ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE DOZORNY JADERNÉ ELEKTRÁRNY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

STARZINSKÝ ALEXANDR 21 – TŽP – 2017

Zadání diplomové práce:

Téma práce: **Větrání a klimatizace dozorny jaderné elektrárny**

Zásady pro zpracování:

Navrhněte větrací a klimatizační systém pro dozornu jaderné elektrárny. Stručně popište základní větrací a klimatizační systémy v jaderné elektrárně. Pro zadaný objekt stanovte vnitřní a vnější tepelné zisky a tepelnou bilanci prostoru, dimenzujte hlavní součásti systému a uveďte soupis součástí. Systém navrhněte pro normální a havarijní provoz. Vnitřní klimatické parametry: teplota vzduchu 18 až 26 °C, relativní vlhkost vzduchu 40 až 60 %. Venkovní klima: oblast Českých Budějovic. Dokumentaci zpracujte na úrovni ke stavebnímu řízení s podrobnějším řešením vybraných částí.

Anotace

V diplomové práci bylo popsáno koncepční řešení vzduchotechnických systémů a chlazení blokové dozorny. Dále je součástí práce návrh řešení vzduchotechnického systému na úrovni stavebního povolení. Dle zadání bylo třeba stanovit množství vnitřních a vnějších tepelných zisků. Vhodně navrhnout výkony příslušných zařízení. Byly popsány nejdůležitější prvky a zařízení. V poslední řadě byly definovány požadavky na regulaci a hluk.

Anotation

The main concern of this diploma thesis is to describe the conceptual solution of air-conditioning systems and cooling of the control room. The following part is about to design the ventilation system at the level of building permit. Depending on the assignment, it was necessary to determine the amout of internal and external heat gains. Properly design the performance of the relevant devices. The most important elements and devices have been described. Finally, regulatory and noise requirements have been defined.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Větrání a klimatizace dozorny jaderné elektrárny“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Drkala Františka CSc., Ing. Kahleho Rudolfa, s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 27.06.2017 Alexandr Starzinský

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval panu prof. Ing. Františku Drkalovi, CSc. a Ing. Rudolfu Kahlemu za příkladné vedení, cenné rady a trpělivost při zodpovídání dotazů.

Dále bych rád poděkoval své rodině za jejich podporu při tvorbě této práce a při mém studiu.

Použité symboly

značení:	veličina:	jednotka:
A	amplituda kolísání teplot venkovního vzduchu	[K]
C	korekce pro turbulentní proudění	[-]
H	výška zasklené části okna	[m]
H_1	vzdálenost od stropu do pobytové zóny	[m]
I_C	intenzita celkové sluneční radiace	[W/m^2]
I_D	intenzita přímé sluneční radiace	[W/m^2]
I_{DS}	intenzita přímé sluneční radiace dopadající na orient. plochu	[W/m^2]
I_d	intenzita difúzní sluneční radiace	[W/m^2]
I_0	sluneční konstanta	[W/m^2]
I_{0C}	celková intenzita slun. radiace procházející standard. zasklením	[W/m^2]
L	výška zasklené části okna	[m]
L_{WA}	hladina akustického tlaku	[dB]
M	číslo měsíce	[-]
M_s	produkce vodní páry od lidí	[g/h]
M_w	množství vodní páry	[kg/h]
O	obvod potrubí	[m]
P_d	dynamický tlak	[Pa]
$Q_{ASŘTP}$	tepelná zátěž za technologickými panely ASŘTP	[W]
Q_{BD}	tepelná zátěž blokové dozorny	[W]
$Q_{CH,cit}$	citelný výkon cirkulační chladící jednotky	[W]
$Q_{CH,cel}$	celkový výkon cirkulační chladící jednotky	[W]
Q_F	tepelné zisky fasádou	[W]
Q_{JR}	tepelná zátěž vnitřní konstrukcí od jaderného bloku	[W]
Q_L	tepelné zátěž od lidí	[W]
Q_{SV}	tepelná zátěž vnitřním osvětlením	[W]
Q_{Tech}	tepelná zátěž od technologie	[W]
Q_{mz}	měrná tepelná ztráta	[W/m^2]
Q_{ok}	tepelná zátěž okny – konvekcí	[W]
Q_{or}	tepelná zátěž radiací	[W]
Q_{TZ}	tepelná zátěž v prostoru	[W]
Q_w	výkon vyvíječe páry	[W]
$Q_{z;}$	tepelná ztráta	[W]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
S	průřez potrubí	[m^2]
S_{ok}	plocha okna	[m^2]
S_{os}	osluněný povrch okna	[m^2]
S_{ST}	plocha odvodové stěny	[m^2]
T_D	celková poměrná propustnost přímé slun. radiace standardním sklem	[-]
T_d	celková propustnost difúzní sluneční radiace standardním sklem	[-]
U_{OK}	součinitel prostupu tepla okny	[W/m^{2}K]

U_{ST1}	součinitel prostupu tepla obvodovou konstrukcí	[W/m^{2}K]
U_{ST2}	součinitel prostupu tepla konstrukce mezi BD a JB	[W/m^{2}K]
X	horizontální vzdálenost od středu vířivého anemostatu ke stěně	[m]
a	vzdálenost mezi dvěma vířivými anemostaty	[m]
a_z	sluneční azimut	[°]
a1	šířka potrubí	[m]
b	výška potrubí	[m]
c	měrná tepelná kapacita	[J/kgK]
c_0	korekce na čistotu atmosféry	[-]
c_1	hloubka okna vzhledem k stínící horní desce	[m]
d	charakteristický rozměr potrubí	[m]
d_{ekv}	ekvivalentní průměr potrubí	[m]
d_1	hloubka okna	[m]
e_1; e_2	délky stínů okenních otvorů od okraje slunolamů	[m]
f	odstup vodorovné části okna od slunolamů	[m]
g	odstup svislé části okna od slunolamů	[m]
h	výška slunce nad obzorem	[°]
h_{Le}	návrhová entalpie letního vzduchu	[kJ/kg]
h_m	referenční nadmořská výška	[m.n.m.]
h_v	konstrukční výška místnosti	[m]
i	zvolený počet distribučních prvků	[-]
l	délka potrubí	[m]
l_w	měrné skupenské teplo vody	[kJ/kg]
m	součinitel zmenšení teplotního kolísání při přestupu tepla stěnou	[-]
n	počet hodin provozu zařízení	[h]
nl	počet lidí	[-]
n_0	počet oken	[-]
p_e	průměrný barometrický tlak vzduchu	[Pa]
$s_{SV,SZ,JV,JZ}$	stínící součinitele SV, SZ, JV, JZ	[-]
$s_{OK,SZ,JV,JZ}$	celkový stínící součinitele oken	[-]
$s_{vž}$	stínící součinitel vnitřních žaluzií	[-]
t_{Le}	letní návrhová venkovní teplota	[°C]
t_{Ze}	zimní návrhová venkovní teplota	[°C]
t_e	teplota venkovního vzduchu	[°C]
t_{e1}	teplota přiváděného vzduchu před výměníkem	[°C]
t_{e2}	teplota přiváděného vzduchu za výměníkem	[°C]
t_{emax}	maximální teplota v příslušném měsíci	[°C]
t_i	výpočtová teplota vnitřního vzduchu	[°C]
t_{i1}	teplota odváděného vzduchu před výměníkem	[°C]
t_{i2}	teplota odváděného vzduchu za výměníkem	[°C]
t_p	teplota přiváděného vzduchu	[°C]
t_r	rovnocenná sluneční teplota venkovního vzduchu	[°C]
t_{rm}	průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin	[°C]
$t_{r\psi}$	rovnocenná sluneční teplota v době o ψ dřívější	[°C]
t_{sm}	teplota vzduchu po smíšení	[°C]

t_r	teplota rosného bodu	[°C]
v_{H1}	rychlost vzduchu v pracovní oblasti	[m/s]
w	rychlost vzduchu v potrubí	[m/s]
w_{ef}	efektivní rychlost po výstupu z vyústky	[m/s]
x	měrná vlhkost vzduchu	[g/kg]
x_{oI}	měrná vlhkost odpadního vzduchu před výměníkem	[g/kg]
x_{oII}	měrná vlhkost odpadního vzduchu za výměníkem	[g/kg]
x_{pI}	měrná vlhkost primárního vzduchu před výměníkem	[g/kg]
x_{pII}	měrná vlhkost primárního vzduchu za výměníkem	[g/kg]
z	součinitel znečištění atmosféry	[-]
ΔP_c	celková tlaková ztráta	[Pa]
$\Delta P_{ref.pří.}$	externí tlaková ztráta – přívodní potrubí	[Pa]
$\Delta P_{ref.odv.}$	externí tlaková ztráta – odvodní potrubí	[Pa]
ΔP_t	tlaková ztráta na straně vzduchu	[Pa]
ΔP_w	tlaková ztráta na straně vody	[kPa]
$\Delta P_{z,m}$	celková tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
$\Delta P_{z,t}$	celková tlaková ztráta třením	[Pa]
Δt	maximální připouštěné překročení požadované teploty v prostoru	[°C]
Δt_{H1}	rozdíl teploty mezi vzduchem v místnosti a přívodním vzduchem	[°C]
Δt_L	rozdíl teploty mezi vzduchem v místnosti a přívodním vzduchem	[°C]
ΣQ_{ri}	součet všech tepelných zisků v době provozu zařízení	[W]
τ	sluneční čas	[h]
Φ_t	teplotní faktor výměníku	[-]
Φ_x	vlhkostní faktor výměníku	[-]
α	úhel stěny s vodorovnou rovinou na straně odvrácené od slunce	[°]
α_e	součinitel přestupu tepla na vnější straně stěny	[W/m^{2}K]
γ	azimutový úhel normály stěny od severu po směru hod. ručiček	[°]
δ	sluneční deklinace	[°]
δ_s	tloušťka stěny	[m]
ε	součinitel poměrné tepelné vodivosti pro sluneční radiaci	[-]
θ	úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků	[°]
λ	součinitel třecích ztrát	[-]
ν	kinematická viskozita	[m^2/s]
ξ	součinitel místních ztrát	[-]
ρ	hustota vzduchu	[kg/m^3]
φ	relativní vlhkost vzduchu	[%]
φ_{Ze}	zimní návrhová venkovní relativní vlhkost	[%]
ψ	fázové posunutí teplotních kmitů	[-]
$V_{cel.pří.}$	celkové množství přiváděného vzduchu	[m^3/h]
$V_{cel.odv.}$	celkové množství odváděného vzduchu	[m^3/h]
V_{cit}	množství vzduchu odvádějící citelnou tep. zátěž	[m^3/h]
$V_{cirk,sk.}$	množství vzduchu přivádění chl. cirk. jednotkou	[m^3/h]
V_e	množství čerstvého vzduchu přiváděného do BD	[m^3/h]
V_{PR}	množství vzduchu procházející jedním anemostatem	[m^3/h]
V_{min}	minimální dávka čerstvého vzduchu na člověka	[m^3/h]

Obsah

1 ÚVOD ..... - 11 -

2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ VZDUCHOTECHNICKÝCH SYSTÉMŮ V JADERNÝCH ELEKTRÁRNÁCH……- 12 -

2.1 VZDUCHOTECHNICKÉ PRO NEAKTIVNÍ PROVOZY ..... - 13 -

2.2 VZDUCHOTECHNIKA PRO AKTIVNÍ PROVOZY ..... - 13 -

3 ZÁKLADNÍ POPIS VZDUCHOTECHNICKÝCH SYSTÉMŮ A ZAŘÍZENÍ ..... - 14 -

4 VZDUCHOTECHNICKÉ SYSTÉMY A JEJICH PRVKY ROZDĚLENÉ DLE SEISMICKÉ ODOLNOSTI ..... - 17 -

5 VZDUCHOTECHNICKÉ SYSTÉMY ..... - 18 -

5.1 PROVOZNÍ REŽIMY VZDUCHOTECHNICKÝCH SYSTÉMŮ ..... - 18 -

5.2 PROVOZNÍ STAVY VZDUCHOTECHNICKÝCH SYSTÉMŮ ..... - 20 -

6 VZDUCHOTECHNICKÉ SYSTÉMY PRO BLOKOVÉ DOZORNY A NOUZOVÉ DOZORNY ..... - 22 -

6.1 VZDUCHOTECHNICKÉ SYSTÉMY BLOKOVÉ DOZORNY ..... - 22 -

6.1.1 Obecné parametry blokové dozorny ..... - 23 -

6.1.2 Popis vzduchotechnického systému blokové dozorny ..... - 23 -

6.2 POPIS NOUZOVÉ DOZORNY ..... - 25 -

7 VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE ..... - 27 -

7.1 OBECNÉ INFORMACE O BLOKOVÉ DOZORNĚ ..... - 27 -

7.2 PARAMETRY PROSTŘEDÍ BLOKOVÉ DOZORNY ..... - 27 -

7.3 ZÁKLADNÍ VÝPOČET ..... - 28 -

7.4 CELKOVÁ TEPELNÁ ZÁTĚŽ PROSTORU BLOKOVÉ DOZORNY V LETNÍM OBDOBÍ ..... - 28 -

8 TEPELNÉ ZTRÁTY PROSTORU BD ..... - 30 -

8.1 CELKOVÁ TEPELNÁ ZÁTĚŽ PROSTORU BLOKOVÉ DOZORNY V ZIMNÍM OBDOBÍ ..... - 31 -

9 STANOVENÍ MNOŽSTVÍ ČERSTVÉHO VZDUCHU ..... - 31 -

10 NÁVRH POTRUBNÍ SÍNĚ ..... - 32 -

10.1 TLAKOVÁ ZTRÁTA TŘENÍM ..... - 32 -

10.1.1 Výpočet součinitele třecích ztrát ..... - 33 -

10.1.2 Výpočet Reynoldsova čísla ..... - 33 -

10.2 MÍSTNÍ TLAKOVÉ ZTRÁTY ..... - 34 -

11 DISTRIBUČNÍ PRVKY ..... - 36 -

11.1 PROSTORY BLOKOVÉ DOZORNY ..... - 36 -

11.2 PROSTORY ASŘTP ..... - 37 -

12 NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTKY ..... - 39 -

12.1 VSTUPNÍ DATA PRO VOLBU JEDNOTKY ..... - 40 -

12.1.1 V letním provozu: ..... - 40 -

12.1.2 V zimním provozu: ..... - 40 -

12.2 POPIS PRVKŮ VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTKY ..... - 41 -

13 NÁVRH CIRKULAČNÍHO CHLADIVOVÉHO ZAŘÍZENÍ ..... - 44 -

13.1 NÁVRH VNITŘNÍ CIRKULAČNÍ JEDNOTKY ..... - 45 -
13.1.1 Letní období ..... - 45 -
13.1.2 Zimní období ..... - 46 -
13.2 VENKOVNÍ VZDUCHEM CHLAZENÝ KONDENZÁTOR ..... - 46 -
14 DALŠÍ ZAŘÍZENÍ VZDUCHOTECHNIKY ..... - 47 -
14.1 AUTOMATICKÝ VZDUCHOTĚSNÝ UZÁVĚR POTRUBÍ ..... - 48 -
14.2 PROTITLAKOVÉ UZÁVĚRY ..... - 49 -
14.3 POTRUBÍ ..... - 49 -
14.4 FILTRAČNÍ STANICE ..... - 50 -
15 ZAKRESLENÍ STAVŮ VZDUCHU V H-X DIAGRAMU ..... - 51 -
15.1 LETNÍ OBDOBÍ – ÚPRAVA VZDUCHU VE VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTCE ..... - 51 -
15.1.1 Kontrola výkonu vodního chladiče ..... - 52 -
15.1.2 Vlhkostní zisky od lidí ..... - 53 -
15.2 ZIMNÍ OBDOBÍ – ÚPRAVA VZDUCHU VE VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTCE ..... - 55 -
15.2.1 Kontrola teploty za výměníkem ZZT ..... - 55 -
15.2.2 Kontrola výkonu vodního ohřívače ..... - 56 -
15.2.3 Zvlhčování parou ..... - 57 -
15.2.4 Výpočet výkonu parního zvlhčovače ..... - 57 -
15.3 ÚPRAVA VZDUCHU V CIRKULAČNÍ JEDNOTCE ..... - 61 -
16 SPECIFIKACE VZDUCHOTECHNICKÝCH PRVKŮ ..... - 63 -
17 HLUK A CHVĚNÍ V BLOKOVÉ DOZORNĚ ..... - 64 -
18 MĚŘENÍ A REGULACE ..... - 66 -
19 ZÁVĚR ..... - 67 -
20 SEZNAM PŘÍLOH ..... - 69 -
21 SEZNAM VÝKRESŮ ..... - 69 -
22 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY ..... - 70 -

1 Úvod

Jaderná energetika je základem v dodávce energie. Tvoří okolo 30 až 40 % celé dodávky a dle potřeby se doplňuje o další zdroje. Vyspělý průmysl tento základ potřebuje pro pokrytí svých potřeb. Energetická náročnost nejen průmyslových, ale i například administrativních budov stále roste, a proto je třeba jaderné elektrárny stále zdokonalovat a udržovat plně funkční. Je také nezbytné zajistit správné fungování z hlediska bezpečnosti jaderné elektrárny, na kterém se podílí i samotná vzduchotechnika. Pomocí vzduchotechnických zařízení je také vytvářeno potřebné klima v prostorách JE.

