

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ODBOR TERMOMECHANIKY A TECHNIKY PROSTŘEDÍ EÚ

Doc. Ing. Eva Janotková, CSc.

TECHNIKA PROSTŘEDÍ

2. část



Investice do rozvoje vzdělávání

© Eva Janotková, 2014

1. upravené vydání studijního materiálu vydaného v roce 2013, který byl vypracován v rámci projektu CZ.1.07/2.2.00/15.0165 Absolvent energetik připraven pro trh práce

PŘEDMLUVA

Technika prostředí je samostatný vědní obor, zaměřený na tvorbu a ochranu životního prostředí vnitřního i vnějšího. S rozvojem poznatků a technických možností jsou kladeny stále vyšší nároky na kvalitu prostředí a na zařízení pro úpravu prostředí, což se projevuje i v legislativní oblasti tvorbou mnoha zákonných opatření, hygienických směrnic a předpisů, které musí být v souladu s obdobnými materiály EU.

Studijní materiál je určen pro předmět Technika prostředí, jehož náplň je zaměřena na prostředí vnitřní, tj. v interiérech budov. Studijní materiál Technika prostředí je věnován hodnocení stavu vnitřního prostředí, ale především pak technickým prostředkům k zajištění vhodného vnitřního prostředí, a to jak v prostředí pracovním, obytném, rekreačním aj., tak prostředkům k vytvoření vhodného mikroklimatu podle požadavků provozované technologie. Jedná se zejména o technické prostředky, které zajišťují tepelně-vlhkostní stav prostředí a upravují jakost vzduchu, ke kterým patří zařízení větrací, klimatizační a vytápěcí. Vzhledem ke škodlivému vlivu hluku na člověka je zde také věnována pozornost problematice hluku a prostředkům k jeho snižování.

Text studijního materiálu Technika prostředí je členěn do dvou částí. Tato 2. část studijního materiálu Technika prostředí navazuje na 1. část a obsahuje kapitoly Klimatizace, Vytápění a Hluk.

Technika prostředí využívá poznatky základních vědních disciplín, jakými jsou matematika, fyzika, termodynamika, přenos tepla a látky a hydromechanika.

Studijní materiál Technika prostředí je určen především pro posluchače strojních fakult vysokých škol technických.

Proti původnímu vydání z roku 2013 jsou v tomto vydání provedeny drobné úpravy a to zejména v oblasti současně platné legislativy a platných norem.

1. upravené vydání studijního materiálu Technika prostředí 1. a 2. část je dostupné z: <http://studyenergyweb.fme.vutbr.cz/technika-prostredi/technika-prostredi>.

OBSAH

5. KLIMATIZACE	6
5.1 VLHKÝ VZDUCH	6
5.1.1 Fyzikální základy	6
5.1.2 Vyjádření vlhkosti vzduch	7
5.1.3 Entalpie vlhkého vzduchu a $h-x$ diagram vlhkého vzduchu	8
5.1.4 Izobarické změny stavu vlhkého vzduchu	9
5.2 KLIMATIZAČNÍ ZAŘÍZENÍ A JEJICH KOMPONENTY	11
5.2.1 Ohřivače a chladiče	13
5.2.2 Zvlhčovače vzduchu	13
5.2.3 Ventilátory	15
5.2.4 Filtry atmosférického vzduchu a zařízení pro zpětné získávání tepla	17
5.3 CHLADICÍ ZAŘÍZENÍ PRO KLIMATIZACI	17
5.4 KLIMATIZAČNÍ SYSTÉMY	19
5.4.1 Vzduchové systémy	19
5.4.2 Systémy kombinované vzduch - voda	21
5.4.3 Systémy vodní	23
5.4.4 Chladivové systémy	24
5.5 VÝPOČET ADIABATICKÉ PRAČKY VZDUCHU	28
5.6 DIMENZOVÁNÍ KLIMATIZAČNÍCH ZAŘÍZENÍ	29
6. VYTÁPĚNÍ	34
6.1 VYTÁPĚNÍ VODNÍ	34
6.1.1 Vytápění teplovodní	34
6.1.1.1 Teplovodní otopná soustava s přirozeným oběhem vody	35
6.1.1.2 Teplovodní otopná soustava s nuceným oběhem vody	37
6.1.1.3 Etážové vytápění	38
6.1.1.4 Otopná tělesa	39
6.1.2 Velkoplošné teplovodní vytápění	40
6.1.3 Zabezpečovací zařízení teplovodních soustav	42
6.1.4 Vytápění horkovodní	42
6.2 VYTÁPĚNÍ PARNÍ	42
6.3 VYTÁPĚNÍ TEPLOVZDUŠNÉ	45
6.3.1 Teplovzdušné vytápění velkoprostorových místností	46
6.3.1.1 Ústřední teplovzdušné vytápění	46

6.3.1.2 Vytápění teplovzdušnými jednotkami	47
6.3.2 Teplovzdušné vytápění rodinných domů a jednotlivých bytů	49
6.4 SÁLAVÉ VYTÁPĚNÍ VELKOPROSTOROVÝCH MÍSTNOSTÍ	52
6.4.1 Vytápění zavěšenými sálavými panely	52
6.4.2 Vytápění přímotopnými plynovými zářiči	53
6.5 VÝPOČET TEPELNÉHO VÝKONU OTOPNÝCH SOUSTAV	55
6.6 MĚŘENÍ SPOTŘEBY TEPLA PŘI VYTÁPĚNÍ	56
7. HLUK	57
7.1 HLUK A VIBRACE	57
7.2 ZÁKLADNÍ AKUSTICKÉ VELIČINY	57
7.3 DECIBELOVÉ STUPNICE	59
7.3.1 Hladina akustického tlaku	60
7.3.2 Hladina intenzity zvuku	61
7.3.3 Hladina akustického výkonu	61
7.3.4 Hladina zrychlení vibrací	62
7.3.5 Stanovení výsledné hladiny dvou a více zvuků	62
7.4 HODNOCENÍ HLUKU A VIBRACÍ	63
7.4.1 Hladina akustického tlaku A, B, C	63
7.4.2 Hodnocení proměnných hluků – ekvivalentní hladina akustického tlaku A	64
7.4.3 Přípustné hodnoty hluku a vibrací	65
7.5 ÚČINKY HLUKU NA ČLOVĚKA	67
7.6 ZDROJE A ŠÍŘENÍ HLUKU	68
7.6.1 Šíření zvuku ve volném prostoru	69
7.6.2 Šíření zvuku v uzavřeném prostoru	70
7.7 PROSTŘEDKY KE SNIŽOVÁNÍ HLUKU	72
7.7.1 Prostředky ke snižování hluku v poli přímých vln	72
7.7.1.1 Snižování akustického výkonu zdroje hluku	73
7.7.1.2 Umístění hlučných zdrojů nebo jejich obsluhy do zvukově izolovaných místností	76
7.7.2 Tlumení hluku v poli odražených vln	76
7.7.3 Tlumení hluku šířícího se pevnou konstrukcí	77
7.7.4 Osobní ochranné prostředky k ochraně sluchu	78
LITERATURA	79

5. KLIMATIZACE

Klimatizace je strojní úprava vzduchu na požadovanou teplotu, vlhkost a čistotu, a to automaticky po celou roční dobu. Je tedy určena pro nucené větrání klimatizovaných prostor, současně z nich musí odvádět tepelnou zátěž, případně produkovanou vlhkost, kompenzovat jejich tepelné ztráty, zabezpečit v nich požadovanou vlhkost a udržovat v budově potřebný tlak, aby se předešlo nežádoucí výměně vzduchu.

Podle použití se klimatizační zařízení dělí na komfortní a průmyslová. Komfortní klimatizační zařízení zajišťují nejvhodnější stav vnitřního ovzduší s ohledem na osoby pobývající v klimatizovaném prostoru. Průmyslová (technologická) klimatizační zařízení upravují stav vzduchu na stav požadovaný technologií výroby.

Zařízení, která jsou schopna zajistit všechny požadované parametry prostředí celoročně, tzn. zařízení, která jsou způsobilá vykonávat také všechny základní psychrometrické funkce při úpravě vzduchu – chlazení, ohřívání, odvlhčování, zvlhčování, jsou zařízení zajišťující plnou klimatizaci.

Používají se však také klimatizační zařízení, zajišťující jen např. chlazení a ohřívání, nebo ohřívání a vlhčení vzduchu, to jsou tzv. neúplná (dílčí) klimatizační zařízení.

Klimatizační zařízení musí být tedy schopna vykonávat základní psychrometrické funkce při úpravě vzduchu – chlazení, ohřívání, odvlhčování a zvlhčování, aby byl zabezpečen požadovaný stav v prostoru. Pro návrh klimatizačních zařízení je proto velmi důležitá znalost základních termodynamických zákonů používaných při praktických výpočtech vlhkého vzduchu.

5.1 VHKÝ VZDUCH

5.1.1 Fyzikální základy

Atmosférický vzduch je směs suchého vzduchu a jistého množství vody ve formě vodních par (ve stavu sytém, nebo přehřátém), případně i ve formě mlhy. Tato směs se nazývá vlhký vzduch [4]. Pokud obsahuje vlhký vzduch vodu ve formě přehřáté páry, je vzduch nenasycený vlhkostí. Vlhký vzduch obsahující vodu ve formě syté páry je vzduch nasycený vlhkostí a je v něm obsaženo maximální možné množství vlhkosti ve formě páry. Při větším množství vlhkosti, než odpovídá nasycenému vzduchu, se nadbytečná vlhkost vysráží ve formě mlhy a tento vzduch se nazývá mlhový vzduch či vzduch přesycený vlhkostí. Při teplotě $t \geq 0 \text{ }^\circ\text{C}$ je vzduch přesycený mlhou ve formě kapiček a při $t \leq 0 \text{ }^\circ\text{C}$ je vzduch přesycený ledovou mlhou ve formě ledových krystalků či jinovatky. Při $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ může mlhový vzduch obsahovat mlhu ve formě kapiček i ledovou mlhu.

Při tlacích blízkých atmosférickému, je možné jak suchý vzduch, který je směsí inertních plynů (o průměrném objemovém složení 78,1 % N₂, 21 % O₂, 0,9 % Ar, 0,03 % CO₂ a stopově Ne, He, Kr, H₂, Xe, O₃ aj.), tak vodní páru považovat za nedokonalé plyny.

Složky vlhkého vzduchu se rozlišují indexy:

v – suchý vzduch, k – voda ve skupenství kapalném, t – voda ve skupenství tuhém,
 p – přehřátá vodní pára, p'' – sytá vodní pára, bez indexu – vlhký vzduch.

Pro vlhký vzduch platí:

a) Hmotnost vlhkého vzduchu je rovna součtu hmotností jednotlivých složek

$$m = m_v + m_p + m_k + m_t . \quad (5.1)$$

b) Objem suchého vzduchu i vodní páry je roven objemu vlhkého vzduchu (objem vodních kapiček i ledových krystalků, pokud se ve směsi vyskytují, je zanedbatelný)

$$V_v = V_p = V. \quad (5.2)$$

c) Daltonův zákon – celkový tlak vlhkého vzduchu p se rovná součtu parciálního tlaku suchého vzduchu p_v a vodní páry p_p

$$p = p_v + p_p. \quad (5.3)$$

d) Stavová rovnice suchého vzduchu $p_v V = m_v r_v T,$ (5.4)

stavová rovnice vodní páry $p_p V = m_p r_p T,$ (5.5)

kde $r_v = 287 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ je měrná plynová konstanta vzduchu,
 $r_p = 462 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ je měrná plynová konstanta vodní páry.

d) Měrné tepelné kapacity při stálém tlaku pro suchý vzduch i vodní páru jsou závislé na teplotě, ale pro široký rozsah teplot je můžeme nahradit konstantami.

5.1.2 Vyjádření vlhkosti vzduchu

Vyjádření stavu vlhkého vzduchu vyžaduje znalost dvou základních stavových veličin, a to obvykle teploty t a tlaku p a veličiny určující vlhkost vzduchu. Pro vyjádření vlhkosti vzduchu se nejčastěji používá:

- *Absolutní vlhkost* $\Phi = \frac{m_p + m_k + m_t}{V} \text{ [kg.m}^{-3}\text{]},$ (5.6)

kde m_p, m_k, m_t je hmotnost vodní páry, kapalné vody a ledu a V je objem vlhkého vzduchu.

V nenasyčeném a nasyceném vlhkém vzduchu je $m_k = m_t = 0$ a absolutní vlhkost je rovna hustotě vodní páry ρ_p

$$\Phi = \frac{m_p}{V} = \frac{m_p}{V_p} = \rho_p \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}. \quad (5.7)$$

- *Relativní vlhkost* $\varphi = \frac{\rho_p}{\rho_p''} = \frac{p_p}{p_p''} \quad [-].$ (5.8)

Relativní vlhkost udává, do jaké míry je vzduch nasycen. Relativní vlhkost suchého vzduchu $\varphi = 0$ a nasyceného vzduchu $\varphi = 1$.

- *Měrná vlhkost* $x = \frac{m_p + m_k + m_t}{m_v} \text{ [kg/kg s.v.]}.$ (5.9)

Tato veličina je ve vzduchotechnických výpočtech nejběžnější. Vztahy pro výpočet měrné vlhkosti závisí na stavu vlhkého vzduchu. Pro nenasyčený vlhký vzduch platí vztah

$$x = x_p = \frac{m_p}{m_v} = 0,622 \frac{\varphi p_p''}{p - \varphi p_p''} \text{ [kg/kg s.v.]}. \quad (5.10)$$

- *Teplota rosného bodu vzduchu* t_r [°C] je teplota, při níž je vzduch při izobarickém ochlazení vodními parami právě nasycen, tzn., odpovídá teplotě povrchu tělesa, na němž právě začala kondenzace vodních par.

Citelné teplo je teplo, které způsobuje zvýšení teploty. Pro izobarickou změnu m_v kg vzduchu ze stavu 1 daného teplotou t_1 a měrnou vlhkostí x_1 na stav 2 daný teplotou t_2 a měrnou vlhkostí x_2 je citelné teplo dáno vztahem

$$Q_c = m_v \bar{c}_{pv} (t_2 - t_1) = m_v \bar{c}_{pv} \Delta t. \quad (5.15)$$

Celkové teplo je součet tepla citelného a tepla vázaného Q_v a můžeme ho vyjádřit rozdílem entalpií konečného a počátečního stavu vzduchu při uvažovaném izobarickém ději ze stavu 1 do stavu 2

$$Q = Q_c + Q_v = m_v (h_2 - h_1) = m_v \Delta h. \quad (5.16)$$

Po dosazení rovnic (5.15) a (5.16) do rovnice (5.14) dostaneme

$$g = \frac{Q_c}{Q} = \frac{m_v \bar{c}_{pv} \Delta t}{m_v \Delta h} = \frac{\bar{c}_{pv} \Delta t}{\Delta h}. \quad (5.17)$$

Obě směrová měřítka δ i g mají společný pól.

V diagramu na obr. 5.1 jsou uvedeny typické stavové veličiny pro vyznačený stav A.

Výpočet stavů vlhkého vzduchu a výpočet izobarických dějů, včetně zobrazení v h - x diagramu, a to v rozsahu celkových tlaků od 50 do 150 kPa, umožňuje počítačový program [6]. Pro vykreslení h - x diagramu vlhkého vzduchu slouží počítačový program [5].

5.1.4 Izobarické změny stavu vlhkého vzduchu

Ohřev a suché ochlazování vlhkého vzduchu. Ohřev a ochlazování vlhkého vzduchu se obvykle provádí ve výměnících tepla. Aby při ochlazování vzduchu nenastala kondenzace par, musí být teplota povrchu chladiče vyšší než teplota rosného bodu vzduchu t_r . Při ohřevu vzduchu a při ochlazování vzduchu bez kondenzace par, tj. suchém ochlazování vzduchu, se hmotnost vodních par ve vzduchu nemění, a tedy tyto změny probíhají při $x = \text{konst}$ (obr. 5.2).

Při ohřívání vzduchu jeho relativní vlhkost klesá, při ochlazování se zvyšuje.

Tepelný tok přivedený vzduchu při ohřevu 1–2 je dán vztahem

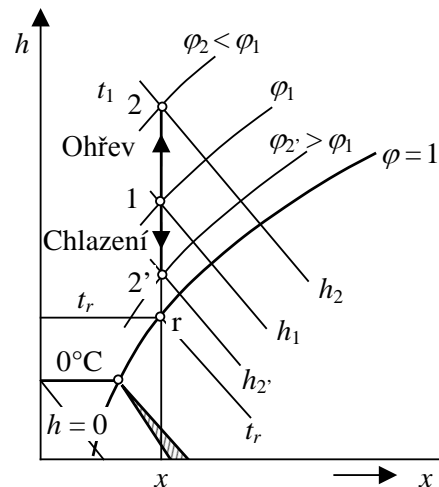
$$\dot{Q}_{12} = \dot{m}_v (h_2 - h_1) \quad (5.18)$$

a tepelný tok odvedený při ochlazování 1–2' je

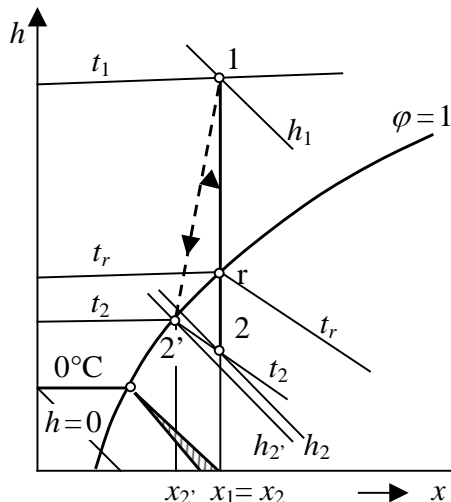
$$\dot{Q}_{12'} = \dot{m}_v (h_2' - h_1), \quad (5.19)$$

kde \dot{m}_v je hmotnostní tok suché složky vzduchu.

Ochlazování vlhkého vzduchu s kondenzací páry. Ochlazujeme-li vzduch daný stavem 1 (obr. 5.3) v chladiči, jehož povrchová teplota t_2 je nižší než teplota rosného bodu vzduchu t_r , zvětšuje se relativní vlhkost vzduchu, až v bodě r je vzduch vlhkostí nasycen. Při dalším ochlazování dojde ke kondenzaci nadbytečné vlhkosti na teplosměnném povrchu chladiče. Konečný stav vzduchu po ochlazení na teplotu t_2 je dán bodem 2.



Obr. 5.2 Ohřev a ochlazování vzduchu bez kondenzace páry



Obr. 5.3 Průběh ochlazování vzduchu s kondenzací páry

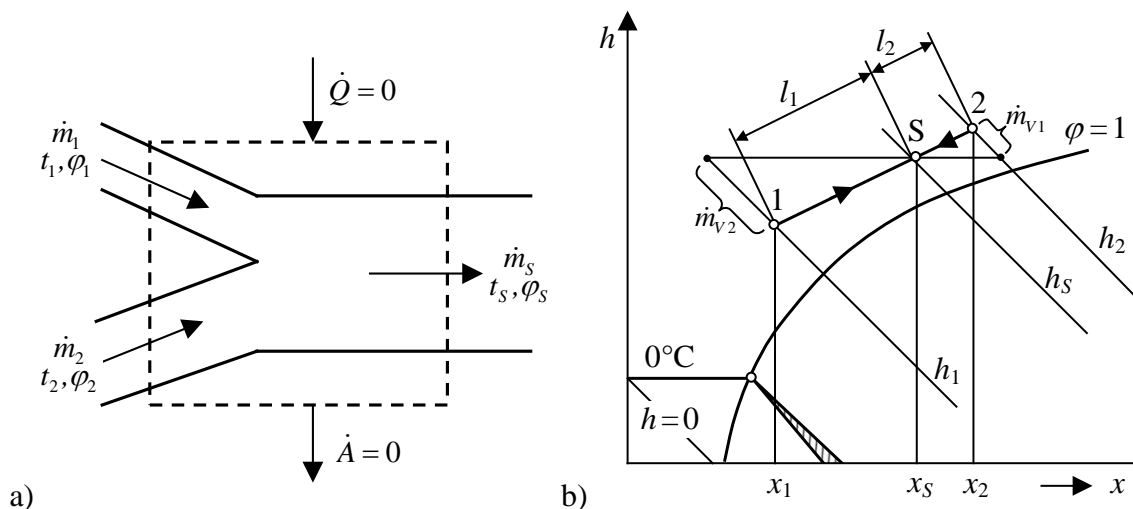
Odvodem zkondenzované vlhkosti z povrchu chladiče dostáváme u teplosměnné mokré plochy chladiče nasycený vzduch charakterizovaný stavem 2'.

Děj probíhající v chladiči vzduchu s kondenzací vlhkosti je možné v $h-x$ diagramu znázornit přímkou spojující bod 1, který odpovídá stavu vzduchu na vstupu do chladiče se stavem 2'. Chlazením vzduchu s kondenzací páry vzduch nejen chladíme, ale také odvlhčujeme.

Adiabatické míšení dvou proudů vlhkého vzduchu. Ve vzduchotechnických zařízeních často dochází k míšení dvou proudů vzduchu o různých stavech, např. směšuje se vzduch cirkulační, který se částečně vrací do oběhu po odsátí z místnosti, se vzduchem venkovním.

Smísí-li se adiabaticky při stejném celkovém tlaku proud vlhkého vzduchu o stavu 1 a hmotnostním toku suché složky \dot{m}_{v1} s proudem vlhkého vzduchu o stavu 2 a hmotnostním toku suché složky \dot{m}_{v2} , vznikne směs o stavu S (obr. 5.4a) a hmotnostním toku suché složky

$$\dot{m}_{vS} = \dot{m}_{v1} + \dot{m}_{v2}. \quad (5.20)$$



Obr. 5.4 Adiabatické míšení dvou proudů vlhkého vzduchu

Výsledný stav směsi lze určit z rovnic pro tepelnou a vlhkostní bilanci míšení, jejichž řešením dostáváme

$$\frac{\dot{m}_{v1}}{\dot{m}_{v2}} = \frac{x_2 - x_S}{x_S - x_1} = \frac{h_2 - h_S}{h_S - h_1} \quad \text{a odtud také} \quad \frac{h_2 - h_S}{x_2 - x_S} = \frac{h_S - h_1}{x_S - x_1}. \quad (5.21)$$

Z rovnic (5.21) vyplývá, že v $h-x$ diagramu (obr. 5.4b) leží stav směsi S na přímce spojující body 1 a 2 (na tzv. směšovací úsečce), a to ve vzdálenosti nepřímo úměrné hmotnostním tokům \dot{m}_{v1} a \dot{m}_{v2} . Po označení úseku $\overline{1S} \equiv l_1$ a úseku $\overline{S2} \equiv l_2$ můžeme psát:

$$l_2/l_1 = \dot{m}_{v1}/\dot{m}_{v2}.$$

Stav směsi S lze v h - x diagramu také určit v průsečíku směřovací úsečky s měrnou vlhkostí směsi x_s , určenou z rovnice hmotnostní bilance vlhkosti, která má tvar

$$\dot{m}_{vs} x_s = \dot{m}_{v1} x_1 + \dot{m}_{v2} x_2 \quad (5.22)$$

a odtud

$$x_s = \frac{\dot{m}_{v1} x_1 + \dot{m}_{v2} x_2}{\dot{m}_{vs}}. \quad (5.23)$$

Vlhčení vzduchu. Tento děj je v podstatě zvláštním případem směřování. Přivádíme-li vlhkému vzduchu o stavu 1 a hmotnosti suché složky m_v vodu nebo vodní páru o hmotnosti m_w a měrné entalpii h_w , dostaneme vzduch o stavu 2. Entalpii a měrnou vlhkost tohoto vzduchu lze určit z rovnic pro tepelnou a vlhkostní bilanci vlhčení, tj.

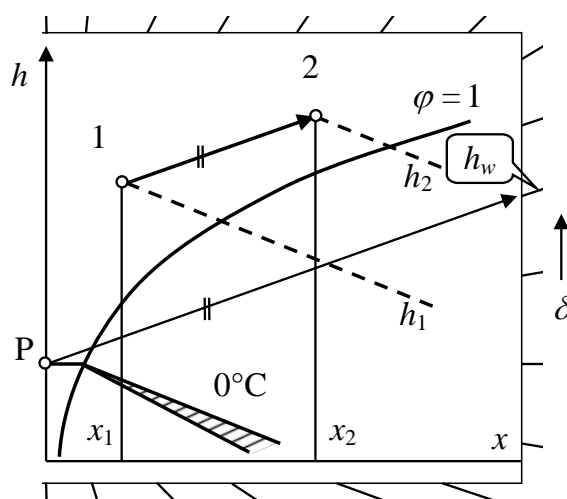
$$m_v h_2 = m_v h_1 + m_w h_w \quad (5.24)$$

$$a \quad m_v x_2 = m_v x_1 + m_w. \quad (5.25)$$

Úpravou a vydělením rovnic (5.24) a (5.25) dostaneme

$$\delta = h_w = \frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1}. \quad (5.26)$$

Z této rovnice vyplývá, že směr určující změnu stavu vzduchu δ v h - x diagramu je dán měrnou entalpií přídavné vlhkosti h_w . Konečný stav vzduchu 2 (obr. 5.5) leží pak v průsečíku čáry o směru δ , vedené počátečním stavem 1, a čáry měrné vlhkosti x_2 , kterou určíme z rovnice (5.25).



Obr. 5.5 Vlhčení vzduchu

V klimatizačních zařízeních se provádí vlhčení vzduchu buď vodou, nebo parou. Při adiabatickém vlhčení vodou je směrnice vlhčení přibližně čára $h = \text{konst}$ (vzhledem k nízkým teplotám používané vlhčící vody). Teplota vzduchu při vlhčení vodou klesá až na křivku nasycení a potom se mění již jen nepatrně.

Při vlhčení vzduchu sytou parou je teplota vzduchu až do stavu nasycení konstantní. V praxi nahrazujeme vlhčení nenasyčeného vlhkého vzduchu parou dějem $t = \text{konst}$. Po nasycení vzduchu pak nastává rychlý vzrůst jeho teploty.

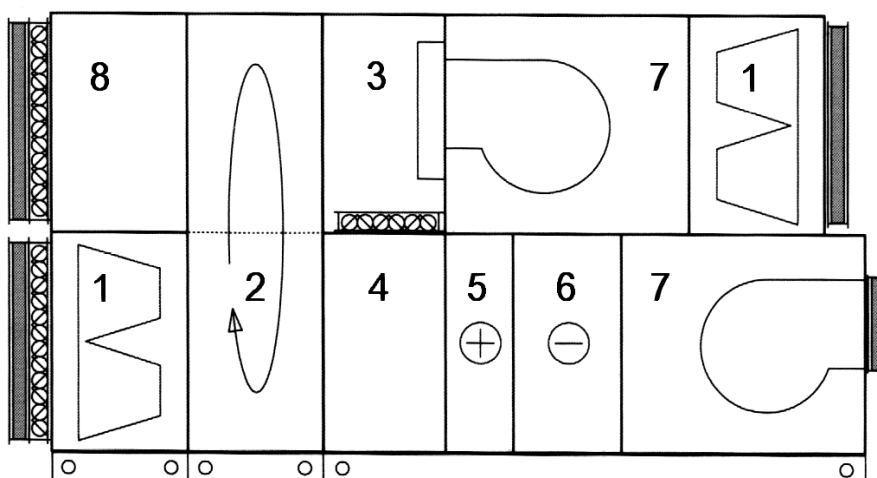
5.2 KLIMATIZAČNÍ ZAŘÍZENÍ A JEJICH KOMPONENTY

Klimatizační zařízení se skládá z řady komponent (stavebních dílů), v nichž probíhají dílčí úpravy vzduchu, tak aby výsledný stav odpovídal požadovanému. Úpravy vzduchu zabezpečuje klimatizační zařízení pomocí automaticky řízené činnosti klimatizačních jednotek.

