

Vzduchotechnika v jaderných elektrárnách (2. část)

Ventilation Systems in Nuclear Power Plants (2nd part)

Recenzent
prof. Ing. František Drkal, CSc.

Článek navazuje na 1. část publikovanou ve VVI č. 3/2015. Druhá část obsahuje popis koncepce, funkce a schémata základních vzduchotechnických systémů pro jaderné elektrárny s kontejnmentem a s hermetickým prostorem. Popisované řešení je obvyklé u reaktorů chlazených a moderovaných vodou. Autor konstatuje, že základní členění vzduchotechnických systémů u bloků nové generace zůstává v souladu předloženým textem. V článku je kladen důraz na znalost technologie, pro kterou jsou vzduchotechnické systémy navrhovány.

Klíčová slova: jaderná elektrárna, kontejnment, hermetický prostor, vzduchotechnické systémy

The paper follows the 1st part of the series, published in VVI nr. 3/2015. The second part contains description of the concept, functions and schemes of the basic ventilation systems for nuclear power plants with containment and hermetically sealed space. The described solution is common for water cooled and moderated reactors. The author notes that the basic classification of the ventilation systems for the blocks of the new generation is remaining in accordance with the submitted text. The emphasis is put on the knowledge of the technology for which are designed the ventilation systems.

Keywords: nuclear power plant, containment, hermetically sealed space, ventilation systems

PROVOZNÍ REŽIMY VZDUCHOTECHNICKÝCH SYSTÉMŮ

Vzduchotechnické systémy jsou v provozu v souladu s technologickým zařízením, pro které zajišťují pracovní podmínky. Provoz technologie odpovídá provoznímu stavu jaderného bloku. Rozborem provozu technologického zařízení při jednotlivých stavech bloku se stanoví, kdy je v provozu daný vzduchotechnický systém. Tento rozbor se také podílí na stanovení počtu rezervních strojů a zařízení v jednotlivých systémech (1+0, 1+1, 1+2).

Vzduchotechnické systémy vzhledem k provozu bloku mají tyto provozní režimy:

- ☐ normální provoz,
- ☐ abnormální provoz,
- ☐ provoz při havarijních podmínkách.

Tyto provozní režimy se dále člení na jednotlivé režimy, a to:

Normální provoz:

- ☐ nominální provozní režim,
- ☐ nenominální provozní režim
 - při výměně paliva,
 - při plánovaných opravách jaderného bloku.

Abnormální provoz:

- ☐ při ztrátě napájení ze sítě,
- ☐ při neplánovaných opravách jaderného bloku.

Provoz při havarijních podmínkách:

- ☐ při kompenzovatelných únicích chladiva,
- ☐ při maximální projektové nehodě,
- ☐ při těžké havárii,
- ☐ při odstraňování následků nehody (havárii).

Většina vzduchotechnických systémů je v provozu při **normálním nominálním provozním režimu** bloku. Systémy jsou provozovány s parametry (množství, teplota vzduchu), při kterých zajistí požadovanou funkci technologie. Tento provoz je nepřetržitý a trvá cca 8000 hodin u těchto systémů, které nejsou v provozu při výměně paliva v reaktoru. Systémy, které jsou v provozu i při výměně paliva, mají provozní dobu až 8760 hodin.

Pro **normální nenominální provozní režim** bloku jsou zpravidla navrhovány samostatné vzduchotechnické systémy, které jsou v činnosti pouze pro tento režim (výměna paliva, plánované opravy jaderného bloku). Systémy vzduchotechniky, které zajišťují podmínky prostředí v prostorech, které nejsou ovlivněny výměnou paliva nebo opravami bloku, jsou v provozu i při normálním nenominálním režimu bloku.

Abnormální provoz nastane při ztrátě napájení spotřebičů z vlastní sítě spotřeby JE. Pro tento stav je nutné, aby některé vzduchotechnické systémy byly nadále v provozu. Tyto vzduchotechnické systémy a zařízení jsou připojeny k elektrické síti zajištěného napájení, s jeho obnovením po ztrátě napájení od 1 sekundy do 15 minut v závislosti na tom, jaké plní funkce a pro který technologický systém. Abnormálním provozem jsou i neplánované opravy jaderného bloku. Pro tento režim jsou příslušné vzduchotechnické systémy a zařízení připojeny k zajištěnému elektrickému napájení bez požadavku na čas jejich připojení.

Při **havarijních podmínkách** jsou v provozu ty vzduchotechnické systémy, které větrají prostory, do nichž se nerozšíří parametry prostředí při nehodě. Systémy, které větrají nebo chladí prostory, v nichž nastaly havarijní parametry prostředí, jsou mimo provoz. Výjimku tvoří cirkulační systém, který zajišťuje filtraci prostorů se zvýšenými parametry prostředí. Je to systém navržený pro filtraci prostředí s havarijními parametry, ale při kompenzovatelných únicích chladiva primárního okruhu. Při nekompenzovatelných únicích je i tento filtrační systém mimo provoz.

Prostory, do kterých se rozšíří maximální projektová nehoda a parametry těžké havárie, mají všechny vzduchotechnické systémy mimo provoz. Při těžké havárii jsou všechny vzduchotechnické systémy jaderného bloku mimo provoz, jsou to i systémy pro prostory, do nichž se nerozšířilo prostředí nehody primárního okruhu.