Vzduchotechnická zařízení tedy vytvářejí pracovní podmínky a bezpečnostní požadavky jak pro osoby, které se v JE pohybují, tak i podmínky pro správné fungování technologických zařízení. V prostorách blokové dozorny je nejdůležitější zajistit požadované množství čerstvého vzduchu a odvod tepelné zátěže, která se z největší části skládá z tepelných zisků od technologie automatického systému řízení a kontroly technologického procesu (ASŘTP). Jelikož je provoz nepřetržitý, je důležité, aby každé zařízení bylo na tuto skutečnost navrženo a bylo doplněno rezervním zařízením.

Cílem této diplomové práce je popsat koncepční řešení vzduchotechnických systémů pro blokové dozorny v jaderných elektrárnách. Dalším bodem této práce je navrhnout vhodný vzduchotechnický a chladící systém v zadané blokové dozorně, která se nachází v jaderné elektrárně na území Českých Budějovic. Návrh je na úrovni stavebního povolení. K tomu je třeba vypracovat tepelnou bilanci v zimním a letním období. Vhodně navrhnout výkony vzduchotechnických a chladivových jednotek a vypracovat zjednodušenou hlukovou studii blokové dozorny.

2 Základní rozdělení vzduchotechnických systémů v jaderných elektrárnách (JE)

Vzduchotechnická zařízení v JE patří z hlediska důležitosti k základním pomocným zařízením. Jak bylo v úvodu opsáno, díky těmto zařízením je možné udržovat předepsané parametry prostředí v prostorách a místnostech. A to nejen z hlediska bezpečnosti a pobytu osob, ale i z hlediska spolehlivého chodu technologických zařízení. Vzduchotechnické zařízení zajišťuje také vnitřní a vnější bezpečnost JE.

Z hlediska druhu je možné vzduchotechnické zařízení v JE rozdělit do skupin takto [18]:

- Vzduchotechnické zařízení pro stavební objekty.
- Vzduchotechnické zařízení pro technologické provozy.

Do **prvně jmenované skupiny** vzduchotechnických zařízení zařazujeme ty systémy, které zajišťují pohodu prostředí pro zaměstnance JE. Jsou to například objekty typu jídelen, zdravotních středisek, administrativních budov, požárních stanic.

Druhá jmenovaná skupina zahrnuje vzduchotechnická zařízení, která zajišťují požadované pracovní podmínky jak pro obsluhující personál, tak pro technologická zařízení.

Z investičního a rozměrového hlediska je druhá skupina větší než ta prvně zmiňovaná. Je také koncepčně různorodější, a proto se dále rozděluje na [18]:

- vzduchotechnika pro neaktivní provozy,
- vzduchotechnika pro aktivní provozy.

2.1 Vzduchotechnika pro neaktivní provozy

Z hlediska koncepčního řešení je vzduchotechnika pro neaktivní provozy řešena jako větrání, odsávání, klimatizace, případně jako další obory, včetně aerace. Provozy, které se do této skupiny řadí jsou například mezistrojovny s elektrozařízením, strojovny turbín, dílny, sklady, potrubní a kabelové kanály, chemická úpravna vody a další pomocné provozy JE, ve kterých se z provozních příčin nemůže vyskytnout aktivita. **Do této skupiny patří i všechny dozorny** [18].

2.2 Vzduchotechnika pro aktivní provozy

Vzduchotechnika pro aktivní provozy je vždy navrhována jako samostatný provozní soubor, který zajišťuje prostředí v určitém objektu s technologickým zařízením, které pracuje s radioaktivními látkami, médii a materiály. Mezi hlavní prostory této vzduchotechniky patří budova reaktoru, dále se sem řadí vzduchotechnické zařízení pro budovu pomocných aktivních provozů. Z důvodu, že v provozní budově leží hranice mezi kontrolovanou zónou a čistou zónou jaderné elektrárny spadá tato budova také do této skupiny vzduchotechniky. Sklad vyhořelého paliva v JE obsahuje také provozní soubor vzduchotechniky pro aktivní provozy [18].

Vzduchotechnika pro aktivní provozy je svou koncepcí navržena tak, aby splňovala následující požadavky [18]:

- vytvářela ve větraných prostorech požadované parametry prostředí (teplotu, vlhkost, tlak),
- snižovala ve větraných prostorech aktivitu obsaženou ve vzduchu, a to na předepsanou hodnotu,
- v případě výskytu nehody (havárie), či následků maximální projektované nehody pomáhá likvidovat jejich následky.

3 Základní popis vzduchotechnických systémů a zařízení

Pomocí vhodně navržené a dimenzované vzduchotechniky lze zajistit požadované parametry prostředí. Toho je vzduchotechnika schopna dosáhnout pomocí přívodních a cirkulačních systémů.

Přívodní systém saje 100 % čerstvého vzduchu, upravuje jej na konstantní teplotu vzduchu (± 3 °C) a dopravuje jej do větraných místností. Množství přiváděného vzduchu je dáno tepelnou zátěží prostoru. Je navrženo tak, aby likvidovalo tepelné ztráty technologických zařízení (teplo předané technologií svému okolí). V případě, že by množství přívodního vzduchu bylo veliké (výměna vzduchu ve větraném prostoru by byla neúměrně veliká) instalují se v těchto prostorách chladící cirkulační systémy [18].

Chladící cirkulační systém je tvořen kompaktní jednotkou, jejíž součástí je ventilátor, chladič, armatury (klapky) a potrubní systém. Vzduch je touto jednotkou nasáván, následně chlazen na požadovanou teplotu a dopravován zpět do chlazeného prostoru [18].

Radioaktivní aerosoly, vzácné plyny a někde i izotopy jodu a jeho sloučeniny jsou obsaženy v prostředí řady větraných místností. Aby bylo možné tyto prostory obsluhovat nebo, aby bylo umožněno atmosféru těchto prostor vypustit do venkovního prostředí, jsou navrženy filtrační vzduchotechnické systémy. Koncepční řešení těchto systémů jsou různá. Buď jsou filtrační systémy navrženy jako odsávací, kdy je vzduch odsáván z prostorů a vypouštěn přes komín do prostorů venkovní atmosféry, nebo jsou navrženy jako systémy cirkulační. Cirkulační systém vzduch odsává, filtruje a vrací zpět do větraného prostoru. Odsávací filtrační systémy vytváří ve větraném prostředí podtlak, díky kterému je z prostorů chodby obsluhy přisáván (přes přetlakové klapky, mřížky a netěsnosti) větrací vzduch. Tento vzduch je ve vhodných filtrech filtrován tak, aby byla snížena aktivita v něm obsažená. Také radioaktivní aerosoly jsou filtrovány průchodem přes filtry. Filtrační systém dále obsahuje absorpční filtry, které zachycují jod a jeho sloučeniny. Aktivním prvkem těchto filtrů je dřevěné uhlí.

Cirkulační filtrační systém je zpravidla tvořen ventilátorem, filtry, klapkami a potrubím [18].

Ve vnitřních prostorách budovy reaktoru a dalších provozů je vytvořen podtlak oproti okolí, který chrání tyto prostory před rozšířením aktivity a výskytem radioaktivních aerosolů. Díky tomu je zajištěn odvod škodlivin přes vhodné filtry a nerozšíří se nekontrolovatelně do jiných prostorů [18].

Pokud by došlo k havárii na jaderném zařízení, rozšířila by se aktivita do daného prostoru a zpravidla nastane i zvýšení tepelné zátěže takového prostoru. Pro tyto případy jsou navrženy vzduchotechnické systémy, které pomáhají zneškodňovat následky technologických nehod. Toho dosahují tím, že atmosféru vnitřního prostoru filtrují, chladí a vyměňují (přivádějí čerstvý vzduch) [18].

Prostory, které se vyskytují v budově reaktoru JE, lze rozdělit z hlediska bezpečnosti do dvou skupin [18]:

- místnosti označené jako hermetické prostory (kontejnmenty)-jsou to prostory, do kterých se rozšíří případná maximální projektová nehoda,
- zbytek místností, do kterých se maximální projektovaná nehoda nerozšíří.

Protože vzduchotechnika aktivních provozů, která je jedním z bezpečnostních článků jaderné elektrárny, respektuje uvedené rozdělení místností v budově reaktoru. Toto rozdělení je [18]:

- vzduchotechnické zařízení pro hermetický prostor (kontejnment),
- vzduchotechnické zařízení pro vzduchotěsné prostory (takto je nazýván zbytek místností v budově reaktoru).

Je nutné si uvědomit, že rozvody vzduchotechnického potrubí a jejich průchody obvodovou konstrukcí tyto hermetické prostory narušují. Hermetické průchody o průměru od 200 do 1000 mm je nutné v případě maximální projektové nehody rychle a těsně uzavřít. Tyto průchody se proto osazují rychlouzavíracími hermetickými klapkami, které jsou za provozu trvale otevřeny. V případě výskytu maximální projektové nehody jsou tyto klapky a průchody řazeny mezi nejdůležitější prvky vzduchotechniky při zajištění bezpečnosti v okolí JE. Na

zajištění bezpečnosti se vzduchotechnika v období normálního a havarijního provozu technologického zařízení podílí vytvářením požadovaných pracovních podmínek, udržením podtlaku proti okolí a zajištěním filtrace vzduchu vypouštěného do ovzduší. V období maximální projektové nehody pomáhá likvidovat její následky [18].

Vzduchotechnické zařízení v prostorách JE je děleno do dvou druhů [18]:

- Speciální zařízení pro jaderné elektrárny – zde se řadí filtry pro filtraci radioaktivních aerosolů a filtry pro filtraci jodu a jeho sloučenin, rychlouzavírací hermetické klapky, hermetické klapky, hermetické průchodky, chladiče a některá další zařízení a elementy.
- Zařízení a elementy z oboru průmyslového větrání upravené pro použití v provozních podmínkách JE – zde se vyskytují například ventilátory, přívodní jednotky, potrubí, klapky a další elementy.

Dle zkušeností s provozem JE jak v ČR, tak i ve světě lze konstatovat, že spolehlivý provoz jaderné elektrárny nelze zajistit bez kvalitního a spolehlivého vzduchotechnického zařízení. Pokud nastane porucha či nesprávná funkce vzduchotechnického zařízení, dojde k odstavení jaderného bloku a výpadku výroby elektrické energie. V případě poruchy jaderného zařízení a nesprávné funkce vzduchotechniky, je ohrožena bezpečnost okolí jaderné elektrárny. Proto je kladen velký důraz na projekci a údržbu veškerých vzduchotechnických zařízení [18].

4 Vzduchotechnické systémy a jejich prvky rozdělené dle seismické odolnosti

Zemětřesení nesmí mít vliv na bezpečnost provozu jaderné elektrárny. Ta je projektována na maximální výpočtovou hodnotu zemětřesení (MVZ). Výpočtové zemětřesení se uvažuje jako zemětřesení, které se opakuje jednou za 10 000 let pro danou lokalitu. Minimální hodnota zrychlení podloží, které tyto zařízení musejí odolat, je PGA (zrychlení)=0,1 g [1] [15].

Základní dělení zařízení [1]:

- seismicky odolné,
- ostatní.

Seismisky odolné systémy se dále rozdělují do kategorií a podkategorií:

Kategorie 1

- Podkategorie 1a – i když nastane maximální výpočtové zemětřesení, je nutné, aby vzduchotechnické systémy byly plně v provozu.
- Podkategorie 1b – je vyžadována mechanická pevnosti při maximální výpočtovém zemětřesení (po události je schopno plnit svoji funkci).

Kategorie 2

- Podkategorie 2a – je dovolená, pro uvažovaná zařízení, objekty či konstrukce, ztráta funkčnosti.
- Podkategorie 2b – zde není žádný požadavek na seismickou odolnost.

5 Vzduchotechnické systémy

5.1 Provozní režimy vzduchotechnických systémů

Provozní stav jaderného bloku určuje provozní režim technologických zařízení. S těmito režimy technologických zařízení musíme sjednotit provoz vzduchotechnických systémů a tím zajistit provozní podmínky. Provozním stavům jaderného bloku je třeba věnovat pozornost a na základě jejich analýzy je třeba stanovit provozní režim vzduchotechnického systému [2].

Provozní stav bloku nám tedy umožnil rozdělit vzduchotechnické systémy do tří základních provozních režimů [2]:

- normální provoz,
- abnormální provoz,
- havarijní provoz.

Jednotlivé provozy vzduchotechnických systémů dále rozlišujeme dle provozních režimů na [2]:

Normální provoz

–nominální provozní režim (normální stav bloku),
–nenominální provozní režim,

- (tento stav nastává ve dvou možných případech. Jednak při **plánovaných opravách (odstávkách) jaderného bloku** nebo při **výměně paliva v bloku).**

Abnormální provoz

–při ztrátě napájení z elektrické sítě,
–při neplánované havárii.

Havarijní provoz

–při maximální projektované nehodě,

–při těžké havárii,
–při odstraňování následků havárie,
–při kompenzovatelných únicích chladiva (malém úniku primárního chladiva).

Provozní stav jaderného bloku dále určuje počet rezervních strojů vzduchotechnického systému. Jako označení používáme (1+0, 1+1, 1+2).

Všechny tyto stavy ještě podrobně navrhneme v praktické části této práce. Dále jsou jen slovně charakterizovány.

Jaderný blok pracuje převážně v normálním nominálním pracovním režimu. Pro tento stav je potřebné zajistit požadované parametry pro technologické zařízení. Proto jsou vzduchotechnické systémy při normálním provozním stavu (při výměně paliva je jejich provoz přerušen) v provozu nepřetržitě a trvá až 8000 hodin. Pokud budeme uvažovat, že vzduchotechnické systémy pracují i v režimu normálního nenominálního pracovního stavu bloku, tedy při výměně paliva či plánovaných opravách, je provozní doba systému okolo 8750 hodin [2].

Další možností je, že se jedná o vzduchotechnický systém, který pracuje pouze v normálním nenominálním provozním režimu jaderného bloku.

Pokud z jakéhokoliv důvodu dojde ke ztrátě napájení spotřebičů z elektrické sítě, jedná se o abnormální provoz. Není možné, aby všechny vzduchotechnické systémy byly mimo provoz. Proto je třeba některé připojit k síti zajištěného elektrického napájení, tím zajistili minimální pracovní podmínky. Pokud dojde ke ztrátě napájení z vlastní sítě, je nutné zajistit obnovu napájení od 1 sekundy do 15 minut v závislosti na technologii a podmínkách, které systém zajišťuje. Pokud se jedná o neplánované opravy jaderného bloku (i to je považováno jako abnormální provozní stav), jsou sice vzduchotechnické systémy připojeny k zajištěné síti napájení, ale není kladen nárok na rychlost jejich připojení k zajištění el. síti [2].

Pokud nastane havarijní stav v jaderné elektrárně, rozlišujeme vnitřní prostory na prostory postižené nehodou a prostory, kam se nehoda nerozšířila. U prostor, kde nehoda nenastala, jsou vzduchotechnické systémy plně v provozu. V prostorách, kde nehoda nastala jsou vzduchotechnické systémy mimo provoz. V provozu může být pouze cirkulační systém, který filtruje prostory se zvýšenými parametry prostředí. To

ale platí pouze při kompenzovatelných únicích chladiva primárního okruhu. Pokud se jedná o nekompenzovatelné úniky chladiva, je i tento cirkulační systém vypnutý. Pokud je v těchto prostorách maximální projektová havárie, pak musí být všechny vzduchotechnické systémy mimo provoz, aby nedocházelo k rozšiřování škodlivin. Hlavní prioritu má ochrana blokové dozorny a nouzové dozorny. Proto je nejvyšší požadavek na vzduchotechnický systém právě pro tyto prostory [2].

5.2 Provozní stavy vzduchotechnických systémů

Je snaha, aby si vzduchotechnické systémy zachovaly svoji funkčnost i při možných poruchách v jaderné elektrárně. S ohledem na to, se spolehlivost vzduchotechnických systémů hodnotí jako jejich provozní stav určený stavem vzduchotechnických zařízení.

Rozdělení vzduchotechnických pracovních režimů do provozních stavů [2]:

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

Normální provozní stav

Zařízení, stroje a jiné prvky obsažené ve vzduchotechnickém systému jsou schopny bez ohledu na to, zda se jedná o pracovní nebo rezervní, pracovat v požadovaném režimu a lze je libovolně zaměňovat (přepínat). Vzduchotechnický systém, který neobsahuje rezervní zařízení, je považován za nedůležitý systém provozovaný v určitém období.

Abnormální provozní stav

Pokud jeden z prvků obsažených ve vzduchotechnickém systému (pracovní/rezervní) není schopen provozu. Nerozlišuje se, zda se jedná o plánovanou či neplánovanou opravu.

Havarijní provozní stav

V případě, kdy prvky (ventily, uzávěry, ventilátory atd.) u jednoho či více vzduchotechnických systémů jsou mimo provoz naráz.

6 Vzduchotechnické systémy pro blokové dozorny a nouzové dozorny

Tyto prostory se neřadí do kontrolovaného pásma. Blokové a nouzové dozorny jsou hlavní prostory, které nepatří do kontrolovaného pásma, ale i tak se podílejí na bezpečnosti jaderné elektrárny (dalšími důležitými prostory mimo kontrolované pásmo jsou prostory rozvoden elektrického zařízení a prostory se zařízením automatického systému řízení a kontroly technologických procesů (ASŘTP)) [3].

Je třeba zajistit pro obě dozorny potřebné podmínky, aby bylo možné v těchto prostorech dohlížet a kontrolovat provoz jaderného bloku. Tyto prostory musejí být způsobilé i v případě úniku radioaktivních látek uvnitř i vně objektu. Bloková dozorna řídí bezpečnost provozu v jaderném bloku, a to jak v normálním, tak i havarijním provozu. Pokud z jakéhokoliv důvodu dojde ke ztrátě kontroly nad blokovou dozornou, stává se hlavním místem pro zajištění bezpečnosti v elektrárně nouzová dozorna, kde je možné bezpečně odstavit a dochladit jaderný blok [3].

