

Ing. Rudolf KAHLE

Vzduchotechnika v jaderných elektrárnách (1. část)

Ventilation Systems in Nuclear Power Plants (1st part)

Recenzent
prof. Ing. František Drkal, CSc.

Článek je první částí ze série o vzduchotechnice v jaderných elektrárnách (JE). Autor, přední odborník na vzduchotechniku v jaderných elektrárnách, popisuje stručně historii výstavby jaderných elektráren v České i Slovenské republice, koncepci a požadavky na zařízení techniky prostředí a hlavní vzduchotechnické systémy v objektech s radioaktivním prostředím. Další části budou pojednávat o zařízeních, elementech systémů, obyvatelnosti dozoren, aktivním přispěvků k omezení nehod včetně těžké havárie reaktoru, zkušenostech z provozu, požadavcích na projektanta a zahrnou i současný stav oboru.

Klíčová slova: jaderná elektrárna, bezpečnost, vzduchotechnika, zařízení, provoz

The paper is the first part from a series about ventilation systems in nuclear power plants (NPP). The author, who is a leading expert on the ventilation systems in nuclear power plants, briefly describes the history of nuclear power plants construction in the Czech and Slovak Republics, requirements on HVAC systems and main ventilation systems in buildings with radioactive environment and their concepts. The following parts will deal with the devices, system elements, habitability of control rooms, an active contribution to reduction of accidents including severe reactor accident, experience from the operation and requirements on the designer. They will also include the current state of the art in the field.

Keywords: nuclear power plant, safety, ventilation systems, equipment, operation

ÚVOD

V roce 2013 bylo ve světě v provozu 432 jaderných bloků, z toho 6 v České republice. Více než 60 bloků ve 13 zemích se staví, v České republice: 0 (nic se nestaví). 162 bloků ve světě se projektuje, v České republice: 0 (nic se neprojektuje). O 316 blocích ve světě se uvažuje, z toho u nás o 2 až 3 blocích. Od podpisu smlouvy na výstavbu k uvedení do provozu uplyne obvykle 17 až 20 let a předcházející výběrové řízení trvá 2 až 3 roky. Provoz JE Dukovany (výkon cca 1 900 MWe) skončí asi v roce 2025, provoz JE Temelín (výkon 2 000 MWe) přibližně v roce 2040.

Jak dlouho ještě může klesat cena elektrické energie v ČR, když ji budeme muset dovážet (nakupovat)?

Krátká historie

Začátek jaderné energetiky v Československu je v padesátých letech minulého století. V roce 1946 Česká akademie věd a umění založila výbor pro atomovou fyziku. V roce 1955 byl založen Ústav jaderného výzkumu v Řeži a 1962 byla zřízena Československá komise pro atomovou energii.

Konkrétní práce na projektu jaderné elektrárny začaly v roce 1958. Byla to Jaderná elektrárna A1 v Jaslovských Bohunicích. Výstavba byla Československu nabídnuta tehdejšími Sovětským svazem na základě toho, že v Československu byl zájem o jadernou energetiku a mělo dostatek kvalifikovaných projektantů, konstruktérů a výrobců průmyslových zařízení, včetně energetických.

Jaderná elektrárna A1 byla školou pro všechny složky, které se zúčastnily její výstavby. Po roce 1969 následovala výstavba dvou bloků JE V1, po ní JE V2, obě v Jaslovských Bohunicích, a dále čtyři bloky v JE Dukovany, dva bloky v JE Mochovce, dva bloky v JE Temelín (obr. 1). Výstavba

dalších dvou bloků v JE Temelín byla zastavena po roce 1989, stejně jako výstavba dalších dvou bloků v JE Mochovce. Dostavba dvou bloků v JE Mochovce byla zahájena v roce 2005, dodatek Úvodního projektu byl zahájen v roce 2006 a dokončen v roce 2009. Pro dostavbu dalších dvou bloků v JE Temelín bylo vypsáno výběrové řízení na dodavatele, které však bylo v roce 2014 zrušeno.

Koncepční řešení všech jaderných elektráren bylo vypracováno v projektových organizacích bývalého Sovětského svazu. Československá (česká) strana se na všech projektech od roku 1959 podílela svými odborníky. Již v projektové fázi se snažila uplatňovat své zkušenosti jak v prvním projektovém, tak ve druhém – realizačním – stupni. Totéž se týká i výroby jednotlivých technologických zařízení. Ve vzduchotechnice provedla československá strana první projektové úpravy (až změny) již v JE A1 a úpravy následovaly i v dalších projektech.