Provoz vzduchotechnických systémů při odstraňování následků nehody se řídí jejím rozsahem a potřebami ochránit vnitřní a vnější prostředí jaderného bloku. V závislosti na řadě vlivů se tohoto procesu úměrně zúčastňují i některé vzduchotechnické systémy. Počínaje maximální projektovou nehodou a vyššími nehodami je nejdůležitějším vzduchotechnickým systémem v JE systém pro zajištění obyvatelnosti blokové a nouzové dozorny. Je to dáno požadavkem bezpečně odstavit a dochladiť reaktor a minimalizovat negativní vliv na životní prostředí.

PROVOZNÍ STAVY VZDUCHOTECHNICKÝCH SYSTÉMŮ

Na všechna vzduchotechnická (VZT) zařízení, stroje, jednotky, elementy a části jsou kladeny vysoké nároky na spolehlivost a tím na jejich kvalitu. I přes tato opatření však dochází k poruchám. V důsledku toho se schopnost vzduchotechnického systému zachovat svoji funkci hodnotí jako provozní stav, ve kterém se vzduchotechnický systém v daném čase (situaci) nachází.

Při každém provozním režimu vzduchotechniky může dojít k některému z těchto provozních stavů vzduchotechnických systémů:

- ☐ normální provozní stav,
- ☐ abnormální provozní stav,
- ☐ havarijní provozní stav.

Normální provozní stav

Stav VZT systému, kdy všechna jeho zařízení, stroje, jednotky, elementy a části jsou schopné svého provozu, tj. lze kdykoliv provést záměnu rezervního zařízení za pracovní zařízení a naopak. Pokud je některé zařízení bez rezervy, jedná se o nevýznamné zařízení provozované periodicky nebo občas.

Abnormální provozní stav

Stav VZT systémů, kdy u jednoho nebo více VZT systémů je vždy jedno zařízení, stroj, element nebo část, neschopné provozu, z důvodu plánovaných nebo neplánovaných oprav. Platí to i u systémů, u nichž jsou důležitá zařízení ztrojena nebo zdvojena, neboť výpadkem jednoho zřízení je omezena možnost volby rezervního zařízení.

Havarijní provozní stav

Stav VZT systémů, kdy není možno provozovat jeden nebo i více VZT systémů pro současnou neschopnost provozu všech jeho komponentárních zařízení (ventilátorů, jednotek, výměníků, uzávěrů atd.).

VZDUCHOTECHNICKÉ SYSTÉMY PRO JEDNOTLIVÉ TECHNOLOGICKÉ PROSTORY

Úvodem poznámka autora k výkonnosti jaderné energie:

Z jedné tablety oxidu uranitého UO_2 , která váží 5 g, se získá takové množství elektrické energie jako ze 640 kg dřeva, nebo 410 kg černého uhlí, nebo 360 m³ zemního plynu, anebo 350 kg ropy [1]. Jsou výkonnější zdroje elektrické energie?

Jednotlivé technologické skupiny nebo zařízení se z hlediska vzduchotechniky rozdělují na zařízení umístěná v kontejnmentu (hermetickém prostoru) a zařízení umístěná mimo kontejnment. Jak je uvedeno dříve, v kontejnmentu jsou technologická zařízení, u kterých jejich porucha způsobí vzrůst tlaku v prostoru, kde jsou umístěna. Mimo kontejnment jsou umístěna zařízení, která při své poruše nezvyšují tlak v prostoru, kde jsou umístěna.

Základní podmínkou pro správný návrh koncepce vzduchotechniky v daných prostorech je znalost technologie, pro kterou se vzduchotechnika navrhuje. Je to znalost její funkce, možných poruch, provozních režimů a dalších vlivů, které mohou ovlivnit návrh vzduchotechniky.

Vzduchotechnické systémy je možno z hlediska tlakových poměrů rozdělit na:

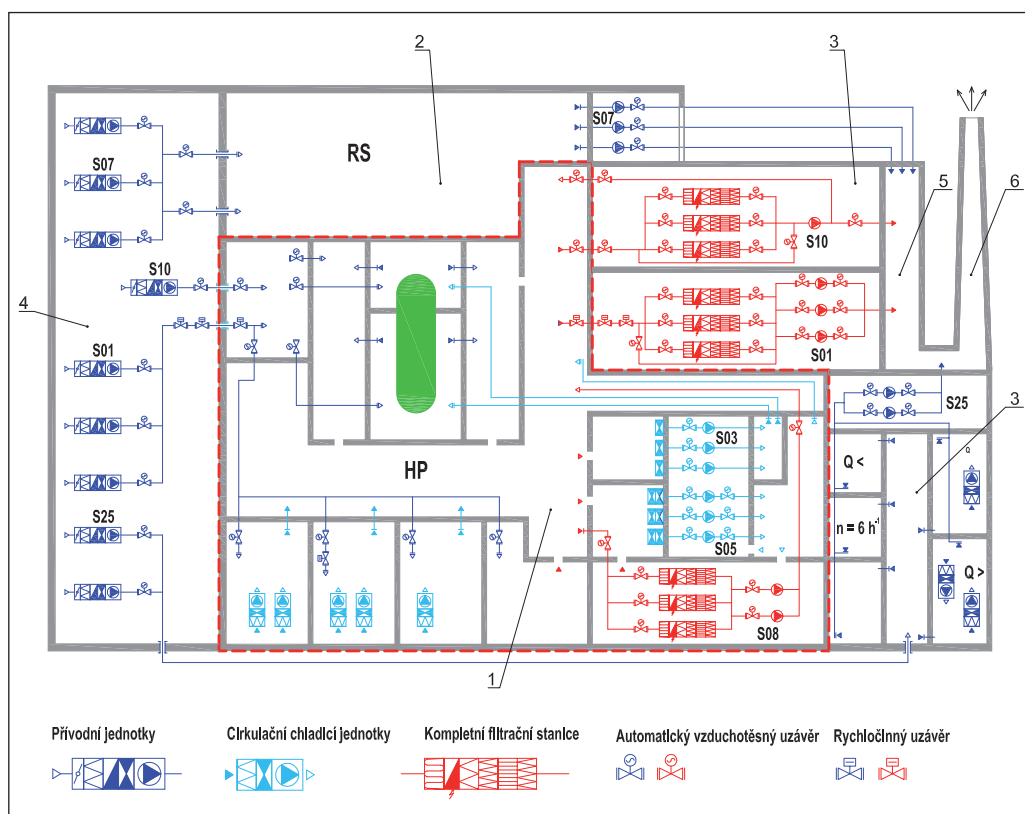
- ☐ systémy pro kontrolované pásmo (KP)
 - systémy pro prostory s podtlakem -150 až -200 Pa při provozu reaktoru (a se zvýšeným tlakem při nehodě primárního okruhu – IO), tj. kontejnment (KTM) a hermetický prostor (HP),
 - systémy pro prostory s podtlakem -50 Pa při provozu reaktoru, do kterých se nerozšíří tlak při nehodě technologie VZ (vzduchotěsná zóna);
- ☐ systémy pro prostory mimo kontrolované pásmo (MKP)
 - systémy pro prostory bez řízeného tlaku (volné pásmo).

Vzduchotechnické systémy pro kontejnment (KTM) a hermetický prostor (HP)

Poznámka: Popisované řešení je obvyklé u reaktorů chlazených a moderovaných vodou.

Technologické zařízení, které se do těchto prostorů umísťuje, se liší v závislosti na tlaku, který vzniklá nehoda technologického zařízení způsobí. Při řešení s použitím kontejnmentu je tlak po nehodě např. 0,5 MPa. Při použití hermetického prostoru s potlačením tlaku prostřednictvím barbotážního systému je tlak 0,25 MPa.

Tato řešení se v základním principu, z hlediska vzduchotechniky, liší tím, že v kontejnmentu je umístěn bazén vyhořelého paliva (palivo skladované před jeho vložením do kontejneru a převezení do meziskladu) a reaktorový sál (prostor nad reaktorem, parogenerátory a dalšími částmi primárního okruhu).



Obr. 1 Principiální schéma vzduchotechnických systémů JE s hermetickým prostorem: 1 – hermetický prostor (červeně čárkované ohraničený); 2 – reaktorový sál; 3 – vzduchotěsná zóna; 4 – prostory mimo kontrolované pásmo; 5 – sběrný kanál; 6 – vzduchotechnický komín

Při řešení hermetického prostoru s barbotážním systémem pro potlačení tlaku po nehodě je například bazén vyhořelého paliva umístěn mimo tento prostor a reaktorový sál není součástí hermetického prostoru. Reaktorový sál a v něm umístěný bazén vyhořelého paliva jsou součástí zóny bez tlaku.

U obou řešení jsou v prostoru se zvýšeným tlakem umístěny: jaderný reaktor, primární okruh, cirkulační čerpadla, parní generátory (parogenerátory), kompenzátory objemu primárního okruhu, rekombinátory a spalovače vodíku, cirkulační chladicí a filtrační vzduchotechnické systémy. Umístěním dalších pomocných technologických systémů se obě řešení liší.

Přehled základních vzduchotechnických systémů navrhovaných pro kontejnment (KTM) a hermetický prostor (HP)

- S01 systém udržování podtlaku v KTM /HP
- S02 systém větrání sekundárního KTM
- S03 systém větrání/chlazení šachty reaktoru R
- S04 systém větrání a chlazení šachty systému řízení reaktoru R
- S05 systém větrání boxu parogenerátorů PG
- S06 systém odsávání bazénu vyhořelého paliva VP
- S07 systém větrání reaktorového sálu RS
- S08 systém filtrace KTM/HP
- S09 systém chlazení hermetických průchodek
- S10 systém větrání KTM/HP při odstaveném reaktoru R
- S11 systém likvidace vodíku v KTM/HP
- S12 chlazení reaktorového sálu RS v KTM při provozu reaktoru R
- S13 řízené odpouštění havarijního tlaku v KTM (VENTING)

Na obr. 1 je principiální schéma vzduchotechnických systémů pro JE s hermetickým prostorem HP. Na obr. 2 je principiální schéma vzduchotechnických systémů pro JE s kontejnmentem KTM.