6.1 Vzduchotechnické systémy blokové dozorny

Jak bylo popsáno výše, bloková dozorna slouží k řízení a kontrole jaderného bloku. Blokové dozorny jsou v dnešní době z hlediska bezpečnosti a z hlediska zvyšujících se válečných konfliktů stavěny a sofistikovaně chráněny nejen samotnou koncepcí jaderné elektrárny, ale i několika vzduchotechnickými systémy. Díky těmto opatřením je možné zajistit obyvatelnost dozorny i při možných útocích a jiných rizicích. Proto jsou tyto dozorny stavěny jako monolitické betonové stavby v bloku reaktoru bez oken. Potřebné podmínky nejen personálu se obstarávají pomocí vzduchotechniky. Ta zajišťuje nejen komfort, ale i bezpečnost před úniky radioaktivních látek nejen u zmíněných možných útocích na objekt elektrárny, ale i případných haváriích řízeného nebo souvisejícího bloku či jiných přírodních katastrofách [3].

6.1.1 Obecné parametry blokové dozorny

V těchto prostorách nejsou kladeny pouze nároky na kvalitu vzduchu, ale je zde požadavek i na určitou hlučnost. Teplota vzduchu v dozorně je projektována na 23±3 °C v prostorách obsluhy. Pro technologii, tedy v případě dozorny je to zařízení automatického řízení technologického procesu (ASŘTP), jsou požadovány podmínky 23±3 °C. To vše při relativní vlhkosti φ=40-60 %. Jelikož se v prostorách dozorny trvale nachází obsluha, je požadavek na hlučnost od technologie umístěné v dozorně, samotného vzduchotechnického systému a provozu bloku L_{MAX}=45 dB.

6.1.2 Popis vzduchotechnického systému blokové dozorny

Konkrétní návrh vzduchotechnického systému bude popsán až v praktické části této práce. Tam budou rozebrány jednotlivé navržené komponenty systému a podrobný postup návrhu systému. Zde je obecně popsáno, z jakých prvků se systém skládá a co zajišťuje. Tento text byl vytvořen dle [3].

Obecně se celkový vzduchotechnický systém dozorny skládá ze 3 systému. A to klimatizačního systému, chladícího systému a speciálního systému pro přívod vzduchu při výskytu radioaktivních látek.

Klimatizační systém je tvořen dvěma jednotkami. Označuje se tedy 1+1 (jedna je pracovní a druhá rezervní). Systém tvoří dvě vzduchotechnické jednotky, které přivádí venkovní vzduch, který je ale směšován se vzduchem cirkulačním. Dále je v systému navržen parní zvlhčovač. Z pohledu bezpečnosti se osazují jednotky vzduchotěsným uzávěrem na straně výtlaku. Výměník chladiče je napojen na zdroj chlazené vody, jejíž teplotní spád je 6/12 °C. Ohřívač vzduchu je připojen na otopnou soustavu jaderné elektrárny. Je u něho zajištěn konstantní průtok vody a její teplota je regulována v okruhu ohřívače. Potrubní systém by měl být koncipován jednoduše a krátce. Z hlediska seismické odolnosti spadá do podskupiny 1b. S ohledem na výše popsaný požadavek na hluk se do potrubních sítí umísťují tlumiče hluku. Z pohledu požární bezpečnosti se v prostupech stavebních konstrukcí umísťují požární klapky. Požární klapky z pohledu seismické odolnosti řadíme do podskupiny 1a. Venkovní vzduch je nasáván potrubím přes protitlakový uzávěr. Ten chrání systém před nebezpečnými vnějšími tlakovými vlnami. Síť elektrického napájení, na kterou jsou

všechna zařízení, spotřebiče, ale i klimatizační jednotky připojeny patří do skupiny III. Klimatizační systém řadíme mezi systémy nedůležité z hlediska jaderné bezpečnosti. Z hlediska klasifikace je systémy do třídy bezpečnosti BT III. [3].

*Pozn.: V textu označené zařízení jako **rezervní** neslouží jako rezerva v případě poruchy. Jedná se o použití dvou a více zařízení, která se v provozu střídají, protože pracují trvale po celý rok.*

Systém chlazení mohou tvořit 2 jednotky chlazení. Je tedy řešen 1+1. Jsou řazeny do podskupiny seismické odolnosti 1a. Tyto jednotky obsahují komponenty jako filtr, parní zvlhčovač, kompresor se vzduchem chlazeným kondenzátorem a ventilátor. Jednotky jsou připojeny k síti zajištěného napájení II. skupiny. Systém chlazení zajišťuje odvod tepelné zátěže z místa pobytu obsluhy, ale primárně odvádí tepelnou zátěž z ASŘTP. Potrubní rozvody tohoto systému spadají do seismické odolnosti 1b a systém řadíme do bezpečnostní třídy BTIII. [3].

Posledním jmenovaným byl systém pro přívod vzduchu při výskytu radioaktivních látek. Tento systém reaguje na systém klimatizace. Pokud je systém klimatizace z důvodu havárie (nebo i teroristického útoku) mimo provoz, je právě tento systém uveden do provozu. Pakliže je tento systém v provozu, dochází k nasávání venkovního vzduchu jedním ze dvou odlišných míst. Tato místa jsou vhodně zvolena a jejich vzdálenost je dána požadavkem, aby byl v případě exploze či výskytu jiných nebezpečných látek nasáván vzduch, právě jedním z nezasažených míst. Vzduch je v potrubí veden přes speciální elektrické ohřívače vzduchu do dozorny. Společně se spuštěním systému dochází k otevření vzduchotěsného uzávěru. Tento systém je zdvojený. Označujeme ho 1+1. To znamená, že pracuje s rezervou a obsahuje dvě filtrační stanice, dva ventilátory, tři ohřívače na společném výtlaku vzduchu a dva vzduchotěsné uzávěry. Tyto uzávěry fungují v případě, kdy je systém mimo provoz. Seismická kategorie bezpečnosti v případě ventilátorů je 1b, uzávěry pak spadají do podkategorie 1a. Jelikož je tohle hlavní systém v provozu v případě výskytu radioaktivity, je nutné, aby byly ventilátory připojeny každý k jiné síti zajištěného napájení. Jedná se o sítě 1 a 3. Další podmínkou je, aby bylo možné jeden z ventilátorů připojit k 2. síti zajištěného napájení ručně přes zásuvku. Toto je opatření před možností, že 1. a 3. síť jsou mimo provoz. Filtrační stanice jsou schopny filtrovat

radioaktivní aerosoly včetně jodu v případě jeho výskytu ve vnějším prostředí. Celý tento systém se podílí na bezpečnosti jaderné elektrárny a spadá do bezpečnostní skupiny BS III. [3].

6.2 Popis nouzové dozorny

Provoz a bezpečnost v jaderném bloku je řízen obsluhou v blokové dozorně. Zde je podmínka zajistit osobám v prostoru dozorny takové parametry, aby bylo možné v případě potřeby odstavit reaktor a následně dochladit za jakékoliv situace. Pokud ale nastane výjimečná situace, že ani při maximální snaze nelze tyto parametry v prostoru zajistit a je nutné prostory blokové dozorny opustit, slouží k odstavení reaktoru nouzová dozorna. Personál se mezi těmito dozornami přesunuje pouze za použití osobních ochranných pomůcek, jelikož vzduchotechnika v této situaci nezajišťuje ochranu [3].

Nouzová dozorna není předmětem řešení této práce, ale je dobré si uvést alespoň ve zkratce vzduchotechnické systémy, které se zde používají.

Jako možné koncepční řešení v nouzové dozorně slouží například tyto systémy. Klimatizační systém, chladící systém a systému pro přívod vzduchu při výskytu radioaktivních látek [3].

Klimatizační systém slouží k zajištění parametrů v dozorně za předpokladu, že venkovní prostředí neobsahuje radioaktivní látky. Systém nejčastěji obsahuje rezervní jednotku, a proto je označován 1+1. Celý systém je podobný tomu z blokové dozorny s tím rozdílem, že tento systém nepracuje s cirkulačním vzduchem. Tento systém je řazen mezi ty, které souvisí s jadernou bezpečností a patří do třídy BT III. [3].

Chladící systém slouží k chlazení prostoru osob a technologie (ASŘTP). Systém je řešen 1+1 a obsahuje tedy dvě chladící jednotky, které jsou umístěny přímo v dozorně. Vzhledem k této skutečnosti je požadavek na hluk upraven na hodnotu L_{MAX}=60 dB. Dále je požadavek na systém, aby se teplota v prostoru udržovala v teplotách 24±4°C. Jednotky jsou připojeny k systému zajištěného napájení 1. a 3. sítě, ale jakákoliv z jednotek musí mít možnost připojení k 2. síti pomocí ručního

připojení do zástrčky. I tento systém je související s jadernou bezpečností a také je řazen do bezpečnostní třídy BT III. [3].

Filtrační systém zajišťující větrání nouzové dozorny funguje na stejném principu jako stejně jmenovaný systém u blokové dozorny. Spouští se tehdy, pokud není v provozu klimatizační systém z důvodu úniku radioaktivních látek do prostoru jaderné elektrárny. Rozdíl oproti stejnému systému v blokové dozorně je pouze v tom, že zde nemá systém rezervní filtrační stanici a je tedy řešen 1+0. Další parametry systému, jako jsou seismická bezpečnosti, zajištění elektrického napájení apod. jsou stejné jako u systému blokové dozorny. I tento systém zajišťuje bezpečnost provozu jaderného bloku. Je označen třídou bezpečnosti BT III. [3].

7 Výpočet tepelné zátěže

Výpočet je proveden dle ČSN 730548 – Výpočet tepelné zátěže klimatizovaného prostoru [6]. Místnost sama o sobě tvoří jednu zónu klimatizovaného prostoru. Tepelná zátěž prostoru z venkovního prostoru je tvořena pouze jednou fasádou na jižní straně místnosti. Ostatní stěny ani stropy nám další zisky/ztráty nepřináší. Zde je popsán výpočet pouze pro jeden měsíc a určitou hodinu. Samotný výpočet je proveden v programu Excel pro všechny měsíce (od března do října) a pro celý den (24 hodin). Toho bylo dosaženo pomocí makra v programu Excel. Tento soubor bude přiložen na CD k této diplomové práci.

7.1 Obecné informace o blokové dozorně

Objekt jaderné elektrárny se nachází v Českých Budějovicích. Řešená bloková dozorna je označena číslem místnosti m. č. 3306. Místnost se nachází ve 4. patře budovy. Samotná dozorna v sobě ještě zahrnuje relaxační místnost. Původně byla BD tvořena jedním prostorem. Poté ale došlo k oddělení prostor, kde se nacházela obsluha a prostor technologie ASŘTP. K tomuto řešení se přistoupilo z důvodů velkých tepelných zisků této technologie.

7.2 Parametry prostředí blokové dozorny

Parametry prostoru jsou určeny jednak legislativou, nařízením vlády a jednak upraveny podle požadavků zadavatele projektu:

- teplota vzduchu v prostoru blokové dozorny +18 až +26 °C,
- relativní vlhkost vzduchu by se měla pohybovat v rozsahu 40 až 65 %,
- dovolená hladina hluku v oblasti pracovníků je dle požadavku zadavatele L_{MAX}=45 dB.

Provozní režimy, v kterých bude dozorna provozována jsou dány provozem jaderného bloku. Tyto režimy dělíme na:

- normální provoz,
- havarijní provoz,
- těžká havárie.

Tepelně technické vlastnosti konstrukcí dozorny jsou:

- součinitel prostupu tepla venkovní stěnou U=0,35 W/m^{2}K,
- součinitel prostupu tepla stěnou od budovy reaktoru U=0,4 W/m^{2}K.

Počet osob je dán režimem provozu:

- normální provoz:5 osob,
- havarijní provoz:8 osob,
- těžká havárie:10 osob.

7.3 Základní výpočet

Níže popsaný výpočet v příloze 1 je uplatněn pro 10. měsíc a 12. hodinu. Fasáda je orientována na jih. Jednotlivé složky zátěže prostoru jsou pak dány:

- Tepelné zisky z venkovního prostředí, které v sobě zahrnují pouze tepelné zisky stěnami (okna na fasádě nejsou).
- Tepelné zisky od vnitřních zdrojů. Zde je uvažováno s tepelnými zisky od lidí, svítidel a technologie.
- Tepelné zisky vnitřními konstrukcemi. Zde je uvažováno s tepelným ziskem od budovy jaderného bloku, která je dělena stavební konstrukcí.

7.4 Celková tepelná zátěž prostoru blokové dozorny v letním období

Celková tepelná zátěž prostoru je dána součtem výše uvedených tepelných zátěží. Prostor dozorny je rozdělen příčkou na oblast, kde se pohybuje obsluha (BD) a oblast za technologickými panely (ASŘTP). Tepelnou zátěž v oblasti obsluhy bude

odvádět vzduchotechnická jednotka. Tepelná zátěž za panely bude odváděna chladící cirkulační jednotkou.

Tab. 1 Celková tepelná zátěž BD-Léto

Léto							
Č.M	počet lidí	Tepelné zisky od lidí	Tepelné zisky od technologie-obsluha	Tepelné zisky od světel-obsluha	Celkové Tepelné zisky fasádou	Celkové Tepelné zisky fasádou od JB	Celkové Tepelné zisky
-	nl	Q_L	*QTech1*	*QSv1*	*QF*	*QJR*	Q_{Cm}
-	-	*[W]*	*[W]*	*[W]*	*[W]*	*[W]*	*[W]*
BD	10	620	4000	8000	250	279	**13148,8**

Tab. 2 Celková tepelná zátěž ASŘTP-Léto

Léto							
Č.M	počet lidí	Tepelné zisky od lidí	Tepelné zisky od technologie-za panely	Tepelné zisky od světel-za panely	Celkové Tepelné zisky fasádou	Celkové Tepelné zisky fasádou od JB	Celkové Tepelné zisky
-	nl	Q_L	*QTech2*	*QSv2*	*QF*	*QJR*	Q_{Cm}
-	-	*[W]*	*[W]*	*[W]*	*[W]*	*[W]*	*[W]*
ASŘTP	0	0	9000	6000	0	279	**15278,5**

8 Tepelné ztráty prostoru BD

Z výše uvedeného je patrné, že tepelné zisky v prostoru BD jsou výrazné. Nicméně je nutné uvažovat i s tepelnými ztrátami prostoru. Ač dle předpokladu, výraznou roli budou hrát stále tepelné zisky, jelikož tepelná ztráta bude pouze přes jednu stavební konstrukci. Jelikož není výpočet tepelných ztrát předmětem této práce, ale v podkladech této budovy tepelné ztráty přiložené nebyly, vypočítaly se jako prostý prostup stěnou, jejíž hodnotu součinitele prostupu tepla a plochu známe.

Použitý vztah tedy je:

$$\mathrm{Q}_{ztr} = \mathrm{U}_{ST} \cdot \mathrm{S}_{ST} \cdot \left(t_i - t_{Z,e}\right) = 0{,}35 \cdot 49{,}05 \cdot \left(23 - (-20{,}3)\right) = 751\ [W] \qquad (1)$$

kde:

U_{st} součinitel prostupu tepla stěnou [W/m^{2}K];

S_{st} plocha fasády [m^2];

$t_{Z,e}$ zimní návrhová teplota [°C] (tato teplota je uvažována dle ČSN 12 7010/Z1 [5]);

t_i teplota vnitřního vzduchu [°C].

Dle předpokladu, tepelné zisky prostoru mnohonásobně převyšují tepelné ztráty. Proto je prostor BD i v zimním období chlazen pomocí vzduchotechnické jednotky.

8.1 Celková tepelná zátěž prostoru blokové dozorny v zimním období

Tab. 3 Celková tepelná zátěž BD-Zima

Zima							
Č.M	počet lidí	Tepelné zisky od lidí	Tepelné zisky od technologie-obsluha	Tepelné zisky od světel-obsluha	Celkové Tepelné ztráty fasádou	Celkové Tepelné zisky fasádou od JB	Celkové Tepelné zisky
-	nl	Q_L	*QTech1*	*QSv1*	*QF*	*QJR*	Q_{Cm}
-	-	*[W]*	*[W]*	*[W]*	*[W]*	*[W]*	*[W]*
BD	10	620	4000	8000	-751	303	**12196,5**

Tab. 4 Celková tepelná zátěž ASŘTP-Zima

Zima							
Č.M	počet lidí	Tepelné zisky od lidí	Tepelné zisky od technologie-za panely	Tepelné zisky od světel-za panely	Celkové Tepelné ztráty fasádou	Celkové Tepelné zisky fasádou od JB	Celkové Tepelné zisky
-	nl	Q_L	*QTech2*	*QSv2*	*QF*	*QJR*	Q_{Cm}
-	-	*[W]*	*[W]*	*[W]*	*[W]*	*[W]*	*[W]*
ASŘTP	0	0	9000	6000	0,0	303,1	**15303,1**

9 Stanovení množství čerstvého vzduchu

Množství čerstvého vzduchu na osobu je dáno nařízením vlády č. 93/2012 Sb. [7]. Zde jsou sepsány podmínky, které je nutné dodržet s ohledem na ochranu zaměstnance. Dle nařízení vlády *„25 m3 /h na jednoho zaměstnance vykonávajícího práci zařazenou do třídy I nebo IIa podle přílohy č. 1 k tomuto nařízení, části A, tabulky č. 1 na pracovišti bez přítomnosti chemických látek, prachů nebo jiných zdrojů znečištění“* [7], přičemž *„Třída I odpovídá práci v sedě s minimální celotělovou pohybovou aktivitou, kancelářské administrativní práce, kontrolní činnost v dozornách*

a velínech, psaní na stroji, práce s PC, laboratorní práce, sestavování nebo třídění drobných lehkých předmětů" [7]. Dle konzultace s vedoucím práce se v technické praxi a pro tento typ budovy tato hodnota navyšuje.