Obr. 1 Pohled na jadernou elektrárnu Temelín

V současnosti je český průmysl schopen vyrobit a dodat až 80 % zařízení pro jadernou elektrárnu, počínaje výrobou reaktoru. Od výrobců mimo Českou republiku je nutno koupit systémy řízení technologického procesu a jaderné palivo. Z hlediska výroby jednotlivých vzduchotechnických zařízení, kromě rychločinných klapek pro těsnost při tlaku 0,6 MPa, cirkulačních chladicích jednotek s vodou chlazenými kondenzátory a rekombinátorů vodíku, je český průmysl i v tomto oboru schopen vyrobit a dodat všechno vzduchotechnické zařízení.

VZDUCHOTECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ V AREÁLU JADERNÉ ELEKTRÁRNY

V areálu jaderné elektrárny je použita celá řada zařízení techniky prostředí podle toho, pro jaké prostory nebo budovy tato technika slouží. Je použito více koncepčních řešení, která jsou navržena tak, aby se splnily požadavky kladené na vytvoření parametrů prostředí pro daný objekt, prostor nebo místnost. Koncepční řešení stanoví způsob zajištění parametrů prostředí, provozní režim, použité stroje, zařízení a elementy. Parametry prostředí jsou v objektech JE zajišťovány v principu třemi způsoby:

- ☐ vytápěním a přirozeným větráním,
- ☐ nuceným větráním a vytápěním,
- ☐ vzduchotechnikou (klimatizací, vč. chlazení, větráním, vytápěním).

Použití řešení vychází z účelu objektu nebo prostoru.

V souladu s tím se v areálu používají dvě základní skupiny systémů (zařízení) pro zajištění techniky prostředí, a to pro stavební objekty a pro technologické objekty. Technika prostředí ve stavebních objektech je řešena jedním z výše uvedených způsobů a není ovlivňována jaderným zařízením.

Technika prostředí pro technologické objekty je již ovlivňována z větší či menší míry jaderným zařízením. Technologické objekty se dělí na objekty bez výskytu aktivity (radioaktivního prostředí) a objekty s výskytem zařízení, které pracuje s radioaktivními médii. V těchto objektech převažuje nucené větrání s omezeným použitím klasického vytápění tělesy. Současná situace v jaderné energetice vyžaduje, aby objekty, které nepracují s aktivními médii, ale zajišťují provoz aktivních provozů (dodávkou provozních látek – voda, roztoky, elektrická energie) měly z hlediska kvality zajištěnou techniku prostředí jako aktivní objekty.

Technika prostředí v objektech s radioaktivním prostředím – v aktivních provozech

Úkolem techniky prostředí v těchto technologických objektech je:

- ☐ vytváření vhodného prostředí pro obsluhující personál,
- ☐ zajištění předepsaných parametrů prostředí pro bezpečný a spolehlivý provoz technologického zařízení,
- ☐ odvádět tepelné ztráty technologických zařízení,
- ☐ zajištění vnitřní a vnější bezpečnosti v objektu vytvářením usměrněného proudění větracího vzduchu,
- ☐ zamezení úniku radioaktivních látek přes vzduchotechnické systémy do ovzduší,
- ☐ pomáhat likvidovat následky nehod technologického zařízení, včetně maximální projektové nehody,
- ☐ podílet se na likvidaci následků těžké havárie reaktoru,
- ☐ zajišťovat parametry pracovního prostředí při ztrátě elektrického napájení vlastní spotřeby.

Poznámka: V jaderné energetice se, v souladu s anglickým, ruským a dalšími jazyky, používá i v češtině termín „vzduchotechnický systém“. Termín „vzduchotechnické zařízení“ se užívá pro konkrétní provedení jednotlivých zařízení, komponent, prvků, které jsou součástí vzduchotechnického systému a jsou rozdílně navrhovány ve vzduchotechnickém systému z hlediska seismicity, vybraných zařízení, bezpečnostních tříd, napájení elektrickou energií a dalších požadavků na jednotlivá zařízení.

Požadavky uvedené v předcházejících osmi bodech jsou určující pro návrh vzduchotechnických systémů v jednotlivých objektech a prostorech. Zde se dále rozlišují prostory, ve kterých se v případě nehody enormně zvýší parametry prostředí a prostory bez možnosti zvýšených parametrů prostředí při nehodě (viz obr. 2 a 3).