Popis základních systémů vzduchotechniky navrhovaných pro KTM a HP

Poznámky:

- Popisy nejsou přesným popisem konkrétních jaderných bloků. Záměrem autora bylo podat obecnou informaci o dvou dosud užívaných řešeních, a to pro blok s nižším výkonem (do 800 MW_e) – s hermetickým prostorem a pro blok s vyšším výkonem (nad 800 MW_e) – s kontejnmentem.
- Při uvádění popisu elektrického napájení není uváděno podrobnější zařazení/členění.
- Uvedená řešení vzduchotechniky jsou u nejnovějších nabídek jaderných bloků nové generace upravována v souladu s vývojem k co nejvyšší bezpečnosti provozu jaderných bloků.
- Je však možno konstatovat, že základní členění VZT, u bloků nové generace, na jednotlivé systémy zůstává v souladu s členěním uvedeným výše.
- Pro uzavření vzduchotechnických potrubí, která procházejí stěnou kontejnmentu anebo hermetického prostoru a jsou při provozu reaktoru využívána/otevřena, jsou z vnitřní i vnější strany stěny instalovány uzavěři, které se zavírou od okamžiku obdržení impulsu pro jejich uzavření do 3 sec. Je pro ně užíván výraz „rychloarmatura“.

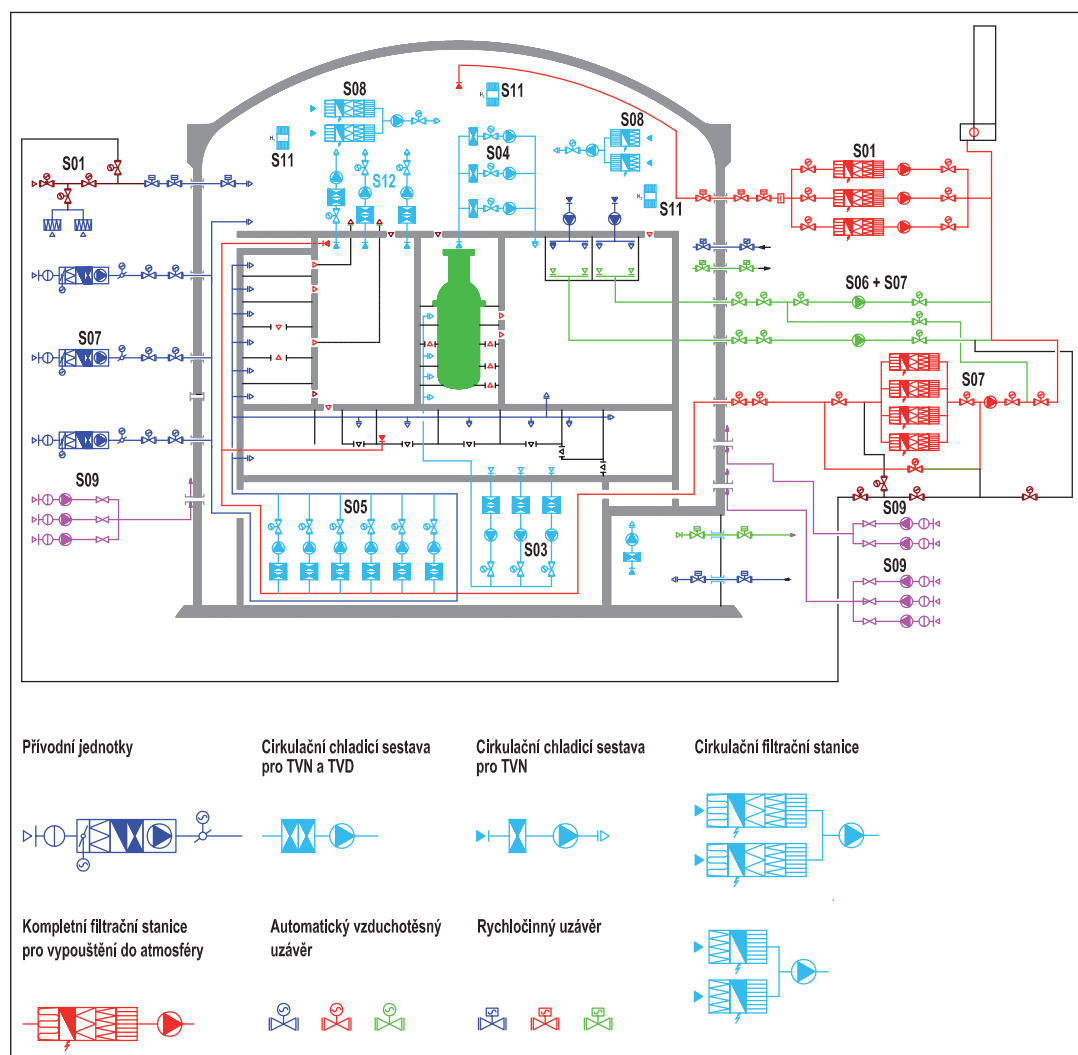
S01 systém udržování podtlaku v KTM/HP

Prostory, ve kterých je umístěn reaktor s primárním okruhem, jsou mís-

tem s možným únikem radioaktivních látek (RAL). Aby se zabránilo proniknutí RAL do životního prostředí (okolí JE), je reaktor s primárním okruhem umístěn v prostoru, jenž odolává maximálnímu tlaku, který se v něm nastává při gilotinovém přerušení potrubí primárního okruhu (IO), a médium IO (je to H₂O s reagenty a např. s tlakem 15,7 MPa a teplotou 320 °C) přitom vytéká oběma volnými průřezy potrubí do prostoru. Zásahem bezpečnostních systémů dosáhne tlak prostředí maximální hodnoty 0,25 MPa nebo 0,5 MPa.