V tomto projektu proto byla zvolena hodnota čerstvého vzduchu na pracující osobu 50 m^3/h. V případě, kdy není možné odvádět tepelnou zátěž takto zvoleným množstvím vzduchu, je možné uměle navyšovat množství vzduchu dle potřeby chladícího výkonu.

10 Návrh potrubní síně

Výpočet potrubní sítě je proveden dle podkladů [8]. Je třeba věnovat pozornost tomuto výpočtu, jelikož nám ovlivňuje volbu jak dopravního tlaku přívodního, tak i odvodního ventilátoru vzduchotechnické jednotky. Výpočet je prováděn metodou rychlostí. Tato metoda spočívá ve vhodné volbě rychlosti v hlavních a vedlejších větvích vzduchovodu. Doporučené rychlosti byly voleny dle [8]. Byla volena rychlost w_{opt}=5-6 m/s. Výsledné výsledky výpočtů tlakových ztrát včetně očíslování úseků v přiloženém schématu je uvedeno v **příloze 2**. V textu níže je ukázka výpočtu pouze pro vzduchotechnické jednotky.

Celková tlaková ztráta větve je tvořena součtem tlakové ztráty třením a místních tlakových ztrát. Celkovou ztrátu vyjádříme vztahem:

$$\Delta p_c = \Delta p_{z,t} + \Delta p_{z,m}\ [Pa] \tag{2}$$

kde:

$\Delta p_{z,t}$ tlaková ztráta třením;

$\Delta p_{z,m}$ tlaková ztráta místními odpory.

10.1 Tlaková ztráta třením

$$\Delta p_{z,t} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot p_d = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho\ [Pa] \tag{3}$$

kde:

λ součinitel třecích ztrát [-];

l délka potrubí [m];

d charakteristický rozměr potrubí [m];

p_d dynamický tlak [Pa];

w rychlost vzduchu v potrubí [m/s];

ρ hustota vzduchu [kg/m^3].

10.1.1 Výpočet součinitele třecích ztrát

$$\lambda = \frac{0{,}0812}{Re^{0{,}125} \cdot d^{0{,}11}} \; [-] \tag{4}$$

kde:

Re Reynoldsovo číslo [-];

d charakteristický rozměr potrubí.

10.1.2 Výpočet Reynoldsova čísla

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} \; [-] \tag{5}$$

kde:

w rychlost vzduchu v potrubí [m/s];

d charakteristický rozměr potrubí [m];

v kinematická viskozita [m^2/s].

10.2 Místní tlakové ztráty

$$\Delta p_{z,m} = \sum \xi \cdot p_d \ [Pa] \tag{6}$$

kde:

ξ součinitel místních ztrát [-];

p_d dynamický tlak [Pa];

w rychlost vzduchu v potrubí [m/s];

ρ hustota vzduchu [kg/m^3].

Jelikož se vzduchotechnický systém skládá ze dvou jednotek, bylo potřebné spočítat ztráty pro obě tyto jednotky. Vzduchotechnické jednotky jsou označeny indexy **a** a **b**. Z Tab. 5 je zřejmé, že externí tlakové ztráty (před a za jednotkou), které musí přívodní ventilátor hradit jsou Δp_b= 439,9 Pa (Δp_a=410,2 Pa). Navržený přívodní ventilátor v **jednotce b** ve vzduchotechnické jednotce pak dokáže pokrýt tlakovou ztrátu Δp= 440 Pa (v **jednotce a -** Δp= 415 Pa). Odvodní ventilátor v **jednotce b pokrývá** Δp= 327 Pa (v **jednotce a -** Δp= 312 Pa). Navržené ventilátory jsou uvedeny v **příloze 3**.

Tab. 5 Tlakové ztráty jednotlivých úseků

VZT JEDNOTKA **a**	
Přívod vzduchu do BD	
Součet úseků	Celková ztráta úseků
-	Δp_c
-	[Pa]
1a,1,1.1,,2,3,4,5,6,6a	229,05
1a,1,1.1,2,3,4,5,6,6b	208,11
1a,1,1.1,2,3,4,5,5a	213,55
1a,1,1.1,2,3,4,4a	191,75
1a,1,1.1,2,3,3a	184,51
1a,1,1.1,2	172,23
1a,1,1.1,1c	108,25

VZT JEDNOTKA **b**	
Přívod vzduchu do BD	
Součet úseků	Celková ztráta úseků
-	Δp_c
-	[Pa]
1b,1,1.1,,2,3,4,5,6,6a	252,64
1b,1,1.1,2,3,4,5,6,6b	231,70
1b,1,1.1,2,3,4,5,5a	237,14
1b,1,1.1,2,3,4,4a	227,14
1b,1,1.1,2,3,3a	219,89
1b,1,1.1,2	207,62
1b,1,1.1,1c	143,63

VZT JEDNOTKA **a**	
Celková tl. ztráta jednotky	
$\Delta p_{c\text{-}a}$	
[Pa]	
410,24	přívod
311,42	odvod

VZT JEDNOTKA **b**	
Celková tl. ztráta jednotky	
$\Delta p_{c\text{-}b}$	
[Pa]	
439,94	přívod
326,71	odvod

VZT JEDNOTKA **a**	
Odvod vzduchu z BD	
Součet úseků	Celková ztráta úseků
-	Δp_c
-	[Pa]
1a,1,2,3,4,5,6	67,33

VZT JEDNOTKA **b**	
Odvod vzduchu z BD	
Součet úseků	Celková ztráta úseků
-	Δp_c
-	[Pa]
1b,1,2,3,4,5,6	73,41

VZT JEDNOTKA **a**	
Odvod vzduchu za jednotkou	
Součet úseků	Celková ztráta úseků
-	Δp_c
-	[Pa]
1a,1	244,09

VZT JEDNOTKA **b**	
Odvod vzduchu za jednotkou	
Součet úseků	Celková ztráta úseků
-	Δp_c
-	[Pa]
1b,1	253,31

VZT JEDNOTKA **a**	
Přívod vzduchu před vzt jednotkou	
Součet úseků	Celková ztráta úseků
-	Δp_c
-	[Pa]
1a,1	181,19

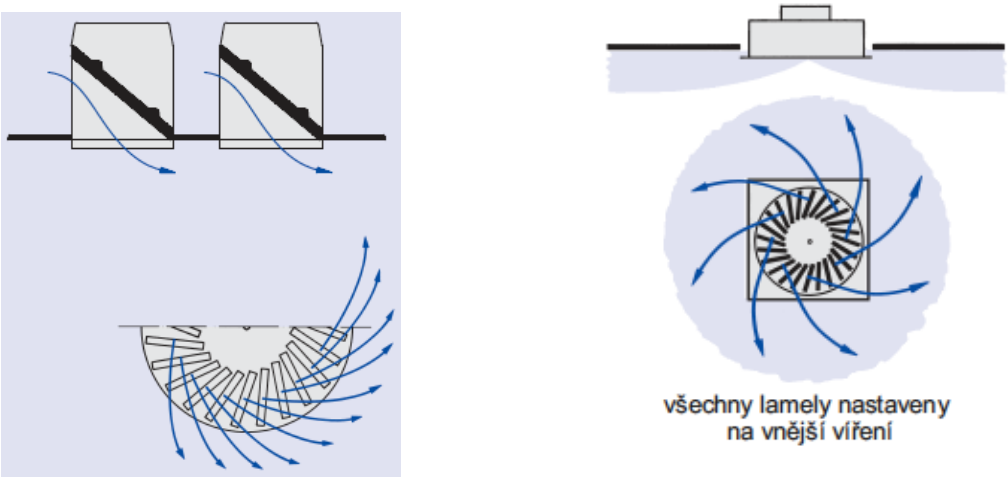
VZT JEDNOTKA **b**	
Přívod vzduchu před vzt jednotkou	
Součet úseků	Celková ztráta úseků
-	Δp_c
-	[Pa]
1b,1	187,30

11 Distribuční prvky

11.1 Prostory blokové dozorny

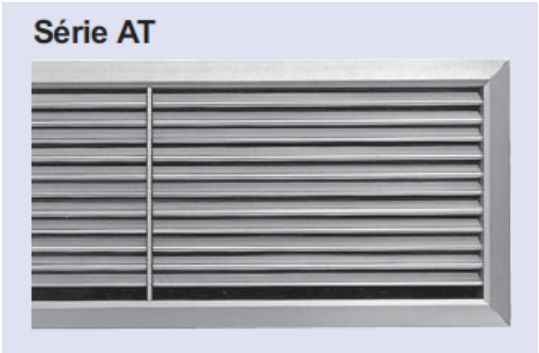
S ohledem na tepelnou pohodu obsluhy je potřeba věnovat pozornost proudění vzduchu v pásmu jejich pobytu. Je potřeba vytvořit rovnoměrné proudění vzduchu a teploty [10]. Na distribuční prvky není kladen speciální požadavek z hlediska seismické odolnosti. Podrobné parametry všech distribučních prvků jsou v **příloze 5**.

V prostoru dozorny byly pro **přívod vzduchu** zvoleny vířivé anemostaty firmy Trox – VDW 625x54 (velikost x počet lamel). Díky dobrému indukčnímu účinku dochází k rychlému snížení rychlosti vzduchu a teploty proudění. Jedním anemostatem bude do prostoru dozorny přivedeno **706 m^3/h.** Vyústky jsou instalovány do podhledu a jejich čelní deska je čtvercová. Vzduch je do vyústek přiváděn přes připojovací komoru ze strany.



Obr. 1 Směr proudění vzduchu [19]

K **odvodu vzduchu** z prostoru dozorny bude docházet pomocí odvodních mřížek z pozinkovaného plechu umístěných v podhledu BD, kde jsou připojeny k potrubí. Rozměry mřížky jsou 625x225 mm. Mřížky budou osazeny regulační sadou. Z podkladů výrobce byly



Obr. 2 Odvodní mřížka TROX AT-AG [20]

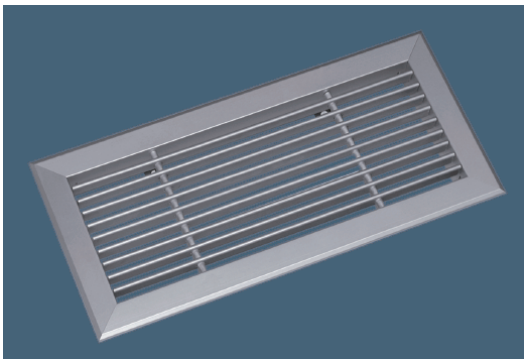
zjištěny tyto parametry, které jsou uvedeny v Tab. 6.

Tab. 6 Parametry vyústek AT-AG (BD)

Typ vyústky	-	AT-AG/625x225
Objemový průtok	V [m^3/h]	1057
Tlaková ztráta	Δp [Pa]	7
Hluk	L_{WA} [dB]	29

11.2 Prostory ASŘTP

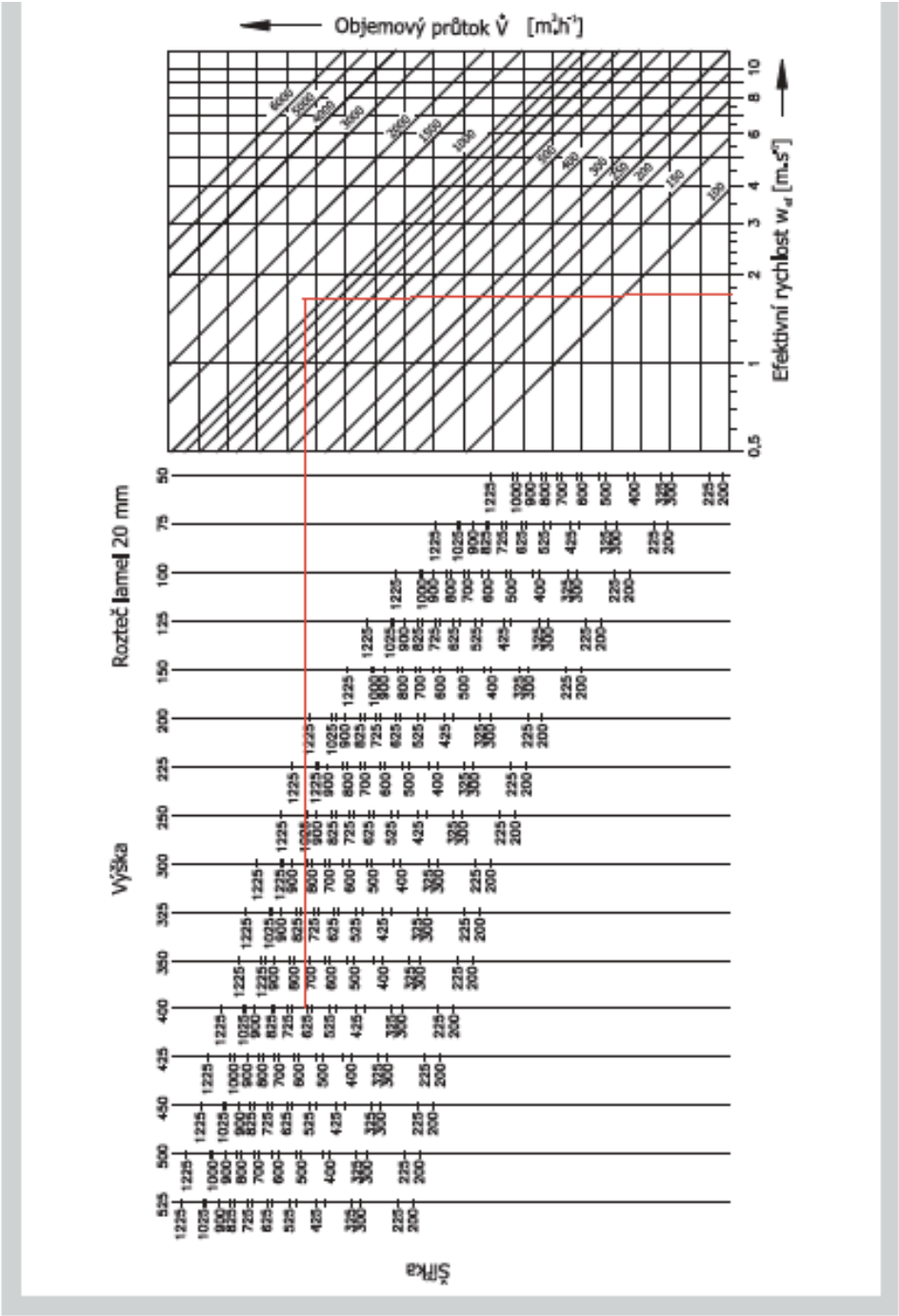
Pro **přívod vzduchu** v prostoru ASŘTP byly zvoleny stěnové vyústky firmy Mandík viz Obr. 3, které jsou umístěny nad podlahou. Toto řešení bylo zvoleno s ohledem na skutečnost, že technologie ASŘTP v sobě obsahuje ventilátory pro přívod vzduchu. Díky těmto ventilátorům si nasává ve spodní části (u podlahy) ochlazený vzduch přiváděný z cirkulační jednotky. Rozměry mřížky a zvolené parametry mřížky jsou vidět v Tab. 7 níže.



Obr. 3 přívodní mřížka MANDÍK SMM [21]

Tab. 7 Parametry vyústky SMM

Typ vyústky	-	SMM-625x400-20
Objemový průtok	V [m^3/h]	1133
Tlaková ztráta	Δp [Pa]	2
efektivní rychlost	w_{ef} [m/s]	1,8



Obr. 4 Návrhový diagram pro mřížku Mandík

Pro **odvod vzduchu** z prostorů ASŘTP byly použity stejné mřížky, jako v případě BD. Jejich technické parametry jsou vypsány v Tab. 8.

Tab. 8 Parametry vyústky AT-AG (ASŘTP)

Typ vyústky	-	AT-AG/625x225
Objemový průtok	V [m^3/h]	1133
Tlaková ztráta	Δp [Pa]	8
Hluk	L_{WA} [dB]	30

Podrobný popis všech distribučních prvků je uveden v **příloze 5**.

12 Návrh vzduchotechnické jednotky

Vzduchotechnická jednotka slouží nejen k větrání dozorny čerstvým vzduchem, ale i k odvodu tepelné zátěže. Byla zvolena jednotky Mandík P8 (příloha 3). Tento typ jednotky je zařazen do seismické odolnosti v podkategorii 1b. Dále pak jednotka splňuje požadavky na zařízení spadajících do bezpečnostních tříd BT III a BT IV. Tato jednotka bude pracovat v klimatizačním systému a bude doplněna o stejnou jednotku, která bude sloužit jako jednotka rezervní (rezervní jednotka se střídá s pracovní a současně je jedna rezervou za jednotku, která pracuje). Jednotky jsou umístěny nad blokovou dozornou v prostorách strojovny. Každá z navržených jednotek pracuje s oběhovým vzduchem. Z důvodu požární bezpečnosti je v prostoru udržován přetlak 10 Pa. Toho je dosaženo rozdílem průtoku přiváděného a odváděného vzduchu. Jednotka je sestavena z těchto komponent:

- Na straně přívodu: připojovací manžeta, uzavírací klapka se servopohonem, filtr 1, rotační výměník ZZT, směšovací komora, vodní ohřívač, vodní chladič, ventilátor, připojovací pružná manžeta.
- Na straně odvodu: připojovací manžeta, filtr 2, odvodní ventilátor, směšovací komora, rotační výměník ZZT, uzavírací klapka se servopohonem, připojovací pružná manžeta.

