

Vzduchotechnika v jaderných elektrárnách (4. část)

Ventilation Systems in Nuclear Power Plants (4th part)

Recenzent
prof. Ing. František Drkal, CSc.

Článek je pokračováním částí 1, 2 a 3, uveřejněných v předchozích číslech tohoto časopisu. Ve čtvrté části je pojednáno o typických vzduchotechnických zařízeních a prvcích používaných v jaderných elektrárnách, včetně několika ukázek jejich uplatnění v jaderné elektrárně.

Klíčová slova: jaderná elektrárna, bezpečnost, vzduchotechnické systémy, vzduchotechnická zařízení, vzduchotechnické prvky

The paper is a continuation of parts 1, 2 and 3, published in the previous volumes of the journal. The fourth part deals with the common HVAC equipment and elements that are used in nuclear power plants, including several examples of their use in a nuclear power plant.

Keywords: nuclear power plant, safety, ventilation systems, HVAC equipment, HVAC elements

ZAŘÍZENÍ VZDUCHOTECHNIKY POUŽÍVANÁ V JADERNÝCH ELEKTRÁRNÁCH

Zařízení, používaná ve vzduchotechnických systémech JE, jsou vystavena náročným provozním podmínkám, jsou zatěžována trvalým provozem a náročným prostředím. Provoz zařízení je 24 hodin denně bez přerušení, 120 až 205 dnů v roce v závislosti na počtu rezervních zařízení jednotlivých vzduchotechnických systémů. U některých strojů a zařízení se vyžaduje provoz 8 000 až 10 000 hodin bez revize a údržby. Kromě požadavku na velký počet pracovních hodin působí na zařízení (stroje) další vlivy. V první řadě je to teplota dopravované látky a poměrně vysoká teplota okolního prostředí. U některých zařízení je požadavek, aby pracovala při havarijních podmínkách prostředí. Tj. až do teploty +120 °C a při vzniku parovzdušné směsi. Zařízení jsou vystavena působení radiace od technologického zařízení. Dalším požadavkem je schopnost pracovat při působení seismické události, nebo při jejím působení prokázat jiné schopnosti – udržet těsnost, zajistit stabilitu polohy. Zařízení mají předepsanou povrchovou ochranu, nebo přímo nerezové provedení. Povrchová ochrana musí odolávat dekontaminačním roztokům. Pro systémy, zařízení a stroje je předepsáno jejich barevné řešení z důvodu rychlé orientace. Nemałym požadavkem je u vybraných strojů a zařízení požadavek na životnost hlavních částí 40 až 50 let.

V důsledku těchto požadavků je nutno, aby vzduchotechnická zařízení byla pro provoz v jaderném zařízení upravena, včetně materiálů tak, aby byla schopna dané požadavky splnit. Pro všechny výrobky používané v jaderných zařízeních jsou proto zpracovány speciální technické podmínky a systém kontroly kvality, které zaručí, že budou splněny požadavky na jednotlivá zařízení, stroje a elementy. Před návrhem použít v projektu konkrétní stroje, zařízení, elementy a další prvky je nutno posoudit technické podmínky, zda pro navrhované použití vyhovují. Tyto podmínky je nutno odsouhlasit investorem, hlavním projektantem (stanovil koncepci řešení vzduchotechniky), dodavatelem a výrobcem strojů a zařízení. Tyto podmínky potvrzují, že výrobek splňuje požadovanou funkci, kvalitu, životnost, povrchovou ochranu a další na něj kladené požadavky. Podle těchto technických podmínek se postupuje v případě poruch a reklamací.

Vzduchotechnické jednotky pro přívod vzduchu

V jaderných elektrárnách tyto jednotky (obr. 1 [7]) slouží pro přívod vzduchu větracími a klimatizačními systémy do větraných a klimatizovaných prostor. Jednotky se umísťují do strojoven, které jsou mimo kon-

trolované pásmo MKP. Z toho důvodu nejsou vystaveny působení radiace od jaderných zařízení. Jednotky musí splňovat především požadavek na trvalý provoz s minimem poruch. Životnost je minimálně 40 let a funkční spolehlivost, tj. nepřetržitý chod bez údržby, je minimálně 10 000 hodin. Ve většině případů je požadována seismická odolnost v podkategorii 1b, výjimečně v podkategorii 1a. Jednotky jsou zařazeny mezi vybraná zařízení v bezpečnostních třídách BT III a BT IV.

Vzduchové výkony jsou od 1 100 m³/h, přes 30 000, 60 000, 80 000 až do 120 000 m³/h, při dopravním tlaku $\Delta p_c = 1\,100\text{ Pa}$ až $2\,400\text{ Pa}$.

Radiální ventilátory pro odvod vzduchu

Pro odvod vzduchu z kontrolovaného pásma se v jaderných elektrárnách používají většinou středotlaké a vysokotlaké ventilátory. Jsou to radiální ventilátory jednostranně sací, v provedení na spojku a napřímo (obr. 2 [5]). V nejnovějších nabídkách pro nové jaderné zdroje se však již nabízejí i axiální ventilátory, které splňují stejné požadavky jako ventilátory radiální. Ventilátory s vysokými dopravními tlaky se používají, protože potrubní sítě systémů jsou složité, v KTM/HP jsou sítě například složité zabudovány v železobetonových konstrukcích, rychlost proudění vzduchu je vyšší než 10 m/s a často jsou do potrubních sítí zařazeny filtry pro filtraci RA aerosolů a izotopů jodu, včetně jeho sloučenin. Ventilátory s řemenovým převodem se nepoužívají vzhledem ke všem požadavkům, které jsou na ventilátory kladeny.