Klimatizační jednotky mohou být jednotkové (interiérové) nebo ústřední.

Interiérové klimatizační jednotky jsou provedení skříňového, parapetního, podstropního nebo okenního. Umisťují se do klimatizovaného prostoru, nebo do jeho těsné blízkosti. Používají se pro klimatizaci jednotlivých místností.

Ústřední klimatizační jednotky jsou buď sestavné, nebo blokové. U sestavných jednotek je možnost variabilní skladby jednotlivých dílů na společném rámu (obr. 5.6 a 5.7). Jednotlivé díly (komory), tzn. filtrační, směšovací, ohřívací, chladičí, zvlhčovací, ventilátorový, tlumicí, zpětného získávání tepla jsou tvořeny skříněmi, které mají stejné přípojovací rozměry a mohou se jednoduchým způsobem spojovat. Z těchto dílů je možné sestavit optimální jednotku podle potřeby řešeného projektu. Blokové jednotky mají jednotlivé díly sestavené do kompaktního celku bez možnosti jejich přeskupování nebo doplňování (případně s omezenou možností).



Obr. 5.6 Schéma sestavné klimatizační jednotky.

- 1 – filtrační komora, 2 – komora zpětného získávání tepla (rotační regenerátor),
 3 – klapková komora, 4 – směšovací komora, 5 – ohřívací komora, 6 – chladičí komora,
 7 - ventilátorová komora, 8 – volná komora



Obr. 5.7 Příklad sestavné klimatizační jednotky

U velkých objektů, zejména technologických, se používají také klimatizační jednotky vytvořené ze samostatných prvků umístěných do zděných komor klimatizační strojovny. Jsou vhodné jen pro velké vzduchové výkony. Dnes se používají jen zřídka.

Hlavními komponentami klimatizačních jednotek jsou ohřívače, chladiče, zvlhčovače, ventilátory, filtry a zařízení pro zpětné získávání tepla.

5.2.1 Ohřívače a chladiče

Ohřívače a chladiče slouží k tepelné úpravě vzduchu. Většinou se používají rekuperační lamelové výměníky, ve kterých v trubkách proudí teplotonosná látka. Z vnější strany jsou trubky opatřené lamelami (obr. 5.8). Teplotonosnou látkou u ohřívačů bývá teplá voda, nebo pára. Pára se však z regulačních důvodů používá výjimečně. Pro chladiče vzduchu se používá jako chladicí látka voda (4/9 nebo 5/12 °C), někdy i přímo chladivo, tzn. výparník chladicího zařízení je použit jako chladič vzduchu.

Lamelové trubky se používají proto, aby se zvýšil tepelný tok na straně menšího součinitele přestupu tepla, tj. na straně vzduchu. Lamelové tepelné výměníky nejčastěji vznikají navléknutím hliníkových lamel obdélníkového tvaru na měděné trubky. Tloušťka lamel bývá asi 0,2 mm a rozteč 2 až 3 mm. Pro dosažení požadovaného výkonu se skládají do více řad. Před lamelovými výměníky musí být umístěn filtr vzduchu. Ohřívače venkovního vzduchu se vždy vybavují automatickou protimrazovou ochranou.

Zcela zřídka se u nás používají elektrické ohřívače vzduchu. Tyto ohřívače jsou sestaveny z hladkých topných tyčí a používají se spíše jako zónové dohřívače. Vyrábí se také plynové ohřívače, které jsou zpravidla řešeny jako výměník tepla vzduch – spaliny.



Obr. 5.8 Lamelové tepelné výměníky

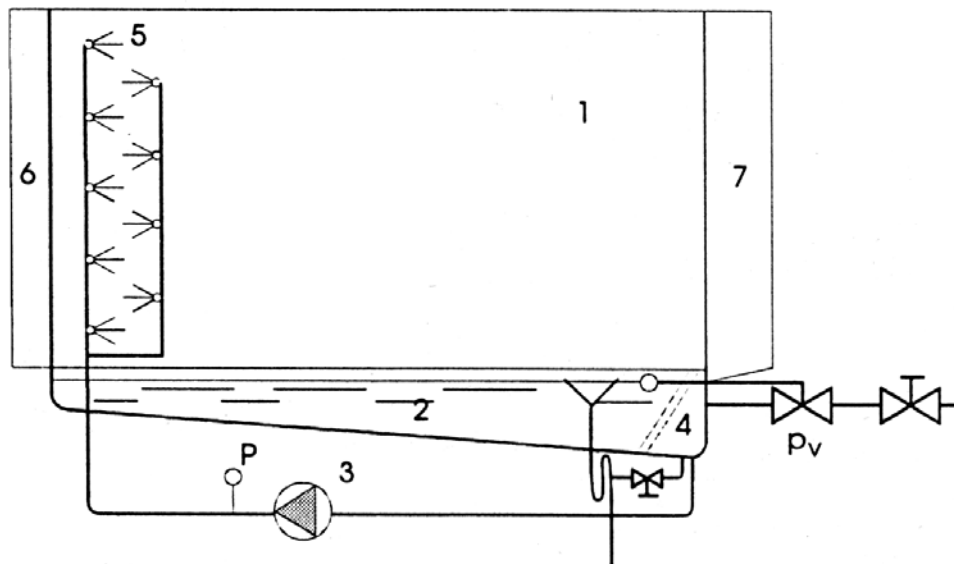
5.2.2 Zvlhčovače vzduchu

Zvlhčovače vzduchu slouží především k úpravě vlhkosti vzduchu. Vlhčení se provádí vodou, nebo parou. Pro adiabatické vlhčení vodou se používají blánové a sprchové pračky vzduchu, které bývají součástí sestavných klimatizačních jednotek. Pro dovlhčování vzduchu v klimatizovaných místnostech slouží např. zvlhčovače s mechanickým rozprašováním vody a pneumatické zvlhčovače. Parní zvlhčovače se používají u komfortních klimatizačních zařízení a u zařízení, kde jsou kladeny přísné hygienické požadavky na upravený vzduch. Bývají součástí klimatizačních jednotek

Sprchové pračky jsou směšovací výměníky, v nichž nastává zvlhčování vzduchu odpařováním vody z povrchu drobných kapiček (obr. 5.9). Pračky mají tvar skříní, v jejichž spodní části je vodní vana. Voda se ve skříní pračky rozstříkuje tryskami umístěnými rovnoměrně v celém průřezu pračky, buď ve směru proudu vzduchu (soproudé uspořádání), nebo proti směru proudu vzduchu (protiproudé uspořádání), případně ve směru proudu i proti proudu. Podle požadovaného výkonu se používají pračky s 1 až 4 sprchovacími registry (řadami trysek). Na výstupu z pračky jsou umístěny odlučovací plechy. Pro zajištění jejich řádné funkce je třeba dodržet rychlost vzduchu v pračce v rozmezí 1,5 až 4 m.s⁻¹; při menší rychlosti nastává unášení kapiček z pračky, při větších rychlostech nadměrně stoupnou

hydraulické odpory. Rychlostní profil vzduchu na vstupu do pračky musí být rovnoměrný, proto se před pračkou umísťují usměrňovací plechy. Stejnou funkci může plnit lamelový výměník tepla zařazený před pračku. Ve vodní vaně je umístěn plovákový regulátor výšky hladiny a přepad do kanalizace. Z vany se odebírá voda přes filtr do sání čerpadla. Celá pračka je tepelně izolovaná.

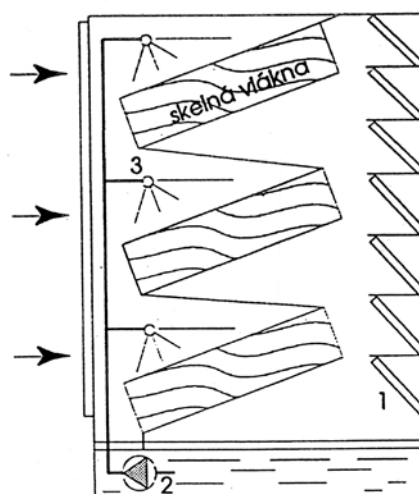
Množství rozprašované vody je obvykle mnohonásobně větší než odpařené, proto jsou sprchové pračky rozměrné. Je třeba provádět čištění a desinfekci vnitřních prostor pračky; při zanedbání údržby je nebezpečí množení mikroorganismů a případně i šíření infekce.



Obr. 5.9 Schéma sprchové pračky vzduchu.

1 – pračková komora, 2 – vodní vana, 3 – čerpadlo, 4 – vodní filtr, 5 - sprchovací registry, 6 – usměrňovací plechy, 7 – odlučovač kapek, P – manometr, p_v – plovákový ventil

Pračky blánové pracují s menším množstvím vody než sprchové pračky a také jejich rozměry jsou menší. Účinná odpařovací plocha je tvořena např. soustavou desek, vrstvou vláken či kroužků, které jsou zvlhčovány rozstřikováním vody z trysek (obr. 5.10), nebo vodou stékající z horní nádrže. Odpařovací plochu může také tvořit soustava otáčejících se kotoučů smáčených ponořováním do vodní lázně. Nevýhodou blánových praček je obtížné čištění.



Obr. 5.10 Blánová pračka vzduchu.

1 – odlučovač kapek, 2 – ponořné čerpadlo, 3 – rozprašovací trysky

Zvlhčovače s mechanickým rozprašováním vody mohou být různé konstrukce, nejobvyklejší jsou s rotujícími kotouči. Voda je přiváděna trubkou na spodní část rotujícího kotouče a při vysokém počtu otáček kotouče se rozpraší na jemné kapičky, které jsou unášeny vzduchem z ventilátoru.

Pneumatické zvlhčovače využívají pro rozprašování vzduchu stlačený vzduch o přetlaku 0,03 až 0,07 MPa. Tyto zvlhčovače obdobně jako zvlhčovače s mechanickým rozprašováním vody se používají k dovlhčování vzduchu přímo v klimatizovaném prostoru. Obvykle se umísťují za příváděcí vyústky.

Parní zvlhčovače se skládají z redukčního ventilu a z trubky s tryskami, kterými se vyfukuje čistá pára (hygienicky nezávadná) do zvlhčovací komory klimatizačního zařízení, nebo přímo do vzduchovodu. Zvlhčování přiváděním páry je jednoduché, dobře se reguluje (přidávaná pára téměř neovlivňuje teplotu vzduchu) a je hygienicky nezávadné. Pro větší klimatizační zařízení se pára přivádí z centrálního zdroje. Menší klimatizační zařízení vyrábějí páru přímo (elektrickým ohřevem).

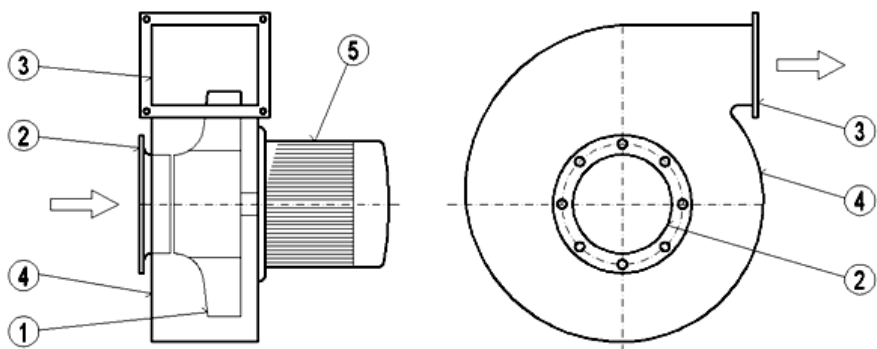
Poněvadž výroba páry je energeticky náročná, obnovil se zájem o adiabatické vlhčení vzduchu vodou, které by oproti dříve používanému nebylo hygienickým rizikem. Novým trendem v adiabatickém zvlhčování vzduchu je vysokotlaký zvlhčovací systém, který používá jemnější trysky s průměrem 100 až 200 μm a upravenou vodu. Použitím jemnějších trysek odpadá velké množství cirkulující vody, které je největším nebezpečím pro růst bakteriálních kultur. Úpravou vody se rozumí zbavení mechanických nečistot mechanickou filtrací, úprava tvrdosti a antibakteriální ochrana (UV zářiči nebo ionizací). Nejběžněji používaným systémem pro mechanické čištění a úplnou demineralizaci vody je reverzní osmóza.

5.2.3 Ventilátory

Ventilátory jsou lopatkové stroje sloužící k dopravě plynů při maximálním poměru tlaků 1,3 v jednom stupni. Podle směru průtoku plynu oběžným kolem se ventilátory dělí na *axiální, diagonální, radiální a diametrální*. Podle hodnoty maximálně dosažitelného celkového tlaku se dělí na *nízkotlaké* (do 1000 Pa), *středotlaké* (1000 až 3000 Pa) a *vysokotlaké* (nad 3000 Pa). Zdrojem energie je vždy motor, nejčastěji asynchronní elektromotor. Podle spojení motoru s rotorem ventilátoru rozlišujeme *ventilátor s pohonem na přímo* (hřídel oběžného kola ventilátoru je společná i pro elektromotor), *na spojku* (točivý moment elektromotoru přenáší na hřídel ventilátoru spojka), *s převodem* (nejčastěji řemenovým).

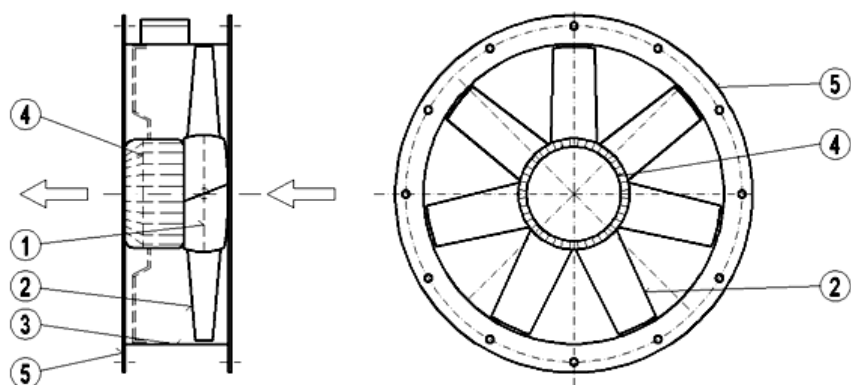
Ve vzduchotechnice se převážně používají radiální ventilátory, a to nízkotlaké a středotlaké. Schéma radiálního ventilátoru je na obr. 5.11. Radiální ventilátor se skládá z oběžného kola, jehož součástí jsou lopatky, zajišťující nasávání vzduchu v axiálním směru a jeho výtlač ve směru kolmém na směr rotace. Spirální skříň má za úkol vzduch proudící z rotoru zachycovat a odvádět ho do výtlačného hrdla ventilátoru. Druhou funkcí spirální skříň je přeměna kinetické energie dopravovaného vzduchu na energii tlakovou, což je funkce difusoru. Podle směru zakončení lopatek dělíme radiální ventilátory na stroje s dopředu, radiálně nebo dozadu zahnutými lopatkami.

K dopravě velkých toků vzduchu při malé tlakové ztrátě sítě se používají ventilátory axiální (obr. 5.12). Základní součástí tohoto typu ventilátoru jsou rotor s oběžnými lopatkami a stator zajišťující buď řízený vtok do oběžného kola, nebo naopak přiřazení statoru za oběžné kolo slouží k usměrnění proudu vzduchu na straně výtoku. Pro vyšší dopravní tlaky se axiální ventilátory skládají za sebou. U ventilátorů větších výkonů je důležitou součástí axiálního ventilátoru difusor, který může být řešen jako vnitřní, nebo vnější. Axiální ventilátory jsou při vyšších tlacích hlučnější než radiální.



Obr. 5.11 Schéma radiálního ventilátoru.

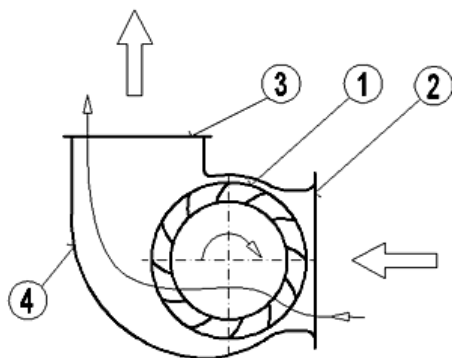
1 – oběžné kolo, 2 – sací hrdlo, 3 – výtlačné hrdlo, 4 – spirální skříň, 5 – elektromotor



Obr. 5.12 Schéma axiálního ventilátoru.

1 – rotor, 2 – oběžné lopatky, 3 – plášť, 4 – elektromotor, 5 – příruby pro potrubní provedení

Ve vzduchotechnice se uplatňují také diametrální ventilátory (obr. 5.13). Jejich největší předností je, že mají štěrbinový vstup i výstup a dále, že axiální délku oběžného kola je možné volit libovolně. Volba je prakticky omezena pouze pevností a stabilitou oběžného kola. Tyto ventilátory se používají tam, kde je nutné nasávat vzduch v širokém podélném rozměru, např. u některých klimatizačních a vytápěcích jednotek. Šířka oběžného kola bývá až pěti násobek vnějšího průměru oběžného kola. Oběžné kolo diametrálních ventilátorů má dopředu zakřivené lopatky.



Obr. 5.13 Diametrální ventilátor.

1 – oběžné kolo, 2 – sací hrdlo, 3 – výtlačné hrdlo, 4 – spirální skříň

5.2.4 Filtry atmosférického vzduchu a zařízení pro zpětné získávání tepla

Filtry atmosférického vzduchu. Jsou určeny k zachycování příměsí (škodlivin) ze vzduchu venkovního nebo oběhového v klimatizačních a větracích zařízeních. Slouží k zachycení jak částečkových škodlivin (tuhých i kapalných) tak i škodlivin plyných a oděrů.

Podrobně je o filtrech atmosférického vzduchu pojednáno v kap. 4.2 studijního materiálu Technika prostředí – 1. část – 2014 [3].

Zařízení pro zpětné získávání tepla (ZZT) slouží k předávání tepla z odváděného odpadního vzduchu venkovnímu přiváděnému vzduchu. Proto ZZT z hospodárňuje provoz větracích a klimatizačních zařízení. Bez použití tohoto zařízení teplo spotřebované pro ohřev venkovního vzduchu uniká většinou bez užítku v teplém odváděném vzduchu. K základním způsobům ZZT patří:

- přenos tepla pomocí dvojice rekuperačních lamelových výměníků s teplonosnou kapalinou (vzduch – kapalina – vzduch),
- přenos tepla v rekuperačních deskových výměnících (vzduch – vzduch),
- přenos tepla pomocí tepelných trubic (vzduch – chladivo – vzduch),
- přenos tepla, případně i vlhkosti v regeneračních výměnících (převážně rotačních),
- přenos tepla z odváděného vzduchu pomocí tepelných čerpadel.

Podrobně je o jednotlivých systémech ZZT pojednáno v kap. 3.9.2 studijního materiálu Technika prostředí – 1. část – 2014 [3].

5.3 CHLADICÍ ZAŘÍZENÍ PRO KLIMATIZACI

Chladicí zařízení slouží k přípravě chladicí vody pro chladiče vzduchu, nebo jejich výparník slouží přímo jako chladič vzduchu. Chladicí zařízení pro klimatizaci mají poměrně velké výkony, avšak na plný výkon pracují pouze několik dní v roce. Proto je nutné, aby byla dobře regulovatelná a měla dobrou účinnost i při částečném zatížení. Tomu nejlépe vyhovují chladicí zařízení s turbokompresory a chladicí zařízení absorpční a pro menší výkony chladicí zařízení s pístovými kompresory.

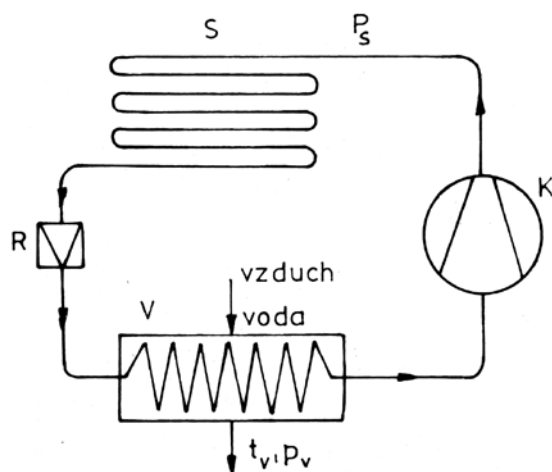
Nejčastěji se používají zařízení kompresorová, především chladicí zařízení s pístovými kompresory. Pouze v případech, kde je k dispozici dostatečný zdroj levného tepla, lze pro velké chladicí výkony použít absorpční chladicí zařízení, která jsou investičně dražší než kompresorová.

Pro chladicí zařízení s pístovými kompresory, která jsou ekonomicky výhodná do chladicích výkonů 640 až 900 kW, se jako chladivo používají halogenové uhlovodíky bez chloru, a to R134a (jednosložkové chladivo), R407c (směs R32/125/134a), R410a (směs R32/125) – pracuje s vyššími tlaky, má podstatně vyšší objemovou chladivost.

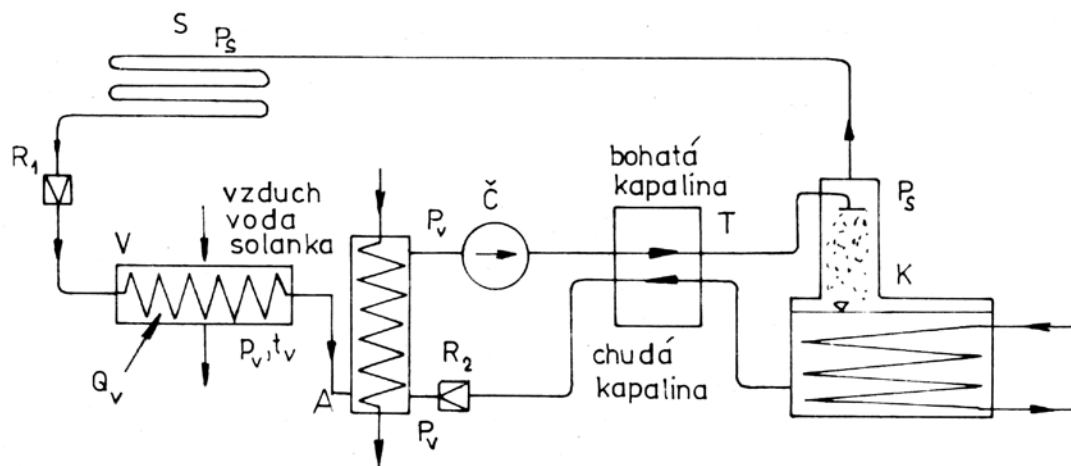
Chladicí zařízení s turbokompresory se používají jen pro velké chladicí výkony, 500 až 20 000 kW i více. Nutnost malého hydraulického odporu chladicích okruhů vylučuje možnost jejich použití pro rozvětvené chladivové potrubní sítě. Používají se s jedno až dvoustupňovými kompresory. Jejich výhodou je dobrá regulovatelnost v rozmezí od 30 do 100 % výkonu

Kompresorová a absorpční zařízení se liší způsobem dopravy chladiva z výparníku do srážníku. V kompresorovém chladicím zařízení, jehož schéma je na obr. 5.14, jsou páry chladiva dopravovány kompresorem. U absorpčních chladicích zařízení (obr. 5.15) se chladivo odcházející z výparníku V pohlcuje v absorbéru A kapalinou (absorbentem). Vzniklý roztok, nazývaný bohatá kapalina, se čerpadlem Č dopravuje do vypuzovače (kotle) K.

Ohřátím bohaté tekutiny se z ní uvolní páry chladiva a tyto proudí do srážníku S. Zbylá kapalina ochuzená o chladivo (chudá kapalina) se vede přes protiproudý výměník tepla T, kde předává teplo bohaté kapalině proudící do kotle. Škrčením v redukčním ventilu R_2 se sníží tlak chudé kapaliny na tlak ve výparníku a kapalina se přivádí do absorpčeru k novému pohlcování chladiva.



Obr. 5.14 Schéma kompresorového chladicího zařízení
V – výparník, K – kompresor, S – srážník, R – redukční ventil



Obr. 5.15 Schéma absorpčního chladicího zařízení.
V – výparník, A – absorpčér, Č – čerpadlo, T – výměník tepla, K – kotel, S – srážník,
 R_1, R_2 – redukční ventily

U absorpčního chladicího zařízení, na rozdíl od kompresorového, se k výrobě chladu používá především energie tepelná. Energie mechanická pro pohon čerpadla činí jen zlomek energie potřebné pro pohon kompresoru. Zato spotřeba tepelné energie činí několikanásobek práce spotřebované u kompresorového chladicího zařízení o stejném chladicím výkonu. Navíc je potřeba u absorpčního chladicího zařízení počítat se spotřebou chladicí vody k odvodu tepla vznikajícího při absorpci.

Pro chladicí cyklus absorpčního chladicího zařízení je, kromě vlastního chladiva, nutná ještě absorpční kapalina. Pro klimatizaci nejběžnější dvojicí je voda jako chladivo a bromid lithný jako absorbent. Pro vypuzování chladiva v kotli jsou v tomto případě nutné teploty 110 až 130 °C. Jednou z nevýhod je nemožnost chladit pod 0 °C. Výkony absorpčních chladicích zařízení mohou být až několik desítek MW.

5.4 KLIMATIZAČNÍ SYSTÉMY

Systemy klimatizačních zařízení se dělí na ústřední systémy a klimatizační jednotky.

Ústřední klimatizační systémy se skládají z ústřední klimatizační strojovny vybavené ústřední klimatizační jednotkou, z potrubního rozvodu s vyústkami pro přívod a odvod vzduchu a případně z decentralních jednotek, sloužících k dodatečné úpravě vzduchu v jednotlivých místnostech.

Klimatizační jednotky jsou kompaktní zařízení obvykle skříňového provedení, která se používají ke klimatizaci jednotlivých místností.

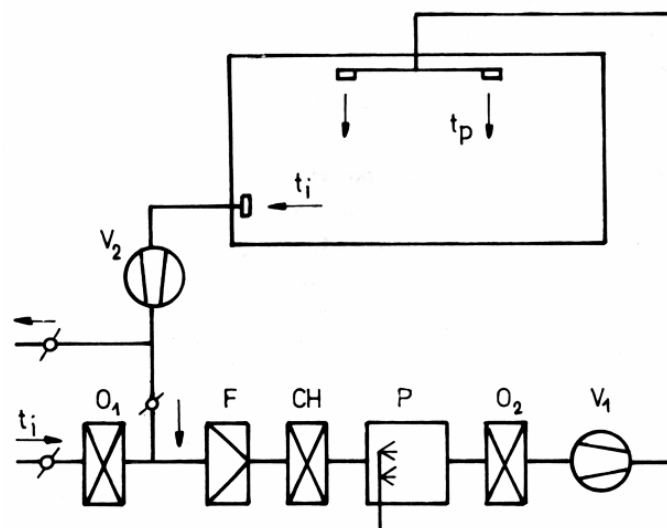
Podle způsobu rozvodu tepelné energie (tepla, chladu), zajišťující požadavky komfortu, či technologické, rozlišujeme klimatizační systémy:

- vzduchové (teplonosným prostředím je pouze vzduch),
- kombinované (vzduch – voda),
- vodní,
- chladivové.

5.4.1 Vzduchové systémy

Vzduchové systémy se dělí na nízkotlaké (rychlost v hlavním rozváděcím potrubí do $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) a vysokotlaké (rychlost 12 až $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Ke vzduchovým systémům patří především vzduchový jednokanálový systém nízkotlaký a vysokotlaký a vzduchový vysokotlaký dvoukanálový systém.