Zvýšené parametry prostředí při nehodě se předpokládají tam, kde je umístěn jaderný reaktor a na něj navazující pomocné systémy. V prostorech bez zvýšených parametrů jsou pomocné systémy, které bezprostředně nenavazují na primární okruh reaktoru.

První skupinu (se zvýšenými parametry prostředí) tvoří ochranná obálka reaktoru (kontejnment, hermetický prostor). Do druhé skupiny (bez zvýšených parametrů) patří prostory obestavby reaktoru a pomocné budovy.

V obestavbách jsou umístěny systémy borového hospodářství, nečistého kondenzátu, plynové hospodářství, olejové hospodářství, chladiče a čerpadla bazénu vyhořelého paliva a další pomocné systémy reaktoru.

Mezi pomocné budovy patří například zpracování a ukládání radioaktivních odpadů, sklad čerstvého paliva, čerpací stanice, dieselgenerátorové stanice, mezisklad vyhořelého paliva a řada dalších pomocných technologických budov.

Dalšími budovami v areálu JE jsou pomocné a servisní budovy bez technologického zařízení.

Obecná poznámka k následujícím popisovaným řešením

Snahou je podat základní přehled o vzduchotechnice v jaderných elektrárnách. Je však nutno vzít v úvahu, že vývoj koncepčních řešení jaderných elektráren nejen ve vzduchotechnice, ale všech jejích systémů se stále zdokonaluje ve snaze zvyšovat bezpečnost provozu. Proto dále uváděná řešení jsou vylepšována a například jaderné bloky, které v současnosti nabízejí jednotlivé společnosti k výstavbě, se v provedení systémů liší, nikoli však výrazně v navržené koncepci.

V některých oblastech jsou však odlišnosti poměrně podstatné. Je to způsob elektrického napájení, zásobování chladicí vodou, způsob zálohování strojů a zařízení, přístup k zajištění spolehlivosti provozu a řada dalších vlivů na bezpečný provoz JE. Týká se to jaderných bloků, které jsou ve výstavbě, a těch, které se plánují stavět v dalších dvou desetiletích.

Technika prostředí v objektech pro systémy řízení a elektrického napájení

V těchto technologických objektech (bez výskytu radioaktivního prostředí) jsou umístěny dozorny pro řízení technologie (bloková dozorna, nouzová dozorna, společná dozorna), elektrické systémy pro zajištění elektrického napájení technologie, náhradní zdroje energie pro vlastní spotřebu a zdroje elektrického napájení v případě úplné ztráty napájení. Všechna tato zařízení a systémy, nyní po nehodě ve Fukušimě, jsou rekonstruovány tak, aby byly schopny splnit všechny požadavky na ně kladené i při mimořádných událostech, jako je zemětřesení, tornádo, extrémní vítr, sněh, extrémní letní a zimní teploty venkovního prostředí a teroristické útoky. Požadavky jsou stanoveny tak, aby tyto systémy pomohly bezpečně odstavit a dochladiť reaktor. Tyto vzduchotechnické systémy se nyní posuzují obdobně jako systémy vzduchotechniky, které pracují s radioaktivitou.

VZDUCHOTECHNIKA V OBJEKTECH S RADIOAKTIVNÍM PROSTŘEDÍM – V AKTIVNÍCH PROVOZECH

Koncepce systémů

Větrané budovy a prostory jsou děleny podle své funkce v rámci provozu jaderné elektrárny. Pro tyto objekty a prostory je nutno navrhnout kon-

peční řešení jednotlivých vzduchotechnických systémů tak, aby splňovaly požadavky, které stanovuje technologie v nich umístěná a příslušné zákony, předpisy a normy.

V objektu, do kterého je navrhováno vzduchotechnické zařízení, se provede rozdělení jednotlivých prostorů podle jejich technologického charakteru do vzduchotechnických systémů. Do jednoho systému se spojují prostory s obdobným technologickým zařízením, které vyžadují zajistit stejné prostředí. Jsou to prostory s výskytem možných úniků aktivity do daného prostoru, místnosti s vysokým zatížením teplem od instalovaného zařízení a prostory bez těchto škodlivin, ale s možností jejich výskytu v případě nehody technologického zařízení.