Ventilátory mohou dopravovat vzdušinu o teplotě až +60 °C, při relativní vlhkosti 100 %, teplotě okolí +60 °C a při nehodě až +150 °C. Odolávají



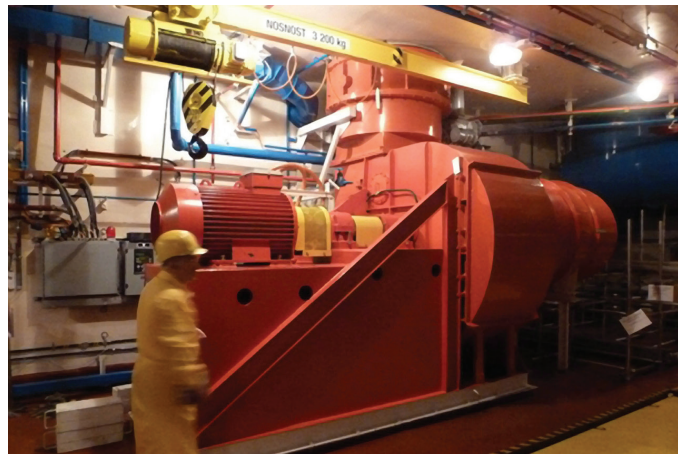
Obr. 1 Vzduchotechnická jednotka pro přívod vzduchu

Fig. 1 HVAC unit for air supply

parovzdušné směsi a mohou pracovat v prostředí pod vlivem radiace. Při požadavku práce ve zvýšených podmínkách mohou plnit svoji funkci až 30 dnů. Splňují požadavky, které jsou kladeny na zařízení se seismickou odolností v podkategorii 1b. Vyhovují požadavkům, které jsou kladeny na zařízení zařazená mezi vybraná zařízení v bezpečnostních třídách BT III a BT IV. Používají se i v systémech souvisejících s jadernou bezpečností SSB.

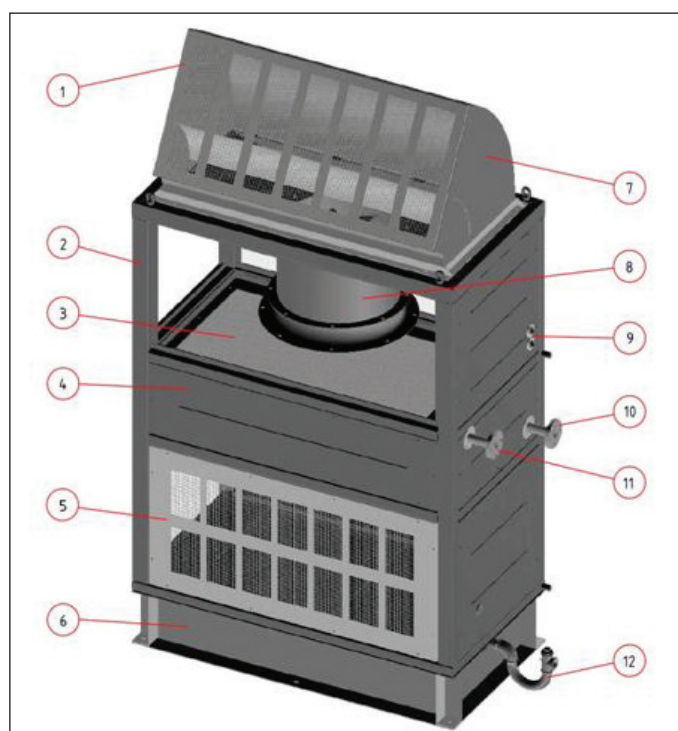
Cirkulační chladicí jednotky

Cirkulační chladicí (obr. 3 [9]) jednotky se instalují především přímo do chlazených prostorů spolu s technologickým zařízením. V případech



Obr. 2 Instalovaný radiální ventilátor (S07)

Fig. 2 Installed radial fan (S07)



Obr. 3 Cirkulační chladicí jednotka s vodním chladičem (TVD nebo TVN): 1 – výstupní mřížka, 2 – skříň, 3 – chladič, 4 – opláštění, 5 – sací mřížka, 6 – základový rám, 7 – usměrňovač proudů vzduchu, 8 – axiální ventilátor s elektromotorem, 9 – nerezové nátrubky pro vývody, 10 – příruba odvodu chladicího média, 11 – příruba přívodu chladicího média, 12 – odvod kondenzátu

Fig. 3 Circulation cooling unit with water cooler (TVD or TVN): 1 – outlet grille, 2 – encasement, 3 – cooler, 4 – casing, 5 – air intake grille, 6 – base frame, 7 – air baffle, 8 – axial fan with an electric motor, 9 – stainless steel couplings for bushing, 10 – flange for refrigerant outlet, 11 – flange for refrigerant inlet, 12 – condensate drainage

chlazení prostorů s elektrotechnickým zařízením a zařízením automatického systému řízení technologických procesů ASŘTP, se tyto jednotky umísťují mimo chlazenou místnost. S chlazenými místnostmi jsou propojeny potrubím.

Cirkulační chladicí jednotky obsahují filtrační část, chladicí část a ventilátorovou část. Jsou-li umístěny přímo v prostoru, mají nasávací a výfukovou komoru s koncovým elementem, jsou-li mimo chlazený prostor, je na komory připojeno rozvodné potrubí.

Filtrační část obsahuje vložkový filtr třídy minimálně F7 anebo filtr vyšší třídy, podle požadavku na čistotu provozu.