U nižšího tlaku je tvar tohoto prostoru zpravidla kvádr. U vyšších tlaků má hermetický prostor HP tvar válce s vrchlíkem nebo koule. Hermetické prostory pro nižší tlak (0,25 MPa) jsou jednoduché, většinou s vakuobarbotážním systémem (systém pro potlačení zvýšeného tlaku prostředí v HP).

Kontejnment KTM (tj. hermetický prostor pro vyšší tlak 0,5 MPa) se provádí jako jednoduchý nebo dvojitý kontejnment (tzv. sekundární KTM).



Obr. 2. Principiální schéma vzduchotechnických systémů JE s kontejnmentem

Pro oba typy (kontejnment/hermetický prostor) jsou navrhovány vhodné vzduchotechnické systémy. Systémy jsou podle funkce provozní (je-li v provozu R) a mimoprovozní (R není v provozu). Provozní systémy udržují v hermetickém prostoru tlak o 150 až 200 Pa nižší než v jeho okolí. Tím se zajišťuje, že prostředí KTM/HP nepronikne mimo něj. Používají se zpravidla dva způsoby / druhy udržování podtlaku. Je to systém přívodu vzduchu přívodním systémem, který má nižší vzduchový výkon než jemu příslušný odvodní systém. Druhý způsob vytváří podtlak v KTM/HP tím, že do KTM/HP přisává vzduch přes filtry z prostoru mimo KTM/HP.

Přívodní systém má zvolený vzduchový výkon např. 1 000 m³/h a odvodní systém má vzduchový výkon zpravidla o 200 až 500 m³/h větší. Rozdíl v množství vzduchu je vzduch, který se do KTM/HP přisaje netěsnostmi. Netěsnosti vytvářejí průchody technologických potrubí, kabelů a vstupů do KTM/HP.

Přívodní systém tvoří jednotka v sestavě klapka, filtr, ohříváč, ventilátor a uzavírací armatury a rychloarmatury a potrubní vzduchotechnická síť. Jednotky jsou tři a jedna z nich je vždy pracovní a zbývající jsou její 100% rezervou, což je systém zálohování (1+2). Odvodní systém je navržen rovněž v systému 1+2, tj. jedna větev je pracovní a dvě rezervní. Odvodní systém tvoří ventilátor, filtrační stanice radioaktivních aerosolů RA a izotopů jodu, uzavírací rychloarmatury a potrubní vzduchotechnická síť.

Ve druhém případě (bez přívodního systému) je přívod vzduchu do KTM/HP bez zdroje tlaku (ventilátoru). Odsávání KTM/HP se v něm vytváří podtlak, jehož velikost je dána odporem všech elementů, přes které se větrací vzduch do KTM/HP přivádí. Tuto sestavu tvoří uzavírací armatury, regulační klapky a aerosolové filtry a rychloarmatury a krátká potrubní síť. Zálohování těchto prvků je řešeno systémem (1+1). Odvodní systém je řešen ve stejné sestavě jako při nuceném přívodu vzduchu.

Z hlediska seismické odolnosti jsou elementy a zařízení zařazeny do třídy S1a, mají-li pohon, a do třídy S1b, nemají-li pohon. Z hlediska vybraných zařízení jsou zařazeny do BTII a BTIII, je to systém související s bezpečností (SSB), zajištěné napájení elektrickou energií je ze skupiny I.

S02 systém větrání sekundárního KTM

Větrání sekundárního KTM se také nazývá větrání meziprostoru obálek. Je to prostor, který vznikne, když se primární kontejnment obestaví ještě jednou budovou, sekundárním KTM. Tvar i provedení sekundárních KTM je rozličné. Např. ve tvaru válce s vrchlíkem a uvnitř primární kontejnment téhož tvaru (nejobvyklejší řešení), válec s vrchlíkem a uvnitř primární kontejnment ve tvaru koule, koule v kouli atd. Materiál sekundárního KTM/obálky je ocel nebo předpjatý železobeton s ocelovou výstýlkou. Účelem je vytvořit prostor, který je schopen zachytit případné úniky radioaktivních látek RAL z primárního KTM a současně slouží i k chlazení primárního KTM.

Z hlediska podtlaku, který se v tomto prostoru udržuje, je mezi primárním a sekundárním KTM rozdíl 100 až 150 Pa. Proti venkovní atmosféře je ve většině řešení udržován v prostoru sekundárního KTM podtlak 50 Pa.

Zpravidla je používáno řešení s přívodem vzduchu větrací jednotkou a odvodem vzduchu odvodním systémem. Chlazení meziprostoru se provádí cirkulačním chladicím systémem. Přívodní jednotka má vzduchový výkon v závislosti na objemu meziprostoru a zvolené intenzitě větrání. Odvodní systém má vzduchový výkon vyšší o předpokládané netěsnosti (úniky) sekundárního KTM. Velikost rozdílu v množství vzduchu se kontroluje a případně upravuje podle periodických zkoušek těsnosti obou ochranných obálek.