Navrhne se nucené proudění vzduchu mezi jednotlivými prostory tak, aby větrací vzduch proudil vždy ve směru zvětšující se aktivity nebo tepelné zátěže. Proveďte se návrh velikosti podtlaku v jednotlivých prostorech, který je zpravidla -50 Pa proti prostoru, ze kterého se přiváděný vzduch přepouští do odsávaného prostoru. Prostory, ve kterých je umístěn primární okruh včetně reaktoru, se udržují v podtlaku -150 až -200 Pa (tlak nižší, než je v okolních prostorech, a to včetně venkovní atmosféry). Navrhnu se vzduchotechnické systémy pro přívod vzduchu, systémy pro odvod vzduchu a systémy s cirkulací vzduchu v daném prostoru.

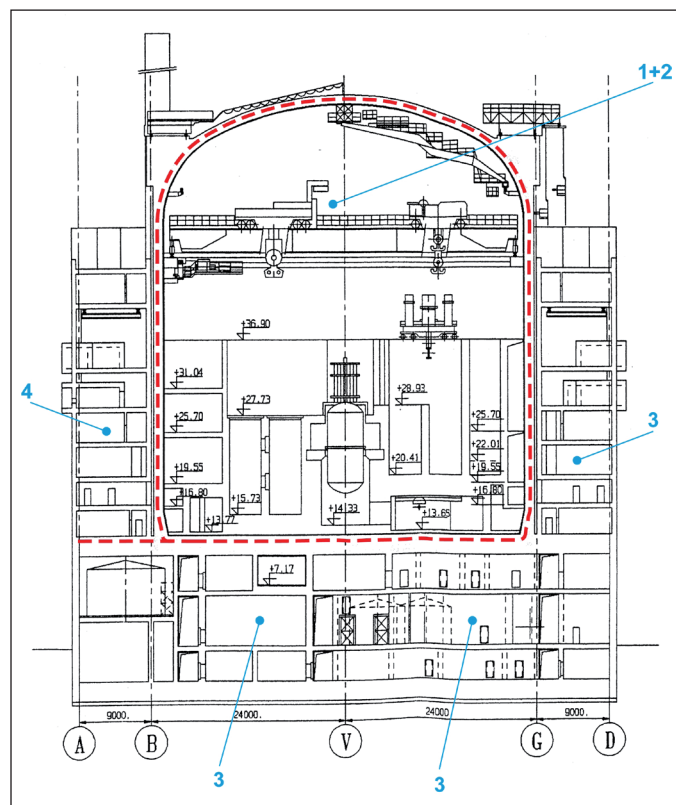
Přívodní systémy jsou většinou větrací, kdy přívodní jednotka zajišťuje pouze teplotu vzduchu na výstupu (neudrží relativní vlhkost vzduchu), nebo se řídí podle teploty v místnosti, kam je vzduch přiváděn. Klimatizační jednotky se navrhují pro přívod vzduchu do prostorů, kde je nutno zajistit teplotu prostředí i relativní vlhkost vzduchu v požadovaném rozmezí.

Odvodní systémy se navrhnu podle toho, jaké ovzduší z větraných prostorů odvádějí. V případech, kdy v odváděném vzduchu nejsou žádné škodliviny, je možno větrací vzduch vypouštět přímo do venkovního životního prostředí, a proto tyto systémy nejsou vybaveny filtračním zařízením. Mohou však odsávat prostory, ve kterých je technologické zařízení, jehož součástí jsou potřebné filtry, ale nikoliv jako dodávka vzduchotechniky, a vzdušina z nich je odváděna do vzduchotechnického odvodního potrubí. Jsou to odvodušnění technologických zařízení. Odvodní systémy, které odsávají prostory s výskytem, nebo jen možným výskytem, radioaktivních aerosolů a izotopů jodu a jeho sloučenin a vzácných plynů, mají do potrubní trasy daného vzduchotechnického systému zařazeny vhodné filtry.

Cirkulační systémy jsou dvojího druhu, cirkulační systémy pro odvod tepelné zátěže větraného prostoru a systémy pro filtraci vzduchu daného prostoru. Chladicí systémy se umísťují přímo do daného prostoru a filtrační systémy do prostoru mimo filtrovaný prostor (do sousedního prostoru).