Chladicí část je řešena třemi možnými koncepcemi. První je, že jednotka obsahuje vodní chladič. Do chladiče je převedena buď TVN, nebo TVD nebo CHV. Která voda je použita, záleží na technologii, kterou chladí, a v jakém prostoru je jednotka umístěna. Je-li umístěna v KTM/HP, může být použita pouze TVN nebo TVD. Druhou koncepcí je použití přímého výparníku a s vodou chlazeným kondenzátorem. Chladicí vodou je TVD nebo TVN v závislosti na technologii, kterou chladí. Toto řešení se používá pro chlazení prostorů jak v KTM/HP, tak mimo něj. Třetí technologií je použití přímého výparníku a se vzduchem chlazeným kondenzátorem. Toto řešení se používá především pro chlazení prostorů, které obsahují elektrické zařízení a zařízení ASŘTP (jsou to zařízení umístěná mimo KTM/HP a i mimo kontrolované pásmo), které musí být funkční v havarijních režimech včetně maximální projektové nehody a těžké havárie.

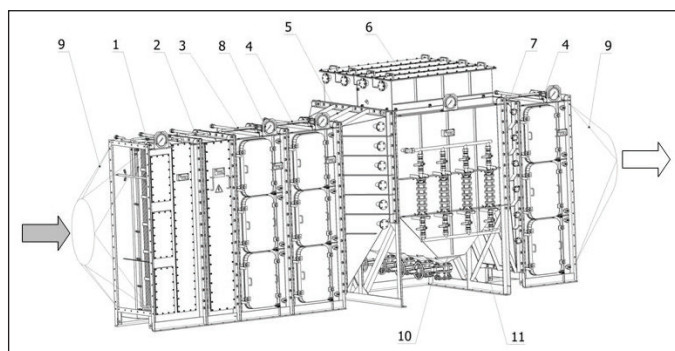
Ventilátorová část je osazena axiálním nebo oboustranně sacím radiálním ventilátorem s tlakovým výkonem v závislosti na tom, zda je nebo není připojena k jednotce potrubní sítí.

Vzduchové výkony jsou od 2 000 do 10 000 m³/h. Chladicí výkony jsou od 8 kW do 65 kW. Jednotky mohou být zařazeny do seismické podkategorie 1a nebo 1b, mezi vybraná zařízení v bezpečnostní třídě BT III a jsou to systémy nebo součásti systémů souvisejících s jadernou bezpečností SSB.

Filtry radioaktivních aerosolů a izotopů jodu

Toto filtrační zařízení je nejdůležitějším vzduchotechnickým zařízením z hlediska ochrany okolí jaderné elektrárny a životního prostředí.

Vzduchotechnické systémy, které větrají prostory s výskytem anebo i možným výskytem radioaktivních aerosolů a v některých případech



Obr. 4 Filtrační stanice radioaktivních aerosolů (kompletní sestava): 1 – odmlžovací filtr VSO, 2 – elektrický ohříváč VSE, 3 – aerosolový předfiltr VSP, 4 – aerosolový filtr VSA, 5 – spojovací díl VSS 1, 6 – jodový filtr VSJ, 7 – spojovací díl VSS 2, 8 – diferenční manometr, 9 – napojovací díl VSN, 10 – šoupátko, 11 – měřicí zařízení

Fig. 4 Filter station of radioactive aerosols (complete set): 1 – demisting filter VSO, 2 – electric heater VSE, 3 – aerosol pre-filter VSP, 4 – aerosol filter VSA, 5 – connecting part VSS 1, 6 – iodine filter VSJ, 7 – connecting part VSS 2, 8 – differential pressure gauge, 9 – connecting part VSN, 10 – valve, 11 – measuring device

i izotopů jodu, mají v odvodním potrubním systému zařazeny vhodnou sestavu filtrů (obr. 4 [5]). Instalované filtrační zařízení je sestavováno podle požadavku radiační ochrany na vypouštění větracího vzduchu do venkovního ovzduší. Většina filtrů pro kontrolované pásmo je vybavena sestavou aerosolových filtrů. Kompletní sestava filtrační stanice, tj. včetně filtru jodu, je instalována především v systémech pro KTM/HP, a je-li jím budova reaktoru vybavena, tak i v systému větrání sekundárního KTM. V některých systémech je filtrační stanice vybavena obtokem se vzduchotěsným uzávěrem pro větrání bez filtrace. Odvod vzduchu z kontrolovaného pásma obtokem filtrů se používá v případě, že radiační služba povolí vypouštění větracího vzduchu do ovzduší bez filtrace. Filtrační zařízení pro použití v aktivních provozech vyrábí několik málo výrobců. Filtrační zařízení pro instalaci v jaderných elektrárnách vyrábí ještě méně výrobců. Pro dodávky do jaderných elektráren tento stav způsobuje především požadavek na seismickou odolnost filtračního zařízení a požadavek na provozuschopnost filtru při parametrech filtrovaného média a okolního prostředí s teplotou +127 °C až +150 °C a parovzdušné směsi.

Filtrační zařízení je většinou konstruováno ve stavebnicovém provedení. Toto řešení umožňuje kombinovat sestavu filtrů podle požadavků provozu. Kompletní filtrační stanice obsahuje odmlžovací filtr pro zachycení vodní mlhy a kapek, aerosolový předfiltr pro hrubou filtraci aerosolů, aerosolový vysoce účinný filtr, elektrický ohříváč pro snížení relativní vlhkosti před vstupem vzdušiny do filtru jodu, jodový filtr pro zachycení radioaktivního jodu a jeho sloučenin a aerosolový vysoce účinný filtr. Aerosolové filtry jsou vložkové. Filtry jodu se vyrábí ve dvojitěm provedení. Jsou vložkové anebo sypané. Dalšími částmi jsou přípojovací díly. Filtrační zařízení je opatřeno nátrubky pro připojení potřebných kontrolních a měřicích přístrojů a nátrubky pro přívod a odvod dekontaminačních roztoků.