Přívodní jednotka se skládá z filtru, ohříváče, chladiče a ventilátoru, rychloarmatury a potrubní sítě. Odvodní systém je vybaven filtrací odsávaného vzduchu (a to jak z hlediska RA aerosolů, tak jodu), rychloarmaturami a



Obr. 3 Jeden z možných způsobů chlazení technické vody důležité (TVD) rozstříkem

potrubní sítě. Cirkulační chladicí systém používá pro chlazení chlazenou vodu a pro případ nehody i technickou vodu důležitou.

Systémy (přívodní, odvodní, cirkulační) jsou řešeny zálohováním 1+2, vybraná zařízení jsou v BTIII, seismicky odolné jsou ve třídě S1a pro chlazení a odsávání. Přívodní systém a zbytek zařízení a komponent je ve třídě S1b. Je to systém související s bezpečností (SSB).

S03 systém větrání/chlazení šachty reaktoru R

V šachtě reaktoru je umístěna reaktorová nádoba a systém řídicích a havarijních tyčí reaktoru, včetně jejich pohonů (systém řízení a ochrany reaktoru). Konzola, která podpírá/nese zavěšený reaktor, rozděluje reaktorovou nádobu a její šachtu po výšce na dolní a horní část reaktoru a šachty. Obě části šachty reaktoru jsou zatíženy teplem předávaným z reaktorové nádoby do šachty, tj. do svého okolí. Odvod tepla z šachty reaktoru je nutno zajistit z důvodu technologického a stavebního. Pro zajištění odvodu tohoto tepla je navržena vzduchotechnika, která v šachtě zajišťuje požadovanou teplotu přiváděného vzduchu a maximální dovolenou teplotu odváděného vzduchu.

Jsou dvě koncepce vzduchotechniky pro odvedení tohoto tepla. Větrání šachty reaktoru je možno provést jedním vzduchotechnickým systémem (u reaktorů s nižším tepelným výkonem) nebo dvěma vzduchotechnickými systémy (u reaktorů s vyšším tepelným výkonem).

Obě řešení zajišťují odvod tepelné zátěže cirkulací chlazeného vzduchu. Cirkulační chladicí systém tvoří ventilátory, chladiče vzduchu typu voda – vzduch, uzavírací a regulační armatury a potrubní síť. Chladiče vzduchu jsou buď jednostupňové, nebo dvoustupňové. Jako chladicí látky se používají všechny tři druhy vody.

U reaktorů s nižším tepelným výkonem, umístěným v hermetickém prostoru, se celá šachta reaktoru chladí a větrá jedním společným cirkulačním chladicím systémem. Teplota vzduchu přiváděného do dolní i horní části šachty je cca +35 °C. Teplota odváděného vzduchu je cca +75 °C. Používají se jednostupňové chladiče, které jsou chlazeny technickou vodou důležitou. Jsou navrženy tři cirkulační potrubní smyčky. Jedna smyčka je pracovní a dvě jsou rezervní (1+2). Ventilátory jsou připojeny ke třem systémům zajištěného elektrického napájení a chladiče ke třem systémům technické vody důležité. Systém S03, (všechny jeho smyčky), je seismicky odolný S1a, potrubí je v podkategorii S2a. Celý systém je zařazen do BTIII. Je to systém související s bezpečností (SSB).

U reaktorů s vyšším tepelným výkonem, umístěných v kontejneru, se používá dvou cirkulačních chladicích systémů.

Pro spodní část šachty, kde je větší část tělesa reaktoru, se používá cirkulační chladicí systém s dvoustupňovým chlazením. První stupeň chladiče je napojen na technickou vodu důležitou. Druhý stupeň je chlazen chlazenou vodou. Teplota vzduchu přiváděného do šachty je cca +32 °C a teplota odváděného vzduchu +54 °C. Jsou navrženy tři cirkulační smyčky. Jedna smyčka je pracovní a dvě jsou rezervní. Ventilátory jsou připojeny na tři systémy zajištěného napájení a chladiče na tři systémy technické vody důležité. Systém (všechny jeho smyčky) je seismicky odolný S1b a zařazený do BTIII. Je to systém související s bezpečností (SSB).

Pro horní část reaktoru se používá samostatný systém S04.

S04 systém větrání a chlazení šachty systému řízení reaktoru R

U reaktorů s nižším tepelným výkonem se šachta systému řízení reaktoru R větrá a chladí společně se šachtou reaktoru – viz systém S03.

Reaktory s vyšším tepelným výkonem (od 800 MWe) mají šachtu reaktoru v horní části větranou a chlazenou samostatným vzduchotechnickým systémem. Je to dáno vyšším tepelným zatížením tohoto prostoru a tím, že zařízení pro řízení reaktoru pracuje při vyšších teplotách prostředí než u reaktorů s nižším výkonem.

Pro tuto vrchní část šachty reaktoru se používá cirkulační chladicí systém s dvoustupňovým chlazením. Chladiče jsou připojeny na rozvod technické vody nedůležitý. Teplota vzduchu, který se přivádí do šachty, je cca +55 °C a na výstupu ze šachty, tj. vstupu do chladiče, je teplota vzduchu cca +102 °C. Jsou navrženy tři cirkulační smyčky. Jedna smyčka je pracovní a dvě jsou rezervní (1+2). Systém (všechny jeho smyčky) je připojen na tři systémy elektrického napájení, je seismicky odolný S1b a zařazený do BTIII. Je to systém související s bezpečností (SSB).