12.1 Vstupní data pro volbu jednotky

Parametry venkovního prostředí (dle ČSN 12 7010 [5])

- Léto: t_{Le}=34,1 °C; h_{Le}=67 kJ/$kg_{s.v}$,
- Zima: t_{Ze}=-20,3 °C; φ_{Le}=100 kJ/$kg_{s.v}$.

Pozn.: parametry v letním období jsou uvažovány pro percentil 99,6 %, v zimním období uvažujeme percentil 1 %.

- nadmořská výška: h_m=389 m.n.m.
- průměrný tlak vzduchu: p_e=97 kPa.

12.1.1 V letním provozu:

V tomto provozu jednotka pracuje s oběhovým vzduchem. Průtok čerstvého vzduchu je dán dle hygienických požadavků dle potřebné dávky čerstvého vzduchu na osobu. Potřebný průtok přiváděného vzduchu do BD byl stanoven z velikosti tepelné zátěže blokové dozorny.

- množství přiváděného vzduchu: $V_{cel,přiv}$= 7160 m^3/h,
- množství čerstvého vzduchu: $V_{čerst}$= 1000 m^3/h,
- množství odváděného vzduchu: $V_{cel,odv}$= 6444 m^3/h,
- množství oběhového vzduchu: V_{ob}= 6160 m^3/h,
- externí tlaková ztráta přívod: $\Delta p_{ref\text{-}přív}$= 440 Pa,
- externí tlaková ztráta odvod: $\Delta p_{ref\text{-}odv}$= 327 Pa.

Pozn.: Výpočtem bylo množství čerstvého vzduchu stanoveno na 500 m^3/h. Minimální množství, které jednotka dokáže přivést, je ale uvedených 1000 m^3/h.

12.1.2 V zimním provozu:

Průtok čerstvého vzduchu v zimním provozu je roven průtoku vzduchu přiváděného. V zimním období je průtok přiváděného vzduchu dán letním průtokem, který byl stanoven na odvod tepelné zátěže. Ke směšování vzduchů zde nedochází. Odváděný vzduch je přiváděn do ZZT, kde předává svoji tepelnou energii čerstvému venkovnímu vzduchu.

- množství přiváděného vzduchu: $V_{cel,přiv}$= 7160 m^3/h,

- množství čerstvého vzduchu: $V_{čerst}$= 7160 m^3/h,
- množství odváděného vzduchu: $V_{cel,odv}$= 6444 m^3/h,
- externí tlaková ztráta přívod: $\Delta p_{ref\text{-}přív}$= 440 Pa,
- externí tlaková ztráta odvod: $\Delta p_{ref\text{-}odv}$= 327 Pa.

12.2 Popis prvků vzduchotechnické jednotky

Kompletní specifikace jednotky je uvedena v **příloze 3**.

Připojovací manžeta

Tento prvek jednotky slouží jako ochrana před šířením chvění do potrubí. Manžetu nalezneme i na straně přívodu vzduchu do vzduchotechnické jednotky.

Uzavírací klapka

- velikost klapky: 610x910 mm,
- typ klapky: čelní celoplošná vnější,
- tlaková ztráta: 7 Pa.

Filtr 1

Tento filtr slouží k odloučení nežádoucích prachových částic venkovního vzduch. Jeho parametry jsou:

- typ filtru: krátký kapsový,
- třída filtru: M5,
- materiál: syntetický,
- délka filtru: 500 mm,
- složení vložky: 1- 597x287 mm; 1- 490x402 mm; 1- 490x287 mm,
- tlaková ztráta: 127 Pa.

Zpětné získávání tepla

- typ: rotační výměník,
- pohon/napětí: měnitelné otáčky/ 230 V,
- teplotní faktor: 77,5 %,

- vlhkostní faktor: 0 %,
- tlaková ztráta: 184 Pa,
- vstup vzduchu (teplota/ relat. vlhkost): -20,3 °C/ 100 %,
- výstup vzduchu (teplota/ relat. vlhkost): 13,2 °C/ 81 %,
- motor: 3x 230 V/50 Hz, 250 W,
- otáčky motoru: 1320 ot/min.

Ventilátor – přívodní vzduch

- otáčky (max. otáčky): 2945 ot/min,
- účinnost: 76,7 %,
- příkon: 4 kW,
- celkový tlak: 1002 Pa,
- frekvenční měnič: 4 kW; 3x 380 – 480 V.

Vodní ohřívač

- materiál: Cu/ Al,
- Teplotní rozdíl: 130/70,
- vstup vzduchu (teplota/ relat. vlhkost): 13,2 (max. 26,5 °C) °C/81 %,
- výstup vzduchu (teplota/ relat. vlhkost): 17,9 (max. 26,5) °C/5 %
- výkon ohřívače: 11,3 (max. 32,1) kW,
- tlaková ztráta: 45 Pa,
- regulace: řízení průtoku vody.

Vodní chladič

- materiál: Cu/ Al,
- teplotní rozdíl: 6/12,
- počet řad: 4,
- vstup vzduchu (teplota/ relat. vlhkost): 27,1 °C/47 %,
- výstup vzduchu (teplota/ relat. vlhkost): 20 (max. 19) °C/68,3 %,
- výkon ohřívače: 12,6 (max. 23,5) kW,
- tlaková ztráta: 167 Pa,

- regulace: řízení průtoku vody.

Směšovací komora

V letním období se vzduch, který je odváděn, směšuje s čerstvým vzduchem v poměru:

- průtok vzduchu (čerstvý/odváděný): 1000/6160 m^3/h,
- teplota po smíšení: t_{sm}=27,1 °C.

Ventilátor-odvodní vzduch

- otáčky: 2321 ot/min,
- účinnost: 76,6 %,
- příkon: 2,2 kW,
- celkový tlak: 675 Pa,
- frekvenční měnič: 4 kW; 3x 380 – 480 V.

Odvodní vzduch

Připojovací manžeta má stejnou funkci jako na straně přívodního vzduchu, tedy brání šíření vibrací do potrubí. Uzavírací klapka v letním období slouží k uzavření odvodu vzduchu, jelikož je tento vzduch využíván jako cirkulační. Její parametry jsou shodné s uzavírací klapkou na přívodu. Totéž platí s filtrem na straně odvodu vzduchu.

Stavy vzduchu v h-x diagramech a výkony stanovené návrhovým programem AHUMAN společnosti Mandík, které jsou ověřené výpočtem jsou uvedeny v kapitole 15.

13 Návrh cirkulačního chladivového zařízení pro prostor ASŘTP

Toto zařízení zajišťuje odvod tepelné zátěže z prostoru zařízení automatického systému řízení technologických procesů (ASŘTP). Zařízení bude pracovat v systému 1+1. Vnitřní jednotka bude umístěna ve strojovně nad dozornou a s prostorem ASŘTP je propojena potrubním systémem. Venkovní jednotka je umístěna na střeše budovy. Tyto jednotky spadají do bezpečnostní třídy BT III. a jsou součástí systémů souvisejících s jadernou bezpečností. Cirkulační jednotka se skládá z filtrační části, parního zvlhčovače a ventilátorové části.

Obr. 5 Chladící cirkulační jednotka Uniflair LE [22]

Chlazení je řešené pomocí přímého výparníku a vzduchem chlazeného kondenzátoru. Volba tohoto řešení byla provedena s ohledem na elektrická zařízení ASŘTP.

13.1 Návrh vnitřní cirkulační jednotky

13.1.1 Letní období

Jak bylo popsáno výše, jednotka odvádí tepelnou zátěž z prostor ASŘTP v prostorách dozorny. Hodnota tepelné zátěže, kterou je třeba odvést je **Q_{TZ}=15,3 kW**. Jednotka pracuje s cirkulačním vzduchem. V prostorách za panely se neuvažuje, že bude trvale osazena obsluhou, a proto do něho není potřeba přivádět čerstvý vzduch. Jednotka nasává vnitřní vzduch mřížkami v podhledu. Po zchlazení vzduchu na požadovanou teplotu je vzduch potrubním rozvodem přiveden stěnovou vyústkou umístěnou nad podlahou zpět do prostor ASŘTP.

Návrh chladivového systému je proveden dle [9]. Návrhové parametry v tomto období jsou:

- t_{Le}=34,1 °C; h_{Le}=67 kJ/$kg_{s.v}$.

Požadovaný vnitřní stav vzduchu je v letním období:

- t_i=26 °C; φ_i=40-60 %.

Teplota přiváděného vzduchu bude:

- t_p=20 °C.

Průtok přiváděného vzduchu

Vzduch, která je přiváděn jednotkou do prostoru z ní odvádí citelnou tepelnou zátěž (patrné z h-x diagramu na Obr. 14). Jeho průtok je dán vztahem:

$$\dot{V}_{cir} = \frac{Q_{Cm}}{\rho \cdot c \cdot (t_i - t_p)} = \frac{15279}{1{,}2 \cdot 1010 \cdot (26 - 20)} \cdot 3600 = 7563\ [m^3/h] \qquad (7)$$

kde:

Q_{CH} citelná tepelná zátěž za technol. panely [W];

ρ hustota vzduchu [kg/m^3];

c měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg.K];

t_i výpočtová teplota vnitřního vzduchu [°C];

t_p teplota přiváděného vzduchu [°C].

V prostorách ASŘTP nejsou vlhkostní zisky. Dle citelné tepelné zátěže a vypočítaného potřebného průtoku vzduchu byla zvolena vnitřní cirkulační jednotka **Uniflair LE-TUAR 0722A.** Parametry jednotky jsou:

- průtok přiváděného vzduchu: $V_{cir,sk}$=7933 m^3/h,
- citelný chladící výkon jednotky: $Q_{CH,cit-skut}$=23,9 kW,
- celkový chladící výkon jednotky: $Q_{CH,celk-skut}$=25,6 kW,
- rozměry jednotky jsou: 1960x1310x865 (VxŠxH).

Pro zvolenou jednotku je třeba zkontrolovat teplotu přiváděného vzduchu se skutečnou hodnotou jeho průtoku. Skutečný pracovní rozdíl teplot je:

$$(t_i - t_p)_{skut} = \frac{Q_{Cm}}{\rho \cdot c \cdot V_{p,skut}} = \frac{15279}{1{,}2 \cdot 1010 \cdot 7933} \cdot 3600 = 5{,}77\ [°C] \qquad (8)$$

kde:

Q_{Cm} citelná tepelná zátěž v prostoru ASŘTP [W];

ρ hustota vzduchu [kg/m^3];

c měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg.K];

t_i výpočtová teplota vnitřního vzduchu [°C];

$V_{p,skut}$ skutečný objemový průtok vzduchu cirkulační jednotkou [°C].

13.1.2 Zimní období

V tomto období pracuje jednotka ve stejném pracovním režimu jako v období letním. Je to dáno tepelnými zisky, které jsou v tomto období totožné jako v letním období. Tepelné ztráty se v prostorách ASŘTP neprojevují.

13.2 Venkovní vzduchem chlazená kondenzační jednotka

Výkon venkovního vzduchem chlazeného kondenzátoru je dán z výkonu vnitřní jednotky. Byla zvolena jednotka typu **Uniflair CAP 801**. Jednotka je umístěna na střeše budovy a s vnitřní jednotkou je propojena měděným potrubím. Parametry jednotky jsou uvedeny v Tab. 9 a podrobný náhled na parametry jednotky je v **příloze 4**.

Obr. 6 Vzduchem chlazená kondenzační jednotka [22]

Tab. 9 Parametry kondenzátoru

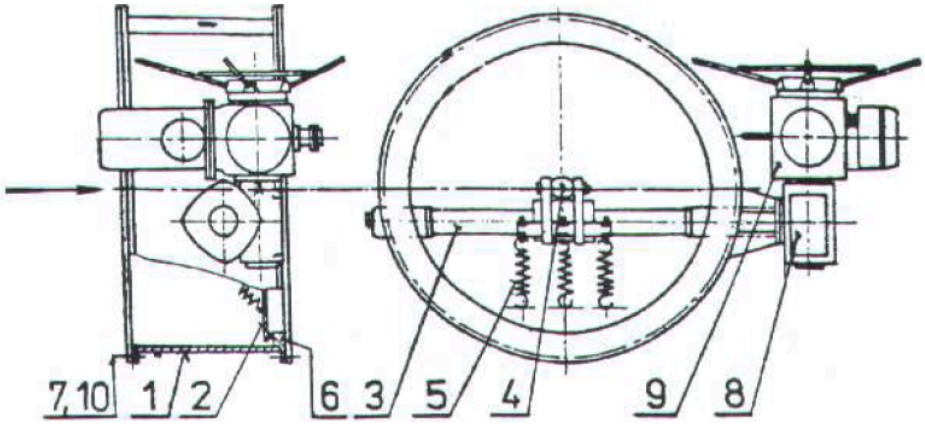
Účel	Typ	Výkon [kW]	Průtok vduchu [m^3/h]	Hluk LWA [dB]	Rozměry [mm]	Kusů
Kondenz. j.	UNIFLAIR CAP 801	27,6	9150	54,6	1877x350x700	2

14 Další zařízení vzduchotechniky

Nároky na zařízení, která jsou součástí vzduchotechnických systémů jsou velké. Tyto zařízení musejí zvládat náročný provoz v těžkých podmínkách JE 24 hodin denně bez přerušení provozu. Dalším důležitým požadavkem na stroje a zařízení je délka provozu bez revize a údržby. U těchto zařízení se tato délka provozu pohybuje od 8000 do 10000 hodin. V případě blokové dozorny je kladen požadavek na seismickou odolnost zařízení vzduchotechnických systémů. V případě výskytu seismických událostí je třeba, aby zařízení zajistila svou stabilní polohu nebo udržela svou těsnost. Proto bylo třeba hledat specializované dodavatele těchto zařízení [4].

14.1 Automatický vzduchotěsný uzávěr potrubí

Tyto uzávěry složí k rychlému uzavření jednoho potrubí a následného otevření jiného potrubí. Důraz je kladen na těsnost těchto uzávěrů. Tyto uzávěry spadají do seismické podskupiny 1b a je možné je zařadit do bezpečnostní třídy BT III. [4] [23].



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

Obr. 7 Automaticky vzduchotěsný uzávěr [23]

Zde je tabulka vybraných uzávěrů ve vzduchotechnických systémech. Podrobné informace o zvolených uzávěrech jsou v **příloze 6**.

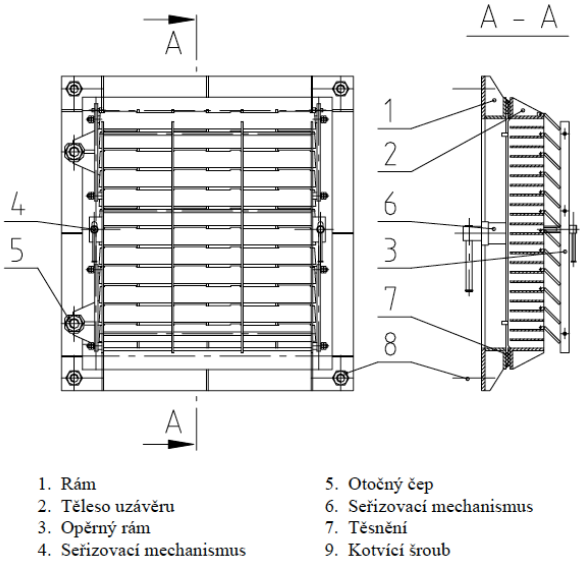
Tab. 10 Parametry vzduchotěsných klapek

typ	Δp_z [Pa]	Napájecí napětí	Ovládací a sign. napětí [V]	Celková hm. Uzzávěru [kg]	Kusů
Uzávěr 800-MOA	60	400 V – 50 Hz	230	377	4
Uzávěr 600-MOA	60	400 V – 50 Hz	230	315	2

Vzduchotechnické uzávěry jsou ovládány pomocí servomotorů. Jejich řízení je popsáno ve stati „Měření a Regulace“.

14.2 Protitlakové uzávěry

Prostory jaderné elektrárny jsou vzduchotechnickými systémy propojeny s venkovním prostorem. V případě tlakové vlny by hrozilo, že se přes sání nebo výtlak vzduchotechniky mohou do prostoru JE šířit nežádoucí látky ohrožující její provoz. Tlaková vlna dokáže i fatálně poškodit vzduchotechnické systémy. Proto bylo nutné navrhnout protitlakové uzávěry, které těmto skutečnostem zabrání. Jsou osazeny na všech vstupech a výstupech potrubí do venkovního prostředí. Tyto uzávěry splňují požadavky na zařízení v podskupině seismické odolnosti 1b. Dále pak mohou být zařazeny do bezpečnostní třídy BT III. [4] [24].



Obr. 8 Protitlakový uzávěr [24]

Tabulka navržených protitlakových uzávěrů je uvedená níže a podrobnější informace o uzávěrech jsou uvedeny v **příloze 6**.

Účel	typ	Δpz [Pa]	Napájecí napětí	Ovládací a sign. napětí [V]	Celková hm. Uzávěru [kg]	Kusů
VZT jednotka	Uzávěr 800-MOA	60	400 V- 50 Hz	230	377	2
Filtr. Stanice	Uzávěr 600-MOA	60	400 V- 50 Hz	230	315	2

14.3 Vzduchotechnické potrubí

Jaderná elektrárna je propletena velkým množstvím potrubních rozvodů. Tyto rozvody se rozdělují do dvou skupin [4]:

- Potrubí pro větrání a klimatizaci JE v prostorách mimo kontrolované pásmo (MKP).
- Potrubí pro kontrolované pásmo (KP).