Znázorněná filtrační stanice (obr. 4 [5]) se vyrábí v rozměrové řadě 1 700, 3 400, 6 800, 8 500 a 10 200 m³/h. Celková odlučivost filtračního zařízení pro jmenovitý průtok je minimálně 99,95 % pro ra-

dioaktivní aerosoly a minimálně 99,99 % pro plynné sloučeniny radioaktivního jodu. Počáteční tlaková ztráta při plné sestavě a jmenovitém průtoku vzduchu je 2 000 Pa. Přípustná netěsnost filtračního zařízení při provozu, při tlakovém rozdílu 2 000 Pa, nepřesáhne hodnotu 0,003 jmenovitého průtočného množství. Konstrukční podtlak je 10 kPa. Filtrační stanice dlouhodobě odolává teplotě +100 °C při relativní vlhkosti 100 % a krátkodobě, minimálně 10 hodin, parovzdušné směsi do teploty +150 °C. Filtrační zařízení má životnost 40 let. Filtrační vložky a sorbent se vyměňují v závislosti na tlakové ztrátě nebo na hodnotě zachycené aktivity nebo snížení účinnosti filtru, například jodu, pod hodnotu 90 %. Zařízení je konstrukčně řešeno tak, že splňuje požadavky na zařízení v podskupině seismické odolnosti 1b. Je možno je zařadit mezi vybraná zařízení v bezpečnostní třídě BT III. Takovéto filtrační stanice se používají ve vzduchotechnických systémech souvisejících s jadernou bezpečností SSB.

Rekombinátory vodíku

Systém S11 se skládá z jednotek rozmístěných v KTM/HP. K likvidaci vodíku se využívají tři druhy zařízení. Základním zařízením je rekombinátor vodíku. K němu se instaluje zapalovač vodíku, jak je uvedeno v popise systému S11. Současná tendence je využívat třetí druh zařízení, a to rekombinátor, který v sobě slučuje obě funkce.

Proto byl vyvinut pasivní autokatalytický rekombinátor (obr. 5 [6]). Systém redukce vodíku (instalovaná skupina rekombinátorů) je schopný výrazně omezit nárůst vodíku hlavně při těžkých haváriích.

Rekombinátor se skládá z kovové nerezové skříně konstruované tak, aby se uskutečnilo přirozené proudění média skříní ze spodní části do výstupu v její horní části. Výstup média je v čelní a boční ploše skříně. Vrchní část je zakryta proto, že chrání rekombinátor před vodou ze sprchovacího systému, který sprchováním parovzdušné směsi snižuje tlak v KTM/HP. Ve spodní části jsou umístěny destičky s katalyticky aktivním povrchem. Destičky jsou uloženy ve svislé poloze. Směs plynů (média), která obsahuje vodík, je rekombinovaná při kontaktu s katalyzátorem v dolní části skříně. Teplo z této reakce v dolní části rekombinátoru způsobuje snížení hustoty plynu v této oblasti, čímž vzniká vztlak, který přivádí do katalyzátoru plyny s obsahem vodíku a současně zabezpečuje vysokou účinnost rekombinace. Pasivní rekombinátory jsou s dvojitou funkcí. Slouží pro rekombinaci (katalýzu H₂) na katalytických destičkách a k zapálení vodíku. První funkci rekombinátoru je rekombinace H₂ od 2 % obj. na vodní páru. Druhou funkcí je zapalování vodíku při koncentraci H₂ nad 7 % obj., přičemž není ohrožena integrita a hermetičnost KTM/HP. Životnost rekombinátoru se předpokládá v souladu s životností JE (pokud neproběhne nehoda). Zařízení splňují požadavky na jejich odolnost při seismické události v podskupině 1a. Z hlediska kvality splňují požadavky bezpečnostní třídy BT III. Systém (S11), který skupina rekombinátorů tvoří, je systémem souvisejícím s jadernou bezpečností SSB.

