsou pohony řídících tyčí reaktoru, které pro svoji bezpečnostní funkci napájení nepotřebují.

6.2.3.3 Systém zajištěného napájení III./II. a III./I. Kategorie (4. a 5. systém)

Na napěťové úrovni 6 kV jsou tyto systémy napájeny z rozvoden BJ a BK. Havarijním zdrojem na této napěťové úrovni jsou pro tyto rozvodny dva společné rezervní dieselgenerátory (6,3MW) 7GJ a 7GK. Rozvodny BJ a BK jsou také spojeny podélnou spojkou, která má pro rozvodnu 6 kV bez napětí význam rezervního přívodu, jehož zdrojem je druhá z dvojice rozvoden.

Rozvodna 6 kV ZN III./II. napájí buď přímo některé pohony (např. pomocné napájení čerpadla v sekundárním okruhu a čerpadla doplňování primárního okruhu) nebo přes transformátory 6/0,4 kV úsekové rozvodny 0,4 kV, které napájejí buď přímo některé pohony nebo podružné rozvaděče a rozvodny 0,4 kV, které zabezpečují napájení vlastní spotřeby společné rezervní dieselgenerátorové stanice.

Z úsekových rozvoden 0,4 kV jsou napájeny usměrňovače, které jsou zdrojem napájení pro 4. a 5.systém ZN III/I. Havarijním zdrojem pro tyto systémy ZN III/I jsou akumulátorové baterie (Aku). Usměrňovače a akumulátorové baterie jsou propojeny stejnosměrnou rozvodnou (220V), z které jsou napájeny pohony na stejnosměrný proud a střídače, které jsou zdrojem střídavého napětí pro 4. a 5.systém ZNIII/I.

Systémy související s jadernou bezpečností (SSB): Nedůležité řídící a ochranné systémy- (RCLS, PCS, UIS a část PAMS - viz kapitola 10) jsou napájeny za SZN III/I a III/II (4. a 5.systém). Ostatní SSB mimo MaR jsou napájeny ze SZN II, III/II nebo NN. Způsob napájení přímo souvisí s požadavky na funkceschopnost daného systému.

6.3 Režimy napájení vlastní spotřeby

6.3.1 Napájení vlastní spotřeby z pracovních zdrojů (Režimy RI a RII)

Pracovními zdroji vlastní spotřeby jsou odbočkové transformátory, které mohou být napájeny dvěma způsoby. V nominálním režimu bloku při zapnutém generátorovém vypínači jsou napájeny z turbogenerátoru. Při výpadku tohoto zdroje (např. po uzavření rychlozávěrných ventilů na vstupu do vysokotlakého dílu parní turbíny) resp. při vypnutí generátorového vypínače jsou odbočkové transformátory napájeny z vedení 400kV přes blokový transformátor. V obou případech napájení vlastní spotřeby z pracovních zdrojů je vedení 110 kV z transformovny Kočín, transformátory 7BT1 a 7BT2 i rozvodny 7BA, 7BB, 7BC a 7BD v pohotovostním režimu pod napětím.

6.3.2 Napájení vlastní spotřeby z rezervních zdrojů (Režim RIII)

K napájení vlastní spotřeby bloku z rezervních zdrojů dojde při ztrátě pracovních zdrojů, které může být způsobené:

- současným vypnutím generátorového vypínače (GV) na bloku i blokového vypínače 400kV (BV) na transformovně Kočín
- po vypnutí blokového vypínače 400kV na transformovně Kočín nebo i při poruše blokového transformátoru v případě, že se nepodaří zregulovat turbogenerátor na zásobování pouze vlastní spotřeby
- vypnutím šesti z osmi pracovních přívodů na blokových rozvodnách 6 kV

V těchto případech dochází k hromadnému automatickému záskoku rezervy (HAZR) - tj. k přepojení všech sekcí blokových rozvoden 6 kV (1BA, 1BB, 1BC, 1BD), které tvoří základ napájení vlastní spotřeby bloku jak z pracovních tak rezervních zdrojů, na rezervní napájení

z rozvoden 7BA, 7BB, 7BC a 7BD, které jsou napájeny z transformovny Kočín vedením 110kV přes transformátory 7BT1 a 7BT2.