V tomto projektu bylo použito potrubí společnosti ZVVZ. Potrubí je z ocelového pozinkovaného plechu. Jeho tloušťka je 1,5 mm a spojuje se pomocí úhelníkových přírub. Životnost potrubí by měla být po celou dobu životnosti JE. Seismická odolnost potrubí spadá do podskupiny 1b. Potrubí použité v JE se řadí k vybraným zařízením v bezpečnostní třídě BT III. [4].

14.4 Filtrační stanice

Jak bylo popsáno výše, toto zařízení slouží k zajištění větrání při výskytu radioaktivních látek v okolí JE.

Tyto stanice se umisťují jak do přívodního potrubí pro ochranu dozoren, tak i do odvodního potrubí vzduchotechnických systémů, které větrají prostory s výskytem anebo možným výskytem radioaktivních aerosolů.

Filtrační stanice jsou konstruovány ve stavebnicovém provedení. Díky tomu je možné skládat filtry podle různých požadavků. Hlavním požadavkem na výrobce filtrů je seismická odolnost a na provozuschopnost filtru při parametrech filtrovaného média a okolního prostředí s teplotou +127 °C až +150 °C [4].

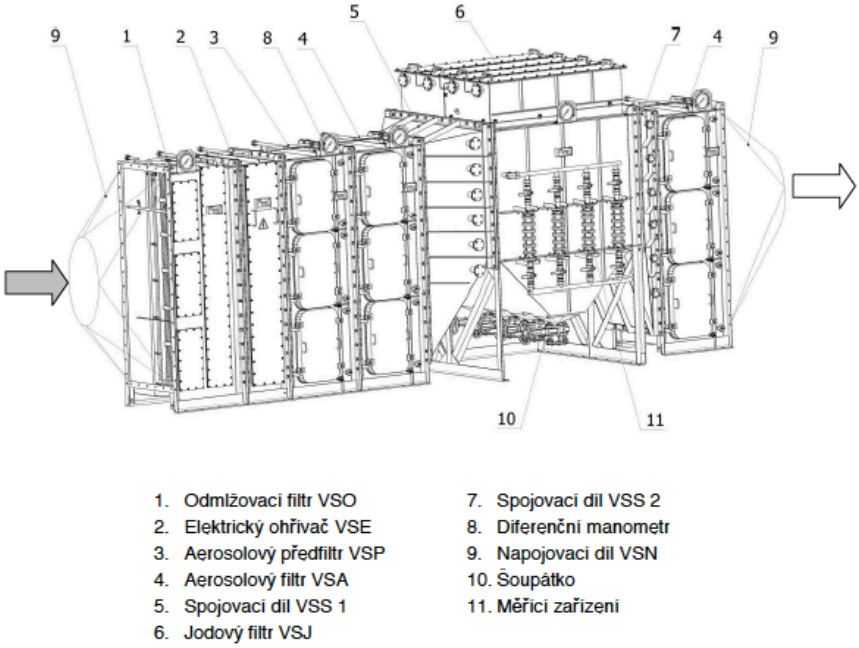
Filtry, které se osazují do filtračních stanic jsou nejčastěji [4]:

- **Jodové filtry** pro zachycení radioaktivního jodu. Jejich provedení je vložkové nebo sypané. Před jodové filtry se umísťuje elektrický ohřívač, který slouží ke snížení relativní vlhkosti před vstupem do filtru.
- **Aerosolové filtry** pro hrubé filtrování aerosolů ve vzduchu.
- **Vysoce účinné aerosolové filtry.**

Dalšími prvky ve filtrační stanice jsou různé nátrubky pro připojení kontrolních a měřících přístrojů. Tyto nátrubky dále umožňují přívod dekontaminačních roztoků.

Stanice se vyrábějí od objemových průtoků 1 700 až po 16 000 m^3/h. Jejich odlučivost se pohybuje v minimální hodnotě 99,95 % pro radioaktivní aerosoly

a minimálně 99,99 % pro plynové sloučeniny radioaktivního jodu. Životnost filtračních stanic se pohybuje okolo 40 let. Konstrukční řešení splňuje požadavky na zařízení v podskupině seismické odolnost 1b. a řadí se do bezpečnostní třídy BT III. [4] [25]. Podrobný náhled na filtrační stanici je v **příloze 6**.



Obr. 9 Popis dílčích částí filtrační stanice [25]

15 Zakreslení stavů vzduchu v h-x diagramu

15.1 Letní období – úprava vzduchu ve vzduchotechnické jednotce

Z výše uvedené Tab. 1 vidíme, že vzduchotechnická jednotka musí odvést z prostoru dozorny tepelnou zátěž. Zároveň musí zajistit stanovené množství čerstvého vzduchu.

Návrhové parametry jsou pro letní období takové:

- t_{Le}=34,1 °C,

- h_{Le}=67 kJ/kg.

V části „Návrh vzduchotechnické jednotky“ bylo řečeno, že jednotka v letním období nevyužívá zpětné získávání tepla. Místo toho se ve směšovací komoře mísí čerstvý vzduch se vzduchem oběhovým, a ten je následně chlazen na požadovanou teplotu.

Přiváděný vzduch do blokové dozorny má teplotu t_p=20 °C. Čerstvý vzduch nasávaný z venkovního prostoru má teplotu t_{Le}. Poté dochází ve směšovací komoře k smíchání čerstvého a oběhového vzduchu o teplotě t_i=26 a relativní vlhkosti φ_i=47 % na výslednou teplotu t_{sm}. Tato teplota je vyjádřena pomocí bilanční rovnice:

$$V_e \cdot t_e + V_{ob} \cdot t_i = (V_e + V_{ob}) \cdot t_{sm} \rightarrow t_{sm} = \frac{V_e \cdot t_e + V_{ob} \cdot t_i}{(V_e + V_{ob})} = \frac{1000 \cdot 34{,}1 + 6160 \cdot 26}{(1000 + 6160)} = 27{,}13\ [°C] \tag{9}$$

kde:

V_{ob} objemový průtok oběhového vzduchu [m^3/h];

V_e objemový průtok čerstvého vzduchu [m^3/h];

t_e venkovní výpočtová teplota v letním období [°C];

t_i výpočtová teplota vnitřního vzduchu [°C];

$V_{p,skut}$ skutečný objemový průtok vzduchu cirkulační jednotkou [°C].

Nyní je možné ze vzniklého bodu chladit vzduch na přívodní teplotu t_p. Chladič byl dimenzován podle podkladů výrobce. Proto je průběh úpravy vzduchu v diagramu odlišný oproti teoretickému trendu. To znamená, že průběh je oproti teoretickému přímkovému průběhu jiný, a tedy i výkon chladiče je oproti teoretickému výkonu menší. Z podkladů výrobce plyne (**příloha 3**), že po zchlazení vzduchu na teplotu t_p=20 °C bude vzduch nasycen vodní parou z 68,3 %.

15.1.1 Kontrola výkonu vodního chladiče

Výkon chladiče je dán vztahem:

$$Q_{ch,VZT} = V_p \cdot \rho \cdot (h_{sm} - h_p) = \frac{7160}{3600} \cdot 1{,}2 \cdot (53{,}9 - 45{,}3) = 20{,}5\ [kW] \tag{10}$$

kde:

V_p objemový průtok přiváděného vzduch [m^3/h];

ρ hustota vzduchu [kg/m^3];

h_p entalpie vzduchu před vstupem [J/kg.K];

h_{sm} entalpie vzduchu po smíšení [J/kg.K].

15.1.2 Vlhkostní zisky od lidí

V blokové dozorně se pohybuje dle návrhu 10 osob. Proto je nutné počítat s navlhčením vzduchu vlivem produkce vlhkosti M_w. Dle ČSN 73 0548 [6], [11] je produkce vlhkosti 116 g/h vodní páry od jedné osoby sedící a mírně pracující. Potom je výsledná produkce v BD vyjádřená vztahem:

$$M_W = M_s \cdot n = 10 \cdot 116 = 1160\ [g/h] \tag{11}$$

kde:

n počet lidí v blokové dozorně [-];

M_s produkce vodní páry od lidí [g/h].

Z vlhkostních zisků v BD se stanoví změna měrné vlhkosti podle vztahu:

$$\left(x_i - x_p\right)_{vyp} = \frac{M_w}{V_p \cdot \rho} = \frac{1160}{7160 \cdot 1{,}2} = 0{,}136\ [g/kg] \tag{12}$$

kde:

M_w vlhkostní zátěž prostoru [g/h];

ρ hustota vzduchu [kg/m^3];

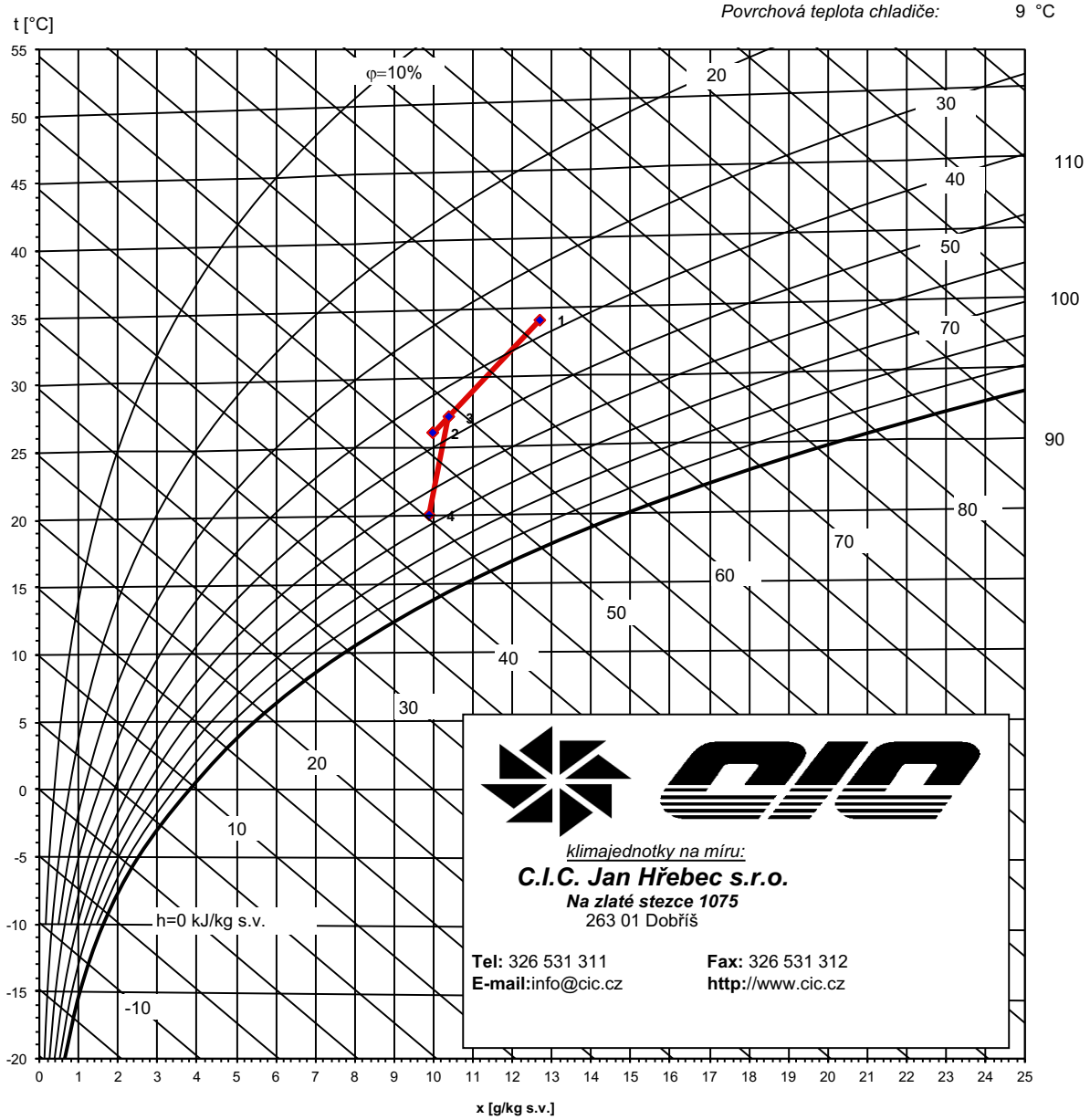
V_p objemový průtok přiváděného vzduchu [m^3/h].

Musí být dodržena rovnost $(x_i\text{-}x_p)_{vyp}=(x_i\text{-}x_p)_{h\text{-}x}$.

Na Obr. 10 je zobrazena výsledná změna stavů vzduchu v BD.

Psychrometrický diagram dle Molliera

Tlak vzduchu: 100 kPa
Max. vlhkost při úpravách: 100 %
Povrchová teplota chladiče: 9 °C



			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			E	I	SE	P						
Teplota	t	°C	34,1	26,0	27,1	20,0						
rel.vlhkost	φ	%	37%	47%	46%	67%						
měr. vlhkost	x	g/kg s.v.	12,7	10,0	10,4	9,9						
entalpie	h	kJ/kg s.v.	67,0	51,7	53,9	45,3						
hustota	ρ	kg/m3	1,13	1,16	1,15	1,18						
t.vlhkého tepl.	tv	°C	22,5	18,1	18,9	16,0						
Skut. průtok	Vs	m3/h	1 080	6 450	7 530	7 346						
Norm. průtok	Vn	m3/h	1 000	6 160	7 160	7 160						
Předaný výkon	P	kW				-20,5						
Odpařené vody	qw	kg/h			0,0	-4,2						

Obr. 10 Úprava vzduchu v letním období (BD)

15.2 Zimní období – úprava vzduchu ve vzduchotechnické jednotce

I když se jedná o zimní období, stále zde hrají velkou roli tepelné zisky, které mnohonásobně převyšují tepelné ztráty. Velikost těchto zisků je v Tab. 3. Oproti letnímu období je zde uvažováno se zpětným získáváním tepla. Množství vzduchu, které je přiváděné do prostoru BD, je dáno letním obdobím. Proto je nejdříve nutné vypočítat teplotu přiváděného vzduchu.

Parametry vzduchu v zimním období jsou:

- t_{Ze}=-20,3 °C,
- φ_{Ze}=100 %.

Parametry vnitřního vzduchu v zimním období jsou:

- t_i=23 °C,
- φ_{Ze}=50 %,
- x_i=8,9 g/kg.

Vyjádříme ji vztahem:

$$(t_i - t_p) = \frac{Q_{Cm}}{V_p \cdot \rho \cdot c} \rightarrow t_p = t_i - \frac{Q_{Cm}}{V_p \cdot \rho \cdot c} = 23 - \frac{12197}{7160 \cdot 1{,}2 \cdot 1010} = 17{,}94\ [°C] \qquad (13)$$

kde:

Q_{Cm} citelná tepelná zátěž v prostoru BD [W];

V_p objemový průtok přiváděného vzduchu [m^3/h]

ρ hustota vzduchu [kg/m^3];

c měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg.K];

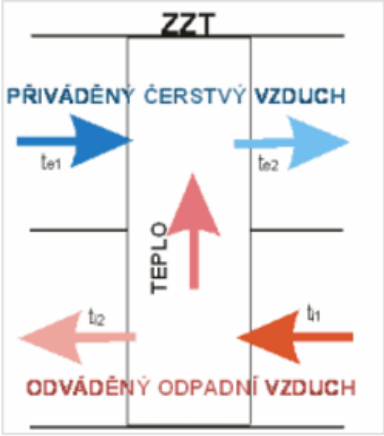
t_i výpočtová teplota vnitřního vzduchu [°C].

15.2.1 Kontrola teploty za výměníkem ZZT

Tento vzduch je přiveden do vzduchotechnické jednotky, kde je předehříván pomocí ZZT. Výrobce jednotky ve svých podkladech udává teplotní faktor ZZT Φ_t=77,5 %. S touto účinností má vzduch po průchodu rotačním výměníkem teplotu

13,2 °C. Rotační výměník má vlhkostní faktor Φ_x=0 %, a tudíž není počítáno s navlhčením vzduchu.

- t_{e1}=-20,3 °C,
- t_{e2}=x °C,
- t_{i1}=23 °C,
- Φ_t=77,5 %.



Obr. 11 funkční schéma ZZT [12]

Teplota vzduchu po průchodu ZZT je dána vztahem:

$$\phi_t = \frac{t_{e2} - t_{e1}}{t_{i1} - t_{e1}} \rightarrow t_{e2} = t_{e1} + \phi_t \cdot (t_{i1} - t_{e1}) =) = -20{,}3 + 0{,}775(23 + 20{,}3) = 13{,}2\ [°C] \qquad (14)$$

kde:

t_{e1} teplota venkovního vzduchu před výměníkem [°C];

t_{e2} teplota venkovního vzduchu za výměníkem [°C];

t_{i1} teplota odváděného vzduchu před výměníkem [°C];

t_{i2} teplota odváděného vzduchu za výměníkem [°C];

Φ_t teplotní faktor ZZT [%].

Poté je vzduch dohřát ve vodním ohřívači na teplotu t_p=17,95 °C.

15.2.2 Kontrola výkonu vodního ohřívače

Výkon ohřívače je dán vztahem:

$$Q_{ohř,VZT} = V_p \cdot \rho \cdot c \cdot (t_p - t_{e2}) = \frac{7160}{3600 \cdot 1000} \cdot 1{,}2 \cdot 1010 \cdot (17{,}9 - 13{,}2) = 11{,}3\ [kW] \qquad (15)$$

V_p objemový průtok přiváděného vzduch [m^3/h];

ρ hustota vzduchu [kg/m^3];

c měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg.K];

t_p teplota vzduchu za ohřívačem vzduchu [°C];

t_{e2} teplota venkovního vzduchu za výměníkem [°C].