S05 systém větrání boxu parogenerátorů PG

Box, ve kterém jsou umístěny parogenerátory, je další velmi tepelně zatížený prostor. Je zpravidla vzduchově nebo i stavebně propojen s prostorem, kde jsou umístěna hlavní cirkulační čerpadla primárního okruhu. Vzhledem k jejich elektrickému příkonu a tím, že cirkulují teplosnosnou látku primárního okruhu, jsou rovněž velkým zdrojem tepla. Systém S05 u všech výkonů reaktorů větrá ještě řadu dalších tepelně zatížených prostorů.

V případě, že reaktor nemá KTM, zajišťuje tento systém i provětrání vakuobartážních plynomů. U nižších výkonů reaktoru vzduchotechnický systém obsahuje tři sestavy ve složení ventilátor, dvoustupňový chladič a uzavírací armatury na vzduchové i vodní straně. Je řešen zálohováním 2+1. Dva ventilátory pracují spolu paralelně do jedné sítě a třetí je jejich 50% rezervou. První stupeň chladiče, ve směru proudění vzduchu, je chlazen technickou vodou důležitou, druhý (ve směru proudění vzduchu) je chlazen chlazenou vodou. Je připojen ke třem systémům zajištěného elektrického napájení. Z hlediska seismické odolnosti je zařazen do podkategorie S1b a dále do BTIII. Je to systém související s bezpečností (SSB).

Reaktory s vyšším výkonem mají řešeno chlazení těchto prostorů s vysokými tepelnými zátěžemi systémem, který z hlediska zálohování je řešen systémem 3x (1+1), tj. celkem 6 chladicích sestav. Tři sestavy pracují paralelně do společné potrubní sítě. Každá dvojice (1+1) je připojena k jednomu systému elektrického napájení. Sestava obsahuje dvoustupňový chladič. První stupeň, ve směru proudění vzduchu, je připojen na technickou vodu důležitou TVD a druhý stupeň na vodu chlazenou CHV. První dvojice ventilátorů je připojena k prvnímu systému zajištěného elektrického napájení, první stupeň chladiče k prvnímu systému TVD,

druhý stupeň chladiče k systému chlazené vody CHV. Druhá dvojice je řešena stejně, ale je připojena k druhým systémům elektrického napájení, druhým systémům chlazení TVD a třetí dvojice k třetím systémům elektrického napájení, třetím systémům chlazení TVD. Druhý stupeň chladičů u těchto sestav je vždy připojen k systému chlazené vody CHV. Z hlediska seismické odolnosti je systém zařazen do podkategorie S1b a dále do BTIII. Je to systém související s bezpečností (SSB).

S06 systém odsávání bazénu vyhořelého paliva VP

Systém odsávání bazénu vyhořelého (lépe „použitého“) paliva se umísťuje buď do KTM, nebo mimo KTM/HP. Palivo, které bylo vyjmuté z aktivní zóny reaktoru, má ještě poměrně velký tepelný výkon, a proto je nutno je nadále chladit. Palivové soubory (svazek jednotlivých palivových článků) se v tomto skladu skladují pod vodou cca 5 let po vyjmutí z aktivní zóny reaktoru. Voda v bazénu skladování se udržuje na teplotě cca +50 °C cirkulací a chlazením.

Úkolem VZT systému S06 je odsávat prostor nad touto hladinou a zamezit unikání parní složky do prostoru nad bazénem. Teplota v prostoru nad bazénem se liší podle toho, zda je bazén umístěn v KTM nebo mimo KTM. Teplota prostoru nad bazénem, který je mimo KTM, je cca + 20 až +30 °C. Teplota nad bazénem, který je v KTM, je v rozmezí teplot +40 až + 46 °C.

Vzduchotechnika se v obou případech liší. V případě, že bazén je umístěn mimo KTM, je prostor nad hladinou překrytý a větrán cirkulačním chladicím a filtračním systémem. Řešení je provedeno přefukem větracího vzduchu nad hladinou a jeho odsáváním na protější straně bazénu.

Když je bazén umístěn v KTM, má volnou hladinu a přefuk větracího vzduchu nad hladinou bazénu je proveden systémem, který obsahuje pouze ventilátor, uzavírací armatury a potrubní síť. Systém nasává vzduch z prostoru KTM. Odsávání vzduchu nad hladinou je odvodním systémem, který obsahuje ventilátor, uzavírací armatury a potrubní síť, kterou se vzduch vrací zpět do prostoru KTM.

Elektrické spotřebiče jsou připojeny k systému zajištěného elektrického napájení. Z hlediska seismické odolnosti je celý systém zařazen do podkategorie S1b a dále do BTIII. Je to systém související s bezpečností (SSB).

S07 systém větrání reaktorového sálu RS

Větrání reaktorového sálu RS se liší podle toho, zda RS je, nebo není součástí KTM.