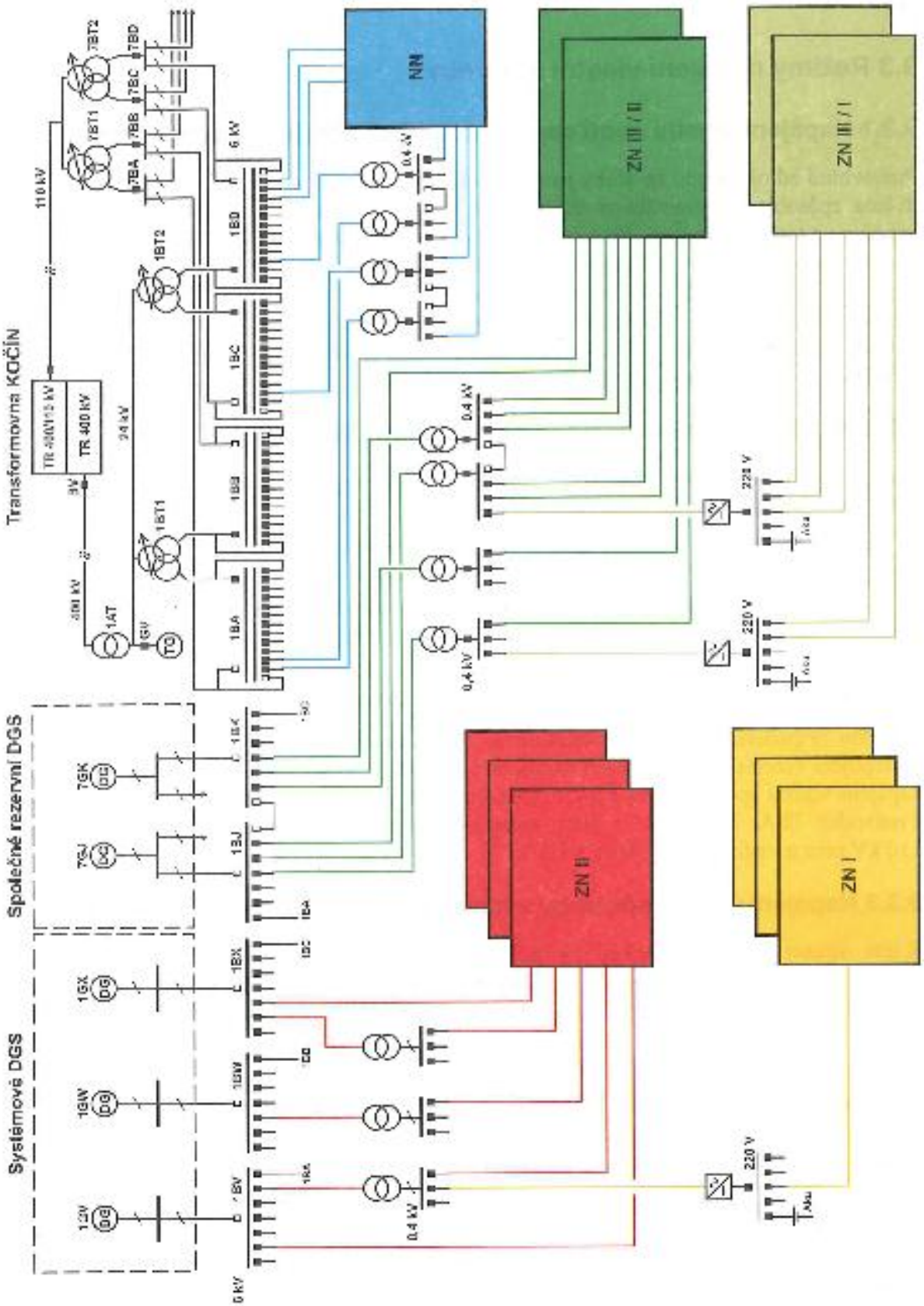
6.3.3 Napájení vlastní spotřeby z havarijních zdrojů (Režimy RIV a RV)

K této situaci by došlo, pokud by po ztrátě pracovních zdrojů nebyl úspěšný HAZR blokových dozoren na rezervní napájení nebo došlo k systémové poruše v elektrizační soustavě. Jedná se o režim tzv. úplné ztráty napětí ve vlastní spotřebě. Tento stav se označuje také jako black - out.

Působením automatik dochází k oddělení napájení části zařízení, která se nepodílí na havarijním dochlazování bloku resp. nejsou důležitá, protože nenapájí drahá zařízení nebo zařízení významná pro bezpečnost personálu. Tato méně důležitá část vlastní spotřeby zůstává bez napětí.

Startují systémové (1GV, 1GW, 1GX) i společné rezervní dieselgenerátory (7GJ a 7GK), které se za přesně definovaných podmínek připojují k rozvodnám 6 kV (1BV, 1BW, 1BX resp. 1BJ, 1BK), které tvoří základ napájení důležité části vlastní spotřeby bloku v režimu black - out.

I v době mezi startem dieselgenerátorů a jejich připojením k rozvodnám 6kV, je nejdůležitější část vlastní spotřeby prvního bloku napájena z akumulátorových baterií přes stejnosměrné rozvodny a střídače.



Napájení vlastní spotřeby JE Temelín