Nyní je nutné přiváděný vzduch vlhčit. Vlhčení je parou, a proto je změna trendu realizována po konstantní teplotě. Vlhčíme na měrnou vlhkost, která je stanovena z rovnice vlhkostních zisků BD.

Během zvlhčování roste entalpie, měrná i relativní vlhkost. Teplota vzduchu je téměř konstantní (ve skutečnosti teplota nepatrně roste, ale v praxi se tato skutečnost zanedbává).

15.2.3 Zvlhčování parou

V současné době jsou parní zvlhčovače nejrozšířenější formou vlhčení. Vlhčení jako takové je velmi energeticky náročný proces úpravy vzduchu. Z nařízení vlády [13] jsou požadovány hygienické parametry pracovního prostředí v rozmezí φ_i=30-70 %. Dříve se tradovala pro komfortní klimatizaci hodnota relativní vlhkosti vzduchu 50 %, dnes dle nejnovějších poznatků lidem více vyhovuje vlhkost nižší, ne však pod 30 %. Požadavek v BD je v mezích 40-60 %. Proto bylo osazení jednotky parním zvlhčovačem nezbytné. Bohužel výrobce vzduchotechnických jednotek Mandík své jednotky parním zvlhčovačem neosazuje, a proto je nutné ho navrhnout.

Musíme navrhnout elektrický parní vyvíječ, který produkuje vodní páru a pomocí distribučních trubic s parními tryskami ji přivádí do proudu vzduchu.

15.2.4 Výpočet výkonu parního zvlhčovače

Požadovaná měrná vlhkost po výstupu ze zvlhčovače je x_p=8,8 g/kg a hodnota před vlhčením je x_{Ze}=0,6 g/kg.

Parametry vnitřního vzduchu v zimním období jsou:

- t_i=23 °C,
- φ_{Ze}=50 %,

- x_i=8,9 g/kg.

Dle ČSN 73 0548 [6], [11] je produkce vlhkosti v zimním období 97 g/h vodní páry od jedné osoby sedící a mírně pracující. Potom je výsledná produkce v BD vyjádřená vztahem:

$$M_W = M_s \cdot n = 10 \cdot 97 = 970\ [g/h] \tag{16}$$

kde:

n počet lidí v blokové dozorně [-];

M_s produkce vodní páry od lidí [g/h].

Z vlhkostních zisků v BD se stanoví změna měrné vlhkosti podle vztahu:

$$(x_i - x_p)_{vyp} = \frac{M_w}{V_p \cdot \rho} = \frac{970}{7160 \cdot 1{,}2} = 0{,}113\ [g/kg] \tag{17}$$

kde:

M_w vlhkostní zátěž prostoru [g/kg];

ρ hustota vzduchu [kg/m^3];

V_p objemový průtok přiváděného vzduchu [m^3/h].

Musí být dodržena rovnost $(x_i\text{-}x_p)_{vyp}=(x_i\text{-}x_p)_{h\text{-}x}$.

Množství vodní páry, která je potřeba na požadované zvlhčení vody je vyjádřené vztahem:

$$M_w = V_p \cdot \rho \cdot (x_p - x_{e2}) = \frac{7160 \cdot 1{,}2 \cdot (8{,}8 - 0{,}6)}{1000} = 70{,}4\ [kg/hod] \tag{18}$$

kde:

V_p objemový průtok přiváděného vzduch [m^3/h];

ρ hustota vzduchu [kg/m^3];

x_p měrná vlhkost vzduchu před vlhčením [q/kg];

x_{Ze} měrná vlhkost vzduchu po vlhčením [q/kg].

Potřebný výkon parního zvlhčovače vyjádřený vztahem:

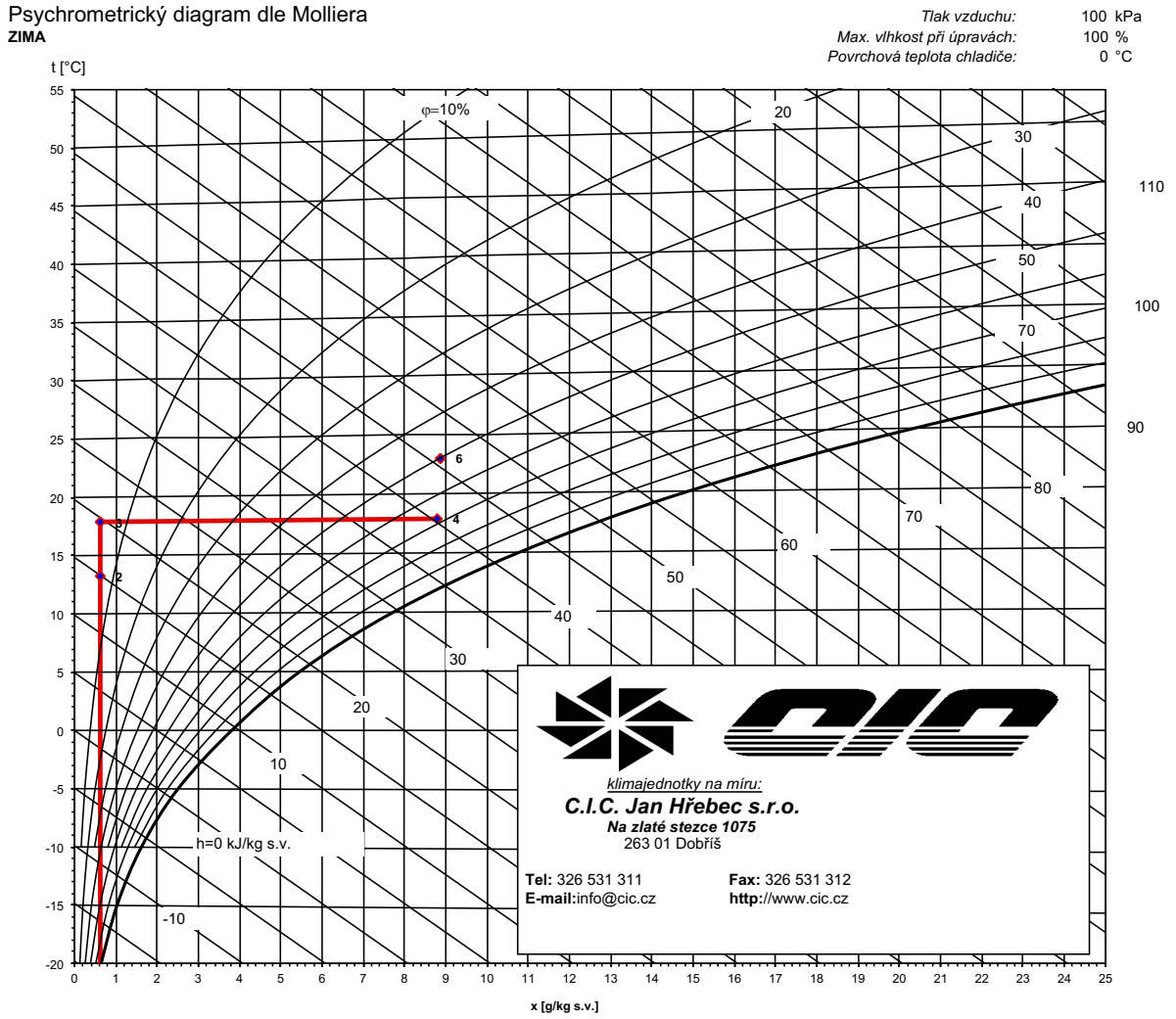
$$Q_w = M_w \cdot l_w = \frac{70{,}4 \cdot 2500}{3600} = 48{,}9\ [kW] \tag{19}$$

kde:

M_w množství vodní páry [kg/h],

l_w měrné skupenské teplo vody [kJ/kg].

Pomocí návrhového softwaru od společnosti **NORDMANN** byl zvolen zvlhčovač **AT 3000/6564** (Obr. 13). Zvlhčovač bude umístěn ve strojovně a distribuční trubice budou osazeny do přívodního potrubí.



			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			E	ZZT	O	P		I				
Teplota	t	°C	-20,3	13,2	17,9	17,9		23,0				
rel.vlhkost	φ	%	100%	7%	5%	68%		50%				
měr. vlhkost	x	g/kg s.v.	0,6	0,6	0,6	8,8		8,9				
entalpie	h	kJ/kg s.v.	-19,0	14,9	19,6	40,4		45,8				
hustota	ρ	kg/m3	1,38	1,22	1,20	1,19		1,17				
t.vlhkého tepl.	tv	°C	-20,3	3,0	5,4	14,3		16,2				
Skut. průtok	Vs	m3/h	6 243	7 070	7 186	7 280		0				
Norm. průtok	Vn	m3/h	7 160	7 160	7 160	7 160		0				
Předaný výkon	P	kW		80,8	11,3	49,5						
Odpařené vody	qw	kg/h		0,0	0,0	70,2						

Obr. 12 Úprava vzduchu v zimním období (BD)

Summary of calculation

Planning details Date: 25.05.2017

Client:
Project:
Plant:
Offer No:
Register No:
Company:
Issued by:
Distributor

Humidification load and type of humidifier

Air volume	total air flow	7160	m3 / h
	percentage fresh air	100	%
	to be humidified	7160	m3 / h
Outside air	pressure of the atmosphere	1000	hPa or mbar
	i.e level above sea of	111	m
	temperature	17,9	°C
	relative humidity	5	%
	absolute humidity	0,6	g/kg
Inside air	temperature	17,9	°C
	relative humidity	72	%
	absolute humidity	8,8	g/kg
Calculated	density of the air	1,20	kg/m3
	humidity increase	8,2	g/kg
	humidification load	70,4	kg/h
Electrical connections	Control voltage	220-240	Volt 50/60Hz
	heating voltage	400	Volt
	number of phases	3	Phase(s)

Selected humidifier **AT 3000** **6564**

Humidification distance

Air and duct	total air flow			7160	m3 / h
	duct width x height	1000	x	1000	mm
	air temperature before humidifier			18	°C
Calculated	air velocity			2,0	m/s
	inside absolute air humidity			8,8	g/kg
	steam output of the humidifier			70,4	kg/h
	K - factor			3,3	
steam distribution	number of pipes			2	
	diameter of pipes			35	mm
	length of pipes			900	mm

Calculated humidification distance **2,1** **m**

Minimum distance between installed steam distribution pipe and following components:

Humidistat, humidity-, and temperature sensor	10,5	m
Submicron particle filters	5,3	m
Duct heater, fine filter	3,2	m
Duct branch, zone outlet, air diffuser, duct bend, fan	2,1	m

Product of: NORDMANN ENGINEERING AG, certified ISO 9001:2000

Obr. 13 Parní zvlhčovač Nordmann AT 3000

15.3 Úprava vzduchu v cirkulační jednotce

Výpočet a ověření výkonu cirkulační jednotky bylo provedeno v kapitole „Návrh cirkulační jednotky“. Vzhledem ke skutečnosti, že se jedná o elektrické zařízení, na kterém záleží bezpečnost JE je důležité vzhledem k elektrickým nábojům udržovat relativní vlhkost v rozmezí 30-60 %. Nebezpečí také představuje vysoká vlhkost z pohledu nežádoucí kondenzace par [11]. Návrhové parametry prostoru ASŘTP jsou:

- t_i=26 °C,
- φ_{Ze}=40 %.

Vzduch o teplotě t_i je nasáván do jednotky, kde je schlazen na teplotu t_p=20,2 °C (kap. 13.1). Trend změny úpravy vzduchu v h-x diagramu jsme získali spojením teploty t_i a střední teploty chladiče cirkulační jednotky (t_{ch}=5 °C).

Tento vzduch je poté vlhčen na požadovanou relativní vlhkost. Cirkulační jednotka zvlhčovač obsahuje v sobě, jako volitelný komponent. Výrobcem byl doporučen parní zvlhčovač **NORMANN ES4.** Výrobce cirkulačních jednotek bohužel už nedoplnil potřebné údaje o výkonu tohoto zvlhčovače, a proto je potřeba jeho výkon vypočítat podle vztahu:

$$M_w = V_p \cdot \rho \cdot \left(x_p - x_{e2}\right) = \frac{7933 \cdot 1{,}2 \cdot (8{,}5 - 7{,}7)}{1000} = 7{,}6\ [kg/h] \qquad (20)$$

kde:

V_p objemový průtok přiváděného vzduch [m^3/h];

ρ hustota vzduchu [kg/m^3];

x_p měrná vlhkost vzduchu před vlhčením [q/kg];

x_{Ze} měrná vlhkost vzduchu po vlhčením [q/kg].

Potřebný výkon parního zvlhčovače dle vztahu:

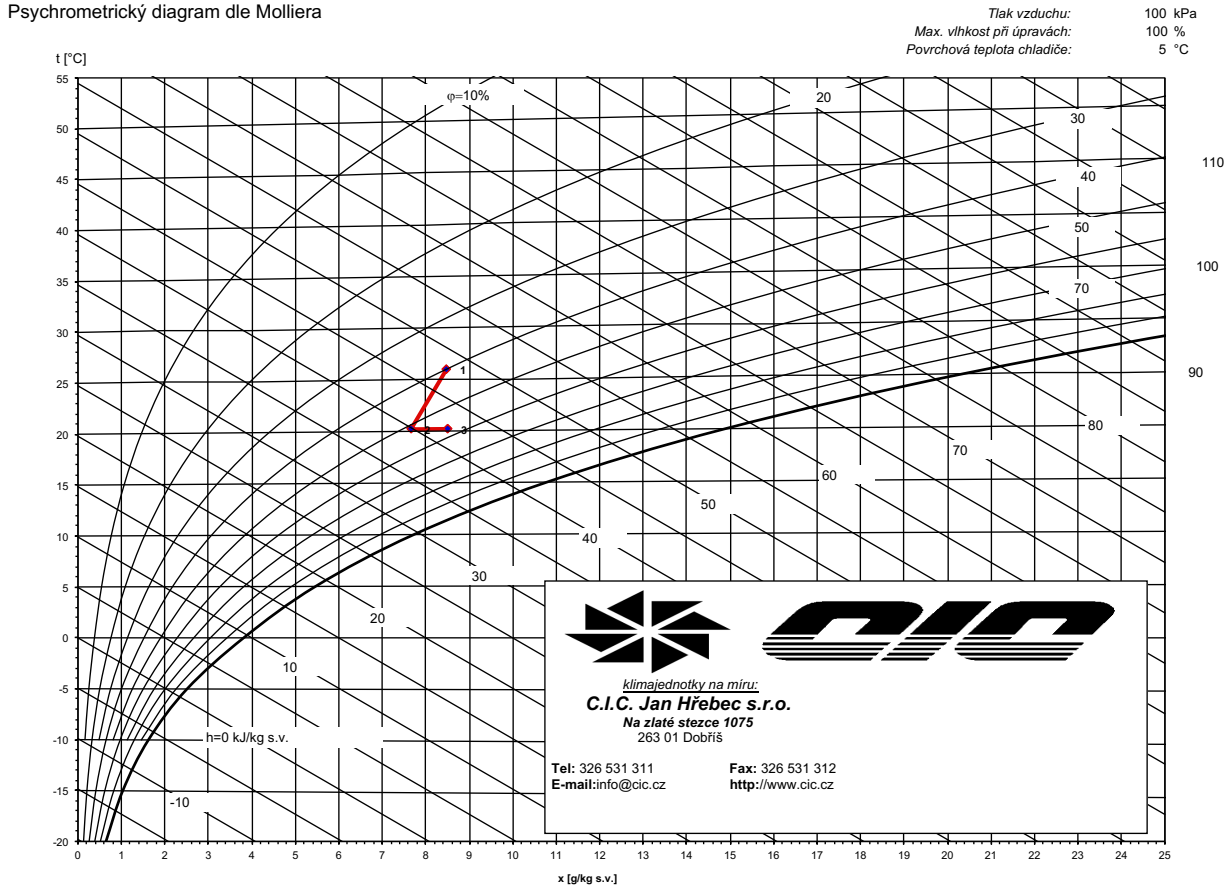
$$Q_w = M_w \cdot l_w = \frac{7{,}6 \cdot 2500}{3600} = 5{,}3\ [kW] \tag{21}$$

kde:

M_w množství vodní páry [kg/h],

l_w měrné skupenské teplo vody [kJ/kg].

Výsledná úprava vzduchu je vidět na Obr. 14.