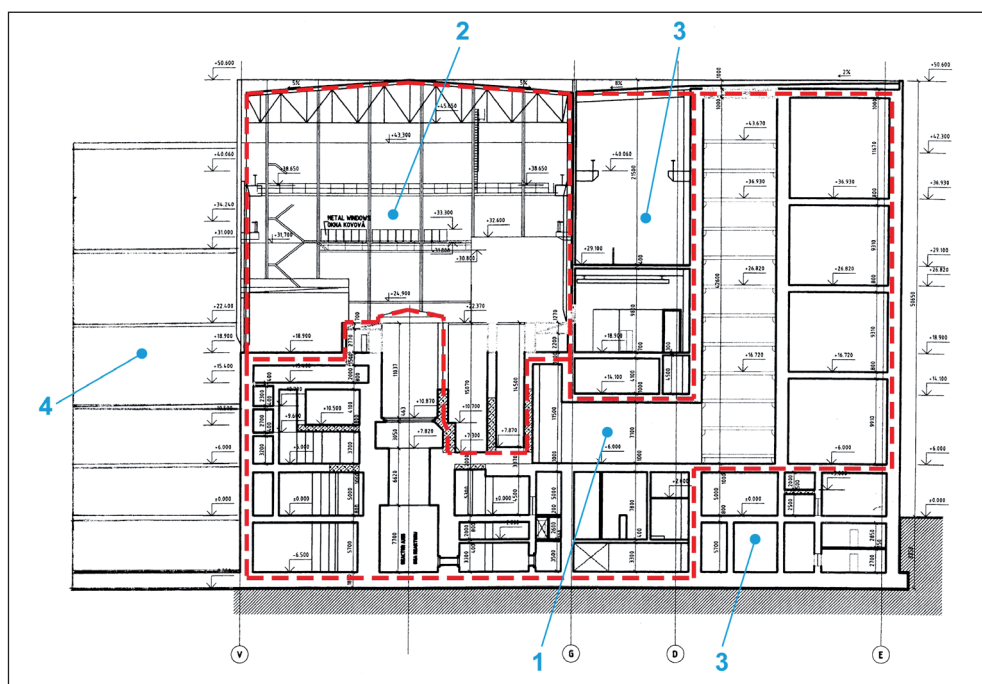
Přívodní a odvodní systémy se navrhují tak, aby nedocházelo k rozsáhlým potrubním rozvodům a bylo možno je úspěšně vyregulovat. Systémy jsou z hlediska velikosti omezovaly celkovým vzduchovým výkonem a napříkladem i velikostí vyráběného filtračního zařízení.

Množství větracího vzduchu se stanoví z potřeby odvést teplo od technologického zařízení a udržet teplotu vzduchu ve větraném prostoru v rozmezí teplot, které požaduje technologie. V prostorech, kde tepelná



Obr. 2 Členění prostorů jaderné elektrárny s kontejnmentem (KTM)
1+2 – Kontejnment s reaktorovým sálem (KTM); 3 – Vzduchotěsná zóna (VZ);
4 – Prostory mimo KP (MKP) – volné pásmo

1+2 – Prostory se zvýšenými parametry prostředí při nehodě; 3 – Prostory bez zvýšených parametrů prostředí při nehodě; 1+2+3 = Kontrolované pásmo (KP)



Obr. 3 Členění prostorů jaderné elektrárny s hermetickým prostorem (HP) 1 – Hermetický prostor (HP);
2 – Reaktorový sál (RS); 3 – Vzduchotěsná zóna (VZ); 4 – Prostory mimo KP (MKP) – volné pásmo

1 – Prostor se zvýšenými parametry prostředí při nehodě; 2+3 – Prostory bez zvýšených parametrů prostředí při nehodě; 1+2+3 = Kontrolované pásmo (KP)

zátěž není rozhodující, navrhuje se množství vzduchu na základě intenzity větrání (výměny venkovního vzduchu). Doporučené intenzity větrání pro jednotlivé prostory jsou uvedeny v mezinárodních a národních předpisech. V ČR je to „Směrnice pro VZT JE“, sekce VI, NTD A.S.I. [1].

Návrh větrání se provádí samostatně, včetně specifických návrhů koncepčního řešení vzduchotechniky, pro tyto prostory:

- ☐ Kontejnment (ochranou obálku, ve které je umístěn reaktor a jeho primární okruh).

Poznámka: Toto řešení je v současné době požadováno mezinárodními předpisy. U starších JE se používal výraz „hermetický prostor“. Rozdíl je ve výši vnitřního tlaku, kterému je tento prostor schopen odolat bez poškození. Kontejnmenty odolávají zpravidla do vnitřního přetlaku 0,5 MPa a hermetické prostory do přetlaku 0,25 MPa.