V případě, že RS je součástí KTM, má dva způsoby větrání. Při provozu reaktoru je RS provětráván systémem S01, který v něm udržuje podtlak. V období, kdy není reaktor v provozu, je větrán samostatným přívodním a odvodním systémem S07. Tento systém je používán pro zajištění parametrů prostředí v KTM, když v něm pracuje obsluha, a ještě v případě požadavku provětrat KTM po případné nehodě. Přívod venkovního upraveného vzduchu zajišťují tři přívodní jednotky. Udrží v prostoru RS a celém KTM teplotu vzduchu +23 až +26 °C. Intenzita větrání je 2 (1/h). Přívodní jednotky mohou pracovat v režimu 1+2, 2+1 a 3+0. Systém může dodávat množství vzduchu od 33 do 100 % své kapacity. Odvodní systém může pracovat ve stejném režimu jako přívodní systém, tj. 1+2, 2+1 a 3+0. Dvě linie odvodního systému obsahují jeden ventilátor, uzavírací armatury a potrubní síť. Jedna (třetí) linie obsahuje ještě navíc kompletní filtrační stanici radioaktivních aerosolů, jodu a jeho sloučenin. Tato odvodní část s filtrační stanicí je schopna pracovat jako cirkulační, tj. odvádět vzduch z KTM a vrátit jej zpět do KTM, a to jak bez filtrace, tak po filtraci. Cirkuluje a filtruje se vzduch po proběhlé nehodě technologického zařízení. Všechny tři odvodní linie jsou zavedeny do komína bloku. Systém je připojen k zajištěnému systému elektrického

napájení. Z hlediska seismické odolnosti je zařazen do podkategorie S1b a dále do BTIII. Je to systém související s bezpečností (SSB).

V případě, že RS **není součástí KTM**, má tento RS jeden systém větrání s třemi režimy. Je to provoz 1+2, 2+1 a 3+0. Tvoří jej tři přívodní jednotky a tři odvodní sestavy. Přívodní jednotky udržují v RS teplotu vzduchu v zimním období +18 °C a v létě v rozmezí +23 až +26 °C. Intenzita větrání je 1,5 (1/h). Každou ze tří odvodních částí tvoří ventilátor, uzavírací armatury a potrubí. Pracují ve stejném provozním režimu jako přívodní část. Systém pracuje trvale. Při provozu R a bez přítomnosti obsluhy v RS pracuje systém v režimu 1+2. Při výměně paliva a přítomnosti obsluhy v RS pracuje v režimu 2+1 nebo i 3+0. Odvodní část systému nemá osazeny filtry a je zavedena do společného komína. Systém je připojen k systému zajištěného napájení, je zařazen do seismické podkategorie S1b a dále do BTIII. Je to systém zařazený mezi SSB.

S08 systém filtrace KTM/HP

Při provozu bloku může nastat nehoda, při které dojde k malým kompenzovatelným únikům média primárního okruhu do prostoru KTM/HP. Pro tyto případy je u obou řešení instalován cirkulační filtrační systém. Tento systém čistí atmosféru KTM/HP po dobu potřebnou pro zjištění, kde nastala netěsnost. Celý systém je umístěn uvnitř KTM/HP. Tvoří jej tři linie 1+2. Každá linie je vybavena kompletní filtrační stanicí (odlučovač vlhkosti, aerosolový předfiltr, vysoce účinný aerosolový filtr, elektrický ohřívač, filtr jodu a jeho sloučenin, vysoce účinný aerosolový filtr), ventilátor, uzavírací armatury a potrubní síť. Systém nasává vzduch z KTM/HP

a po projití filtrační stanicí se vzduch vrací zpět do odsávaného prostoru. Druhý AE filtr zachycuje „výprach“ filtru jodu, ohřívač snižuje relativní vlhkost pod 90 %.

V případě HP se používá potrubní síť, která odsává box parogenerátorů, vzniklým podtlakem přisává vzduch ze sousedních místností boxu parogenerátorů a vrací vzduch zpět na vhodném místě. Pro filtraci prostoru KTM jsou filtrační stanice zpravidla s krátkým potrubním systémem umístěny v prostoru reaktorového sálu. Je to dáno tím, že při použití KTM jsou všechny jeho prostory vzájemně propojeny. Žádný prostor v KTM není zcela uzavřen. Napájení systému je zajištěno v III. skupině elektrického napájení. Systém je seismicky odolný v podkategorii S1b, zařazen do kategorie BTIII. Je to systém související s jadernou bezpečností (SSB).

Kontakt na autora: RKVZT@seznam.cz

Poznámka: V třetí části článku bude pojednáno o dalších systémech pro kontejnment (KTM) a hermetický prostor (HP) S09 až S13 a o systémech pro důležité prostory mimo aktivní provoz.

Použité zdroje:

- [1] VIGLAŠOVÁ, E., KRAJNÁK, A. Vznik a původ vyhořelého jaderného paliva a vysoce radioaktivního odpadu na území Slovenské republiky. *Bezpečnost jaderné energie*. 2014 č. 11/12.

**STAVÍTE ČI
OPRAVUJETE
RODINNÝ DŮM?**

**získejte
ZDARMA**

**kompletní systém
pro vytápění a větrání!**

více informací na
www.soutez-atrea.cz

soutěž probíhá od 1.1. do 30.6.2016

SOUTĚŽ

Atrea®

Úsporné systémy
vytápění a větrání