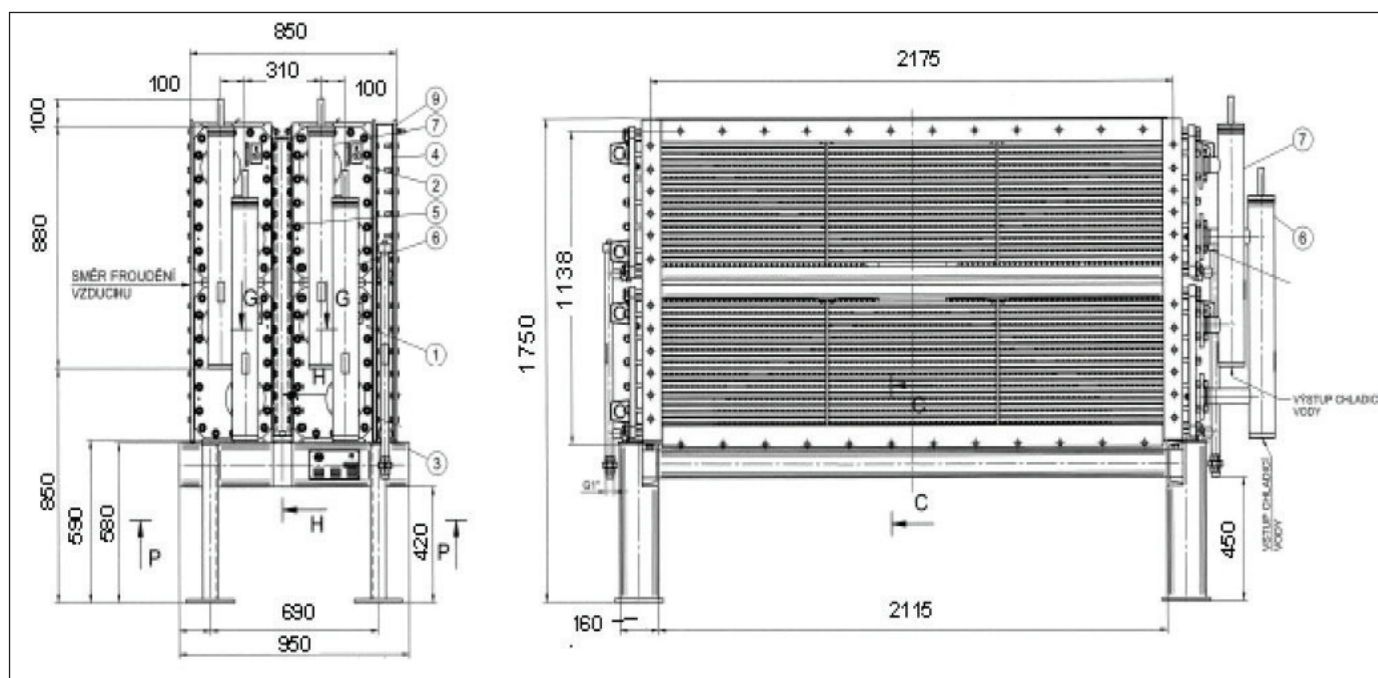
Chladiče vzduchu

Jsou to chladiče, které se používají především v cirkulačních chladicích systémech, jež jsou umístěny v KTM/HP (obr. 6 [7]), např. v systémech S03, S05 a S12 (obr. 2 ve 2. části článku; viz str. 226 [2]). Chladivem jsou všechny tři druhy vod (CHV, TVD, TVN). Základem chladiče je jeden chladicí modul. Chladicí modul (v našich JE) má čelní průřez pro průtok vzduchu 2 300 x 500 mm a hloubku modulu 430 mm. Moduly se sestavují nad sebe pro jeden druh chladicí vody. Při použití dvou druhů vod se moduly sestavují za sebou. Jeden modul má chladicí výkon 88 kW při teplotě chladicí vody CHV 9/13 °C a 12 kW při teplotě technické vody důležité TVD 33/33,4 °C a při průtoku vody 4 kg/s. Sestavením šesti modulů nad sebou a tří za sebou se získá například chladicí výkon 830 kW o uvedených hodnotách teplot a průtoků. Do prvních dvou sekcí se přivádí TVD (TVN) a do třetí sekce CHV o výše uvedených teplotách.



Obr. 5 Pasivní rekombinátor s dvojitou funkcí – na obrázku je vysunuta dolní aktivní část rekombinátoru

Fig. 5 Passive recombiner with dual function – in the picture the lower, active part of the recombiner



Obr. 6 Chladič vzduchu pro chladič systémy v KTM/HP (1 sekce pro TVD, druhá pro CHV): 1, 2 – chladič CVZA 20, 3 – konstrukce, 4 – eliminátor, 5 – rám, 6, 7 – rozváděč, 9 – příruba

Fig. 6 Air cooler for cooling systems in KTM/HP (1 section for TVD, second for CHV): 1, 2 – cooler CVZA 20, 3 – construction, 4 – eliminator, 5 – frame, 6, 7 – distributor, 9 – flange

tách. Takovýmto sestavováním se získávají potřebné chladič výkony. Za poslední sekci se umísťuje eliminátor zkondenzované vody. Životnost chladičů, při splnění předepsaného chemického složení chladičích vod, je 40 let. Sestava jako celek splňuje požadavky na odolnost při seismické události v podskupině 1a. Z hlediska kvality splňují požadavky bezpečnostní třídy BT III.

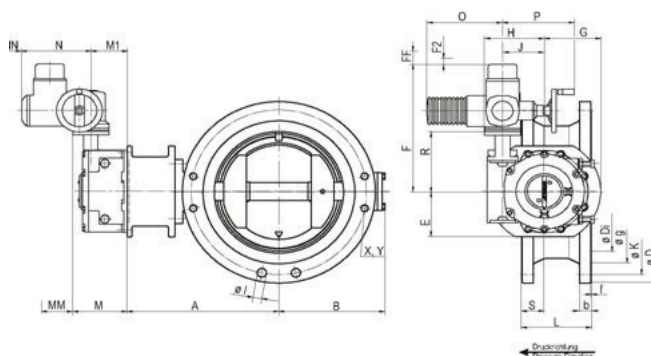
Rychločinné uzávěry KTM/HP

Tyto hermetické uzávěry KTM/HP (obr. 7 [10]) se instalují na průchozech vzduchotechnického potrubí DN200 přes stavební konstrukci z KTM/HP do sekundárního KTM, nebo obestavby anebo vzduchotěsné zóny (systém S01 na obr. 1 a obr. 2 ve 2. části článku; viz str. 225 a 226 [2]). Toto potrubí je při provozu reaktoru trvale otevřeno a v případě nehody je nutno je v krátkém čase (cca 3 sekundy) uzavřít, aby havarijní prostředí z KTM/HP neproniklo mimo ně. Jeden uzávěr je instalován uvnitř KTM/HP a dva za sebou vně. Vytvářejí tak hermetizační skupinu, která uzavírá KTM/HP. Každý uzávěr je napájen z jiného systému zajištěného elektrického napájení. Tím je zajištěno, že minimálně jeden ze tří uzávěrů se uzavře. Životnost uzávěru je 40 let. Uzávěr je konstruován pro

PN10, pracovní podtlak max. 0,1 MPa, tlak max. 0,35 MPa při teplotě +300 °C. Kategorie seismické odolnosti je 1a, uzávěr je vybraným zařízením v bezpečnostní třídě BT II.