- ☐ Prostory s aktivitou, do kterých se nemohou rozšířit parametry prostředí při projektové nehodě a které jsou udržovány v podtlaku -50 Pa proti okolním prostorům. Tyto prostory jsou nazývány „vzduchotěsná zóna“.

Požadavky na vzduchotechnické systémy a jejich jednotlivá zařízení v prostorech s radioaktivním prostředím – v aktivních provozech

Vzduchotechnické systémy a zařízení musí být schopny splnit požadavky, které jsou na ně kladeny z hlediska zajištění bezpečného provozu JE, a to jak z hlediska vnitřní bezpečnosti, tak zajištění bezpečnosti provozu vzhledem k okolí JE. Pro splnění těchto požadavků jsou systémy, zařízení a jednotlivé komponenty zařazovány do následujících skupin s požadovanými vlastnostmi. Systém, zařízení nebo komponenta mohou být zařazeny pouze do jedné, nebo do několika, nebo do všech skupin.

Technologické systémy v jaderné elektrárně včetně vzduchotechnických systémů se zařazují z hlediska důležitosti do skupin podle požadavků na:

- ☐ zajištění jaderné bezpečnosti,
- ☐ odolání seismické události,
- ☐ jejich vlastní kvalitu,
- ☐ kvalitu jejich napájení,
- ☐ zajištění chlazení vzduchu.

Třídění vzduchotechnických systémů, zařízení, komponent a dalších prvků z hlediska zajišťování jaderné bezpečnosti

Systémy se dělí z hlediska jejich důležitosti na systémy:

- ☐ důležité z hlediska jaderné bezpečnosti (plní některou bezpečnostní funkci),
- ☐ nedůležité z hlediska jaderné bezpečnosti (neplní žádnou bezpečnostní funkci).

Systémy důležité z hlediska jaderné bezpečnosti jsou podle své funkce a významu pro jadernou bezpečnost rozděleny na:

- ☐ bezpečnostní systémy (BS),
- ☐ systémy související s jadernou bezpečností (SSB).

Bezpečnostní systémy (BS) jsou:

- ☐ výkonné bezpečnostní systémy,
- ☐ podpůrné bezpečnostní systémy.

Systémy související s jadernou bezpečností (SSB) jsou:

- ☐ výkonné systémy a konstrukce,
- ☐ podpůrné systémy.

Vzduchotechnické systémy jsou většinou zařazovány mezi podpůrné bezpečnostní systémy a mezi podpůrné systémy související s jadernou bezpečností.

Tyto systémy mají za úkol zajišťovat odvod tepelné zátěže (chlazením vzduchu), kterou do prostorů předává technologické zařízení, a udržovat požadované rozmezí teplot vzduchu v prostoru. Dále jsou to systémy určené pro filtraci radioaktivních aerosolů a izotopů jodu včetně jeho sloučenin, určené především pro vypouštění větracího vzduchu do venkovního životního prostředí.

Ostatní vzduchotechnické systémy jsou zařazeny mezi systémy nedůležité z hlediska jaderné bezpečnosti.

Stejně zařazování, jako u vzduchotechnických systémů, z hlediska jejich důležitosti, se týká i některých **vzduchotechnických elementů**, například rychlouzavíracích klapek na vzduchotechnickém potrubí, které prochází hermetickým prostorem (kontejnmentem), a všech hermetických klapek umístěných v hermetickém prostoru. Tyto elementy jsou zařazovány mezi SSB.

Třídění vzduchotechnických systémů, zařízení, komponent a dalších prvků z hlediska seismické odolnosti

Vzduchotechnické systémy, zařízení, komponenty a další prvky se dělí na:

- ☐ seismicky odolné,
- ☐ ostatní.

Bezpečný stav JE musí být zajištěn pro seismické události až do hodnoty maximálního výpočtového zemětřesení. Toto zemětřesení je definováno jako zemětřesení, jehož opakovatelnost v dané lokalitě je 1x za 10 000 let.

Seismické kategorie [2] jsou dvě (1,2) a ty se dělí na další dvě (a, b) podkategorie. Například je používáno dělení 1a, 1b, 2a a 2b.

Seismická kategorie 1 se dělí na:

- ☐ seismickou podkategorii **1a**, která vyžaduje seismickou odolnost ve smyslu zachování plné funkční způsobilosti až do úrovně maximálního výpočtového zemětřesení (MVZ) včetně;
- ☐ seismickou podkategorii **1b**, která vyžaduje seismickou odolnost ve smyslu zachování mechanické integrity (pevnost a hermetičnost) v souladu s příslušnými pevnostními normami a předpisy až do úrovně maximálního výpočtového zemětřesení (MVZ) včetně, porušení funkční způsobilosti jsou možná.