Vzduchový jednokanálový systém jednozónový, nízkotlaký má společnou úpravu vzduchu pro všechny klimatizované místnosti v centrální strojovně a rozvod vzduchu jedním kanálem. Tento systém je jednoduchý a levný. Jeho nedostatkem je, že čidlo automatické regulace je možné umístit pouze v jedné místnosti. Hodí se proto pro klimatizaci jedné místnosti, nebo více místností se stejnými požadavky na mikroklima a stejnými zátěžemi, např. pro klimatizaci divadel, přednáškových sálů, průmyslových hal, obchodních domů apod.



Obr. 5.16 Schéma vzduchového nízkotlakého systému jednokanálového, jednozónového.

O_1 – předehříváč, F – filtr, CH – chladič, P – zvlhčovač, O_2 – dohříváč,

V_1, V_2 – ventilátor pro přívod a odvod vzduchu

Tento systém pracuje buď pouze s venkovním vzduchem, nebo častěji i se vzduchem cirkulačním. V zimě může pracovat současně jako otopný, nebo pouze s částečným

vytápěním a nedostatky regulovatelnosti jsou zde v zimním období překlenuty samostatným otopným systémem, který částečně přebírá kompenzaci různých tepelných ztrát.

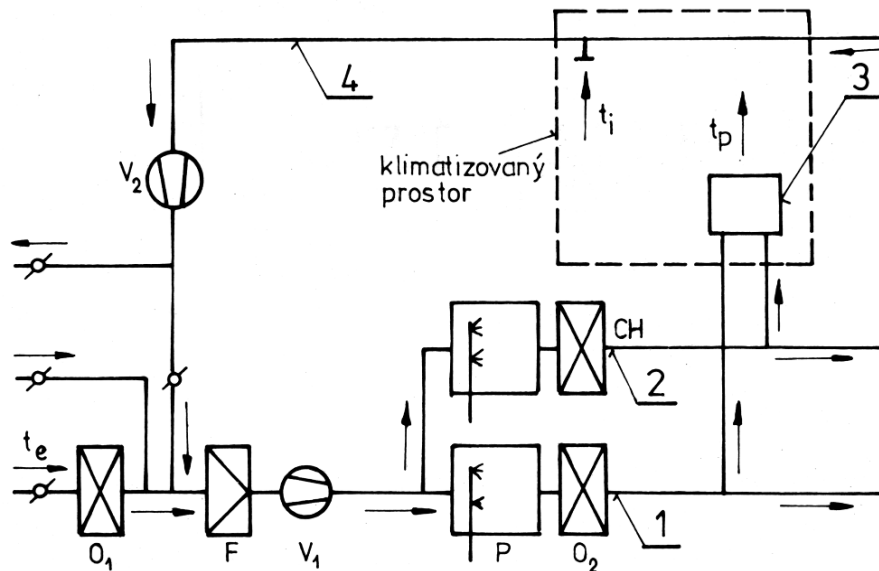
Schéma nízkotlakého jednokanálového, jednozónového klimatizačního systému je na obr. 5.16. Venkovní větrací vzduch předehřátý v ohřívači O_1 se mísí se vzduchem oběhovým, dále prochází filtrem F, chladičem CH, pračkou P, ohřívačem O_2 a ventilátorem V_1 je dopravován do klimatizovaného prostoru.

Poznámka: Uvedené označení jednotlivých prvků klimatizačního zařízení bude použito ve všech schématech klimatizačních systémů.

Vzduchový jednokanálový systém s proměnným průtokem vzduchu, vícezónový je zpravidla vysokotlaký. U vysokotlakého systému se pro přívod vzduchu používají obvykle ventilátory středotlaké. Vyšší dopravní tlak je potřebný k překonání tlakových ztrát vzduchovodů, ve kterých proudí vzduch relativně vysokou rychlostí 12 až 20 m.s⁻¹.

Vzduch je upravován v centrální klimatizační jednotce a rozváděn hlavním vzduchovodem po budově, obdobně jako u jednokanálového systému jednozónového. Před každou místností nebo zónou je na hlavní vzduchovod připojen regulátor průtoku, tj. krátký vzduchovod se škrtkicí klapkou ovládanou servopohonem, řízeným termostatem umístěným v místnosti nebo v zóně. Pokud termostat zaznamená odchylku od požadované teploty, změní se poloha klapky a tím i průtok vzduchu do místnosti či zóny, který nesmí poklesnout pod hygienické minimum. Odvod vzduchu z místností nebo zóny se provádí rovněž přes regulátory průtoku. Provoz centrální jednotky se řídí ústředním regulátorem, který vyhodnocuje potřebu vytápění, nebo chlazení v zónách a volí optimální provoz centrální jednotky.

Vzduchový vysokotlaký systém dvoukanálový. V něm se vzduch upravuje ve strojovně na dva stavy – vzduch chladný a teplý. Chladný a teplý vzduch se rozvádí budovou v samostatných vzduchovodech (obr. 5.17).



Obr. 5.17 Schéma vysokotlakého klimatizačního systému dvoukanálového.

1 – teplý vzduch, 2 – chladný vzduch, 3 – směšovací skříň, 4 – odváděný vzduch

Pro každou místnost nebo zónu se provádí samostatné míšení vzduchu z obou vzduchovodů ve směšovací skříni. Celkový průtok přiváděného vzduchu se udržuje na konstantní hodnotě. Teplota chladného vzduchu se obvykle udržuje 10 až 13 °C. Teplý vzduch je zpravidla teplejší než oběhový vzduch – v létě o 1 až 3 K, v zimě o 10 až 15 K. Poměr míšení je řízen termostatem. Tento systém tedy umožňuje individuální regulaci stavu

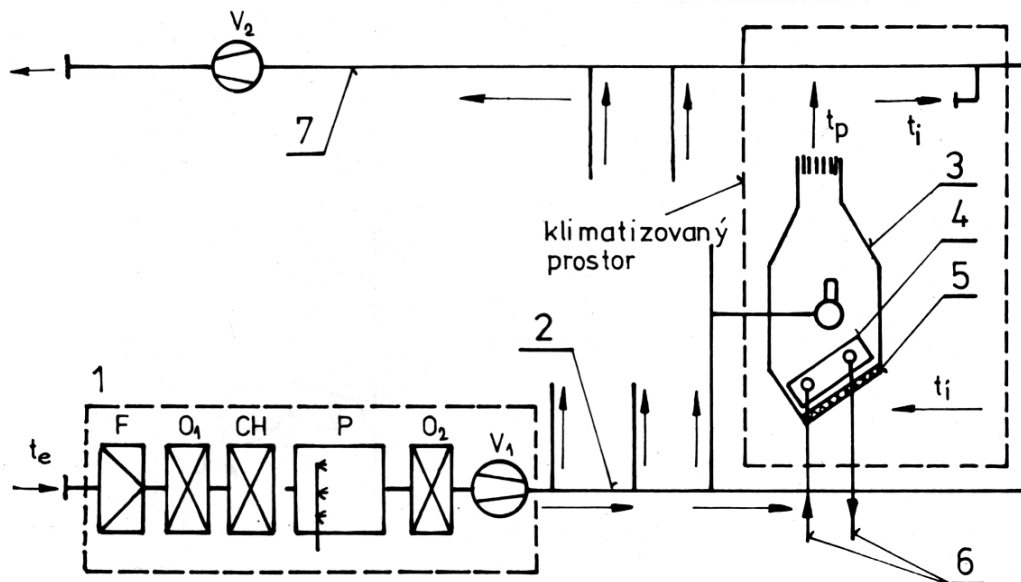
vzduchu v každé místnosti či zóně. Jeho nevýhodou je především rozměrnost dvojího rozvodu.

5.4.2 Systémy kombinované vzduch – voda

Kombinované systémy vzduch – voda se používají, obdobně jako vysokotlaké systémy dvoukanálové, v budovách s velkým počtem místností, v nichž se vyžaduje individuální regulace, a dále tam, kde hraje významnou roli tepelná zátěž od sluneční radiace (např. mnohapatří administrativní budovy s velkým zasklením fasády).

U kombinovaných systémů zajišťuje větrání primární vzduch, který také někdy částečně kompenzuje tepelné ztráty nebo tepelnou zátěž. Hlavní část spotřeby tepla nebo chladu však kryjí tzv. indukční jednotky připojené na rozvod otopné a chladicí vody.

Systémy kombinované s indukčními jednotkami jsou vysokotlaké (obr. 5.18). V ústřední strojovně se upravuje pouze venkovní (primární) vzduch, jehož množství je dáno hygienickými požadavky, teplota primárního vzduchu se udržuje celoročně konstantní asi 15 °C. V rozsáhlých budovách, se úprava primárního vzduchu provádí samostatně (zónově) pro místnosti orientované vždy na jednu světovou stranu.



Obr. 5.18 Schéma vysokotlakého klimatizačního systému s indukčními jednotkami.

- 1 – centrální strojovna, 2 – rozvod primárního vzduchu, 3 – indukční jednotka,
4 – výměník tepla, 5 – filtr, 6 – přívod a odvod teplonosného média,
7 – potrubí pro odvod vzduchu

Sekundární vzduch se přísává v klimatizovaných místnostech v indukčních jednotkách (IJ), v nichž probíhá konečná úprava vzduchu. Primární vzduch vystupuje v IJ tryskami a ejetčním účinkem přísává z klimatizované místnosti sekundární vzduch. Sekundární vzduch prochází v IJ přes lamelový výměník, v němž se ohřívá nebo chladí a směšuje se vzduchem primárním. Průtok sekundárního vzduchu bývá obvykle dvou až pětinasobek průtoku vzduchu primárního (indukční poměr). Indukční jednotky se nejčastěji umísťují pod parapet u venkovní stěny. Vzduch z místnosti uniká přetlakovými otvory do komunikačních chodeb, odkud se odsává.

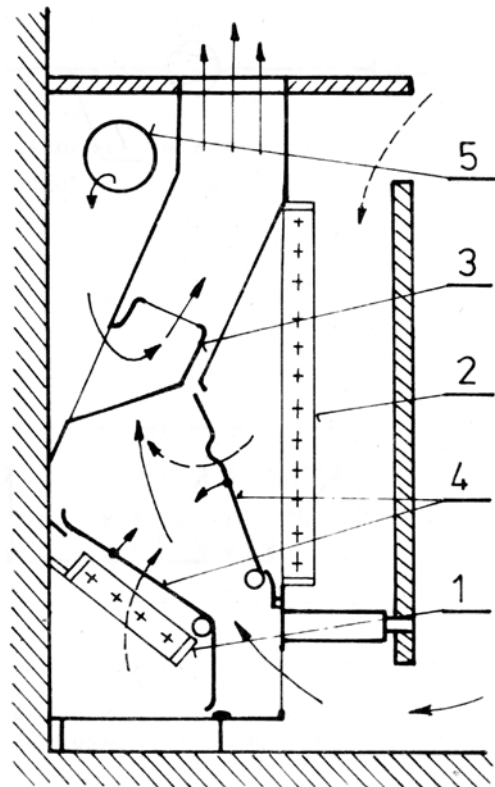
IJ se vyrábí s dýzami v jedné nebo více řadách a s jedním, nebo dvěma výměníky tepla. Regulace tepelného výkonu se provádí buď na straně vzduchu klapkami, nebo na straně vody dvojcestnými nebo trojcestnými ventily. Příklad klapkové indukční jednotky se dvěma výměníky je na obr. 5.19.

Rozvod topné a chladicí vody k IJ se používá především dvoutrubkový přepínací, nebo čtyřtrubkový. Dvoutrubkový přepínací systém se provozuje v zimě s teplou vodou, v létě s chladicí vodou. Pro nemožnost zajistit hospodárny provoz v přechodném období (při přepínání dochází směřování teplé a chladné vody k energetickým ztrátám) se tento systém nedoporučuje. U čtyřtrubkového rozvodu jsou dvě trubky určeny pro rozvod topné vody, dvě pro rozvod chladicí vody. V přechodném období lze místnosti podle potřeby ohřívat, nebo chladit. Systémy s IJ jsou vysoce komfortní.

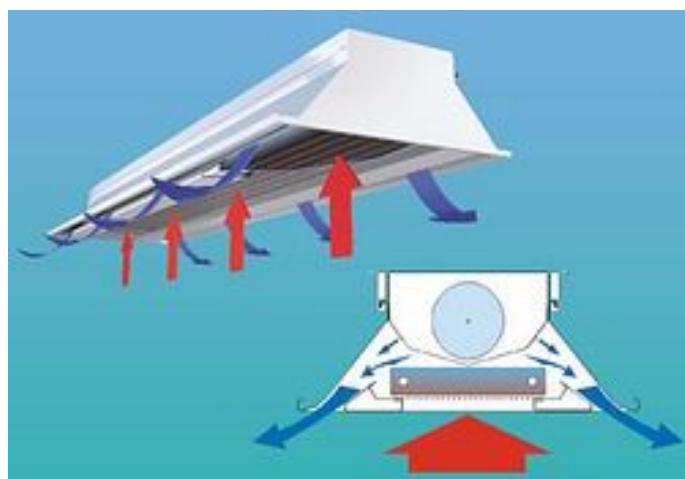
Dnes je na trhu také systém s tzv. aktivními chladicími trácemi, který je používán především v severovýchodních zemích, ale začíná se používat i v západní a střední Evropě. Systém aktivních chladicích tráců pracuje na stejném principu jako systém s IJ a je určen pro větrání, chlazení a vytápění, případně i osvětlení. Chladicí trámc, nazývané také indukční štěrbiny a nejlépe pak indukční jednotky v horizontálním provedení, jsou zavěšovány pod strop, nebo instalovány do podhledu (obr. 5.20). Jsou vhodné pro široké spektrum aplikací, u kterých jsou požadavky na individuální regulaci jednotlivých prostor. Typickými aplikacemi jsou kanceláře, hotely, nemocnice a obchody.

Do aktivního chladicího trámc je přiváděn primární vzduch upravený ve strojovně, který zde proudí přes dýzy a ejetčním účinkem přisává z klimatizované místnosti sekundární vzduch (na obr. 5.20 ve spodní části trámc). Sekundární vzduch prochází přes lamelový výměník, v němž se ohřívá nebo chladí a po smíšení se vzduchem primárním se dvěma podélnými štěrbinami vyfukuje do místnosti. Indukční poměr (poměr hmotnostního toku vzduchu sekundárního a primárního) je minimálně 1 : 4.

Systém je primárně používán pro větrání a chlazení, ale lze ho použít i pro vytápění, systém je pak konstruován jako čtyřtrubkový. Teplota vzduchu v místnosti je regulována průtokem chladicího/topného média přes tepelný výměník, přičemž na jeden regulační uzel se napojuje 1 až 5 IJ. Systém je komfortní a má nízkou hlučnost.



Obr. 5.19 Klapková indukční jednotka se dvěma výměníky.
1 – ohříváč, 2 – chladič, 3 – dýzy,
4 – klapky,
5 – přívod primárního vzduchu



Obr. 5.20 Indukční jednotka v horizontálním provedení (aktivní chladicí trámc)

5.4.3 Systémy vodní

Vodní systém s klimakonvektory je tvořen převážně dvěma samostatnými, nezávislými zařízeními. Klimakonvektor je nazýván také ventilátorový konvektor nebo dnes nejčastěji fan-coil.

Venkovní vzduch, o průtoku podle hygienických požadavků, se většinou upravuje ve vzduchovém jednokanálovém klimatizačním nebo větracím zařízení. Přívod tohoto vzduchu do klimatizované místnosti se provádí buď přes vnitřní klimatizační jednotku – klimakonvektor (fan-coil), kde se směšuje se vzduchem oběhovým, nebo ústí do místnosti samostatnými vyústkami. Teplota přiváděného vzduchu je blízká teplotě vnitřního vzduchu v místnostech. Odvod vzduchu se provádí přímo z klimatizované místnosti, nebo se vzduch přetlakem vede do chodeb a odsává se přes hygienická zařízení.

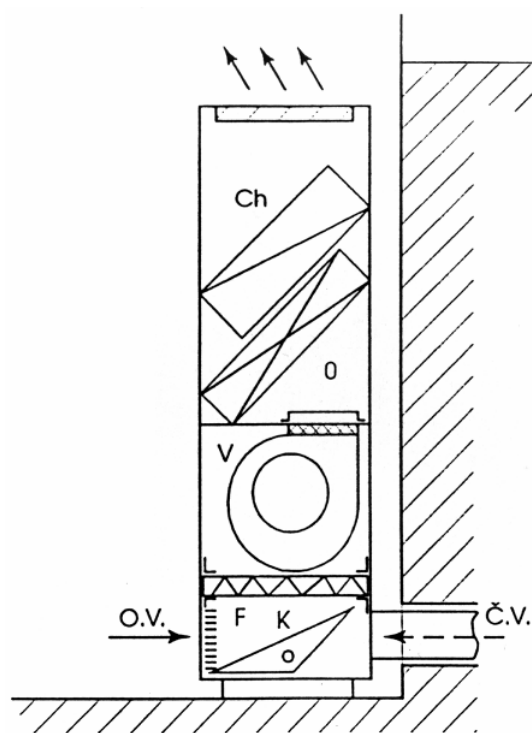
K individuální tepelné úpravě vnitřního vzduchu v místnostech slouží vnitřní jednotky – klimakonvektory připojené na rozvod teplé a chladné vody (dvoutrubkový přepínací nebo čtyřtrubkový). Klimakonvektory jsou skříň, které obsahují klapkovou komoru na míšení venkovního a oběhového vzduchu, filtr, ventilátorovou a výměňkovou část. Skříň je zakončena výfukovou částí s usměrňovacími listy. Výměňková část je tvořena jedním, nebo dvěma výměníky. Klimakonvektory jsou provedení podstropního, nástěnného, kazetového a parapetního.

Regulace tepelného výkonu jednotek (klimakonvektorů) se provádí u každé jednotky řízením průtoku topné nebo chladicí vody podle termostatu v místnosti. Motor ventilátorů je dvou nebo víceotáčkový, ale i s plynulou regulací otáček, což umožňuje další regulaci tepelného výkonu změnou průtoku vzduchu.

Při použití podokenních parapetních klimakonvektorů se větrací vzduch nasává otvorem ve fasádě, viz obr. 5.21. Nevýhodou tohoto řešení je narušení fasády soustavou otvorů a nebezpečí zamrznutí výměníků. Podokenní klimakonvektory také mohou pracovat pouze s oběhovým vzduchem a venkovní vzduch je zajišťován otevíratelnými okny nebo upravený venkovní vzduch v ústřední strojovně je přiváděn do místnosti samostatnými vyústkami.

Vodní systémy s klimakonvektory jsou levnější než vzduchové nebo kombinované systémy (odpadají vzduchovody) a také provozní náklady mohou být nižší, pokud k pohonu ventilátorů jsou použity EC motory. Nevýhodou klimakonvektorů je větší hlučnost. Tyto systémy se dnes často používají místo systémů kombinovaných.

K vodním systémům patří také chladicí stropy kombinované s přívodem větracího vzduchu. Základní částí systému je samostatné zařízení pro sálavé chlazení místnosti chladícím stropem, jímž protéká chladicí voda. Teplota chladicí vody je asi 17 °C a automatická regulace kontroluje její teplotu, aby nedocházelo ke



Obr. 5.21 Podokenní klimakonvektor.
K – klapka, F – filtr, V – ventilátor,
O – ohřivač, Ch – chladič,
č. v. – venkovní větrací vzduch,
o. v. – oběhový vzduch

kondenzaci vodní páry z vnitřního vzduchu na povrchu stropu. Regulace průtoku vody se provádí podle termostatu umístěného v místnosti.

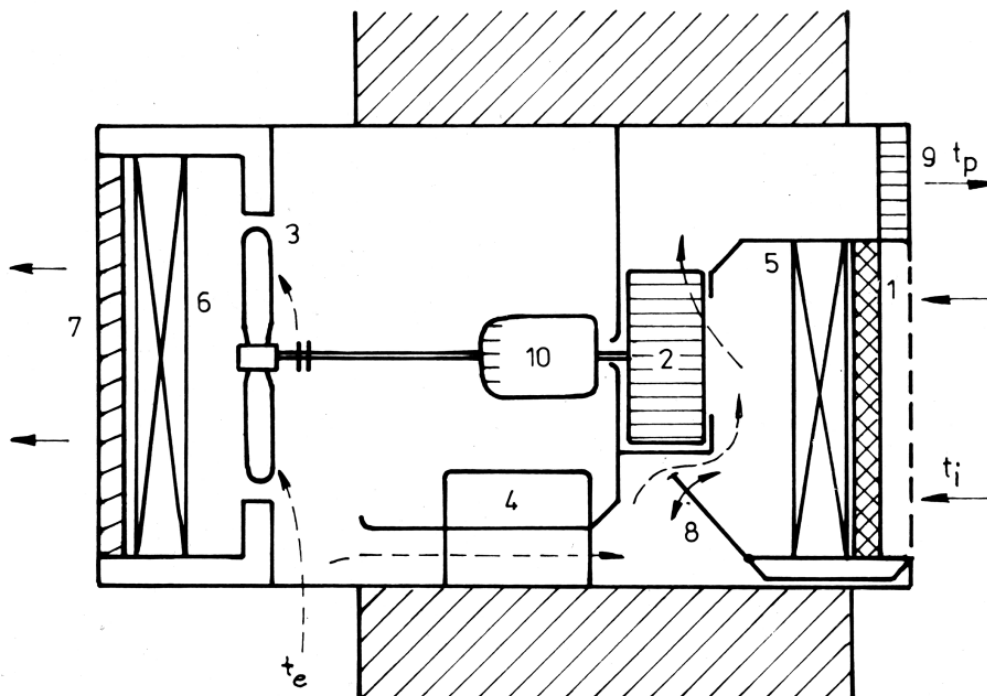
Druhou částí tohoto vodního systému s chladicími stropy je samostatné zařízení pro přívod venkovního vzduchu (vzduchové jednokanálové zařízení). Průtok venkovního vzduchu je stanoven podle hygienických požadavků. Pro přívod vzduchu do místnosti je vhodný zaplavovací systém velkoplošnými vyústkami do pásma pobytu osob. Přiváděný vzduch slouží obvykle i k doplňkovému chlazení, případně i k vlhčení.

5.4.4 Chladivové systémy

Chladivové systémy slouží především ke klimatizaci jednotlivých místností. Patří sem:

- okenní klimatizační jednotky,
- mobilní klimatizační jednotky,
- dělené chladivové systémy (split systémy).

Okenní klimatizační jednotky mají vestavěné chladicí zařízení se vzduchem chlazeným kondenzátorem. Umisťují se do okna, nebo do venkovní stěny (obr. 5.22) a to tak, aby strana s kondenzátorem směřovala do venkovního prostoru a strana s výparníkem a ovládacím panelem do místnosti. Mohou pracovat buď jen s oběhovým vzduchem, nebo s určitým podílem venkovního vzduchu. Dodávají se i s funkcí tepelného čerpadla, nebo s přídavným elektrickým odporovým ohřevem. Okenní klimatizační jednotky ztrácí podíl na trhu ve prospěch systémů dělených.



Obr. 5.22 Okenní klimatizační jednotka.

- 1 – filtr, 2 – radiální ventilátor, 3 – axiální ventilátor, 4 – chladicí kompresor,
 5 – výparník, 6 – kondenzátor, 7 – žaluzie, 8 – klapka,
 9 – vyústka, 10 – elektromotor

Mobilní klimatizační jednotky se vyrábí ve dvou provedeních – kompaktním a rozkládacím.

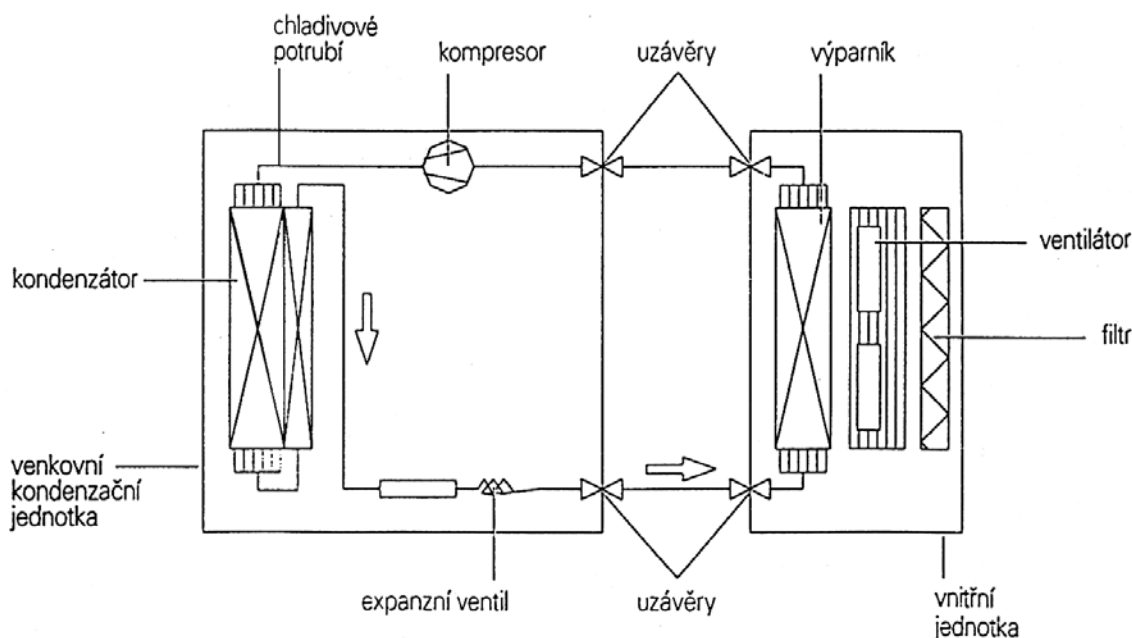
Kompaktní mobilní jednotky mají celý chladicí okruh v jedné skříni umístěné v klimatizované místnosti. Pro snadnější manipulaci je jednotka vybaveny pojezdovými kolečky a úchyty. Ke chlazení kondenzátoru se používá vzduch z klimatizované místnosti a ten se z klimatizační jednotky odvádí ohebnou hadicí do vnějšího ovzduší. Hadice se protáhne např. otevřeným oknem, průchodkou v okenní tabuli nebo zakrývatelným otvorem proraženým ve zdi.

Rozkládací dvoudílné mobilní jednotky mají venkovní a vnitřní jednotku. Obě jednotky mohou být normálně skryty v korpusu klimatizační jednotky. Při chlazení se venkovní jednotka, v níž je umístěn kompresor, kondenzátor, redukční ventil a ventilátor, dočasně umístí např. na balkon, na střechu, nebo na okenní parapet a s vnitřní jednotkou obsahující výparník, filtr a ventilátor se propojí ohebnými trubkami pro chladivo a elektrický kabel.

Chladivové split systémy (dělené chladivové systémy).

Používají se pro chlazení jedné místnosti (monosplit systémy), nebo ke chlazení více místností (multisplit systémy a multisplit systémy s proměnným průtokem chladiva).

Chladivový monosplit systém je určen pro chlazení jedné místnosti – kanceláře, obchodu, pokoje. Základ tvoří vnitřní a venkovní jednotka (viz obr. 5.23). Ve vnitřní jednotce, umístěné v klimatizované místnosti, je uložen výparník společně s ventilátorem a filtrem. Kondenzátor chlazený venkovním vzduchem, chladicí kompresor a expanzní ventil jsou uloženy ve venkovní jednotce. Jednotky jsou propojeny chladivovým potrubím (dvě trubky, jedna pro plynné chladivo, druhá pro kapalné chladivo). Je nutné pamatovat na stálý odvod kondenzátu z vnitřní jednotky do kanalizace, od které musí být kondenzátní potrubí odděleno zápachovou uzávěrkou. K ovládání chodu zařízení včetně nastavení automaticky udržované teploty slouží ovladače, které jsou nejčastěji dálkové.