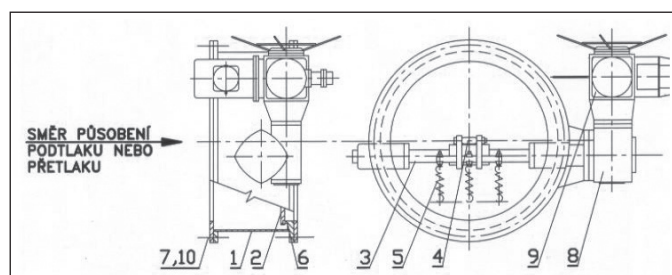
Automatické vzduchotěsné uzávěry potrubí

Vzduchotechnické systémy v jaderné elektrárně vyžadují rychlé uzavření jednoho potrubí a rychlé otevření jiného potrubí. Při tom se požaduje těsnost uzavřeného potrubí, aby nedocházelo k ovlivňování spolupracujících strojů. Na základě těchto požadavků byly pro jaderná zařízení vyvinuty automatické vzduchotěsné uzávěry potrubí (obr. 8 [5]). Používají se v přívodních i odvodních systémech. Uzavírají se jimi potrubí na sání a výtlačku přívodních jednotek a odvodních ventilátorů v jednotlivých systémech. Používají se pro uzavření vstupu a výstupu filtračních stanic a v dalších případech. Uzávěry je možno použít v prostorech s výskytem radioaktivity. Z hlediska odolnosti proti působení teploty se vyrábějí pro tři teplotní rozsahy. Teplota prostředí je +5 až +40 °C, +5 až +70 °C a +150 °C, kdy však uzávěr nepracuje, ale je schopen plnit svoji funkci po odeznění této teploty. Uzávěry se vyrábějí v rozměrové řadě od průměru 200 do 1 500 mm. Objemový průtok je od 1 000 m³/h do 75 000 m³/h.



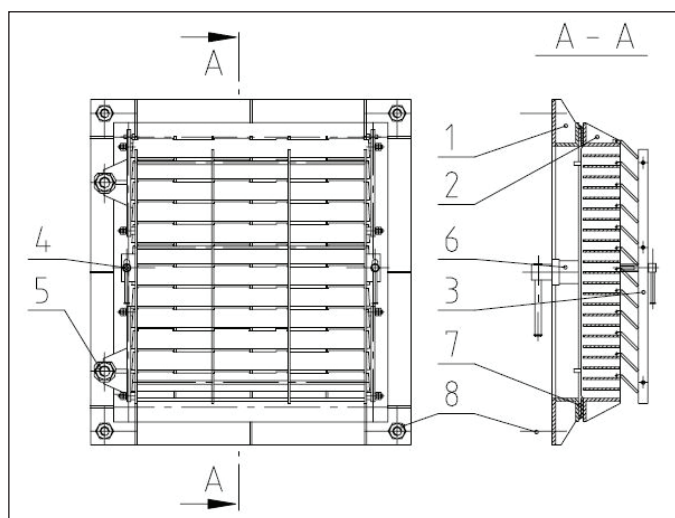
Obr. 7 Rychločinný uzávěr KTM/HP

Fig. 7 No-delay closing valve KTM/HP



Obr. 8 Automatický uzávěr potrubí: 1 – těleso uzávěru, 2 – list uzávěru, 3 – hřídel, 4 – pákový mechanismus, 5 – pružina, 6 – těsnění uzávěru, 7 – protipříruba, 8 – převodová skříň, 9 – servomotor, 10 – těsnění

Fig. 8 Automatic pipeline closing valve: 1 – valve body, 2 – valve blade, 3 – shaft, 4 – lever mechanism, 5 – spring, 6 – valve sealing, 7 – mating flange, 8 – gearbox, 9 – servomotor, 10 – sealing



Obr. 9 Protitlakový uzávěr: 1 – rám, 2 – těleso uzávěru, 3 – opěrný rám, 4 – seřizovací mechanismus, 5 – otočný čep, 6 – uzavírací mechanismus, 7 – těsnění, 8 – kotvicí šroub

Fig. 9 Back-pressure closing valve: 1 – frame, 2 – valve body, 3 – supporting frame, 4 – adjusting mechanism, 5 – pivot, 6 – closing mechanism, 7 – seal, 8 – anchoring bolt

Doba uzavírání a otevírání uzávěru je 12, 15 a 16 sekund, v závislosti na průměru uzávěru. Maximální provozní přetlak/podtlak je 6 000 Pa. Životnost uzávěrů je garantována po celou dobu provozu (životnosti) jaderné elektrárny. Uzávěry jsou konstrukčně řešeny tak, že splňují požadavky na zařízení zařazená v podskupině seismické odolnosti 1b. Je možno je zařadit mezi vybraná zařízení v bezpečnostní třídě BT III.

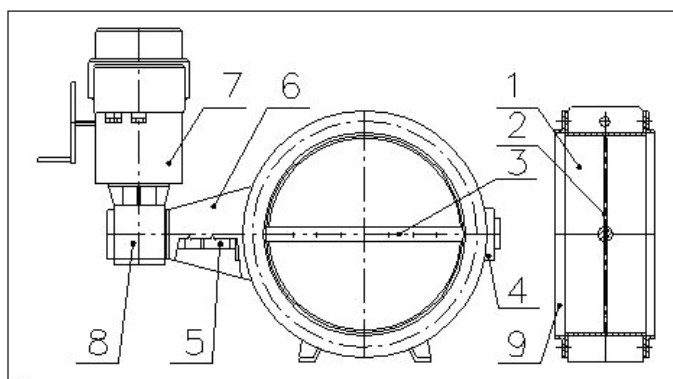
Protitlakové uzávěry

Vzduchotechnické systémy spojují větrané prostory jaderné elektrárny s venkovním prostředím. Přes sání a výfuk vzduchotechniky mohou proniknout působením tlakové vlny z okolí do prostorů JE látky, které ohrožují provoz technologie a pobyt personálu. Tlaková vlna může i destrukovat vzduchotechnické potrubí a zařízení. Pro ochranu provozu JE, včetně jejího personálu, jsou vstupy a výstupy vzduchu do a z venkovního prostředí osazeny zařízeními, které zabrání proniknutí tlakové vlny do objektu JE. Tímto zařízením jsou protitlakové uzávěry (obr. 9 [5]).