Seismická kategorie 2 se dělí na:

- ☐ seismickou podkategorii **2a**, do které jsou zařazeny systémy a komponenty, stavební objekty nebo konstrukce, které by mohly v důsledku seismických interakcí přímo nebo nepřímo způsobit ztrátu funkčnosti, pevnosti, hermetičnosti nebo stability polohy systémů, komponent a konstrukcí zařazených do seismické kategorie 1, nebo způsobit přerušení nutných přístupových cest; obvykle se požaduje, aby stabilita zůstala zachována v průběhu a po zemětřesení;
- ☐ seismickou podkategorii **2b**, do které jsou zařazeny všechny ostatní systémy, komponenty a konstrukce, u kterých se nevyžaduje seismická odolnost.

Vzduchotechnické systémy jsou většinou zařazovány do podkategorií 1b, 2a, 2b, některé systémy, ale především komponenty, i do podkategorie 1a.

Zařazení vzduchotechnických systémů, zařízení, komponent a dalších prvků z hlediska kvality vybraných zařízení do bezpečnostních tříd (BT)

Vybraná zařízení (VZ) jsou systémy, konstrukce, komponenty nebo jejich části, včetně jejich programového vybavení, důležité z hlediska jaderné bezpečnosti, které se zařazují do bezpečnostních tříd podle svého významu pro jadernou bezpečnost, podle bezpečnostní funkce systému (kterého jsou součástí) a podle závažnosti jejich případné poruchy.

Vybraná zařízení se kategorizují do bezpečnostních tříd (BT) I až IV podle kritérií daných vyhláškou [3]. Podle zařazení do BT jsou na vybraná zařízení kladeny požadavky na jakost, kvalifikaci, spolehlivost, rozsah kontrol a další požadavky. VZ BT I je třída nejvyšší a VZ BT IV třída nejnižší.

Vzduchotechnické systémy jsou zařazovány převážně do BT III a IV. Některé komponenty vzduchotechniky jsou zařazeny do BT II (například rychločinné uzávěry hermetického prostoru, kontejnmentu).

Zařazení vzduchotechnických systémů, zařízení, komponent a dalších prvků do sítí zajištěného napájení

Vzduchotechnické systémy, zařízení, komponenty a další prvky se z hlediska zajištění napájení elektrickou energií zařazují do tří základních sítí zajištěného napájení (SZN 1,2,3) [4], v každé síti do tří skupin a ve skupinách do kategorií (D až N). Některé JE mají i 4 sítě zajištěného napájení. Systém 3 sítí je nejobvyklejší. V normálním provozu bloku jsou všechny sítě napájeny z nadřazených sítí 400 kV a 110 kV.

I. skupina, označená D11 a D1

- ☐ D11 jsou pohony, které se zúčastňují havarijního odstavení bloku. Maximální doba přerušení jejich napájení (chodu) je do 1s.
- ☐ D1 jsou pohony zapojené do technologického procesu JE. Přerušení jejich chodu má za následek odstavení bloku nebo snížení jeho výkonu. Maximální doba přerušení elektrického napájení je dána automatickým zapnutím rezervního zdroje. Pohony nemusí pracovat při havarijním odstavování a dochlazování bloku.

II. skupina, označená D12 a D2

- ☐ D12 jsou důležité pohony, které se zúčastňují havarijního odstavování bloku. Pohony připouští zapnutí se zpožděním od cca 15 s do několika minut (je to dáno průběhem zatěžování nouzových zdrojů).
- ☐ D2 jsou důležité pohony zapojené do technologického procesu JE. Maximální doba přerušení elektrického napájení odpovídá ručnímu zapnutí rezervního zdroje, tj. cca 15 minut.

III. skupina, označená N

- ☐ N jsou spotřebiče, které nejsou důležité (jsou nedůležité), které nevyžadují rezervní napájení. Přerušení jejich elektrického napájení nemá za následek výpadek ani snížení výkonu bloku. Nezúčastňují se havarijního odstavování a dochlazování jaderného bloku.

Poznámka: Označování jednotlivých skupin může být u některých typů elektráren jiné, ale jejich popis je stejný.