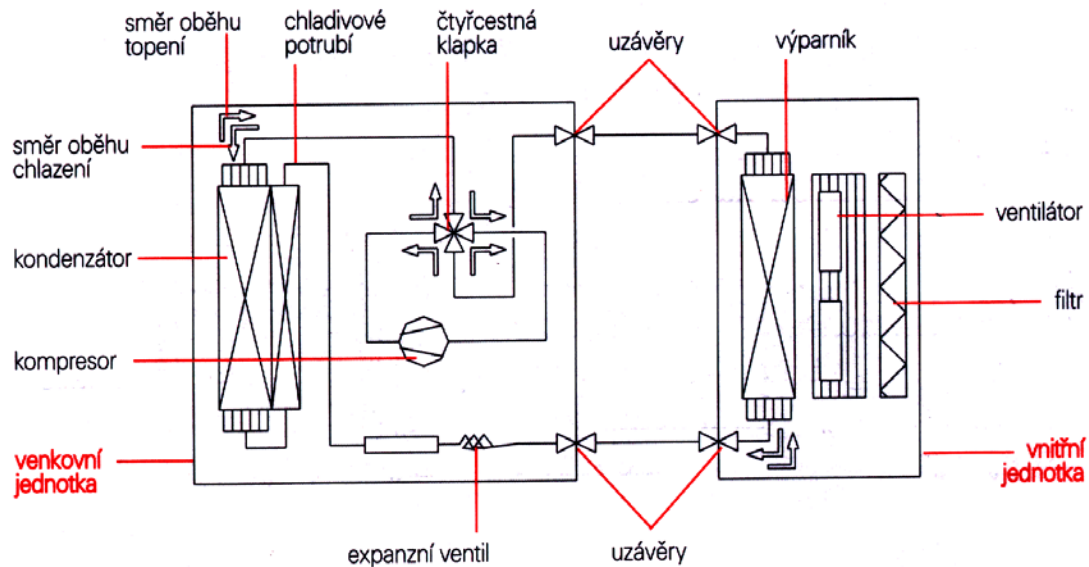


Obr. 5.23 Schéma monosplit systému

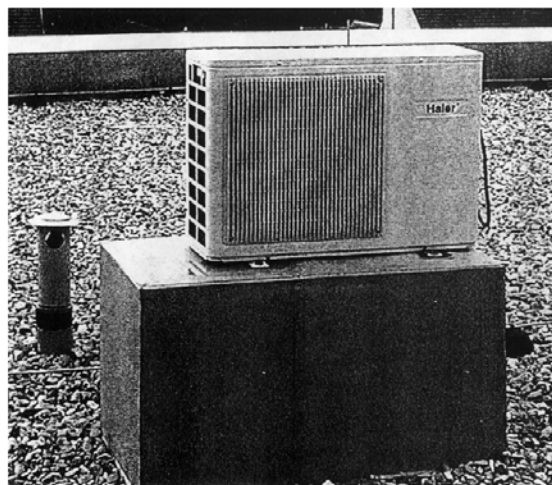
Monosplit systémy a multisplit systémy jsou často konstruovány s možností reverzního chodu, kdy kompresorové chladicí zařízení pracuje ve funkci tepelného čerpadla. Tyto systémy jsou vybaveny čtyřcestnou klapkou, viz obr. 5.24. Podle nastavení teploty v interiéru

může zařízení automaticky přepínat (čtyřcestnou klapkou) režim chlazení nebo tepelné čerpadlo.

Venkovní jednotka se umísťuje na venkovní fasádě, nebo střeše objektu (obr. 5.25).



Obr. 5.24 Schéma monosplit systému s možností reverzního chodu



Obr. 5.25 Venkovní jednotka split systému

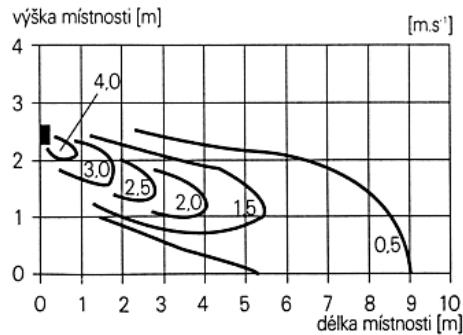
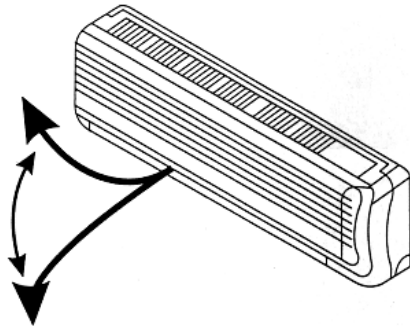
Vnitřní jednotky se vyrábí v řadě provedení, k nimž patří:

- nástěnné jednotky,
- podstropní jednotky,
- kazetové jednotky určené pro zabudování do podhledu,
- parapetní jednotky – pro umístění do parapetu.

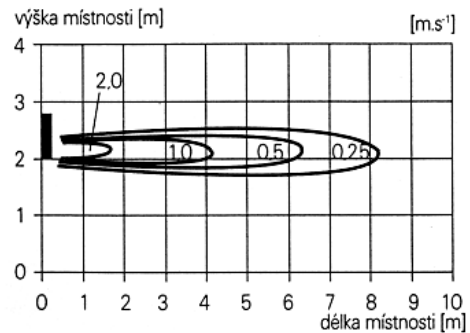
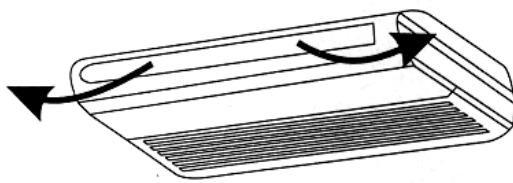
Příklady provedení některých typů vnitřních jednotek a proudění vzduchu z jednotek jsou uvedeny na obr. 5.26.

Větrání se provádí obvykle pouze přirozeným způsobem – okny, může však být řešeno samostatným větracím zařízením.

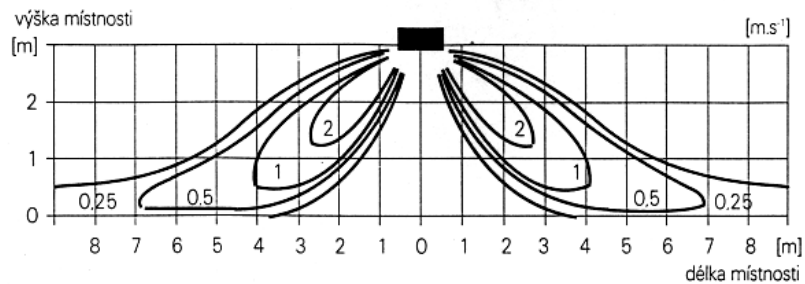
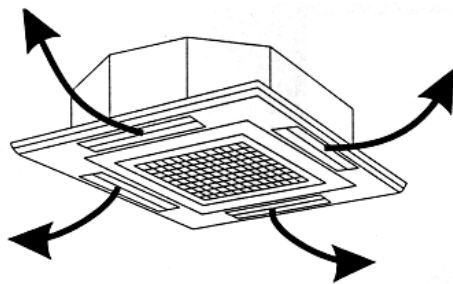
Chladivový multisplit systém. Dělené chladivové systémy existují také v provedení, kdy na jednu venkovní jednotku lze připojit až 5 vnitřních jednotek, tzv. multisplit systémy. Každá vnitřní jednotka je s venkovní propojena samostatným chladivovým potrubím a může být řízena individuálně. Větrání se řeší jako u monosplit systému.



VNITŘNÍ NÁSTĚNNÁ JEDNOTKA, ROUDĚNÍ VZDUCHU V MÍSTNOSTI S NÁSTĚNNOU JEDNOTKOU



VNITŘNÍ PODSTROPNÍ JEDNOTKA, PROUDĚNÍ VZDUCHU V MÍSTNOSTI S PODSTROPNÍ JEDNOTKOU



VNITŘNÍ KAZETOVÁ JEDNOTKA, PROUDĚNÍ VZDUCHU V MÍSTNOSTI S KAZETOVOU JEDNOTKOU

Obr. 5.26 Příklad provedení vnitřních jednotek dělených chladivových systémů

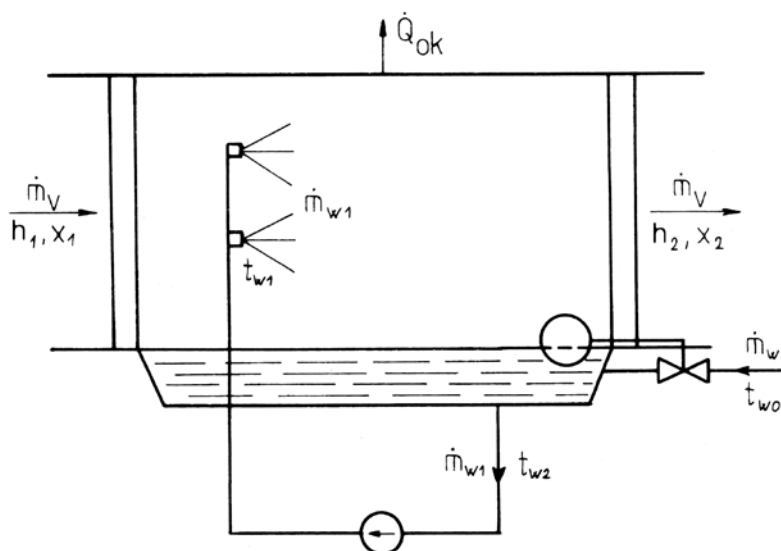
Chladivový multisplit systém s proměnným průtokem chladiva (VRV). Další skupinou chladivových dělených systémů jsou multisplit systémy s proměnným průtokem chladiva, pro něž se vžil název VRV (Variable Refrigerant Volume) systémy. U těchto systémů je možné na jednu venkovní jednotku napojit větší počet vnitřních jednotek (až 64 jednotek). Výměníky tepla ve vnitřních jednotkách jsou opatřeny redukčními ventily pro řízení průtoku chladiva podle termostatů v každé místnosti. Kompresor ve venkovní jednotce je provozován s proměnnými otáčkami (frekvenčním měničem) v závislosti na potřebném chladicím výkonu. VRV systém je řízen počítačem. Provoz tepelného čerpadla je zde samozřejmostí. V nejdokonalejší variantě umí tento systém i přecherpat teplo z místnosti, kde je ho přebytek, do místnosti, kde je ho nedostatek. Současně mohou být některé jednotky v režimu chlazení a jiné v režimu topení. Je to velmi rozšiřující se systém.

Systém VRV se obvykle doplňuje vzduchovým jednokanálovým systémem pro přívod venkovního vzduchu, jehož množství je určeno podle hygienických požadavků.

5.5 VÝPOČET ADIABATICKÉ PRAČKY VZDUCHU

Pračka vzduchu je směšovací výměník, v němž dochází k přenosu tepla a látky (vlhkosti). U sprchové pračky je voda rozprašována do proudícího vzduchu a k přenosu tepla a vlhkosti dochází mezi vodními kapkami a vzduchem. U blánových praček voda smáčí povrch vestavby (tělísek, desek, vláken) a stéká po jejím povrchu; zde dochází k přenosu tepla a vlhkosti mezi vzduchem a mokrým povrchem.

Při výpočtu pračky vzduchu vycházíme z rovnice hmotnostní a tepelné bilance.



Obr. 5.28 Schéma pro výpočet pračky vzduchu

Hmotnostní bilance vlhkosti pro pračku naznačenou schematicky na obr. 5.28 je vyjádřena vztahem

$$\dot{m}_v x_1 + \dot{m}_{w1} + \dot{m}_w = \dot{m}_v x_2 + \dot{m}_{w1}, \quad (5.27)$$

kde \dot{m}_v , \dot{m}_{w1} , \dot{m}_w je hmotnostní tok suchého vzduchu, rozprašované vody (dopravované čerpadlem) a odpařené (doplňované) vody, x_1 , x_2 – měrná vlhkost vzduchu na vstupu a výstupu z pračky.

Pro tepelnou bilanci platí

$$\dot{m}_v h_1 + \dot{m}_{w1} c_w t_{w1} + \dot{m}_w c_w t_{w0} = \dot{m}_v h_2 + \dot{m}_{w1} c_w t_{w2} + \dot{Q}_{ok}, \quad (5.28)$$

kde h_1, h_2 je entalpie vzduchu na vstupu a výstupu z pračky, t_{w1}, t_{w2} – teploty vody v tryskách a na výstupu z pračky, t_{wo} – teplota vody doplňované do vodního okruhu, c_w – měrná tepelná kapacita vody, \dot{Q}_{ok} – tepelná ztráta (případně tepelné zisky) pláštěm pračky.

Úpravou a vydělením vztahu (5.28) vztahem (5.27) dostaneme směr úpravy vzduchu v adiabatické pračce

$$\delta = \frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} = \frac{\dot{m}_{w1} c_w (t_{w1} - t_{w2}) - \dot{Q}_{ok}}{\dot{m}_w} + c_w t_{wo}. \quad (5.29)$$

V ideálním případě (dokonalé tepelné izolace) je \dot{Q}_{ok} nulové a teplota vody je během tohoto pochodu přibližně stejná ($t_{w1} = t_{w2}$). Potom je směrnice úpravy vzduchu v adiabatické pračce

$$\delta = c_w t_{wo} \approx 0. \quad (5.30)$$

Z této rovnice vyplývá, že směr změny stavu vzduchu v adiabatické pračce je stejný jako při vlhčení vodou o teplotě t_{wo} . Pro malý odklon této směrnice od směrnice nulové, nahrazujeme směr změny stavu vzduchu v adiabatické pračce izoentalpou ($h_1 = h_2 = \text{konst}$). Grafické zobrazení v $h - x$ diagramu vlhkého vzduchu je na obr. 5.28.

Z tohoto obrázku je patrné, že teplota vody se v adiabatické pračce ustálí na přibližně konstantní hodnotě t_w , rovné teplotě mokrého teploměru vzduchu do pračky vstupujícího t_{m1} a z pračky vystupujícího t_{m2} . Můžeme tedy psát

$$t_w \approx t_{w1} \approx t_{w2} \approx t_{m1} \approx t_{m2}. \quad (5.31)$$

Teoreticky je krajní stav vzduchu za pračkou dán stavem nasyceného vzduchu o teplotě rovné teplotě vody t_w , tj. stav 2_{id} v obr. 5.28. Prakticky se však vzduch zcela nenasytí vlhkostí. Podle dosaženého stavu vzduchu 2 na výstupu z pračky, definujeme účinnost adiabatické pračky

$$\eta_{ad} = \frac{x_2 - x_1}{x_{2id} - x_1}, \quad (5.32)$$

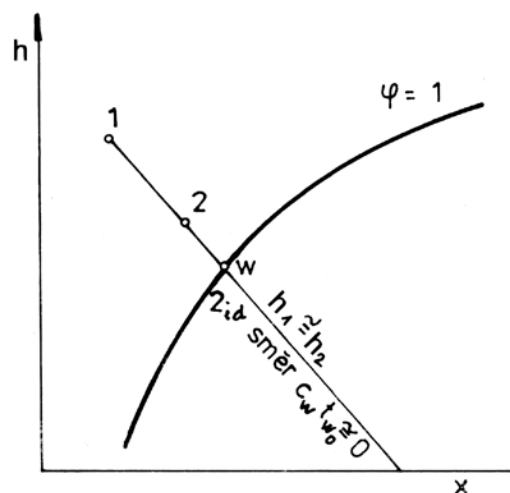
kde x_{2id} je měrná vlhkost vzduchu nasyceného o stavu 2_{id} , který leží v průsečíku křivky $\varphi = 1$ s izoentalpou $h_1 = h_2$ (viz obr. 5.28).

Účinnost adiabatické pračky závisí na intenzitě sprchování, vyjádřené poměrem \dot{m}_{w1}/\dot{m}_v , počtu trysek, směru trysek vzhledem k proudění vzduchu, vlastnostech trysek, tlaku vody před tryskami a na rychlosti proudění vzduchu.

5.6 DIMENZOVÁNÍ KLIMATIZAČNÍCH ZAŘÍZENÍ

Správné dimenzování klimatizačních zařízení je závažnou záležitostí hygienickou, ale také ekonomickou. Nedostatečné dimenzování způsobí, že zařízení nevyhovuje při špičkových zátěžích a předdimenzovaná zařízení jsou především zbytečně nákladná.

Při dimenzování klimatizačních zařízení je třeba znát tyto údaje:



Obr. 5.28 Vlhčení vzduchu v adiabatické pračce

- letní tepelnou zátěž a zimní tepelné ztráty klimatizovaného prostoru,
- požadované mikroklima v místnostech (pro letní a zimní provoz),
- výpočtové parametry venkovního vzduchu (pro letní a zimní provoz),
- druh provozu v klimatizovaných prostorech a s tím spojené zdroje škodlivin, pro stanovení množství venkovního větracího vzduchu.

Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů se provádí podle ČSN 730548 [14]. Při výpočtu se uvažuje nejvyšší venkovní teplota vzduchu 30 °C. Výpočet tepelných ztrát se provádí podle normy ČSN EN 12831 [15], ale výpočtová teplota se uvažuje o 3 K nižší, než odpovídá výpočtové venkovní teplotě v dané oblasti.

Požadované parametry vnitřního vzduchu (teplota a vlhkost) se pro komfortní klimatizaci volí tak, aby v místnosti byla zajištěna tepelná pohoda, pro průmyslovou klimatizaci jsou dány požadavky technologickými.

Výpočtová teplota a vlhkost venkovního vzduchu pro letní i zimní provoz se berou podle klimatických dat pro danou lokalitu.

Dimenzování klimatizačního zařízení zahrnuje tyto dílčí úkony:

1. Volba systému klimatizace, podle účelu ke kterému má zařízení sloužit.
2. Stanovení minimálního množství venkovního vzduchu. Průtok venkovního vzduchu se nejčastěji určuje na základě známého množství vznikajících škodlivin v klimatizovaném prostoru a jejich přípustných koncentrací, nebo z dávek vzduchu na osobu, nebo z doporučených hodnot intenzity výměny venkovního vzduchu za hodinu. Výpočtové vztahy jsou uvedeny v [3] – kap. 3.2.
3. Znázornění procesu úpravy vzduchu v $h - x$ diagramu vlhkého vzduchu při extrémních letních a zimních podmínkách a dimenzování jednotlivých částí zařízení, provedení tzv. psychrometrického výpočtu.

Dimenzování klimatizačních zařízení se provádí podle letního provozu. Tím se stanoví velikost klimatizačního zařízení. Této velikosti se pak přizpůsobí provoz zimní. Při dalším postupu budeme předpokládat, že klimatizační zařízení pracuje se stejným množstvím vzduchu v létě i v zimě.

Znázornění procesu úpravy vzduchu v $h-x$ diagramu

Letní provoz klimatizačního zařízení

Uvažujme nízkotlaké klimatizační zařízení jednokanálové dle obr. 5.16. Pro letní provoz jsou zadány tyto hodnoty:

stav venkovního vzduchu	t_e, φ_e
požadovaný stav vnitřního vzduchu	t_i, φ_i
celková tepelná zátěž klimatizovaného prostoru	\dot{Q}_i
tepelná zátěž klimatizovaného prostoru vázaným teplem	\dot{Q}_{iv}
minimální hmotnostní tok venkovního vzduchu	\dot{m}_{ve}

Nejběžnější klimatizační zařízení v létě pracují pouze s chladičem, takže letní provoz zařízení je následující. Oběhový vzduch z místnosti o stavu I se mísí se vzduchem venkovním o stavu E (obr. 5.29). Směs o parametrech S se ochlazuje v chladiči na stav P, s nímž se přivádí do místnosti.

Vlivem celkové tepelné zátěže \dot{Q}_i dochází v klimatizovaném prostoru ke změně stavu vzduchu I-P. Celkovou tepelnou zátěž klimatizované prostoru \dot{Q}_i lze vyjádřit vztahem

$$\dot{Q}_i = \dot{m}_v (h_i - h_p), \quad (5.33)$$

kde \dot{m}_v je celkový hmotnostní tok vzduchu přiváděného do klimatizovaného prostoru

Směr změny stavu vzduchu v klimatizovaném prostoru I-P je dán faktorem citelného tepla

$$\mathcal{g}_i = \frac{\dot{Q}_{i,c}}{\dot{Q}_i}, \quad (5.34)$$

a to spojnicí hodnoty \mathcal{g}_i v měřítku faktoru citelného tepla \mathcal{g} s pólem měřítku.

Ze zvoleného pracovního rozdílu teplot $\Delta t_{prac} = t_i - t_p = 6$ až 8 K se stanoví teplota přiváděného vzduchu t_p . Stav přiváděného vzduchu do klimatizovaného prostoru P pak leží v průsečíku čáry o směru \mathcal{g}_i vedené stavem I a čáry konstantní teploty t_p .

Celkový hmotnostní tok vzduchu přiváděného do klimatizovaného prostoru se vypočítá z celkové tepelné zátěže klimatizovaného prostoru, tj. z rovnice (5.33)

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{Q}_i}{h_i - h_p}. \quad (5.35)$$

Hmotnostní tok oběhového vzduchu je

$$\dot{m}_{vc} = \dot{m}_v - \dot{m}_{ve}. \quad (5.36)$$

Měrná vlhkost vzduchu po smíšení x_s se stanoví z vlhkostní bilance míšení vzduchu venkovního a oběhového vyjádřené rovnicí

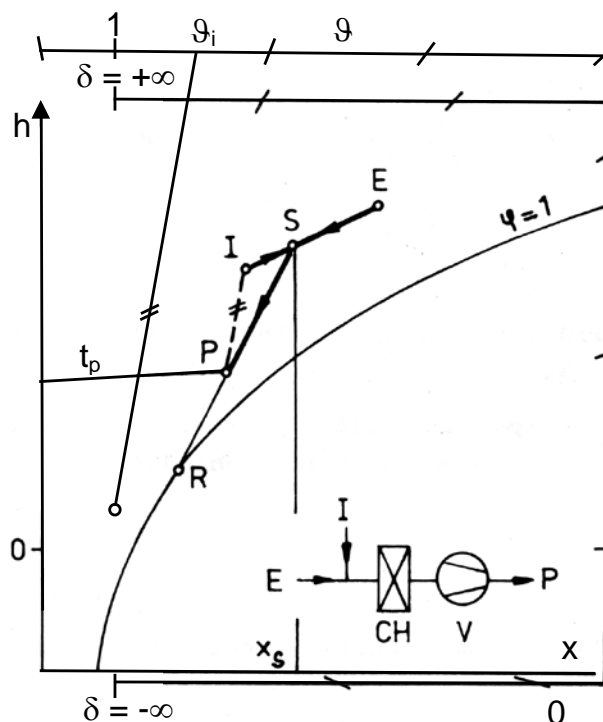
$$\dot{m}_{ve} x_e + \dot{m}_{vc} x_i = (\dot{m}_{ve} + \dot{m}_{vc}) x_s. \quad (5.37)$$

Průsečík směrnice míšení (spojnice bodů E a I) s měrnou vlhkostí x_s udává stav směsi S.

Spojnice bodů S a P v průsečíku s křivkou $\phi = 1$ dává rosný bod chladiče R a jemu odpovídající teplotu. Podle této hodnoty se volí typ chladiče.

Tepelný výkon chladiče je

$$\dot{Q}_{ch} = \dot{m}_v (h_s - h_p). \quad (5.38)$$

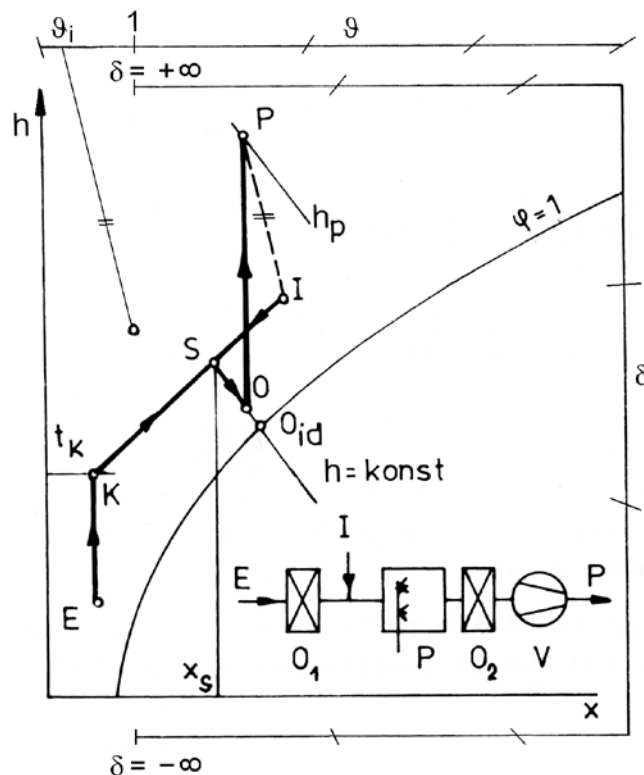


Obr. 5.29 Znárodnění letního provozu klimatizačního zařízení v h - x diagramu

Zimní provoz klimatizačního zařízení.

Pro zimní provoz jsou zadány tyto hodnoty:	
stav venkovního vzduchu	t_e, φ_e
požadovaný stav vnitřního vzduchu	t_i, φ_i
tepelná zátěž klimatizovaného prostoru citelným teplem	\dot{Q}_{ic} (tepelné ztráty)
tepelná zátěž klimatizovaného prostoru vázaným teplem	\dot{Q}_{iv}
minimální hmotnostní tok venkovního vzduchu	\dot{m}_{ve}
celkový hmotnostní tok přiváděného vzduchu	\dot{m}_v

Při zimním provozu (obr. 5.30) se venkovní vzduch E nejdříve předehřeje (na ochranu proti zamrznutí a kondenzaci vodní páry) na stav K. Předehřátí se provádí v předehříváči, nebo v zařízení pro zpětné získávání tepla. Předehřátý vzduch se mísí se vzduchem oběhovým o stavu I. Směs S, která vznikne míšením předehřátého venkovního vzduchu a vzduchu oběhového, je vlhčena na stav O (uvažujeme adiabatické vlhčení ve sprchové pračce) a po dohřátí na stav P je vedena do klimatizovaného prostoru.



Obr. 5.30 Znárodnění zimního provozu klimatizačního zařízení v h - x diagramu

Postup výpočtu je následující. Z celkové tepelné zátěže klimatizovaného prostoru, tj. z rovnice (5.33), se vypočítá entalpie vzduchu přiváděného do klimatizovaného prostoru

$$h_p = h_i + \frac{\dot{Q}_{ic} + \dot{Q}_{iv}}{\dot{m}_v}. \quad (5.39)$$

Z rovnice (5.34) určíme faktor citelného tepla klimatizovaného prostoru ϑ_i . Hodnota ϑ_i v měřítku faktoru citelného tepla spojená s pólem měřítka udává směr změny stavu vzduchu

v klimatizovaném prostoru. Stav přiváděného vzduchu do klimatizovaného prostoru P pak leží v průsečíku čáry o směru \mathcal{G}_i vedené stavem I a čáry konstantní entalpie h_p .

Pokud je hodnota faktoru citelného tepla klimatizovaného prostoru mimo rozsah měřítka citelného tepla uvedeného v h - x diagramu, postupujeme tak, že vypočítáme hodnotu směrnice změny stavu vzduchu v klimatizovaném prostoru ∂_i

$$\partial_i = \frac{\dot{Q}_i}{\dot{m}_{wi}}, \quad (5.40)$$

jejíž hodnoty jsou uvedeny na okrajovém měřítku v h - x diagramu. Okrajové měřítko má stejný pól, jako měřítko faktoru citelného tepla.

\dot{m}_{wi} v rovnici (5.40) je množství vznikající vlhkosti v klimatizovaném prostoru, které vyjádříme ze zadané tepelné zátěže klimatizovaného prostoru vázaným teplem \dot{Q}_{iv}

$$\dot{m}_{wi} = \frac{\dot{Q}_{iv}}{l_{23}}, \quad (5.41)$$

kde l_{23} je měrné výparné teplo vody.