Protitlakové uzávěry jsou určeny jako ochrana před účinky vnější tlakové vlny s přetlakem do 1,0 MPa. Mohou být použity jen ve svislé poloze, výjimečně v poloze vodorovné. Funkce uzávěru spočívá v tom, že při působení vnější tlakové vlny dojde k pootočení listů do zavřené polohy, k jejich vzájemnému dosednutí na rošt tělesa uzávěru a tím k zamezení dalšího pronikání vnějšího tlaku do chráněných prostorů. Po snížení účinku tlakové vlny se listy uzávěru působením soustavy pružin přestaví do otevřené polohy a uzávěry jsou připraveny k další protitlakové aktivní ochraně. Průtok vzduchu uzávěry je od 300 m³/h do 72 000 m³/h, při teplotě -30 °C až +65 °C, při relativní vlhkosti až 100 %. Životnost uzávěrů je garantována po celou dobu provozu (životnosti) jaderné elektrárny. Zařízení je konstrukčně řešeno tak, že splňuje požadavky na zařízení v podskupině seismické odolnosti 1b. Je možno je zařadit mezi vybraná zařízení v bezpečnostní třídě BT III.

Přesné regulační klapky do potrubí

Pro dodržování průtoku vzduchu některými vzduchotechnickými systémy se používají v potrubních trasách regulační klapky. Regulace průtoku vzduchu se provádí převážně v systémech, které mají v potrubní síti zařazeny filtrační stanice. Regulační klapka vybavená servopohonem (obr. 10 [5]) řídí průtok vzduchu v závislosti na změně tlakové ztráty filtrů. Klapky jsou určeny pro místní i dálkovou regulaci



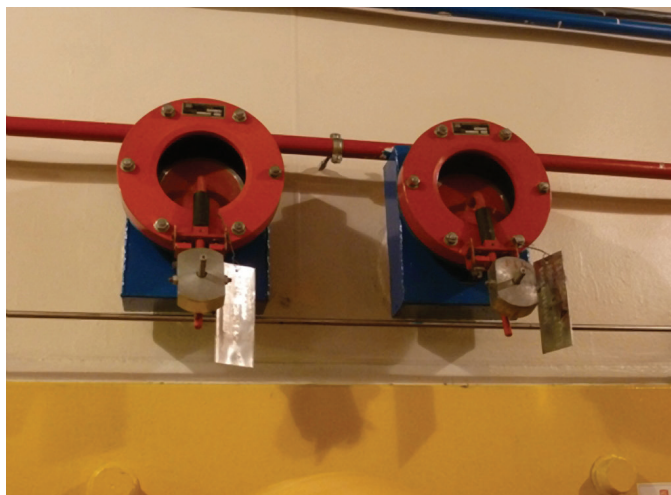
Obr. 10 Přesná regulační klapka do potrubí: 1 – těleso klapky, 2 – list klapky, 3 – hřídel, 4 – uložení, 5 – spojka, 6 – konzola, 7 – servomotor, 8 – převodová šneková skříň, 9 – protipříruba

Fig. 10 Precise control valve into the pipeline: 1 – valve body, 2 – valve blade, 3 – shaft, 4 – bearing, 5 – connection, 6 – bracket, 7 – servomotor 8 – worm gear housing, 9 – mating flange

průtoku vzdušiny. Regulují od 10 % do 100 % z celkového průtočného množství. Vyrábí se v rozměrové řadě od průměru 100 do 1 000 mm. Klapky se používají pro maximální přetlak 6 000 Pa a teplotu vzdušiny do +70 °C, přechodně do teploty +100 °C při relativní vlhkosti až 100 %. Teplota okolí klapky je do +60 °C. Životnost uzávěrů je garantována po celou dobu provozu (životnosti) jaderné elektrárny. Zařízení je konstrukčně řešeno tak, že splňuje požadavky na zařízení v podskupině seismické odolnosti 1b. Je možno je zařadit mezi vybraná zařízení v bezpečnostní třídě BT III.

Přetlakové klapky

Základním pravidlem vzduchotechniky v jaderných zařízeních obecně je zajistit usměrněné proudění vzduchu ve směru zvětšující se aktivity tak, aby vzduch mohl proudit pouze z prostorů „čistých“ do prostorů s výskytem aktivity a nikoliv naopak. Nejdůležitějším prvkem, který tuto funkci plní, je přetlaková klapka (obr. 11 [5]). Klapky se instalují do stěn mezi „čistý“ a aktivní prostor. Nastavením přetlaku přiváděného vzduchu se udržuje v aktivním prostoru podtlak 30 až 100 Pa při teplotě až +60 °C. Rozměrová řada klapky je od průměru 160 do 500 mm. Klapky se používají pro maximální přetlak 6 000 Pa. Při působení zpětného tlaku z odsávaného/větraného prostoru se připouští maximální absolutní tlak do 0,5 MPa. Klapky vyhovují seismické odolnosti v podskupině 1b. Je možno je zařadit mezi vybraná zařízení v bezpečnostní třídě BT III.