			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			I	P	SE							
Teplota	t	°C	26,0	20,2	20,2							
rel.vlhkost	φ	%	40%	51%	57%							
měr. vlhkost	x	g/kg s.v.	8,5	7,7	8,5							
entalpie	h	kJ/kg s.v.	47,9	39,8	42,0							
hustota	ρ	kg/m3	1,16	1,18	1,18							
t.vlhkého tepl.	tv	°C	16,9	14,0	14,8							
Skut. průtok	Vs	m3/h	8 287	8 116	8 126							
Norm. průtok	Vn	m3/h	7 933	7 933	7 933							
Předaný výkon	P	kW		-21,3	5,7							
Odpařené vody	qw	kg/h		-7,8	8,0							

Obr. 14 Úprava vzduchu v ASŘTP

16 Specifikace vzduchotechnických prvků

Tab. 11 Tabulka instalovaných výkonu

Č. ZAŘÍZENÍ	VZDUCHOTECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ-POPIS ZAŘÍZENÍ
1.01	Vzduchotechnická jednotka MANDÍK 4035x1585x1720, Vp=7160 m^3/h, Vo=6444 m^3/h
1.02	Vzduchotechnická jednotka MANDÍK 4035x1585x1720, Vp=7160 m^3/h, Vo=6444 m^3/h
1.03	Chladíví cirkulační jednotka UNIFLAIR LE Vp=7933 m^3/h,Qch=25,6 kW
1.04	Chladíví cirkulační jednotka UNIFLAIR LE Vp=7933 m^3/h,Qch=25,6 kW
1.05	Filtrační stanice ZVVZ
1.06	Filtrační stanice ZVVZ
1.07	Ventilátor-Filtrační stanice
1.08	Ventilátor-Filtrační stanice
1.09	Elektrický parní zvlhčovač NORDMANN AT3000/6564, Qp=48,9 kW,Mw=70,4 kq/h
1.10	Venkovní vzduchem chlazený kondenzátor Uniflair CAM 801, Qch=27,6
1.11	Venkovní vzduchem chlazený kondenzátor Uniflair CAM 801, Qch=27,6

17 Hluk a chvění v blokové dozorně

Na pohodu prostředí má také velký vliv hluk a chvění s ním spojené. Proto je dobré věnovat studii hluku pozornost i v projektech vzduchotechniky.

V otázce řešení opatření proti hluku v blokové dozorně JE byly použity tyto protihlukové antivibrační opatření:

- Napojení koncových prvků bylo provedeno tepelně a hlukově izolovanou ohebnou hadicí (SONOVAC).
- Z hlediska dispozice byly chladící cirkulační jednotky umístěny do strojovny na prostory BD. Původní návrh počítal s umístěním jednotek přímo v prostorách BD.
- Vzduchotechnické jednotky a chladicí cirkulační jednotky budou uloženy na pružné podložky. Takto je zamezeno přenosu vibrací do konstrukce budovy. Potrubí, které je napojeno ke vzduchotechnickým jednotkám a cirkulačním jednotkám bude připojeno pomocí pružných manžet.
- V případě kontaktu potrubí se stavební konstrukcí dojde k vypodložení potrubí pružnou rýhovou pryží.

Největší problém nastává s ventilátory obsaženými ve vzduchotechnických jednotkách. Tento hluk se bude šířit potrubím, což by způsobilo diskomfort. Nařízení vlády [14] stanovilo maximální hodnotu hladiny tlaku akustického tlaku na základní hodnotu 85 dB. Od této hodnoty se snižuje hladina podle zařazení do skupiny na hodnotu Lp_{Amax}=50 dB. Dle hlukové studie BD doc. Novým byl požadavek na dodržení limitního hluku **Lp_{Amax}=45 dB**.

Výpočet útlumu hluku byl proveden podle [17]. Hladina akustického výkonu ventilátoru je uvedena výrobcem vzduchotechnické jednotky a je uvedena v **příloze 7**.

Ve výpočtu je uvažováno s vlastním útlumem hluku elementů a s jejich vlastním hlukem. Výpočet je proveden pro první koncový prvek v BD z pohledu od vzduchotechnické jednotky. Pod tímto prvkem je zvolen kontrolní bod výpočtu, jelikož se zde počítá s největší hodnotou hladiny akustického tlaku. Akustický výkon koncového prvku je ve výpočtech zahrnut.

Je zřejmé, že ve skutečnosti nebude působit v kontrolním bodě pouze koncový prvek, ale jelikož se jedná o otevřený prostor s velkým výskytem technologických zařízení, bude mít vliv na výsledný hluk i jejich hladina akustického výkonu. Zahrnutí dalších zdrojů hluku by bylo provedeno jako v naznačeném výpočtu v příloze 7. Pokud by byl požadavek na podrobnější studii hluku, bylo by potřeba podrobnější analýzy, která ale není předmětem této práce.

V kontrolovaném místě je uvažováno, že působí 3 anemostaty. Hodnoty pohltivosti a činitele směrovosti byly převzaty z [16]. V prvním výpočtu je uvažováno, že tlumiče hluku nejsou osazeny. Hladina akustického tlaku je v tomto případě L_{PAmax}=45,2 dB. Dle studie doc. Nového je patrné, že je tato hodnota nevyhovující, a to i k faktu, že námi uvažovaný případ je značně zjednodušený a zidealizovaný (uvažujeme pouze 3 vyústky). Proto je potřeba použít tlumič hluku. Tlumič hluku byl navržen pomocí návrhového softwaru společnosti Greif. Parametry zvoleného tlumiče jsou v **příloze 8**.

Výpočtem, ve kterém je uvažováno s tlumiči hluku vychází hladina akustického tlaku v kontrolovaném místě L_{PAmax}=36,6 dB. Tato hodnota již vyhovuje požadavkům.

18 Měření a regulace

Větrání a klimatizace BD a ASŘTP

V potrubním rozvodu jsou mezi strojovnou a BD umístěny požární klapky a a dále jsou u příslušných zařízení osazeny vzduchotěsné uzávěry. Dále je každá odbočka k vířivým anemostatům osazena konstantním regulátorem průtoku vzduchu.

V prostoru BD je umístěno čidlo kontroly teploty vzduchu. Pokud se teplota zvýší, čidlo posílá informaci do řídící jednotky, která řídí trojcestnou armaturu na ohřívači či chladiči vzduchu. Toto řešení je využito i pro prostory ASŘTP.

Ventilátory ve vzduchotechnických jednotkách jsou osazeny frekvenčním měničem. Vzduchotechnické jednotky jsou napojeny na centrální řízení MaR. MaR bude řídit teplotu vzduchu vystupujícího z jednotky. V letním období se její teplota odvíjí od venkovní teploty. Dále je nutné napojení chodu vzduchotechnické jednotky jednotky na vzduchotěsný uzávěr. Ten je v poloze otevřeno pouze v chodu příslušné jednotky. Takto nastaveny budou i vzduchotěsné uzávěry u chladících cirkulačních jednotek a filtračních stanic. Další z úkolů MaR je rovnoměrný provoz vzduchotechnických jednotek, cirkulačních jednotek a filtračních stanic. Všechna tato zařízení, jak již bylo zmíněno, pracují s rezervou 1+1. Je proto nutné, aby MaR zajistila rovnoměrný provoz obou zařízení.

Další požadavky na profese:

- zajištění součinnosti profesí,
- protimrazová ochrana vzduchotechnické jednotky (zajištění ochrany výměníku zpětného získávání tepla proti zamrzaní (měření tlakové diference)),
- hlásič zanesení filtrů,
- zajištění osazení servopohonů,
- na straně odtahu vzduchu z dozorny osadit kouřové čidlo do přívodu čerstvého vzduchu (zajištění odstavení zařízení při indikaci kouře),
- zajištění signalizace polohy u požárních klapek.

19 Závěr

Hlavním úkolem této práce bylo navrhnout klimatizační systém blokové dozorny a systém pro odvod tepla z technologických panelů ASŘTP.

V první řadě bylo potřeba se s celkovým systémem vzduchotechniky v jaderné elektrárně seznámit. Byla popsána koncepce vzduchotechniky. Její rozdělení do skupin, podle účelu. Dále rozdělení podle druhu provozu na vzduchotechnické systémy pro neaktivní a vzduchotechnické systémy pro aktivní provozy. Vzduchotechnický systém a prvky vzduchotechniky byly stručně popsány z pohledu seismické odolnosti. Byly shrnuty provozní režimy a provozní stavy vzduchotechnických systémů a následoval samotný popis vzduchotechnických systému v blokové dozorně jaderné elektrárny. Návrh vzduchotechnických systémů a zařízení byl proveden pro normální a abnormální provoz. Jako další krok následoval výpočet tepelné zátěže dle normy ČSN 73 0548 [6] pro výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostor. Tento výpočet byl proveden pomocí programu excel s funkcí makro. Tento a další soubory byly přiloženy jako součást této práce na CD. Výpočet zátěže slouží pro návrh vzduchotechnických systémů.

Tepelné ztráty v prostoru blokové dozorny byly zcela pokryty a převýšeny tepelnými zisky prostoru, a proto bylo potřeba tepelnou zátěž prostoru odvádět i v zimním období.

Pro zajištění přívodu čerstvého vzduchu a odvodu zátěže z prostoru obsluhy v blokové dozorně byla zvolena vzduchotechnická jednotka Mandík, která pracuje s rezervou (1+1). Jednotky jsou umístěny v prostoru strojovny, která je umístěna nad BD. Jednotka byla navržena v návrhovém softwaru výrobce. Z jeho výstupu jsou k přečtení výkonové požadavky ohřívače, chladiče a teplotní faktor zpětného získávání tepla. Výkony těchto prvků byly ověřeny výpočtem. Pro dosažení požadovaného stavu vzduchu bylo potřeba navrhnout parní zvlhčovač, jehož trubice distribuce páry je umístěna do přívodního potrubí. Změny stavů vzduchu byly vyneseny do h-x diagramů jak pro letní i zimní provoz BD. Dále byly navrženy potřebné distribuční prvky a také prvky automatických vzduchotěsných uzávěrů pro přepínání jednotek, požární klapky a protitlakové uzávěry v případě působení tlakové vlny z venkovního prostředí JE. Pro

přívod vzduchu byly navrženy vířivé anemostaty. Bylo nutné ověřit rychlost přívodního vzduchu v pásmu pobytu osob vzhledem k diskomfortu, který by vznikl vyšší rychlostí proudícího vzduchu.

Hygienické množství čerstvého vzduchu na osobu bylo stanoveno dle [7], kde se píše, že minimální dávka čerstvého vzduchu na osobu, která převážně sedí je 25 m^3/h. Toto množství se však v praxi navyšuje a zde bylo zvoleno 50 m^3/h.

Samotné potrubní rozvody jsou v prostoru dozorny vedeny v podhledech. Vzduchotechnické potrubí bylo navrženo metodou optimálních rychlostí. Přiváděný vzduch z jednotky svou rychlost směrem do prostoru BD snižuje. Potrubí je navrženo jako kruhové kromě místa napojení parního zvlhčovače. Zde bylo uvažováno potrubí čtyřhranné. Jak bylo zmíněno výše, do každého potrubí je umístěna požární klapka. Vířivé anemostaty jsou napojeny pomocí ohebné hadice s tepelnou a tlumící izolací.

Pro odvod tepelné zátěže z prostorů ASŘTP byla zvolena chladící cirkulační jednotka UNIFLAIR. Ta pracuje také s rezervou (1+1). Jednotky jsou umístěny v prostoru strojovny a jsou připojeny na potrubní rozvod který rozvádí a odvádí vzduch z/do prostoru ASŘTP. Distribuce vzduchu je u podlahy z distribučních mřížek vzduchu. Odvod je proveden pomocí mřížek v podhledu. Kondenzátor byl zvolen vzduchem chlazený a je umístěn na střeše budovy. Pracuje s rezervou (1+1).

V poslední řadě byl proveden výpočet útlumu hluku do vnitřního chráněného prostoru. Na základě toho byly zvoleny tlumiče hluku.

20 Seznam příloh

PŘÍLOHA Č. 1 –UKÁZKA VÝPOČTU TEPELNÉ ZÁTĚŽE

PŘÍLOHA Č. 2 –OZNAČENÍ ÚSEKŮ VZDUCHOTECHNICKÉHO POTRUBÍ A VÝPOČET TLAKOVÝCH ZTRÁT

PŘÍLOHA Č. 3 –VZDUCHOTECHNICKÁ JEDNOTKA (NÁVRHOVÝ LIST)

PŘÍLOHA Č. 4 –CHLADÍCÍ CIRKULAČNÍ JEDNOTKA (KATALOGOVÝ LIST)

PŘÍLOHA Č. 5 –DISTRIBUČNÍ PRVKY (KATALOGOVÉ LISTY)

PŘÍLOHA Č. 6 –POUŽITÉ PRVKY (KATALOGOVÉ LISTY) - (CD)

PŘÍLOHA Č. 7–VÝPOČET ÚTLUMU HLUKU

PŘÍLOHA Č. 8–NÁVRŽENÝ TLUMIČ HLUKU

21 SEZNAM VÝKRESŮ

BD 1 –	PŮDORYS BLOKOVÉ DOZORNY	A2	1:100
BD 2 –	PŮDORYS STROJOVNY	A2	1:100
BD 3 –	PŮDORYS STŘECHY	A3	1:100
BD 4 –	ŘEZY	A2	1:100
BD 5 –	SCHÉMA	A3	

22 Seznam použité literatury

[1] **KAHLE, R**. Vzduchotechnika v jaderných elektrárnách (1. část). *Vytápění, větrání, instalace: odborný časopis Společnosti pro techniku prostředí*. 2015, 24(3), 129-133. ISSN 1210-1389.

[2] **KAHLE, R**. Vzduchotechnika v jaderných elektrárnách (2. část). *Vytápění, větrání, instalace: odborný časopis Společnosti pro techniku prostředí*. 2015, 24(5), 224-229. ISSN 1210-1389.

[3] **KAHLE, R**. Vzduchotechnika v jaderných elektrárnách (3. část). *Vytápění, větrání, instalace: odborný časopis Společnosti pro techniku prostředí*. 2015, 25(4), 184-189. ISSN 1210-1389.

[4] **KAHLE, R**. Vzduchotechnika v jaderných elektrárnách (4. část). *Vytápění, větrání, instalace: odborný časopis Společnosti pro techniku prostředí*. 2015, 25(5), 242-247. ISSN 1210-1389.

[5] ***ČSN 12 7010/Z1**: Vzduchotechnická zařízení – Navrhování větracích a klimatizačních zařízení*. Praha: Vydavatelství ÚNM, 2016.

[6] ***ČSN 73 0548**: Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*. Praha: Vydavatelství ÚNM, 1985.

[7] **Česká republika, Nařízení vlády č. 93**, kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, ve znění nařízení vlády č. 68/2010 Sb. In Sbírka zákonů, Česká republika 2012, částka 37, s. 5086-5229. ISSN 1211-1244.

[8] **ZMRHAL, V**. *Návrh potrubní sítě* [online]. 2015 [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Projekt3/Podklady/05_Sireni%20hluku%20potrubni%20siti.pdf

[9] **ZMRHAL, V. a F. DRKAL**. *Návrh a dimenzování chladivového klimatizačního systému* [online]. 2007 [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Publikace/CHKS_2007.pdf

[10] **DRKAL, F. a V. ZMRHAL**. *Větrání*. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05181-8.

[11] **CHYSKÝ, J., K. HEMZAL a kol**. *Větrání a klimatizace: Technický průvodce*. 3., zcela přeprac. vyd. Brno: BOLIT-B Press, 1993. ISBN 80-901574-0-8.

[12] **LAIN, M**. *TZB-info: Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci* [online]. 2006 [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/3648-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-i

[13] **ČESKÁ REPUBLIKA. Nařízení vlády č. 441/2004 Sb.**, kterým se mění nařízení vlády č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci, ve znění nařízení vlády č.523/2002 Sb. In: *Sbírka zákonů*. 2004, částka 145.

[14] **Česká republika, Nařízení vlády č. 272**, o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací In Sbírka zákonů, Česká republika 2011, částka 97, s. 5086-29. ISSN 1211-123

[15] **ČSVTS**: *Hodnocení seizmické odolnosti prováděná pro české jaderné elektrárny* [online]. Hrotovice, 2012 [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: http://www.csvts.cz/cns/jarniseminar/prispevky/Tengler.pdf

[16] **NOVÝ, R**. *Hluk a chvění*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04347-9.

[17] **ZMRHAL, V**. *Šíření hluku potrubní sítí* [online]. 2015 [cit. 2017-06-18]. Dostupné z: http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Projekt3/Podklady/05_Sireni%20hluku%20potrubni%20siti.pdf

[18] **KAHLE, R**. *Vzduchotechnika v jaderné elektrárně*. Praha, 2017. Písemné sdělení.

[19] **Trox Technik**. *Vířivé anemostaty-série VDW* [online]. 2006 [cit. 2017-06-23]. Dostupné z: https://www.trox.cz/downloads/0cfb648eebcc01a4/2_7_CZ_6_VDW_web.pdf?type=product_info

[20] **Trox Technik**. *Větrací mřížky* [online]. 2008 [cit. 2017-06-23]. Dostupné z: https://www.trox.cz/downloads/e28b397ed641a954/m---ky-T_1-1_1_CZ_2.pdf?type=product_info

[21] **Mandík**. *Stěnové mřížky* [online]. 2017 [cit. 2017-06-23]. Dostupné z: http://www.mandik.cz/getattachment/3d0f1aa9-2108-4a15-893f-9d67be956d0a/014_01_cz_SMM.aspx

[22] **Schneider electric**. *Room air conditioners* [online]. 2016 [cit. 2017-06-23]. Dostupné z: http://download.schneider-electric.com/files?p_Reference=APC_FFAI-AC7J8N_R1_EN&p_EnDocType=Brochure&p_File_Id=4306311217&p_File_Name=FFAI-AC7J8N_R1_EN.pdf

[23] **ZVVZ Machinary**. *Automatický vzduchotěsný uzávěr* [online]. 2008 [cit. 2017-06-23]. Dostupné z: http://www.zvvz.cz/data/files/331jadernc3a1energetika2fkm0090-1.pdf

[24] **ZVVZ Machinary**. *Uzávěry protitlakové* [online]. 2008 [cit. 2017-06-23]. Dostupné z: http://www.zvvz.cz/data/files/355km0580-08res.pdf

[25] **ZVVZ engineering**. *Filtrační stanice pro jaderné elektrárny* [online]. [cit. 2017-06-23]. Dostupné z: http://www.zvvz.cz/data/files/1170klfs2012czts020601pr04cs.pdf