Hodnota ∂_i v okrajovém měřítku spojená s pólem měřítka udává směr změny stavu vzduchu v klimatizovaném prostoru. Stav přiváděného vzduchu do klimatizovaného prostoru P pak leží v průsečíku čáry o směru ∂_i vedené stavem I a čáry konstantní entalpie h_p .

Volbou teploty předehřátí vzduchu t_k (asi 5 až 10 °C) se určí stav vzduchu K za předehřívacem. Je to průsečík izotermy t_k s měrnou vlhkostí x_e . Předehřátí vzduchu se také provádí v zařízeních pro zpětné získávání tepla a teplota předehřátí vzduchu se pak určí z účinnosti použitého zařízení pro zpětné získávání tepla.

Stav vzduchu po smíšení vzduchu venkovního a oběhového S je dán průsečíkem směšovací úsečky I-K s měrnou vlhkostí směsi x_s , která se vypočítá z bilance míšení, tj. z rovnice (5.37).

Vlhčení vzduchu vodou v adiabatické pračce je děj izoentalpický a stav vzduchu O po vlhčení je dán v průsečíku izoentalpy h_s s měrnou vlhkostí x_p . Adiabatická účinnost pračky je pak dána vztahem

$$\eta_{ad} = \frac{x_o - x_s}{x_{oid} - x_s}, \quad (5.42)$$

kde x_{oid} je stav nasyceného vzduchu o entalpii $h_s = h_o$.

Tepelné výkony předehříváče \dot{Q}_{o1} a ohříváče za vodní pračkou \dot{Q}_{o2} jsou vyjádřeny vztahy

$$\dot{Q}_{o1} = \dot{m}_{ve}(h_k - h_e), \quad (5.43)$$

$$\dot{Q}_{o2} = \dot{m}_v(h_p - h_o). \quad (5.44)$$

6. VYTÁPĚNÍ

Teplu k vytápění budov se vyrábí buď místním (lokálním) způsobem, nebo ústředně. Při lokálním vytápění je zdroj tepla přímo ve vytápěném prostoru. Při ústředním vytápění je zdroj tepla umístěn mimo vytápěný prostor, nebo v některé z provozních místností. Ze zdroje tepla se teplo rozvádí teplonosnou látkou – vodou, parou nebo vzduchem do vytápěného prostoru. Podle toho rozlišujeme vytápění vodní (teplovodní, horkovodní), parní (nízkotlaké, vysokotlaké, podtlakové) a teplovzdušné.

Ze všech druhů ústředního vytápění je nejrozšířenější vytápění teplovodní s teplotou vody do 95 °C. Používá se v obytných domech a dále všude tam, kde se z hygienických důvodů požaduje nízká teplota otopných těles. Zvláštním druhem teplovodního vytápění je tzv. velkoplošné vytápění s teplotou vody obvykle do 60°C, u kterého otopnou plochou je některá ze stěn ohraničujících vytápěný prostor.

Horkovodní vytápění (teplota vody nad 110 °C) se používá pouze v průmyslových závodech. Vyšší povrchová teplota otopného tělesa je méně hygienická, avšak investiční náklady jsou nižší.

Parní vytápění, které se dělí podle tlaku páry na nízkotlaké (do přetlaku páry až 50 kPa) vysokotlaké (absolutní tlak nad 0,15 MPa) a podtlakové (absolutní tlak nižší než 100 kPa). Parní vytápění se používá v průmyslu, kde je pára využívána ještě k jiným účelům. V obytných domech a ve veřejných budovách se nově pára pro vytápění nepoužívá.

Teplovzdušné vytápění se u nás používá nejčastěji pro vytápění průmyslových hal a jiných půdorysně rozlehlých a vysokých místností. Teplý vzduch je v centrálním ohřivači, nebo v nástěnných teplovzdušných soupravách ohříván vodou nebo parou. V posledních letech se u nás začíná používat také pro vytápění rodinných domů na bázi dřeva a jednotlivých bytů.

Pro průmyslové haly a jiné půdorysně rozlehlé a vysoké místnosti se používá také vytápění sálavé, a to zavěšenými sálavými panely, nebo lokální plynové sálavé vytápění tmavými či světlými zářiči. Otopným médiem pro sálavé panely je horká voda nebo pára s teplotou až 160 °C. Vytápění sálavé je investičně dražší, ale provozně levnější než vytápění teplovzdušné.

6.1 VYTÁPĚNÍ VODNÍ

6.1.1 Vytápění teplovodní

Teplovodní vytápění pracuje obvykle s teplotou vody do 95 °C, proto může být teplovodní soustava i otevřená, tj. prostřednictvím expanzní nádoby spojená s vnějším prostředím. Jen výjimečně se volí teplota otopné vody vyšší než 95 °C (až 110 °C), v tomto případě musí být otopná soustava uzavřená a zajištěná uzavřenou (tlakovou) expanzní nádobou. Při teplotě otopné vody nad 110 °C jde o vytápění horkovodní. Nejobvyklejší teplovodní systém pracuje se jmenovitými teplotami 90/70 °C, tzn. v extrémních zimních podmínkách je teplota přírodní vody 90 °C a teplota vratné vody 70 °C. V průběhu otopného období se teplota vody mění v závislosti na teplotě venkovního vzduchu. Dnes se používá také teplotní spád 70/50 °C v souvislosti se zvyšováním tepelné izolace budov a u objektů s velmi dobrou tepelnou izolací i teplotní spád 55/45 °C. Nižší teplotní spád vede ke zvýšení komfortu ve vytápěných místnostech.

Podle zdroje tlakového spádu se rozlišují teplovodní otopné soustavy

- s přirozeným oběhem vody (vyvozeným rozdílem hustot vody ochlazené a teplejší přírodní), nazývané také samotížné,
- s nuceným oběhem vody (vyvozeným čerpadlem).

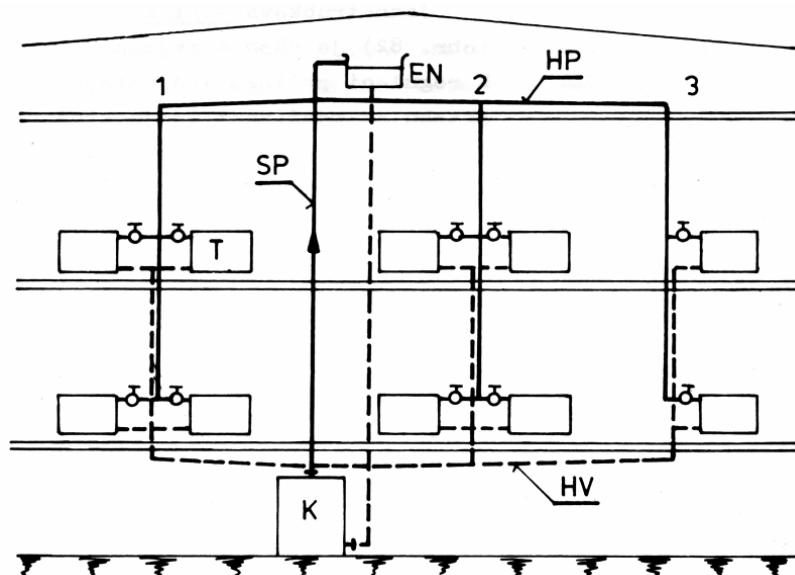
Další rozdělení je na teplovodní soustavy dvoutrubkové (ke každému otopnému tělesu se přivádí dvě potrubí – přívodní a vratné) a jednotrubkové (těleso je připojeno na rozvod vody pouze jedním potrubím).

Dále se soustavy dělí podle umístění hlavního vodorovného přívodního potrubí na soustavy se spodním a horním rozvodem a podle konfigurace propojovacích potrubí může být rozvod buď vertikální, nebo horizontální.

6.1.1.1 Teplovodní otopná soustava s přirozeným oběhem vody

Teplovodní otopnou soustavu s přirozeným oběhem vody (samotížnou soustavu) lze používat pro menší, půdorysně nepříliš rozlehlé budovy. Nyní se používá jen zcela zřídka. Je vhodná v individuální výstavbě při použití kotlů na pevná paliva. Soustava je většinou dvoutrubková, může být se spodním i horním rozvodem. Výhodou přirozeného oběhu je, že nepotřebuje ke své funkci žádnou přídavnou energii kromě tepelné.

U otopné soustavy s horním rozvodem se dosáhne poněkud většího oběhového tlaku než u soustavy se spodním rozvodem a také uvedení do provozu je rychlejší. Soustava s horním rozvodem je však dražší. Schéma teplovodní otopné soustavy vertikální dvoutrubkové s horním rozvodem a přirozeným oběhem je na obr. 6.1. Voda ohřátá v kotli K je vedena svislým přívodním potrubím SP nahoru. Dále se rozvádí horizontálním přívodním potrubím HP, uloženým nad nejvýše položenými otopnými tělesy, ke svislým větvím 1, 2, 3 a přípojkami k jednotlivým otopným tělesům T. Po ochlazení v tělesech se voda vede vratnými svislými větvemi a horizontálním vratným potrubím HV (vedeným s mírným spádem ke kotli) zpět do kotle. V nejvyšším místě horního rozvodu je připojena otevřená expanzní nádoba EN, která v tomto případě slouží také k samočinnému odvodu vzduchu celé soustavy. Aby se odvodu vzduchu usnadnilo, musí být všechna horizontální potrubí vedena s mírným stoupáním k expanzní nádobě.



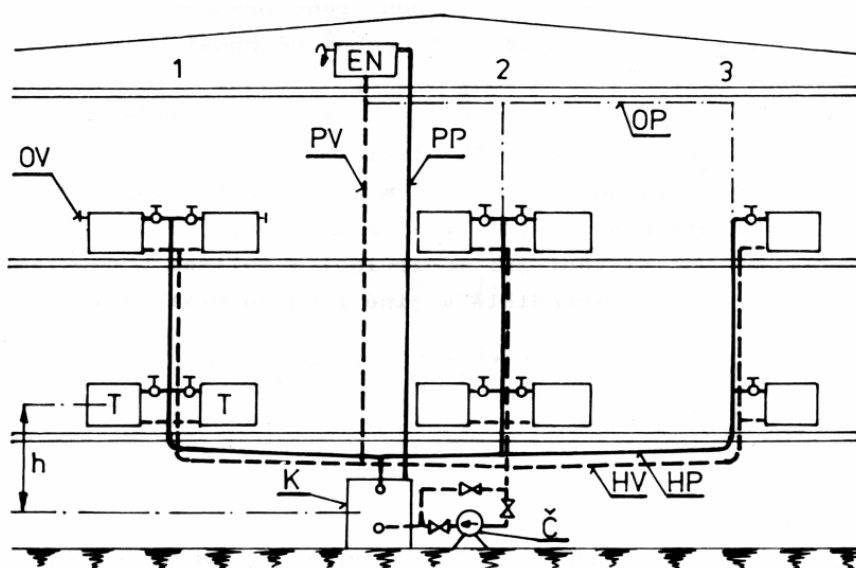
Obr. 6.1 Dvoutrubková vertikální otopná soustava s horním rozvodem a přirozeným oběhem vody.

K – kotel, SP – svislé přívodní potrubí, HP – horizontální přívodní potrubí, T – otopné těleso, HV – horizontální vratné potrubí, EN – expanzní nádoba, 1, 2, 3 – svislé větve

Dvoutrubková vertikální otopná soustava se spodním rozvodem a přirozeným oběhem vody je znázorněna na obr. 6.2 (bez zakresleného čerpadla). Voda ohřátá v kotli K se vede

horizontálním přívodním potrubím HP zavěšeným pod stropem suterénu (kotelny) do svislých větví 1, 2, 3. K těmto větvím jsou v jednotlivých podlažích připojena krátkými odbočkami otopná tělesa T. Po ochlazení v otopných tělesech, voda proudí vratnými svislými větvemi a horizontálním vratným potrubím HV do kotle. Celá soustava je spojena s otevřenou expanzní nádobou EN pojistným potrubím připojeným na přívodní a vratné straně (PP, PV), která chrání soustavu proti překročení dovoleného tlaku. U tepelného výkonu otopné soustavy do 63 kW se připouští spojit expanzní nádobu s kotlem jen jedním pojišťovacím potrubím, které se však musí napojit na expanzní nádobu zespodu.

Otevřené expanzní nádoby se hodí pro převážný počet otopných soustav. Jakmile však používáme u teplovodních otopných soustav kotle na kapalná nebo plynná paliva, je výhodné použít uzavřené (tlakové) expanzní nádoby. Uzavřené expanzní nádoby jsou s plynovým polštářem buď bez membrány, nebo s membránou a jsou dodávány s pojišťovacím ventilem. Uzavřené expanzní nádoby se připojují v nejnižším místě soustavy buď k vratnému potrubí, nebo k přívodnímu potrubí.



Obr. 6.2 Dvoutrubková vertikální otopná soustava se spodním rozvodem s nuceným oběhem vody.

K – kotel, HP – horizontální přívodní potrubí, HV – horizontální vratné potrubí,
 T – otopné těleso, EN – expanzní nádobu, Č – čerpadlo,
 PP, PV – pojistné potrubí na přívodní a vratné straně, 1, 2, 3 – svislé větve,
 OV – odvzdušňovací ventil, OP – odvzdušňovací potrubí

Odvzdušnění soustavy se provádí buď ručně odvzdušňovacími ventily OV připojenými k nejvýše položeným tělesům (větev 1), nebo samočinně, odvzdušňovacím potrubím OP (větev 2 a 3) spojujícím svislé větve s expanzní nádobou. Odvzdušňovací potrubí je možné vést také půdním prostorem, ale pak je nutné, aby bylo obdobně jako expanzní nádobu chráněno před zamrznutím.

Přirozený oběhový tlak Δp vyvolaný rozdílem hustot ochlazené vratné vody (ρ_2) a teplejší přívodní vody (ρ_1)

$$\Delta p = h g (\rho_2 - \rho_1) \quad (6.1)$$

zajišťuje pro naznačená otopná tělesa T průtok požadovaného množství vody, pokud bude splněna podmínka

$$\Delta p \geq \Delta p_z = \sum \lambda \frac{l}{d} \frac{w^2}{2} \rho + \sum \xi \frac{w^2}{2} \rho. \quad (6.2)$$

V těchto rovnicích je h vzdálenost středu kotle a středu označených otopných těles T, Δp_z – tlaková ztráta potrubního okruhu teplé i ochlazené vody mezi kotlem a tělesy T, λ – součinitel tření, l – délka potrubí, d – průměr potrubí, w – rychlost vody v potrubí, ρ – hustota vody při střední teplotě, ξ – součinitel místního odporu. Teplota vody přiváděné do otopných těles se bere pro jmenovité výpočtové podmínky, např. 90/70 °C.

Soustava se spodním rozvodem je jednodušší, a proto levnější než soustava s horním rozvodem. Vyžaduje však dostatečně vysoké suterénní místnosti a tyto místnosti se zahřívají.

6.1.1.2 Teplovodní otopná soustava s nuceným oběhem vody

Tato otopná soustava oproti otopné soustavě s přirozeným oběhem vody má řadu výhod:

- při větší průtočné rychlosti vody vychází menší průměry trubek a tím menší investiční náklady,
- jednodušší montáž potrubní sítě – potrubí nemusí být vedeno se stálým stoupáním k expanzní nádobě,
- možnost připojit i otopná tělesa ležící níže než zdroj tepla,
- kratší doba zátoku,
- dobrá regulace a měření spotřeby tepla.

Nevýhodou nuceného oběhu jsou:

- větší provozní náklady (vlivem pohonu čerpadel)
- jistá hlučnost čerpadel,
- závislost na dodávce elektrické energie (spolehlivost dodávky z elektrické sítě je však v současné době v ČR vysoká).

Schéma otopné soustavy s nuceným oběhem vody je v podstatě stejné jako při přirozeném oběhu. Soustava může být se spodním nebo horním rozvodem, dvoutrubková nebo jednotrubková. Oběhové čerpadlo může být vřazeno do vratného, nebo přivodního potrubí (obvykle do vratného potrubí).

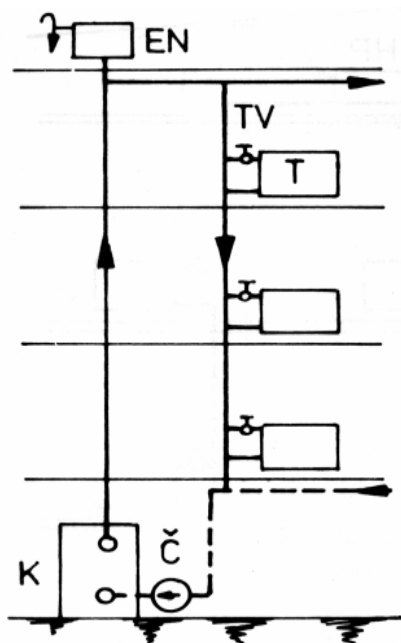
Schéma vertikální dvoutrubkové otopné soustavy se spodním rozvodem a čerpadlem ve vratném potrubí je na obr. 6.2. Celá soustava je zde spojena s otevřenou expanzní nádobou pojistným potrubím připojeným na přivodní i vratné straně. Odvzdušnění soustavy se provádí buď ručně odvzdušňovacími ventily připojenými k nejvýše položeným otopným tělesům (viz větev 1), nebo samočinně odvzdušňovacím potrubím (viz větev 2 a 3).

Horizontální otopné soustavy jsou vhodné tam, kde je třeba zmenšit počet svislých větví hlavního rozvodu nebo kde se požaduje připojit na společnou svislou větev všechna otopná tělesa samostatné skupiny místností, např. jednoho bytu. Horizontální soustavy musí mít nucený oběh. Mohou být jednotrubkové i dvoutrubkové.

Velmi rozmanitým způsobem lze při nuceném oběhu řešit jednotrubkové soustavy. Rozvod může být buď vertikální, nebo horizontální, otopná tělesa mohou být připojena v obtoku, nebo průtoku.

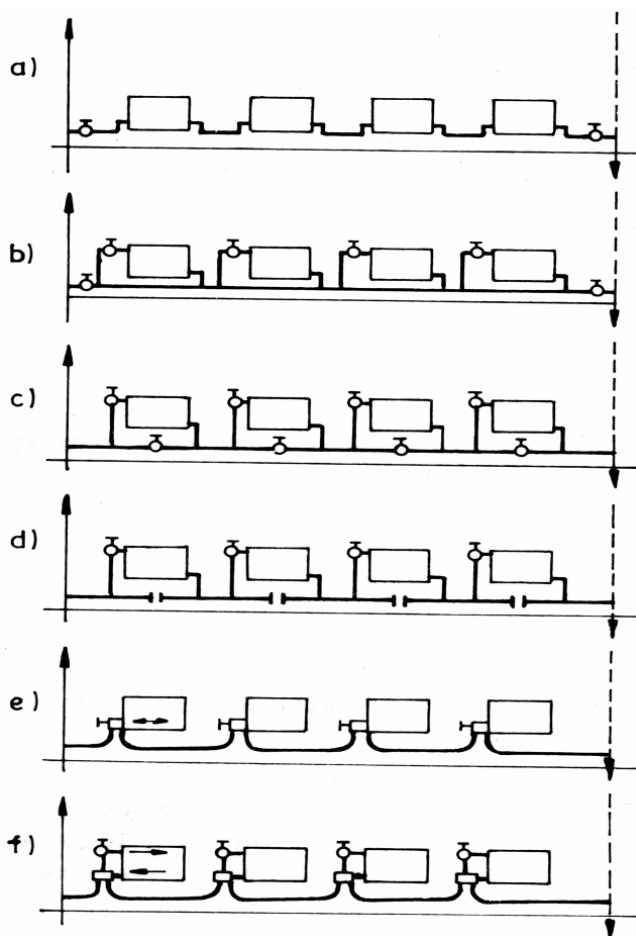
Jednotrubková vertikální otopná soustava s horním rozvodem vody (obr. 6.3) je vhodná zejména pro budovy s půdním prostorem. K regulaci průtoku vody otopnými tělesy T připojenými v obtoku se používají trojcestné ventily TV zařazené v dělicích bodech před

každým tělesem. Do vzdálenějších těles od kotle se přivádí postupně chladnější voda. Tato změna teploty vody se respektuje při dimenzování otopných těles. Soustava se spodním rozvodem se používá především u budov s plochou střechou.



Obr. 6.3 Vertikální jednotrubková otopná soustava s horním rozvodem a s tělesy v obtoku.

K – kotel, Č – čerpadlo,
T – otopné těleso,
EN – expanzní nádoba, TV – trojcestný ventil



Obr. 6.4 Horizontální jednotrubková otopná soustava.

a) s průtokem, b) s obtokem,
c) s regulační armaturou ve zkratu,
d) s regulovatelnou clonou ve zkratu,
e) s čtyřcestnou armaturou s jednobodovým
připojením, f) s čtyřcestnou armaturou
s dvoubodovým připojením

Různé způsoby připojení těles u horizontální jednotrubkové otopné soustavy jsou znázorněny na obr. 6.4. U horizontální soustavy s průtokem (obr. 6.4 a) není možné individuálně regulovat jednotlivá tělesa. U soustavy s tělesy připojenými v obtoku (obr. 6.4 b) lze průtok vody každým tělesem regulovat. Často se zde používá regulační armatury, nebo regulovatelné clony ve zkratu (obr. 6.4 c, d). K velmi rozšířenému řešení patří použití čtyřcestné armatury s jednobodovým, nebo s dvoubodovým připojením (obr. 6.4 e, f).

6.1.1.3 Etážové vytápění

Etážová teplovodní soustava slouží k vytápění několika místností ve stejném podlaží, např. k vytápění jednotlivých bytů v činžovních domech, nebo tam, kde objekt má jen jedno patro. Zdroj tepla (kotel) je umístěn v některé z vytápěných místností (v kuchyni, na chodbě nebo

v koupelně) ve stejné výšce jako otopná tělesa. Místnost, ve které je kotel umístěn, musí být dobře větraná, protože bez trvalého přívodu dostatečného množství vzduchu kotel spaluje neekonomicky a nedává požadovaný tepelný výkon. Protože kotel leží ve stejné výšce jako otopná tělesa, je oběhový tlak u etážové soustavy s přirozeným oběhem poměrně malý – je vyvozen jen ochlazením v horizontálním přívodním potrubí vedeném pod stropem vytápěných místností. S ohledem na malý oběhový tlak nesmí být otopná tělesa příliš vzdálena od kotle a často se umisťují u vnitřních stěn.

Dnes se převážně používá etážové vytápění s nuceným oběhem vody, neboť zejména u půdorysně rozlehlých bytů při přirozeném oběhu vzhledem k malému oběhovému tlaku vychází příliš velké průměry potrubí. Vlastní rozvodné potrubí k tělesům může být vedeno i nad podlahou jednotlivých vytápěných místností, popř. v kanálku v podlaze (z důvodu obcházení dveří). Nuceného oběhu vody se dosáhne malým oběhovým čerpadlem vřazeným přímo do potrubí buď na straně přívodní, nebo na straně vratné.

6.1.1.4 Otopná tělesa

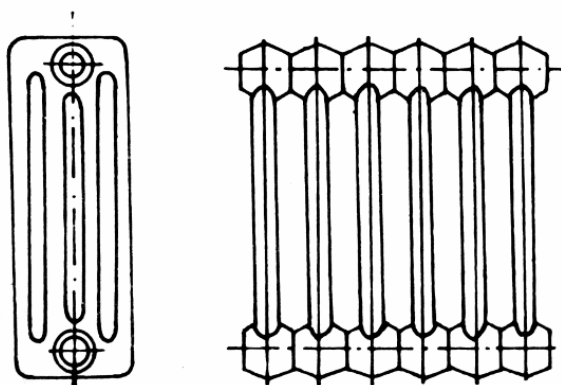
Jako otopná tělesa pro teplovodní vytápění se používají především tělesa desková, článková, trubková a konvektory.

deskové těleso	schéma provedení
jednoduché	
jednoduché s dodat. plochou	
zdvojené	
zdvojené s jednou dodat. plochou	
zdvojené se dvěma dodat. plochami	
ztrojené	
ztrojené se třemi dodat. plochami	

Obr. 6.5 Provedení deskových otopných těles

Článková otopná tělesa se vyrábí nejčastěji z litiny. Z jednotlivých článků lze sestavit otopné těleso libovolné plochy i libovolného tepelného výkonu (obr. 6.6).

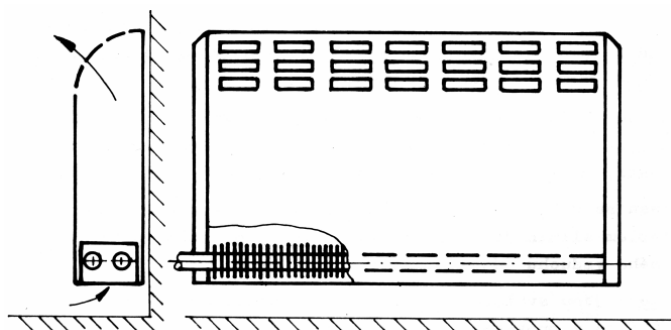
Nejpoužívanější jsou dnes tělesa desková. Jsou svařovaná z ocelového plechu, mají hladký, nebo mírně zvlněný povrch. Vyrábí se v provedení jednoduchém, zdvojeném a ztrojeném, bez dodatkových ploch, nebo s dodatkovými plochami (obr. 6.5). Výhodou jednoduchých deskových těles bez dodatkových ploch je malá stavební hloubka, snadné čištění a velký podíl sálání na tepelném toku přenášeném z přední strany. Jejich nevýhodou je malá hustota tepelného výkonu, a tím obvykle velká délka. Teplo přenášené sáláním velmi významně přispívá k rovnoměrnému vytápění místnosti. Použitím dodatkových ploch, které tvoří např. vlnovce z tenkého ocelového plechu přibodované k základnímu deskovému tělesu, se dosahuje zvětšení tepelného výkonu. Zvětšuje se ale podíl konvekční složky přenášeného tepla a zhoršuje se jejich čistitelnost.



Obr. 6.6 Litinové článkové otopné těleso

Hmotnost litinových článků je velká a také jejich obsah vody je velký. To způsobuje, že mají velkou tepelnou setrvačnost. Teplo z povrchu tělesa se přenáší konvekcí a radiací (radiací asi 33 % celkového tepelného výkonu).

Trubková tělesa pro teplovodní vytápění se vyrábí z hladkých trubek. Nejčastěji se vyskytují ve tvaru meandru, nebo registru s vodorovnými trubkami či svislými trubkami. Používají se pro vytápění koupelen, schodišť a jiných pomocných místností.



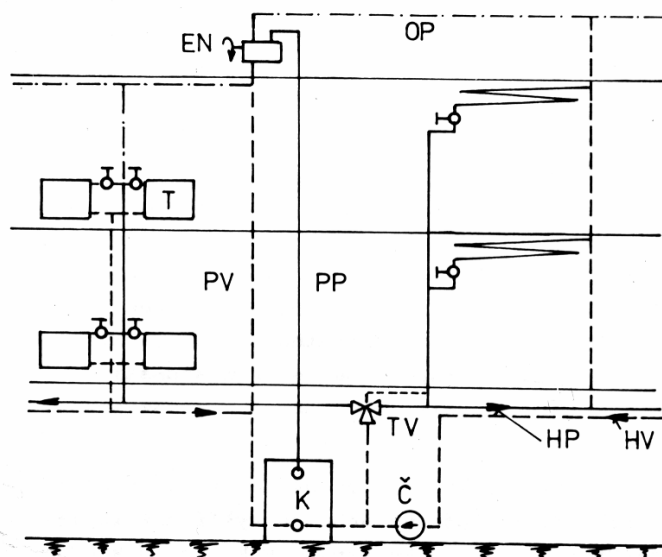
Obr. 6.7 Konvektor

Konvektory (trubková tělesa se zákrytem) tvoří vodorovné žebrované trubky umístěné do skříně, která jako šachta podporuje proudění vzduchu (obr. 6.7). V horní části je skříň opatřena výdechovou mřížkou. Konvektory přenášejí teplo především konvekcí. Tepelný výkon konvektoru lze regulovat na straně otopného média, případně i regulační klapkou na straně vzduchu. Konvektory mají nepatrnou setrvačnost, nevýhodou však

je intenzivnější cirkulace vzduchu, kterou se roznáší prach po místnosti.