Obr. 11 Přetlakové klapky

Fig. 11 Overpressure valves

Požární klapy

Na základě zkušeností z provozu prvních jaderných elektráren, kdy se vyskytly požáry, se začala řešit problematika zamezení šíření požáru a zplodin hoření tak, že se prostory v JE začaly dělit na větší počet menších požárních úseků. Protože vzduchotechnické systémy mají poměrně rozsáhlý potrubní rozvod, vzniká požadavek na instalaci velkého počtu požárních klapek (obr. 12 [8]). Požární klapy se instalují v kontrolovaném pásmu, mimo kontrolované pásmo, ale i v KTM/HP. Požární klapy mají životnost 40 let. Vyhovují podmínkám pro zařazení do podskupiny seismické odolnosti 1a. Je možno je zařadit mezi vybraná zařízení v bezpečnostní třídě BT III a BT IV.



Obr. 12 Požární klapka
Fig. 12 Fire damper

Potrubí

V jaderné elektrárně jsou instalovány velmi rozsáhlé potrubní rozvody (obr. 13 [5]). Potrubí je ve dvojitě provedení. Používá se potrubí pro klimatizaci a větrání jaderných elektráren v prostorech mimo kontrolované pásmo (MKP – volné pásmo) a potrubí pro kontrolované pásmo KP. V prostorech MKP se používá čtyřhranné potrubí pro přívod i odvod vzduchu. V prostorech KP se používá pro přívod vzduchu potrubí čtyřhranné a pro odvod potrubí kruhové. Je to dáno tím, že přívodní potrubí je vedeno volně prostory a stavebními konstrukcemi pouze prochází. Odvodní potrubí je vedeno prostory s aktivitou a je často vedeno (zabudováno) do železobetonových konstrukcí a obsahuje vzduch s radioaktivními aerosoly.

Potrubí pro MKP je z ocelového pozinkovaného plechu. Pro vybrané systémy je podélně letované. Potrubí je spojováno úhelníkovými příru-

bami. Tloušťka stěny potrubí je 1,5 mm. Životnost potrubí je po celou dobu životnosti jaderné elektrárny. Dopravuje vzduch do teploty +80 °C o maximální rychlosti 12 m/s. Dovoleno rozdílu statického tlaku proti okolní atmosféře je od -630 Pa do +1 000 Pa.

Potrubí pro KP je z ocelového plechu z uhlíkové oceli opatřené speciálními nátěry, které zajišťují možnost dekontaminace. Velká část potrubí je z ocelového nerezového plechu. Potrubí je podélně i příčně svařované. Komponenty a zařízení jsou k potrubí připojeny navařovanými přírubami se šrouby. Jednotlivé díly potrubí jsou spojeny k sobě svařenými přírubami. Tloušťka stěny potrubí je 2 a 3 mm. Potrubí je možno použít pro rozdílu statického tlaku $\pm 6\,500$ Pa od atmosférického tlaku a pro teploty do +100 °C. Po omezenou dobu (maximálně 10 hodin) je lze použít i pro teplotu +150 °C. Životnost potrubí je po celou dobu životnosti jaderné elektrárny. Potrubí je seismicky odolné v podskupině 1b. Potrubí je vybraným zařízením v bezpečnostní třídě BT III.

Poznámka autora na závěr

Od sepsání úvodu k 1. části článku, kde se zabývám historií a aktuálním stavem jaderné energetiky v ČR, uběhla poměrně krátká doba. Přesto považuji za vhodné připomenout, že situace v jaderné energetice v současnosti není dobrá. Zastavení výstavby jaderných elektráren způsobilo, že v současnosti chybí v České republice inženýrské kádry, které jsou schopny kvalitně pracovat v přípravné a projektové fázi výstavby jaderných elektráren. Jsem toho názoru, že Česká republika může plnit požadavky pařížské konference o klimatu především výstavbou jaderných elektráren. Strojírenský průmysl v České republice je zatím schopen zajistit požadované dodávky pro jadernou energetiku, včetně vzduchotechniky.

Kontakt na autora: RKVZT@seznam.cz

Poznámka: V textu článku se používá řada zkratk a výrazů, které byly vysvětleny v předchozích částech. Při četbě tohoto článku i pro pochopení souvislostí je proto účelné nahlédnout do textu částí 1 [1], 2 [2] a 3 [3].

Použité zdroje:

- [1] KAHLE, R. Vzduchotechnika v jaderných elektrárnách (1. část). *Vytápění, větrání, Instalace*. 2015, roč. 24, č. 3, s. 129–133. ISSN 1210-1389.
- [2] KAHLE, R. Vzduchotechnika v jaderných elektrárnách (2. část). *Vytápění, větrání, Instalace*. 2015, roč. 24, č. 5, s. 224–229. ISSN 1210-1389.
- [3] KAHLE, R. Vzduchotechnika v jaderných elektrárnách (3. část). *Vytápění, větrání, Instalace*. 2016, roč. 25, č. 4, s. 184–188. ISSN 1210-1389.
- [4] ÚJV Řež, a.s. divize ENERGOPROJEKT PRAHA. Validace dodatečných technických opatření ke zvýšení bezpečnosti JE ČEZ. 2012.
- [5] ZVVZ – Enven Engineering, a. s., firemní materiály.
- [6] AREVA, firemní materiály.
- [7] JANKA Engineering, s.r.o., firemní materiály.
- [8] MANDÍK, a. s., firemní materiály.
- [9] TECHKLIMA, firemní materiály.
- [10] ADAMS Armaturen, firemní materiály.



Obr. 13 Kruhové potrubí pro odvod vzduchu (např. S07)
Fig. 13 Circular pipeline for air removal (for example S07)