Vzduchotechnické systémy jsou zařazovány do všech skupin a kategorií kromě D11, do které jsou však zařazeny rychlouzavírací klapy kontejnmentu/hermetického prostoru.

Připojení vzduchotechnických systémů, zařízení, komponent a dalších prvků k sítím chlazené vody

V jaderné elektrárně jsou instalovány tři rozvodné sítě chlazené vody. Zásobují chlazenou vodou výměníky technologie včetně vzduchotechnických. Každá síť je jiné kvality z hlediska schopnosti dodávat chlazenou vodu při různých režimech jaderného bloku.

Z hlediska kvality a dostupnosti v jednotlivých režimech bloku to jsou sítě:

- ☐ technické vody nedůležité,
- ☐ technické vody důležité,
- ☐ chlazené vody (zdrojem chladu).

Technická voda nedůležitá (TVN)

Zdrojem technické vody nedůležité je voda chlazená v chladicích věžích. Nedůležitá je z toho důvodu, že její čerpadla nejsou připojena k síti zajištěného napájení. Teplota této vody se pohybuje v širokém rozmezí +10 až +45 °C.

Vzduchotechnické výměníky se k tomuto systému připojují v případech, kdy do výměníku bloku vstupuje vzduch s teplotou +80 až +110 °C. Teplota vzduchu na výstupu z výměníku je v rozmezí +40 až +60 °C a je požadavek na chlazení tímto systémem pouze v normálním provozu bloku.

Technická voda důležitá (TVD)

Zdrojem technické vody důležité jsou bazény s rozstříkem chladicí vody. Je to způsob chlazení tak, že jsou zřízeny tři otevřené venkovní bazény. Ze dna bazénu jsou vztyčena potrubí, která mají ve vrchní části trysky pro rozstřík vody. Rozstříknutá voda se při pádu zpět do bazénu ochladí. Také bývají používány ventilátorové „mikrověže“. Všechna zařízení této sítě jsou připojena na systém zajištěného napájení elektrickou energií. Síť TVD má tři na sobě nezávislé systémy/okruhy (1, 2, 3). Teplota této vody se pohybuje v rozmezí +12 až +33 °C v závislosti na teplotě vzduchu.

Vzduchotechnické výměníky se k tomuto systému připojují v případech, kdy do výměníku vstupuje vzduch o teplotách +40 až +60 °C a vystupuje s teplotami +28 až +35 °C a požaduje se zajištěné chlazení vzduchu i v havarijním režimu bloku.

Chlazená voda (CHV)

Zdrojem chlazené vody je centrální stanice chlazené vody pro celou JE. V chladicí stanici jsou instalovány absorpční chladicí jednotky nebo turbokompresorové chladicí jednotky. Teplota vody na výstupu ze stanice chladu je 6 až 7 °C.

Systém této vody je rozveden po celém areálu JE jednotnou rozvodnou sítí, která zásobuje chlazenou vodou technologické i stavební objekty areálu. Na tuto síť jsou připojeny především přírodní větrací a klimatizační jednotky všech vzduchotechnických systémů v areálu jaderné elektrárny. CHV se také používá u některých VZT systémů jako sekundární chladicí médium. Jsou to vzduchotechnické systémy, které mají sériově řazeny chladiče vzduchu. V první chladicí sekci (ve směru proudění chlazeného vzduchu) je chladicí látkou technická voda důležitá (TVD) a ve druhé chladicí sekci je chladicím médiem chlazená voda. V případě, že chladič, který je připojen na vodu TVD, nedokáže ochladit vzduch na předepsanou teplotu, otevře se automaticky ventil na vstupu do druhé sekce (chladiče), který je připojen k síti CHV, a tato druhá sekce ochladí/dochladí vzduch na požadovanou teplotu.

Instalovaný chladicí výkon těchto zdrojů je v českých a slovenských JE od 16 do 18 MW.

Kontakt na autora: RKVZT@seznam.cz

Použité zdroje:

- [1] NTD A.S.I. *Vzduchotechnické systémy jaderných elektráren a jaderných zařízení. Sekce VI. Asociace strojních inženýrů*, 2013.
- [2] Safety Standard Series No.NS-G-1.6."Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants". IAEA, Viena, November 2003.
- [3] Vyhláška č. 132/2008 Sb., o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd.
- [4] Vyhláška č. 195/1999 Sb., o požadavcích na jaderná zařízení k zajištění jaderné bezpečnosti, radiační ochrany a havarijní připravenosti. ■