Konvektory se vyrábí i v podlahovém provedení, kdy je žebrovka uložena v kanálu v podlaze pod oknem a je zakrytá nášlapnou mříží.

6.1.2 Velkoplošné teplovodní vytápění



Obr. 6.8 Kombinace soustavy velkoplošného teplovodního vytápění s teplovodní soustavou s otopnými tělesy.

K – kotel, Č – čerpadlo, HP – horizontální přívodní potrubí, HV – horizontální vratné potrubí,

TV – trojcestný ventil, T – otopné těleso,

EN – expanzní nádoba,

PP, PV – pojistné potrubí na přívodní a vratné straně,

OP – odvzdušňovací potrubí

Velkoplošné teplovodní vytápění je zvláštním druhem teplovodního vytápění, u něhož otopnou plochou je některá ze stěn ohraničujících vytápěnou místnost. Podle toho se rozlišuje vytápění stropní, podlahové a stěnové. Povrchová teplota otopné plochy je poměrně nízká; u stropního vytápění 40 až 45 °C, u podlahového 25 až 30 °C a u stěnového 55 až 60 °C. U stropního vytápění je až 70 % celkového tepelného výkonu otopné plochy přenášeno sáláním. U stěnového a podlahového vytápění je to asi 50 %. V poslední době se velkoplošné teplovodní vytápění začíná více uplatňovat, a to v nových objektech s velmi dobrými tepelně izolačními vlastnostmi, kde stačí pokrýt celé tepelné ztráty jednotlivých místností.

Stropních ploch vytápění velkoplošného lze také použít v letním období k chlazení

místnosti. V tomto případě stropní plocha, jíž proudí ochlazená voda, odnímá sáláním teplo ostatním stěnám místnosti a kromě toho také konvekcí chladí vnitřní vzduch. Aby se zabránilo kondenzaci vodní páry obsažené ve vzduchu na povrchu stropní plochy, nesmí být teplota vody protékající trubkami nižší než 16 až 18 °C.

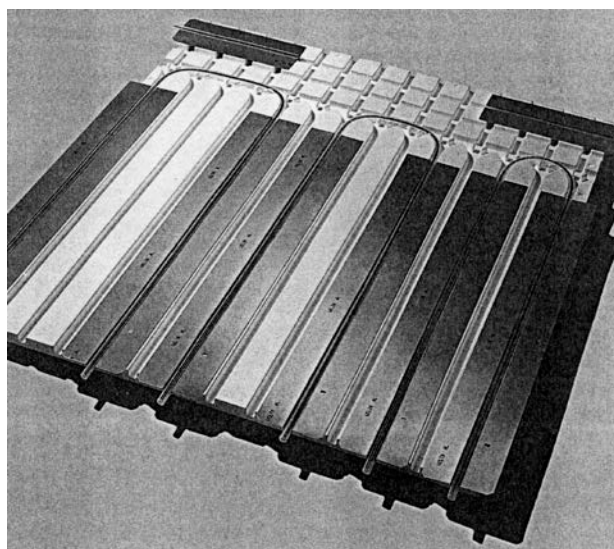
Oběh vody v soustavě velkoplošného teplovodního vytápění je nucený. Nízká teplota otopné vody se získá směřováním vody vystupující z kotle a vratné vody, pomocí trojcestného regulačního ventilu. Velkoplošnou otopnou soustavu lze také kombinovat s teplovodní soustavou s otopnými tělesy. Aby bylo možné oba systémy odděleně regulovat (je to nutné vzhledem k jejich rozdílné tepelné setrvačnosti), je třeba tyto soustavy zařadit vedle sebe podle obr. 6.8.

Provedení otopných ploch

Původní provedení otopných ploch je s ocelovými hady zabetonovanými do konstrukce podlahy, stropu nebo stěny, nebo betonová deska s trubkovými hady zavěšovaná na nosný strop, nebo na stěnu.

Původně ocelové trubky byly nahrazeny trubkami měděnými a v současné době trubkami z plastů. Poslední vývoj směřuje k výrobě velkoplošných desek z plastů.

Používají se např. polyethylenové trubky, které se montují do podkladové polystyrénové desky a k jejich uchycení slouží hliníkové lamely, které současně zaručují rovnoměrný rozvod tepla (obr. 6.9). Na povrch se pokládá suchopotěrová deska, nebo cementový suchý potěr. Montáž je možno tedy provádět suchým způsobem, odpadá nákladná betonáž a výška i s izolací se pohybuje mezi 45 až 50 mm.



Obr. 6.9 Podkladová deska s polyethylenovými trubkami uchycenými hliníkovými lamelami

Tepelné poměry ve vytápěném prostoru.

Při velkoplošném teplovodním vytápění stropním přenáší otopná plocha menší část tepla vnitřnímu vzduchu konvekcí a větší část tepla přenáší sáláním (tj. bez prostřednictví vzduchu) na plochy ohraničující vytápěný prostor. Teplota osálaných ploch je pak poněkud vyšší než teplota vnitřního vzduchu, což je z fyziologického hlediska výhodnější než případ opačný. Teplý vzduch ohřátý konvekcí od otopné plochy zůstává pod stropem, takže v místnosti nevzniká proudění (nerozvíruje se prach) a vertikální rozložení teploty je velmi rovnoměrné.

Při velkoplošném teplovodním vytápění podlahovém nepřevažuje sice přenos tepla sáláním nad konvekcí, ale je pro ně charakteristické téměř ideální rozdělení teplot ve svislém směru, což je teplota ve výšce hlavy o 2 K nižší než ve výšce kotníků.

Při převážně konvekčním způsobu vytápění (vytápění otopnými tělesy) zahřívá otopné těleso především vzduch v místnosti a ten pak konvekcí přenáší teplo stěnám; teplota vzduchu je vyšší než teplota stěn. Teplý vzduch proudí od otopného tělesa nahoru ke stropu a k tělesu spodem přitéká chladnější vzduch. V místnosti vzniká proudění a vlivem tohoto proudění vzniká poměrně velký rozdíl mezi teplotou vzduchu u stropu a u podlahy. Např. při vytápění

otopným tělesem pod oknem na teplotu 22 °C je u podlahy teplota 19 °C a u stropu 25 °C, tj. rozdíl 6 K.

Při konvekčním vytápění s otopným tělesem pod oknem je teplota vnitřních stěn přibližně stejná jako teplota vzduchu v místnosti a účinek chladnější venkovní stěny je eliminován sáláním otopného tělesa. Při sálavém stropním vytápění není dostatečně eliminován vliv venkovní stěny a okna, zejména v místnostech s velkými okny, a proto v blízkosti okna jsou nepříznivé tepelné poměry. Aby se tento nedostatek odstranil, umísťuje se stropní otopná plocha (pokud nevyplňuje celý strop) co nejbližší k oknu, nebo se stropní vytápění doplňuje stěnovou otopnou plochou nebo otopným tělesem.

6.1.3 Zabezpečovací zařízení teplovodních soustav

Jak již bylo uvedeno, teplovodní soustavy musí být zabezpečeny proti překročení nejvyššího přípustného provozního tlaku expanzními nádobami, které jsou buď otevřené, nebo tlakové (uzavřené) s plynovým polštářem bez membrány nebo s membránou.

Otevřené expanzní nádoby se používají u teplovodních soustav, kde teplota otopné vody nemá překročit 90 až 95 °C. Nádobu je umístěna v nejvyšším místě otopné soustavy a spojená s kotlem, nebo ohřívákem vody přívaděcím a vratným potrubím.

U vodních otopných soustav s teplotou vyšší než 95 °C anebo tam, kde není možné umístit otevřenou expanzní nádobu v dostatečné výšce nad kotlem, nebo ohřívákem vody se používají expanzní nádoby uzavřené. Nádoby se k otopné soustavě připojují přívodním pojistným potrubím, popř. i vratným pojistným potrubím neuzavíratelně. U otopných soustav do jmenovitého tepelného výkonu 50 kW může být pojistné potrubí součástí rozvodu otopné vody, nesmí však být osazeny uzávěry na potrubí mezi kotlem a nádobou. Proti překročení přípustného provozního tlaku chrání expanzní nádobu a tím i celou otopnou soustavu dva pojistné ventily, z nichž jeden je připojen k vodnímu prostoru a druhý k plynovému prostoru.

6.1.4 Vytápění horkovodní

Horkovodní vytápění, tj. vytápění vodou o teplotě nad 110 °C, se používá pouze v případech s mírnějšími nároky na pohodu prostředí, např. v průmyslových provozovnách. Výhodou vyšší teploty otopné vody je, že se při stejném tepelném výkonu zmenší otopná plocha, a tím také investiční náklady za otopná tělesa. Protože se při horkovodním vytápění obvykle používá větších teplotních spádů vody, zmenší se také průměr potrubí, a tím i náklady za rozvodnou síť.

Soustava horkovodního vytápění se podobá soustavě teplovodního vytápění s nuceným oběhem vody. Celé zařízení je při provozu pod tlakem, který odpovídá teplotě vody. Protože při teplotách nad 110 °C musí být tlak vyšší než 0,15 MPa, podléhá provedení i provoz horkovodního vytápění předpisům o tlakových nádobách a otopná soustava musí být vybavena uzavřenou expanzní nádobou.

Jako otopná tělesa se nejčastěji používají trubková tělesa z hladkých, nebo žebrovaných trubek a konvektory.

6.2 VYTÁPĚNÍ PARNÍ

Parní otopné soustavy lze rozdělit podle tlaku na:

- nízkotlaké (do přetlaku páry až 50 kPa a teploty 110 °C),
- vysokotlaké (absolutní tlak páry nad 0,15 MPa a teplota vyšší než 110 °C),
- podtlakové (absolutní tlak páry nižší než 0,1 MPa, teplota nižší než 100 °C).

Parní otopné soustavy se používají v průmyslových závodech, kde se využívá pára ještě k jiným účelům. V obytných domech, administrativních a shromažďovacích budovách a všude tam, kde pára není nutná pro jiné účely než pro vytápění, se nově parní vytápění nezřizuje. Pokud bylo v těchto případech parní vytápění dříve instalováno, nahrazuje se vytápěním teplovodním.

Nízkotlaké parní vytápění

Nízkotlaké parní vytápění má větší pohotovost než vytápění teplovodní. U nízkotlakého parního vytápění dosahuje absolutní tlak max. 0,15 MPa. Pára se vede od kotle parním potrubím k otopnému tělesu, ve kterém předává kondenzační teplo a kondenzát se vrací kondenzátním potrubím zpět do kotle. Před uvedením soustavy do provozu je otopné těleso vyplněno vzduchem. Přiváděná pára plní prostor otopného tělesa shora a postupně spodem vytlačuje vzduch do kondenzátního potrubí. Přiváděné množství páry má být tak velké, aby pára vyplnila celé těleso a stačila přitom zkondenzovat. Při syté páře vstupující do otopného tělesa je tepelný výkon zařízení

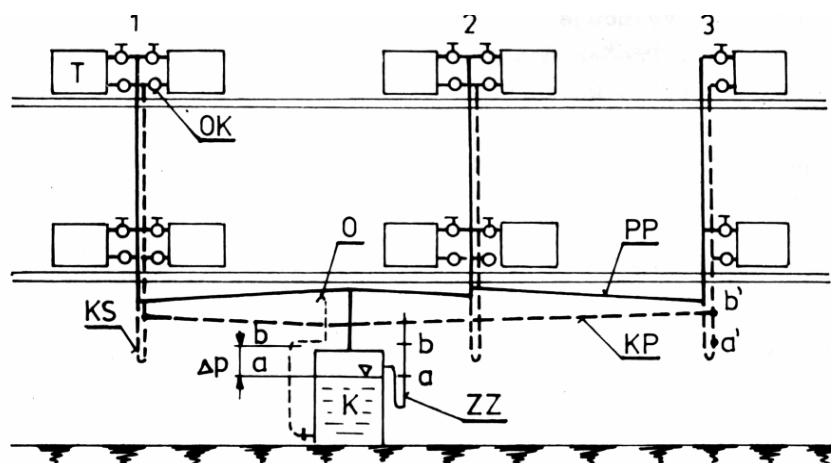
$$\dot{Q} = \dot{m}_p l_{23}, \quad (6.3)$$

kde \dot{m}_p je hmotnostní tok páry a l_{23} je měrné výparné teplo.

Přivádí-li se menší množství páry, zaplní se těleso parou jen v horní části, kdežto spodní část vyplní vzduch vnikající z kondenzátního potrubí a otopný výkon se zmenšuje. Tímto způsobem je možné do jisté míry regulovat nízkotlaké parní vytápění přímo na otopných tělesech. Pokud se přivede do tělesa více páry, než v něm může zkondenzovat, pronikla by pára do kondenzátního potrubí. Aby se tomu zabránilo, musí se umístit za otopné těleso odvaděč kondenzátu, který propouští z tělesa pouze kondenzát, při průchodu páry se uzavírá.

Otopné soustavy nízkotlakého parního vytápění rozdělujeme podle umístění hlavního parního potrubí na soustavy s horním rozvodem a soustavy se spodním rozvodem. Dále se dělí na soustavy se suchým (nezatopeným) kondenzátním potrubím a mokrým (zatopeným) kondenzátním potrubím.

Soustava se spodním rozvodem a se suchým kondenzátním potrubím je znázorněna na obr. 6.10.



Obr. 6.10 Nízkotlaká parní soustava se spodním rozvodem a suchým kondenzátním potrubím.

K – kotel, PP – hlavní parní potrubí, KP – sběrné kondenzátní potrubí,
KS – odvodňovací smyčka, T – otopné těleso, OK – odvaděč kondenzátu,
O – odvzdušňovací trubka, ZZ – zabezpečovací zařízení

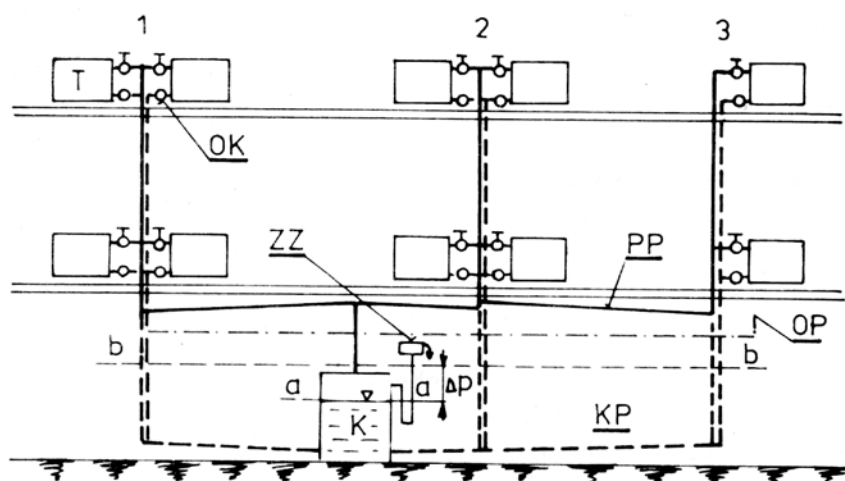
Hlavní parní potrubí PP je vedeno pod stropem suterénu se spádem asi 5 promile ve směru toku. Kde není možné vést potrubí s průběžným spádem, je nutné provést na potrubí odskok (obvykle v místě připojení svislých větví) a v místě odskoku připojit odvodňovací smyčku KS. Kondenzát utvořený v parním potrubí se shromažďuje ve smyčce a v bodě b' (obr. 6.10) přetéká do kondenzátního potrubí. Rozdíl hladin a b' v rameni smyčky odpovídá provoznímu přetlaku páry Δp . Aby se při kolísání tlak zabránilo pronikání páry do kondenzátního potrubí, má být odvzdušňovací smyčka asi o 500 mm delší než je výška a b'.

Z hlavního parního potrubí proudí pára svislými větvemi a přípojkami do otopných těles T. Kondenzát je z těles veden svislými větvemi do suterénu budovy ke sběrnému kondenzátnímu potrubí KP a jím zpět do kotle. Vodní hladina v kondenzátním potrubí je o rozdíl ab, odpovídající provoznímu přetlaku Δp , výše než hladina vody v kotli. Kondenzátní potrubí je spojeno odvzdušňovací trubicí O s vnějším ovzduším.

Proti překročení nejvyššího přípustného tlaku je soustava chráněna zabezpečovacím zařízením ZZ. Zabezpečovací (pojistné) zařízení je buď hydrostatické, nebo s pojistným ventilem. Hydrostatické zařízení je svislá trubice tvaru U naplněná vodou. Na konci delšího ramene je umístěna nádoba, která je přepadovou trubicí spojena s vnějším ovzduším. Pojistné zařízení s pojistným ventilem se připojí na parní prostor nebo na parní potrubí mezi kotlem a první uzavírací armaturou. Parní přípojka pojistného zařízení je vedena se sklonem ke kotli (nejmenší sklon je 3%).

Kotelny s kotlem pro nízkotlaké parní vytápění mohou být umístěny přímo ve vytápěné budově a kotel může obsluhovat i technicky neškolená obsluha.

Soustava se spodním rozvodem a mokrým kondenzátním potrubím. U této soustavy (obr. 6.11) je sběrné kondenzátní potrubí KP vedeno u podlahy suterénu budovy, tj. pod úroveň hladiny vody v kotli a je proto zaplněno kondenzátem až do výšky odpovídající provoznímu přetlaku páry (do výšky b-b). Odvodnění hlavního parního potrubí PP je zajištěno přímým spojením se sběrným kondenzátním potrubím. Odvzdušnění celé soustavy je provedeno tak, že všechny svislé větve kondenzátního potrubí jsou spojeny s odvzdušňovacím potrubím OP.



Obr. 6.11 Nízkotlaká parní soustava se spodním rozvodem a mokrým kondenzátním potrubím.

K – kotel, PP – hlavní parní potrubí, KP – sběrné kondenzátní potrubí,
OP – odvzdušňovací potrubí, OK – odvaděč kondenzátu, ZZ – zabezpečovací zařízení

Způsob vedení hlavního parního a kondenzátního potrubí rozhoduje o nutné výšce kotelny. Při stejném přetlaku páry a stejném typu kotlů stačí nejmenší výška kotelny u soustavy

s horním rozvodem a mokrým kondenzátním potrubím, kdežto největší výška musí být u soustavy se spodním rozvodem a suchým kondenzátním potrubím.

Vracení kondenzátu do kotle. Nejjednodušší způsob vracení kondenzátu do kotle je samospádem. Tento způsob lze použít jen v případě, kdy otopná tělesa ve spodním podlaží jsou dostatečně vysoko nad vodní hladinou v kondenzátním potrubí. Pokud to není splněno, je nutné kondenzát z níže položených těles do kotle přečerpávat.

Výhodou nízkotlakého parního vytápění oproti teplovodnímu je malá tepelná setrvačnost soustavy, levnější zařízení a možnost soustavu libovolně rozšiřovat. K nevýhodám patří velmi obtížná ústřední regulace tepelného výkonu, poměrně vysoká povrchová teplota otopných těles, rychlejší koroze potrubí, zejména kondenzátního.

Jako otopná tělesa se používají článková litinová tělesa, konvektory a trubková tělesa.

Vysokotlaké parní vytápění

Vysokotlaké parní vytápění je vytápění s tlakem páry nad 0,15 MPa až do 0,3 MPa; tomu odpovídá teplota syté páry 110 až 130 °C. Parní potrubí je obvykle vedeno nad otopnými tělesy (horní rozvod) a protože kondenzát je vytlačován tlakem páry, může být nad otopnými tělesy vedeno i kondenzátní potrubí.

Nevýhodou vysokotlakého parního vytápění je mimo vysoké povrchové teploty těles především to, že jediným možným způsobem regulace otopného výkonu je vypínání těles. Vzhledem k tomu se vysokotlaké parní vytápění nahrazuje vytápěním horkovodním. Jako otopná tělesa se používají výhradně tělesa trubková – trubkové hady nebo trubkové registry.

Podtlakové parní vytápění

Při podtlakovém parním vytápění je v otopné soustavě tlak nižší než 0,1 MPa, tj. podtlak proti tlaku atmosférickému. Schéma podtlakové parní soustavy je stejné jako u parního nízkotlakého vytápění. Aby se podtlak v soustavě udržel, musí se vzduch vnikající do soustavy netěsnostmi odsávat vývěvou. Tlak páry se při provozu podtlakového parního vytápění obvykle mění v rozmezí od 0,01 do 0,1 MPa, čemuž odpovídá tlak syté páry 45 až 100 °C.

Výhodou podtlakového parního vytápění je, stejně jako u vytápění teplovodního, nízká teplota otopných těles a možnost plynulé centrální regulace tepelného výkonu podle venkovní teploty. K dalším výhodám patří nízký tlak v soustavě i při velké vertikální rozloze zařízení (u vysokých budov) a malá tepelná setrvačnost. Podtlakové parní vytápění by proto bylo velmi vhodné zejména pro výškové budovy. Zatím však nedosáhlo většího rozšíření, a to z důvodu nedostatku zkušenosti projektantů a prováděcích závodů a poměrně obtížná obsluha. Nevýhodou však především je, že lze jen velmi obtížně dosáhnout tlaků nižších než 0,025 MPa, a tím i teplot nižších než 65 °C.

6.3 VYTÁPĚNÍ TEPELOVZDUŠNÉ

Při teplovzdušném vytápění se do vytápěného prostoru přivádí teplý vzduch. Teplovzdušné vytápění vyniká velkou provozní pohotovostí, umožňuje kombinaci s větráním a investičně je levnější než jiný způsob ústředního vytápění. Nevýhodou je, že prouděním vzduchu se víří prach, že zcela chybí sálavá složka přenosu tepla, že jsou větší dimenze rozvodů než u teplovodního či parního vytápění a také to, že vertikální rozložení teplot ve vytápěném prostoru je velmi nerovnoměrné a nejvyšší teploty vzduchu jsou pod stropem.

Teplovzdušné vytápění se používá především pro vytápění průmyslových hal, skladů, prodejních prostor, tělocvičen a jiných vysokých a půdorysně rozlehlých místností.

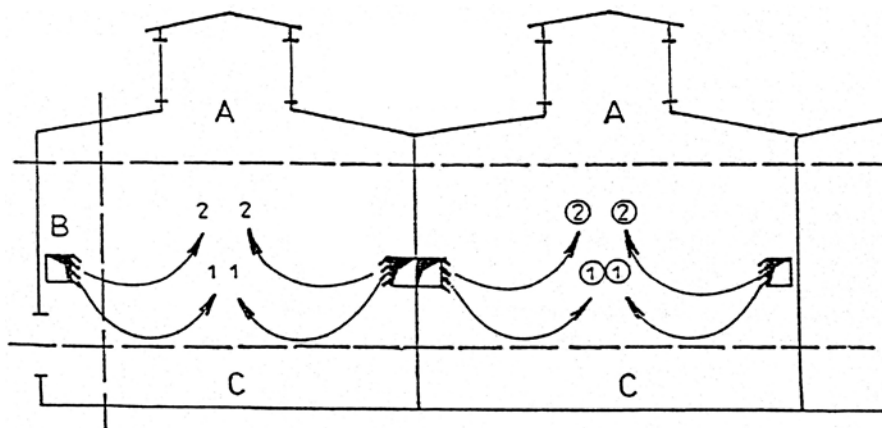
V posledních letech se u nás kromě zděných obytných staveb objevují lehké stavby na bázi dřeva s vyhovujícími tepelně-izolačními vlastnostmi, ale minimální akumulací tepla. Pro tyto stavby je teplovodní soustava málo pružná, a proto se v těchto stavbách začíná používat teplovzdušné vytápění, jehož použití je běžné především v USA, Kanadě a některých skandinávských zemích.

6.3.1 Teplovzdušné vytápění velkoprostorových místností

Pro teplovzdušné vytápění půdorysně rozlehlých a vysokých místností se používá buď ústřední teplovzdušné vytápění, kdy přiváděný vzduch se ohřívá ve strojovně, nebo častěji se používá vytápění místními teplovzdušnými jednotkami umístěnými ve vytápěném prostoru.

6.3.1.1 Ústřední teplovzdušné vytápění

Při ústředním teplovzdušném vytápění se teplotně nosná látka nebo palivo přivádí do strojovny. V ohřivači se vzduch ohřívá a do vytápěného prostoru se přivádí obvykle směs venkovního vzduchu a oběhového vzduchu odebíraného z vytápěného prostoru. Vzduch se ze strojovny do vytápěných prostorů rozvádí vzduchovody. Na rozvod vzduchu jsou napojeny stěnové vyústky (o charakteristickém rozměru do asi 0,5 m) umístěné ve výšce 2,5 až 3,5 m nad podlahou. Výfuk vzduchu je horizontální nebo směřován k podlaze, viz obr. 6.12. Rychlost ve vyústce se obvykle pohybuje do $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 6.12 Ústřední teplovzdušné vytápění

A – oblast pod střešním pláštěm, C – pracovní oblast

1 – osa proudu na začátku otopné sezóny, 2 – osa proudu v zimním období

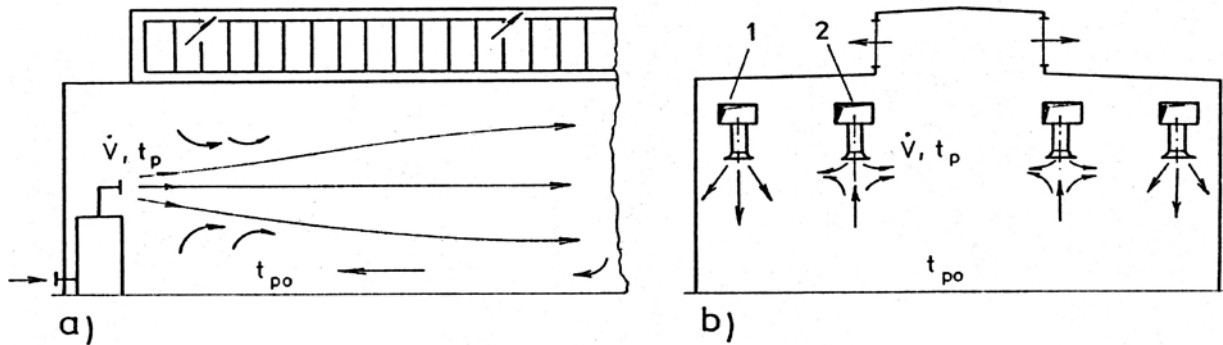
Nevýhodou je, že potřebné zvýšení dodávky tepla do vytápěného prostoru se projeví zvýšením teploty přiváděného vzduchu a zvýšením teploty přiváděného vzduchu se zvětšuje zakřivení osy proudu. Teplota vzduchu pod střešní konstrukcí stoupá a v pracovní oblasti dochází k jejímu poklesu. Výsledkem je, že se nedosáhne požadované teploty v pracovní oblasti a zvyšuje se energetická náročnost objektu.

Pro snížení energetické náročnosti objektu v prostorách s nevýraznými zdroji škodlivin, je vhodné použít při ústředním teplovzdušném vytápění vyústky pro intenzivní směřování s okolním vzduchem. Používají se dýzy pro horizontální soustředný přívod vzduchu (obr. 6.13a), nebo anemostaty a dýzy pro přívod vzduchu shora (obr. 6.13b), které se umísťují pod stropem.

Dýzy pro horizontální přívod vzduchu se umísťují ve výšce 4 až 10 m nad podlahou (podle konstrukce haly), výtoková rychlost se pohybuje až do $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a tím vlivem příznivého poměru setrvačných sil ke gravitačním, nedochází k zakřivení osy proudu, viz obr. 6.13a.

V oblasti nad podlahou a pod stropem proudí zpětný proud o požadované rychlosti a teplotě. Současně dochází také k úsporám energetických nákladů, poněvadž se snižují tepelné ztráty stropem.

Při použití vertikálního přívodu anemostaty konstruovanými pro regulovatelný směr rotačního proudu se výfuková rychlost pohybuje od 2 do 10 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (obr. 6.13b).



Obr. 6.13 Ústřední teplovzdušné vytápění.

- a) horizontální soustředný přívodem vzduchu,
 b) vertikální přívod vzduchu; 1 - výust' s rotací vystupujícího vzduchu – minimální směšování (zimní provoz), 2 – tatáž výust' – maximální směšování (letní provoz)

V zimním období je teplý proud směřován vertikálně k podlaze. V létě (při chlazení) lze změnou směru výtoku zajistit intenzivní směšování přiváděného vzduchu se vzduchem okolním.

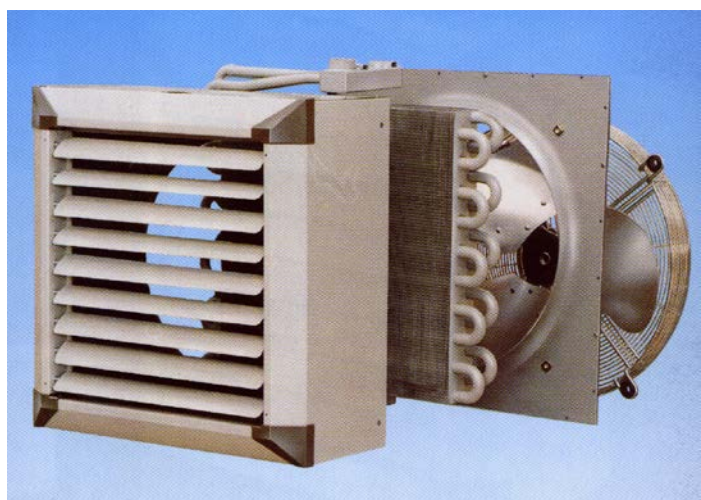
Při použití dýz s vertikálním výfukem k podlaze se výfuková rychlost pohybuje od 2 do 30 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

6.3.1.2 Vytápění teplovzdušnými jednotkami

Při vytápění místními teplovzdušnými jednotkami odpadá potrubí pro rozvod vzduchu a k místním jednotkám se rozvádí pouze teponosná látka (voda nebo pára).

Jednotky se skládají (obr. 6.14):

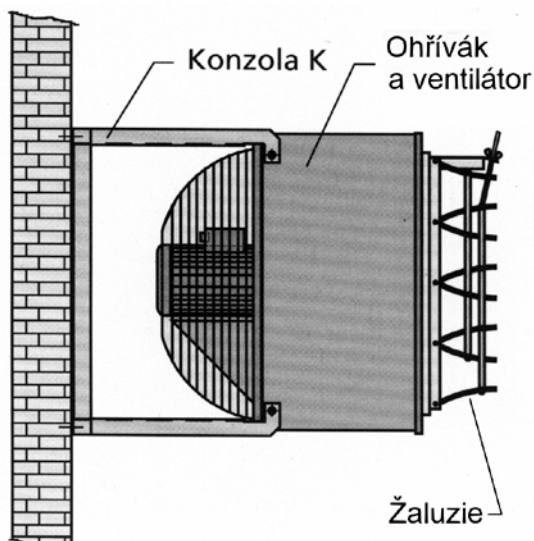
- Z ohříváku z lamelových trubek.
- Z ventilátoru – většinou axiálního přímo spojeného s asynchronním motorem jedno nebo víceotáčkovým.
- Z vyústky s regulační žaluzií. Regulační žaluzie je listová (obr. 6.14), nebo tzv. sekundární (obr. 6.15). Sekundární žaluzie zajišťuje dokonalé promíšení vzduchu, který vystupuje z teplovzdušné jednotky se vzduchem strženým z okolí. Dokonalým promíšením je zajištěna i nižší výdechová teplota.



Obr. 6.14 Teplovzdušná jednotka s listovou žaluzií

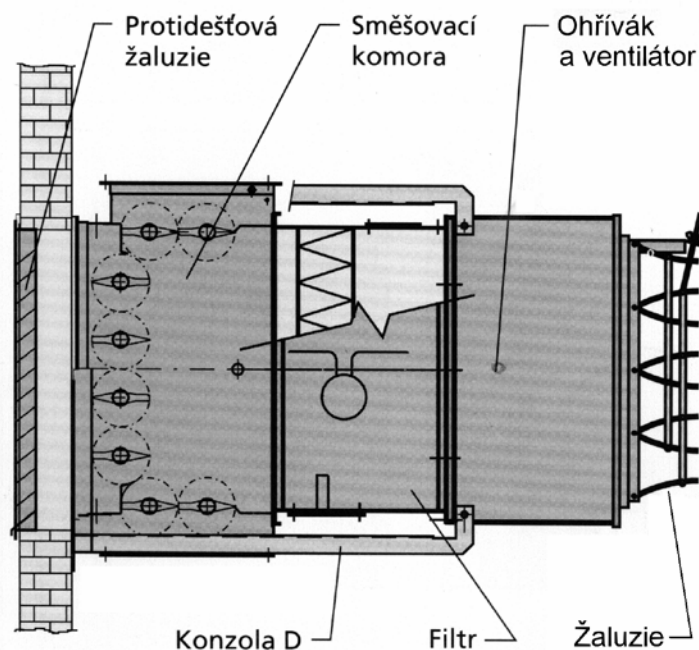
Sekundární žaluzie je ve tvaru dýz a splňuje výhody ústředního teplovzdušného vytápění se soustředným přívodem vzduchu. Žaluzie listové i sekundární jsou nastavitelné ručně, nebo také pomocí servopohonu.

Teplovzdušné jednotky mohou nasávat vzduch pouze z vytápěného prostoru, to jsou tzv. cirkulační jednotky (obr. 6.15).



Obr. 6.15 Příklad instalace místní cirkulační teplovzdušné jednotky se sekundární žaluzií

Vyrábí se také teplovzdušné jednotky opatřené ještě směšovací komorou, v níž dochází ke směšování oběhového a venkovního vzduchu (obr. 6.16). Směšování může být ovládané ručně nebo servopohonem.

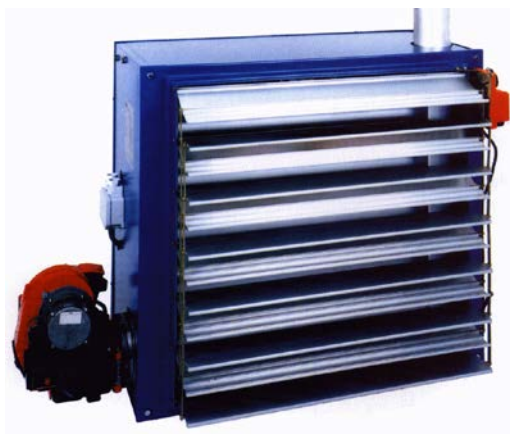


Obr. 6.16 Příklad teplovzdušné jednotky se směšovací komorou a sekundární žaluzií

Podle umístění ve vytápěném prostoru se teplovzdušné jednotky dělí na nástěnné, podstropní a podokenní. Nejčastěji jsou používány jednotky nástěnné, které se zavěšují na

stěny ve výšce 3 až 4 m nad podlahou. Výtoková rychlost z vyústky se volí tak velká, aby byl zajištěn požadovaný dosah proudu. Teplota přiváděného vzduchu je až 70 °C. Pro vytápění velkých hal se obvykle používá většího počtu jednotek rovnoměrně rozmístěných v prostoru.

Používají se také teplovzdušné jednotky na kapalná paliva nebo plyn. Příklad plynové teplovzdušné jednotky je na obr. 6.17. Základ jednotky tvoří jednoduchý robustní trubkový výměník se spalovací komorou, který zajišťuje optimální přestup tepla mezi spalovacím prostorem a ohříváním vzduchem. Ohřev výměníku zajišťuje tlakový plynový plně automatický hořák, který umožňuje seřízení potřebného výkonu teplovzdušné jednotky.



Obr. 6.17 Plynová teplovzdušná jednotka

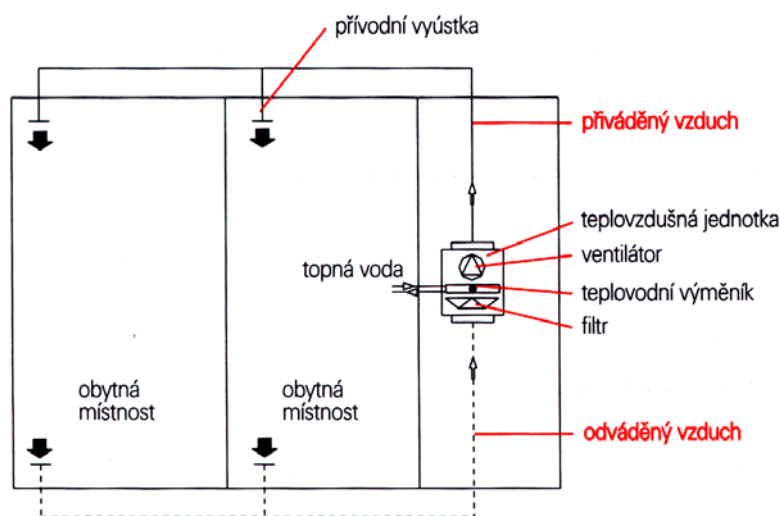
6.3.2 Teplovzdušné vytápění rodinných domů a jednotlivých bytů

Pro teplovzdušné vytápění rodinných domů a jednotlivých bytů se používají následující teplovzdušné systémy:

- s cirkulačním provozem,
- s větracím, nebo kombinovaným provozem,
- s centrální dvouzónovou jednotkou.

System s cirkulačním provozem

System s cirkulačním provozem patří ke klasickým systémům používaným v USA, Kanadě a některých skandinávských zemích. Na teplovzdušnou jednotku je napojen rozvod vzduchu do jednotlivých místností bytu nebo domu vzduchovody umístěnými např. v podlaze a podlahovými vyústkami umístěnými v každé místnosti (obr. 6.18). Z obytných místností vzduch proudí netěsnostmi kolem dveří nebo mřížkami ve dveřích do chodby a odtud zpět do teplovzdušné jednotky. Tento systém neřeší větrání. Z hlediska tepelné pohody se absence



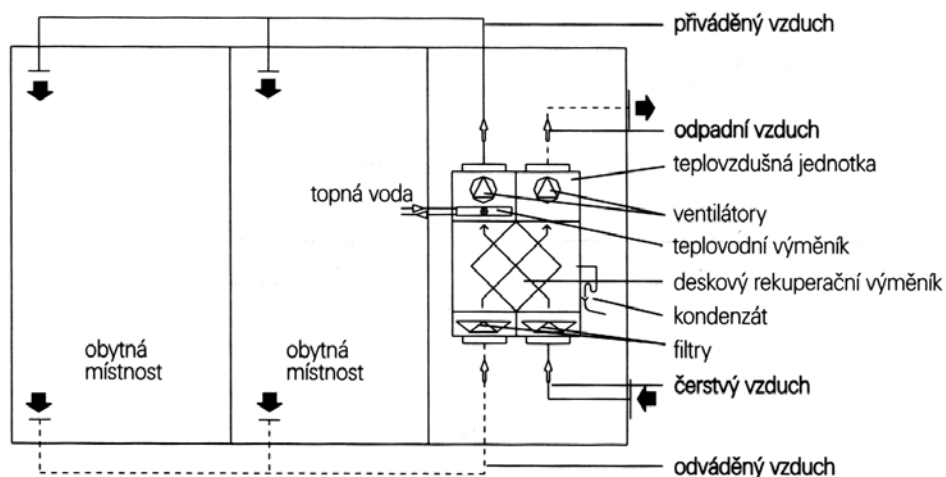
Obr. 6.18 Soustava cirkulačního teplovzdušného vytápění

sálavé složky řeší umístěním krbu v hlavní místnosti bytu či domu.

System s větracím nebo kombinovaným provozem

System s větracím nebo kombinovaným provozem představuje moderní koncepci, která je vhodná zejména v dobře zateplených objektech, kde hygienicky minimální větrání tvoří víc jak 50 % celkové tepelné ztráty.

U tohoto systému (obr. 6.19) se přimíchává k cirkulačnímu vzduchu určitý podíl venkovního vzduchu. Tím je zajištěno i řízené větrání. Podíl venkovního vzduchu se řídí



Obr. 6.19 Soustava teplovzdušného vytápění s větracím provozem a zpětným získáváním tepla pomocí deskového výměníku

obsazením domu či bytu lidmi – v případě, že nikdo není doma, může být systém přepnut na cirkulační režim.

Je možné použít otopný zdroj na plyn, olej nebo elektřinu. Při použití plynu nebo oleje je nejjednodušším zdrojem plynový teplovzdušný agregát. V Evropě se však většinou používá plynový teplovodní kotel a teplovodní výměník v teplovzdušné jednotce, který umožňuje ve srovnání s plynovým ohřevem vzduchu plynulejší a jemnější regulaci výkonu. Navíc je možné pak řešit vytápění části budovy teplovodní soustavou a zajistit i ohřev teplé vody. Výhodné je u tohoto systému využít systém zpětného získávání tepla (ZZT) z odváděného vzduchu – nejčastěji s využitím deskového výměníku.

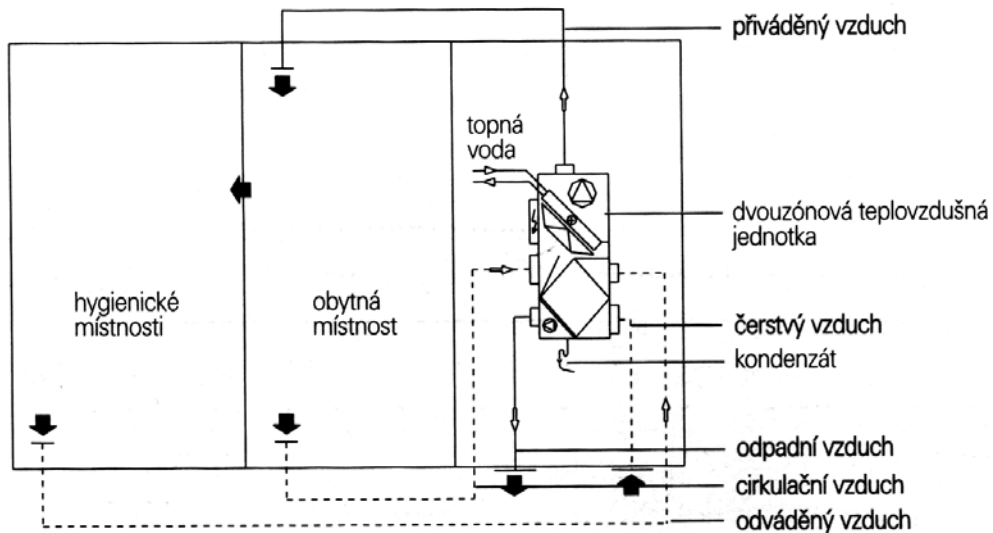
Teplovzdušný systém s centrální dvouzónovou jednotkou

System s centrální dvouzónovou jednotkou byl vyvinut pro české podmínky a je používán pro rodinné domy. System spočívá v dvouokruhovém uspořádání vzduchotechnických rozvodů v rodinném domě (obr. 6.20). Oba okruhy (primární a sekundární) jsou vyústěny do dvoukruhové vzduchotechnické jednotky (obr. 6.21).

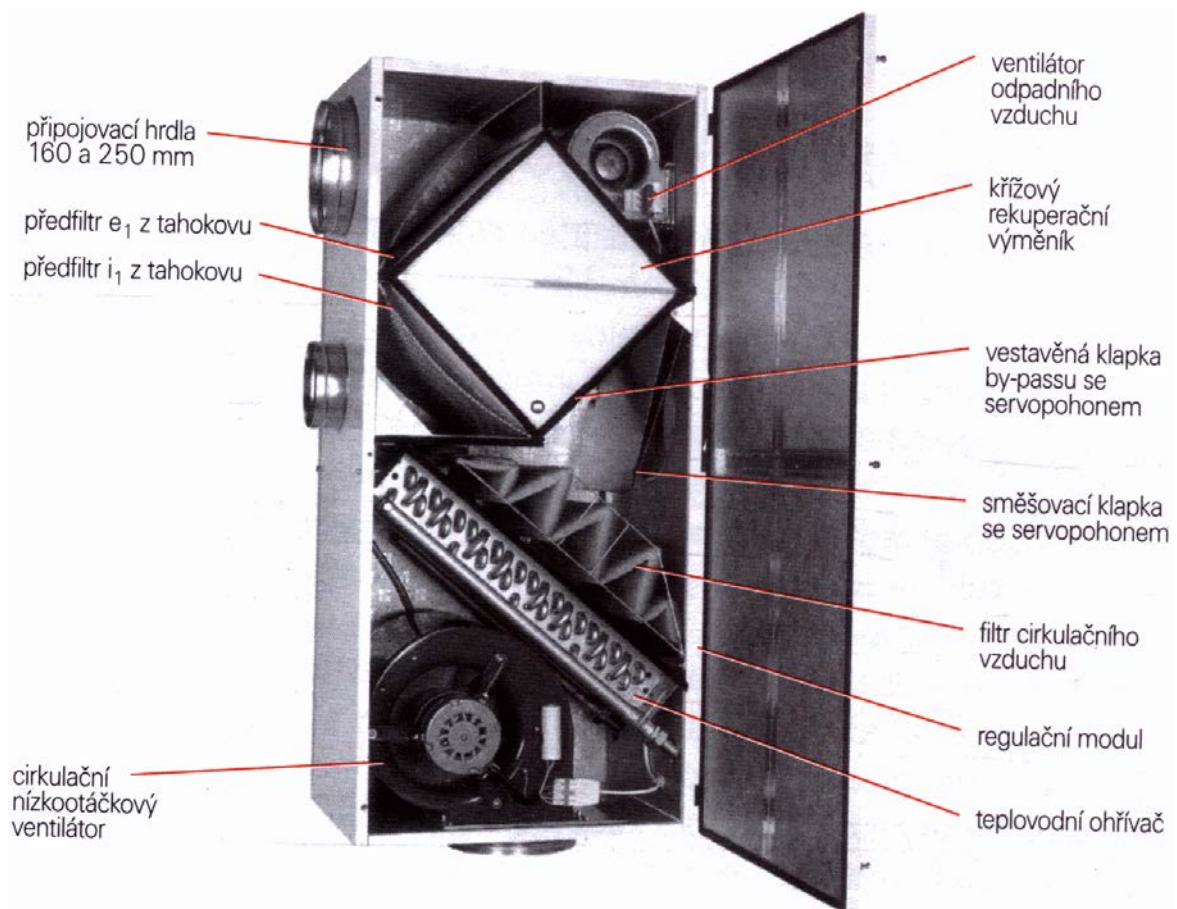
Primární okruh zajišťuje cirkulační teplovzdušné vytápění s řízeným podílem venkovního vzduchu a ZZT z odváděného vzduchu. Přívod vzduchu do každé obytné místnosti je plochými vzduchovody v podlaze a podlahovými vyústkami umístěnými nejlépe pod okny.

Cirkulační vzduch proudí z místností podříznutými dveřmi do předsíně či chodby a odtud se odsává a odvádí zpět do jednotky. V jednotce se filtruje a mísí se v nastavitelném poměru s venkovním vzduchem, který je predehříván v deskovém výměníku pro ZZT. Směs se v jednotce dohřívá a vede do obytných místností.

Sekundární okruh zajišťuje přívod odpadního vzduchu z hygienických zařízení a kuchyně k jednotce, kde v deskovém výměníku předehřívá venkovní vzduch. Po ochlazení se odpadní vzduch odvádí ventilátorem do atmosféry. Z hygienických zařízení a z kuchyně se odpadní vzduch odvádí odsávacími ventily. Odsavače nad sporáky se navrhují jako cirkulační s filtry pro zachycení pachů.



Obr. 6.20 Soustava dvouzónového teplovzdušného vytápění se ZZT pomocí deskového výměníku



Obr. 6.21 Dvouzónová teplovzdušná jednotka se ZZT pomocí deskového výměníku a s teplovodním ohřívačem

Podle zvoleného programu na regulátoru teplovzdušná jednotka zajišťuje celoroční požadavky na mikroklima. Ze systémů zajišťujících teplovzdušné vytápění i větrání je tento systém nejúspornější, investičně je však nejnáročnější.

Zvýšení teploty v koupelně se řeší instalací topných žebříků s teplovodním nebo elektrickým ohřevem, případně podlahovým vytápěním, např. topnými fóliemi.

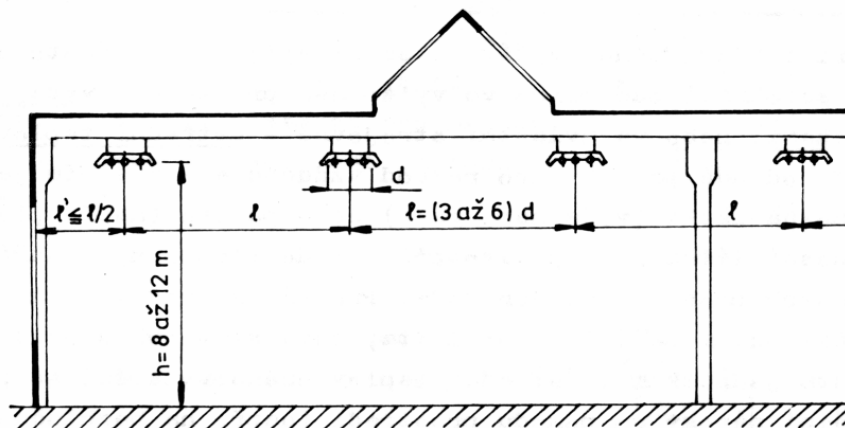
Nevýhodou teplovzdušného vytápění s centrální tepelnou úpravou ve srovnání s teplovodními systémy je obtížná regulace teploty v jednotlivých místnostech. Používá se většinou pouze ruční regulace na vyústkách podle pocitu uživatele. I když existují prvky pro regulaci množství přiváděného vzduchu podle teploty v interiéru, vesměs se nepoužívají, poněvadž velmi zvyšují investiční náklady.

6.4 SÁLAVÉ VYTÁPĚNÍ VELKOPROSTOROVÝCH MÍSTNOSTÍ

Pro vytápění půdorysně rozlehlých a vysokých místností se mimo teplovzdušného vytápění používá také sálavé vytápění zavěšenými sálavými panely, nebo vytápění přímotopnými plynovými zářiči světlými či tmavými.

6.4.1 Vytápění zavěšenými sálavými panely

Při vytápění zavěšenými sálavými panely otopnou plochu tvoří kovové desky (panely) zahříváné horkou vodou nebo parou proudící připojenými trubkovými registry (obr. 6.22). Panely přenášejí teplo hlavně sáláním (podíl sálání je 75 až 85 %) dolů do oblasti pobytu lidí. Vytápěcího účinku se dosáhne především zvýšením teploty povrchu podlahy a technologických zařízení. Sálavé panely se zavěšují ve velké výšce nad podlahou, nejméně 5 m, nejčastěji 8 až 12 m, proto může být jejich povrchová teplota a také teplota otopného média značně vysoká.



Obr. 6.22 Vytápění haly zavěšenými sálavými panely

Sálavé panely se zhotovují z ocelového, nebo hliníkového plechu o tloušťce 1 až 1,5 mm, který je spojen s registrem trubek (trubky o průměru 3/4 až 1,5 ″). Pro zlepšení styku plechu s registrem, jsou trubky obvykle zapuštěny do drážek vytlačených v plechu (obr. 6.23). Horní strana panelu je tepelně izolována. Šířka sálavých panelů je nejčastěji 500 až 1000 mm.



Obr. 6.23 Konstrukční provedení sálavého panelu

Při sálavém vytápění, tedy i při vytápění sálavými panely, se požadované operativní teploty dosahuje vyšší střední radiční teplotou, a proto teplota

vzduchu v oblasti pobytu osob může být o 3 až 8 K nižší než při vytápění teplovzdušným; tím se výrazně sníží tepelná ztráta větráním. Protože teplo přenášené z povrchu panelů konvekcí je malé (15 až 25 % tepelného výkonu) nedochází téměř ke zvýšení teploty vzduchu v horní části prostoru. Celková spotřeba tepla je při vytápění sálavými panely ve většině případů o 20 až 30 % menší než při vytápění teplovzdušným.

K dalším výhodám vytápění zavěšenými sálavými panely patří skutečnosti, že ve vytápěném prostoru nedochází k proudění vzduchu a není zviřován prach a vytápěcí zařízení je dokonale bezhlučné. Nevýhodou jsou poměrně velké pořizovací náklady – o 50 % vyšší než při vytápění teplovzdušným. Tyto náklady se ve většině případů, zejména při vhodné geometrii vytápěného prostoru, uhradí během 2 až 4 roků úsporami na provozních nákladech.

6.4.2 Vytápění přímotopnými plynovými zářiči

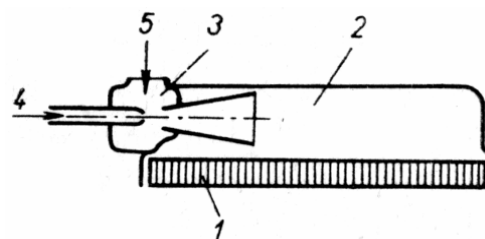
Vytápění přímotopnými plynovými zářiči je jeden z nejvýhodnějších způsobů vytápění. Při přímém spalování plynu ve vytápěném prostoru se odstraní tepelné ztráty ve zdroji tepla, které činí 15 % pro vodu a až 20 % pro páru a ztráty ve venkovních rozvodech, které činí asi 5 %, je-li teplotou nosnou látkou voda a asi 10 % pro páru. V porovnání se zavěšenými sálavými panely jednoznačně vyplývají výhody přímotopných zářičů s až 30 % zisku. Používají se plynové zářiče světlé a tmavé.

Plynové zářiče světlé

U plynových zářičů světlých je zdrojem sálání perforovaná keramická deska, která se spalováním plynu zahřeje na teplotu 750 až 900 °C. Vzduch potřebný pro spalování se nasává injektorem a směs vzduchu a plynu pak přichází do komory, jejíž jednu stěnu vyplňuje keramická deska. Na vnějším povrchu desky se plyn spaluje. Povrch desky se tím zahřívá do červeného žáru (obr. 6.24).

Světlé zářiče je možné použít i ve velmi vysokých halách (přes 20 m). Při vytápění nižších místností je nutno použít většího počtu menších zářičů a zavěsit je ve výšce 4 až 5 m nad podlahou. V nízkých a úzkých místnostech je možné zářiče zavěsit na stěnu ve skloněné poloze ve výšce od 2,5 m nad podlahou. Výkon zářičů lze do jisté míry řídit přivíráním přívodu plynu.

Vhodné podmínky pro použití světlých plynových zářičů jsou také při vytápění určitých částí místností a ke zlepšení tepelného stavu na volném prostranství.



Obr. 6.24 Schéma plynového zářiče světlého

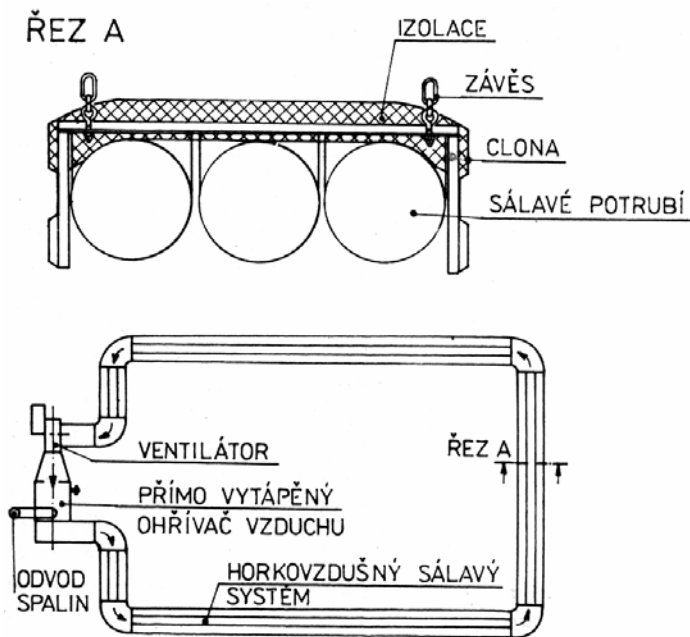
- 1 – keramická deska,
- 2 – komora zářiče, 3 – injektor,
- 4 – přívod plynu, 5 – přívod vzduchu

Plynové zářiče tmavé

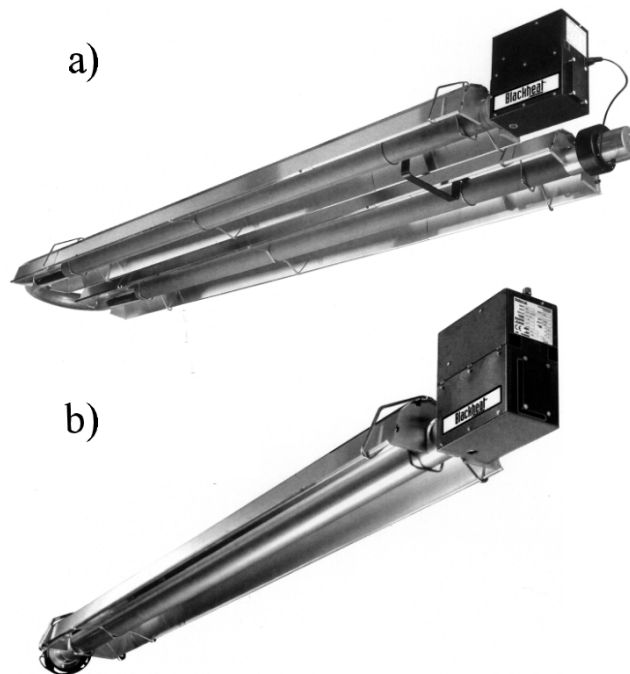
Příkladem provedení plynových zářičů tmavých jsou sálavé pásy ohříváné horkým vzduchem s uzavřenou cirkulací (obr. 6.25). Pásy jsou vytvořeny z trubek velkých průměrů (180 až 600 mm), které mohou být řazeny dvě až šest vedle sebe. Teplota povrchu trubek se pohybuje v rozmezí od 150 do 350 °C. Zdrojem tepla pro ohřev otopného vzduchu je přímotopný ohřívač vytápěný plynovým hořákem. Cirkulaci vzduchu zajišťuje ventilátor. Potrubí sálavého systému může být také ohříváno směsí spalin a vzduchu.

Dále se také používají tmavé plynové zářiče s uzavřeným okruhem spalování. Okruh je tvořen přívodem venkovního vzduchu do hořákové komory, spalováním v uzavřeném

prostoru radiační trubice zářiče a podtlakovým odvodem spalin z radiační trubice ventilátorem mimo vytápěný prostor (obr. 6.26).



Obr. 6.25 Plynový zářič tmavý – tři paralelní sálavé trubky ohříváné vzduchem



Obr. 6.26 Tmavý plynový zářič s uzavřeným okruhem spalování.
a) s trubicí ve tvaru „U“, b) s trubicí ve tvaru „I“

Porovnání vlastností světlých a tmavých zářičů

Světlé zářiče jsou vhodné především pro haly s větší stavební výškou. Mají mnohem menší rozměry pro stejný výkon než zářiče tmavé a mají také vyšší sálavou účinnost a z toho plynoucí nižší spotřebu energie než zářiče tmavé pro srovnatelný případ. Výhodou je také snadná montáž. Nejsou však vhodné pro prašné provozy, vzhledem k možnosti zanesení porézních keramických desek. Vzhledem k intenzivnějším sálavým tokům při nižších teplotách vzduchu je nutné pečlivě volit rozmístění zářičů.

Tmavé zářiče lze použít pro nižší haly i pro obytné místnosti. Prašné prostředí nemůže podstatněji ovlivnit jejich výkon. Mají nižší měrné tepelné výkony než zářiče světlé a z toho plynoucí velké rozměry sálavých ploch a větší pořizovací náklady. Navíc mají nižší sálavou účinnost a větší spotřebu energie než světlé zářiče pro stejný sálavý výkon.

Z uvedeného přehledu je zřejmé, že provozní a ekonomické výhody převažují u světlých zářičů. Při volbě typu a výšky zavěšení zářičů je nutné mít na zřeteli, že výška zavěšení zářičů vyplývá z podmínky trvale přípustného osálení temene stojící osoby. Při občasném pobytu osob nebo při práci vsedě může být výška zavěšení zářičů přiměřeně snížena.

6.5 VÝPOČET TEPELNÉHO VÝKONU OTOPNÝCH SOUSTAV

Základem pro dimenzování navržené otopné soustavy je výpočet tepelného výkonu, který se provádí podle normy ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu [15] s využitím souvisících norem, např. [16], [17], [18].

Norma [15] stanovuje postup výpočtu dodávky tepla nutné k bezpečnému dosažení výpočtové vnitřní teploty.

Norma popisuje výpočet celkové návrhové tepelné ztráty a celkového návrhového tepelného výkonu pro jednotlivé místnosti, nebo vytápěný prostor a celkového návrhového tepelného výkonu pro funkční část budovy nebo celou budovu.

Norma udává postupy pro výpočet návrhové tepelné ztráty a návrhového tepelného výkonu pro standardní případy při návrhových podmínkách.

Standardní případy zahrnují všechny budovy:

- s omezenou výškou místnosti (nepřesahující 5 m),
- s vytápěním do ustáleného stavu při návrhových podmínkách.

V přílohách jsou informace pro zvláštní případy:

- budovy s vysokou výškou stropu nebo halové stavby,
- budovy s výrazně rozdílnou teplotou vzduchu a střední radiační teplotou okolních ploch.

Celková návrhová tepelná ztráta pro vytápěný prostor je součtem návrhové tepelné ztráty prostupem a návrhové tepelné ztráty větráním.

Celkový návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor je součtem celkové návrhové tepelné ztráty pro vytápěný prostor a zátopového tepelného výkonu vytápěného prostoru. Slouží pro dimenzování otopného tělesa.

Celkový návrhový tepelný výkon pro funkční část budovy nebo budovu je součtem tepelných ztrát prostupem tepla a větráním všech vytápěných prostorů s výjimkou tepla

přenášeného uvnitř budovy a součtu zátopových tepelných výkonů všech vytápěných prostorů. Slouží pro dimenzování zdroje tepla.

Tato norma také uvádí zjednodušenou výpočtovou metodu, která se smí použít pro obytné budovy, ve kterých je intenzita výměny vzduchu (při tlakovém rozdílu 50 Pa mezi vnitřním a vnějším prostředím budovy) $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$.

6.6 MĚŘENÍ SPOTŘEBY TEPLA PŘI VYTÁPĚNÍ

Pro měření spotřeby tepla při vytápění se používají absolutní měřiče a poměrové měřiče.

Absolutní měřiče se principiálně skládají z měřiče objemového toku otopného média, ze zařízení pro měření teploty, tj. snímače teploty v přívodním a vratném potrubí a z počítadla ke stanovení spotřebovaného tepla.

Poměrové měřiče, tzv. rozdělovače topných nákladů, představují prostředky ke stanovení poměrné spotřeby tepla. Poměrná spotřeba tepla se nevyjadřuje ve fyzikálních jednotkách. Poměrové měřiče jsou buď elektronické, nebo odpařovací. Připevňují se mechanicky na přesně stanoveném místě na povrchu otopného tělesa a zabezpečují se plombou. Do tělesa měřiče, vyrobeného obvykle z hliníkové slitiny, se teplo přenáší vedením ze stěny otopného tělesa.

Elektronické měřiče načítají teploty povrchu otopného tělesa, nebo teplotní rozdíl teploty povrchu otopného tělesa a okolí, např. každou minutu. Údaj se zobrazuje na displeji. U odpařovacích měřičů je na jejich základní desce z hliníkové slitiny uchycena otevřená ampulka s kapalinou, která se odpařuje v závislosti na teplotě. Úbytek kapaliny indikuje velikost spotřeby tepla.

Údaje rozdělovačů topných nákladů jak elektronických tak odpařovacích jsou zatíženy chybami. Odpařovací měřiče jsou levnější než elektronické. Výhodou elektronických měřičů je možnost dálkového přenosu dat. Tyto přístroje je možné napojit na centrální jednotku, která sbírá data, a tedy není nutné vstupovat do bytů a odečítat údaje jednotlivých přístrojů na místě.

Absolutní měření spotřeby tepla je technicky zajistitelné na zdroji tepla, na předávacích stanicích, na patě objektu, nebo v jednotlivých bytových jednotkách pokud jsou vybaveny horizontálními rozvody otopného média, tzn. uzavřeným topným okruhem pro každý byt.

V dnešní době jsou u nás nejrozšířenější dvoutrubkové vertikální otopné soustavy, kde jsou otopná tělesa v jednom bytě napojena na různé svislé větve. Tyto otopné soustavy absolutní měření spotřeby tepla v bytech neumožňují, poněvadž by bylo nutné provádět absolutní měření spotřeby tepla na každém otopném tělese. Měřidla o vyhovující přesnosti a ceně pro měření na otopných tělesech však neexistují. V těchto případech se měří absolutní spotřeba tepla na patě objektu a při rozúčtování topných nákladů se využívají údaje poměrových měřidel. Přitom je však třeba zohlednit především velikost a druh otopného tělesa, výrobcem uváděnou konstantu snímače poměrového měřidla a situování uvažované místnosti v sestavě budovy.

7. HLUK

7.1 HLUK A VIBRACE

Hluk je nežádoucím produktem civilizace a stává se závažným hygienickým faktorem, který ovlivňuje lidské zdraví. Vývoj techniky směřuje ke stálému zvyšování výkonu strojů a technických zařízení, což je jeden z důvodů růstu hlučnosti. V dnešní době působí na člověka běžně a dlouhodobě hluk, na jehož intenzitu není přizpůsoben a člověk nemá proti působení hluku významnější ochranné funkce. Hluk je stále podceňován, protože většina jeho negativních účinků se neprojevuje bezprostředně bolestí ani viditelnou poruchou funkcí lidského organismu.

Jako hluk označujeme každý zvuk, který působí na člověka nepříjemně, rušivě nebo škodlivě. Zvuk je vjem sluchového orgánu, jehož příčinou je zvukové (akustické) vlnění. Zvukové vlnění je mechanické vlnění pružného prostředí plynného, kapalného nebo pevného. Zvukové vlnění budí zvukový vjem v lidském sluchovém orgánu, je-li jeho frekvence v intervalu asi 16 Hz až 18 000 Hz. Zvukové vlnění o frekvenci nad 18 000 Hz se nazývá ultrazvuk a o frekvenci nižší než 16 Hz infrazvuk. Fyzikální podstata všech těchto druhů zvukových vlnění je ovšem stejná, obor slyšitelnosti zvuků je vymezen pouze vlastnostmi lidského sluchového orgánu.

Zvuk je tedy mechanické vlnění pružného prostředí v kmitočtovém rozsahu lidského sluchu, které se šíří pružným prostředím. Jednotlivé částice prostředí přitom kmitají kolem své původní polohy a působí střídavé zhuštění a zředění prostředí, které se projevuje střídavým vzrůstem a poklesem jeho tlaku. Sluchový orgán vnímá právě tuto střídavou složku tlaku, zatímco stálou složku, daleko vyšší, nevnímá.

Důležitou skutečností je, že se částice jednosměrně nepohybují se šířícím se prostředím, ale kmitají pouze kolem svých rovnovážných poloh. Dalším závažným faktem je, že šíření akustického vlnění je spojeno s přenosem energie.

U plynů a kapalin je toto akustické vlnění prostředí podélné. U materiálů elastických se může vyskytovat vlnění podélné i vlnění příčné. Mezi pevnými látkami a plyny resp. kapalinami může docházet k přenosu kmitů. Každý hmotný element prostředí může být tzv. oscilátorem.

Pojem vibrace může označovat buď chvění pružných těles, nebo kmitání tuhých těles či hmotných bodů. Z těchto zdrojů se vibrace přenášejí na člověka přímo nebo prostřednictvím dalších materiálů, médií a zařízení. Lidský organismus vnímá vibrace o frekvencích v rozsahu asi od 0,2 Hz do 16 kHz.

7.2 ZÁKLADNÍ AKUSTICKÉ VELIČINY

Základní akustické veličiny jsou fyzikální veličiny, které popisují zvukové vlnění. Jsou to především:

Rozkmit (amplituda) [m]. Je to největší vzdálenost, o kterou se kmitající částice vychýlí ze své rovnovážné polohy.

Doba trvání kmitu (perioda) T [s] je doba, za kterou kmitající částice přijde do svého původního stavu.

Kmitočet f [s^{-1}] (frekvence) je počet kmitů, které vykoná kmitající hmotný bod za jednotku času

$$f = \frac{1}{T} . \quad (7.1)$$

Jednotkou kmitočtu je hertz [Hz]; fyzikální rozměr je [s⁻¹]. Tón o kmitočtu 1000 Hz se nazývá tónem srovnávacím (referenčním).

Vlnová délka λ [m] je vzdálenost, kterou urazí zvuková vlna za dobu jednoho kmitu (za jednu periodu). U podélných vln je to vzdálenost dvou sousedních zhuštění.

Rychlost šíření zvuku c [m.s⁻¹] je vzdálenost, o kterou akustické vlny postoupí za jednotku času

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f . \quad (7.2)$$

V plynech je rychlost šíření zvuku vyjádřena vztahem

$$c = \sqrt{\kappa r T} , \quad (7.3)$$

kde κ je Poissonova konstanta, r je plynová konstanta [J.kg⁻¹K⁻¹] a T je teplota [K]. Ve vzduchu při teplotě 20 °C je $c = 340$ m.s⁻¹.

Akustická energie E [J]. Ze zdroje kmitů se vyzařuje (přenáší) do prostředí určité, i když poměrně malé množství energie - je to akustická (zvuková) energie.

Akustický výkon zdroje W [W], je akustická energie vyzářená za jednotku času. Akustické výkony zdrojů hluku se pohybují ve velkém rozmezí. Např. akustický výkon, který odpovídá slabému šepotu, představuje hodnotu asi 1.10⁻⁹ W, křikem naopak můžeme vyzářit do prostoru akustický výkon 1.10⁻³ W, akustický výkon velkého symfonického orchestru je v rozmezí 10 až 20 W a velký proudový letoun vyzařuje akustický výkon 10⁵ W. Referenční (prahová) hodnota akustického výkonu, $W_0 = 10^{-12}$ W. Průměrné akustické výkony některých zdrojů zvuku jsou uvedeny v tab. 7.1.

Tab. 7.1 Akustické výkony zdrojů hluku

Zdroj zvuku	Akustický výkon P [W]
šepot	1 až 5.10 ⁻⁸
normální řeč	5 až 8.10 ⁻⁶
nejhlasitější křik	1 až 3.10 ⁻³
klavír	0,1 až 0,2
trubka	0,3 až 0,4
automobilová houkačka	3 až 5
velký symfonický orchestr - forte	50 až 70
poplachová siréna	až 10 ³
nadzvukové letadlo	až 10 ⁴

Akustický tlak p [Pa] je nejnáze měřitelnou veličinou v akustickém poli. Je to střídavá složka tlaku vyvolaná zvukem, která způsobuje odchylky od tlaku barometrického; ve srovnání s barometrickým jsou tyto odchylky nepatrné, ale přesto měřitelné. Protože akustický tlak je střídavou veličinou, používáme efektivní tlak

$$p = \frac{P_{max}}{\sqrt{2}}. \quad (7.4)$$

Nejnižší slyšitelný akustický tlak, nazývaný prahový (vztažný) akustický tlak, je $p_o \approx 2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Nejvyšší pro lidský sluch ještě bez bolestivého pocitu snesitelný akustický tlak je asi 60 Pa.

Akustická rychlost v [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] je rychlost kmitavého pohybu částic prostředí. Protože je to opět střídavá veličina, používáme její efektivní hodnotu, jež je malá. Např. ve vzduchu o teplotě 18 °C, tlaku 98 kPa a akustickém tlaku 0,2 Pa činí pouze $5 \cdot 10^{-4}$ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Běžnými přístroji a metodami nelze akustickou rychlost měřit. Známe-li akustický tlak, můžeme akustickou rychlost vypočítat ze vztahu

$$v = \frac{P}{c \rho}, \quad (7.5)$$

kde ρ je hustota prostředí [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], c je rychlost šíření zvuku [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]. Součin $c \cdot \rho$ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$] se nazývá akustický odpor.

Intenzita zvuku I [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] je akustický výkon procházející jednotkovou plochou kolmou ke směru šíření zvukové vlny

$$I = \frac{W}{S}, \quad (7.6)$$

kde W je akustický výkon [W] a S je plocha [m^2].

Lidský sluch vnímá intenzity zvuku v rozsahu od prahové hodnoty $I_o = 10^{-12}$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ až do hodnoty 10 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Akustický výkon, který zdroj hluku vyzařuje se šíří všemi směry a nemůžeme jej jako celek jednoduše a přímo měřit. Mírou pro šíření akustické energie je intenzita zvuku.

V postupující zvukové vlně (tj. ve velké vzdálenosti od zdroje zvuku bez překážek v šíření zvukové vlny) je intenzita zvuku dána součinem akustického tlaku p a akustické rychlosti v

$$I = p v. \quad (7.7)$$

Dosažením akustické rychlosti nebo akustického tlaku z rovnice (7.5) můžeme vztah (7.7) upravit na tvar

$$I = \frac{P^2}{\rho c} = v^2 \rho c. \quad (7.8)$$

Intenzitu zvuku nemůžeme přímo měřit, jsme opět odkázáni na měření akustického tlaku. V praxi při měření ve volném prostoru, můžeme takřka vždy předpokládat zvukovou vlnu rovinnou, a tedy i platnost jednoduchého vztahu (7.8) mezi intenzitou zvuku a akustickým tlakem. Na základě tohoto vztahu byla stanovena i vztažná (prahová) hodnota intenzity zvuku $I_o = 10^{-12}$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$. Vztah (7.8) platí sice přesně pouze pro vlnu rovinnou, ale s dostatečnou přesností ho můžeme využívat i při šíření kulových vln.

7.3 DECIBELOVÉ STUPNICE

Lidský sluch je schopen vnímat akustické tlaky a intenzity zvuku ve velkém rozsahu. Bylo však zjištěno, že zvukový vjem nestoupá se vzrůstem akustického tlaku, intenzity zvuku, akustického výkonu lineárně, ale že je úměrný logaritmu těchto veličin. Proto byly zavedeny jako měřítko subjektivního sluchového vjemu logaritmické stupnice jednotlivých akustických veličin tzv. hladiny, jejichž jednotkou je decibel [dB]. Definiční vztahy byly mezinárodně

standardizovány, např. hladina akustického tlaku L , hladina intenzity zvuku L_I , hladina akustického výkonu L_W a další akustických veličin. Decibelové stupnice nejsou používány pouze v technické akustice, ale setkáme se s nimi i v jiných vědních oborech, např. v elektrotechnice.

7.3.1 Hladina akustického tlaku

Hladina akustického tlaku L [dB] je definována vztahem

$$L = 20 \log \frac{p}{p_o}, \quad (7.9)$$

kde p [Pa] je sledovaný akustický tlak a $p_o = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa je referenční (prahová) hodnota akustického tlaku.

Hladinu akustického tlaku i ostatních akustických veličin je třeba udávat ve vztahu k určité šířce frekvenčního pásma. Rozlišuje se proto pro hladinu akustického tlaku i ostatních akustických veličin hladina (vztažená k celému pásmu slyšitelnosti), hladina v oktávovém frekvenčním pásmu a hladina v třetinooktávovém frekvenčním pásmu.

Hladina akustického tlaku L se vztahuje k celému pásmu slyšitelnosti (20 Hz až 20kHz).

Příklady hladiny akustického tlaku L některých hluků z různých prostředí jsou uvedeny v tab. 7.2

Tab. 7.2 Hladiny akustického tlaku L některých hluků

L [dB]	
0	práh vnímání zvuků
20	tichý šepot
30	zahrady, tiché byty
40	tiché kanceláře
50	normální rozhovor, tiše jedoucí automobil, tiché ulice
60	středně hlučné ulice
70	psaní na stroji, televize
80	hlučné ulice, křik, motocykly, zvuk orchestru vnímaný posluchačem
90	hlučné křižovatky
100	v blízkosti vlaků, těžkých nákladních aut
110	hlučné dílny, přádelny, uvnitř velkého orchestru, rachot hromu
120	válcovací stolice, buchary, nízko letící letadla
130	kotlární, střelba, vypouštění plynů a par pod tlakem
140	proudové motory, sirény
160 - 200	start raket

Hladina akustického tlaku v oktávovém frekvenčním pásmu L_o je hladina v kmitočtovém pásmu jedné oktávy. Pásmem jedné oktávy přitom rozumíme rozsah frekvencí mezi hodnotami f_1 a f_2 pro něž platí

$$\frac{f_2}{f_1} = 2. \quad (7.10)$$

Oktávová pásma byla mezinárodně normalizována a označují se tzv. střední frekvencí v oktávě, kterou lze vyjádřit vzorcem

$$f_{stř} = \sqrt{f_1 f_2} . \quad (7.11)$$

Celé pásmo slyšitelnosti je pokryto desíti oktávami o středních frekvencích 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 a 16000 Hz.

Hladina akustického tlaku v třetinooktávovém frekvenčním pásmu L_f . Pásmo jedné oktávy je zde děleno ještě na tři části. Pro krajní kmitočty $1/3$ oktávového pásma platí

$$\frac{f_2}{f_1} = \sqrt[3]{2} = 1,26 . \quad (7.12)$$

7.3.2 Hladina intenzity zvuku

Hladina intenzity zvuku je definována vztahem

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_o} , \quad (7.13)$$

kde I [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] je sledovaná hodnota intenzity zvuku a $I_o = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ je referenční (prahová) hodnota intenzity zvuku.

Dosažením vztahu (7.8) popisujícím závislost mezi intenzitou zvuku a akustickým tlakem do rovnice (7.13) dostaneme závislost mezi hladinou intenzity zvuku a hladinou akustického tlaku

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_o} = 10 \log \frac{\frac{p^2}{\rho_o c_o}}{\frac{p_o^2}{\rho_o c_o}} = 20 \log \frac{p}{p_o} + 10 \log \frac{\rho_o c_o}{\rho_o c_o} = L + 10 \log \frac{\rho_o c_o}{\rho_o c_o} . \quad (7.14)$$

Při běžných klimatických podmínkách poslední člen rovnice (7.14) má hodnotu - 0,2 dB, a tedy tuto rovnici můžeme zjednodušit

$$L_I = L - 0,2 \approx L . \quad (7.15)$$

Tato závislost umožňuje na základě měření hladiny akustického tlaku přímo určovat hladinu intenzity zvuku, poněvadž rozdíl - 0,2 dB je možno zanedbat, aniž bychom podstatně ovlivnili přesnost akustických výpočtů nebo měření zvuku.

7.3.3 Hladina akustického výkonu

Hladina akustického výkonu L_W [dB] je definována vztahem

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_o} , \quad (7.16)$$

kde W [W] je sledovaný akustický výkon a W_o je referenční hodnota akustického výkonu $W_o = 10^{-12}$ W.

Hladinu akustického výkonu musíme odlišovat od hladiny akustického tlaku a hladiny intenzity zvuku. Hladina akustického výkonu vyjadřuje akustický výkon vyzařovaný určitým zdrojem a je tedy vlastnost zdroje zvuku, zatímco hladina akustického tlaku určuje akustický děj v konkrétním místě (místě posluchače).

Pro zdroje, které vyzařují energii rovnoměrně do všech směrů, můžeme odvodit závislost mezi hladinou akustického výkonu a hladinou akustického tlaku. Obklopíme-li zdroj akustické energie kulovou měřicí plochou S [m²], můžeme na ní měřením zjistit intenzitu zvuku I .

Veškerý akustický výkon vyzařovaný zdrojem musí projít měřicí plochou, takže platí

$$W = I S. \quad (7.17)$$

Dosadíme-li tento vztah do rovnice (7.16) dostaneme

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_o} = 10 \log \frac{I S}{I_o S_o}. \quad (7.18)$$

Pro referenční plochu $S_o = 1$ m² dostaneme

$$L_w = L_I + 10 \log S. \quad (7.19)$$

Tato rovnice prokazuje, že hladina akustického výkonu je v naprosté většině případů číslo značně vyšší než hladina intenzity zvuku resp. hladina akustického tlaku.

7.3.4 Hladina zrychlení vibrací

Pro posouzení účinku vibrací se používá hladina zrychlení vibrací, která je určena vztahem

$$L_a = 20 \log \frac{a}{a_o}, \quad (7.20)$$

kde a je efektivní hodnota zrychlení vibrací v daném bodě v m.s⁻² a $a_o = 10^{-6}$ m.s⁻² je referenční hodnota zrychlení vibrací.

7.3.5 Stanovení výsledné hladiny dvou a více zvuků

Poněvadž hladiny jsou mírou logaritmickou, uplatní se zvýšení sledované veličiny určitým násobkem jako aditivní přírůstek, nezávislý na výchozí hodnotě hladiny. Vždy ale musíme mít na zřeteli, zda sledujeme veličinu úměrnou energii, či veličinu, jejíž druhá mocnina je úměrná energii (např. akustický tlak).

V případě, že akustický tlak se zvýší na dvojnásobek, vzroste hladina akustického tlaku o 6 dB, jak vyplývá z následujícího

$$L_1 = 20 \log \frac{p}{p_o},$$

$$L_2 = 20 \log \frac{2p}{p_o} = 20 \log \frac{p}{p_o} + 20 \log 2 \approx L_1 + 6 \text{ [dB]}.$$

Zdvojnásobí-li se však intenzita zdroje zvuku (např. při provozu dvou stejných zdrojů), vzroste hladina intenzity zvuku pouze o 3 dB, jak vyplývá z následujícího

$$L_{I1} = 10 \log \frac{I}{I_o},$$

$$L_{I2} = 10 \log \frac{2I}{I_o} = 10 \log \frac{I}{I_o} + 10 \log 2 \approx L_{I1} + 3 \text{ [dB]}.$$

Sčítání dvou a více zvukových signálů. V důsledku logaritmické závislosti definicí hladin, nemůžeme hladiny prostě sčítat. Máme-li dva zvuky o hladinách intenzity zvuku L_{I1} a L_{I2} , které můžeme vyjádřit vztahy

$$L_{I1} = 10 \log \frac{I_1}{I_o}, \quad (7.21)$$

$$L_{I2} = 10 \log \frac{I_2}{I_o}, \quad (7.22)$$

pak výsledná hladina intenzity zvuku je

$$L_I = 10 \log \frac{I_1 + I_2}{I_o} \quad (7.23)$$

a po dosazení za I_1/I_o a za I_2/I_o z rovnice (7.21) a (7.22) dostaneme

$$L_I = 10 \log \left(10^{L_{I1}/10} + 10^{L_{I2}/10} \right). \quad (7.24)$$

Obecně je výsledná hladina intenzity zvuku ze součtu hladin intenzity zvuku L_{I1} až L_{In} dána vztahem

$$L_I = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{L_{Ii}/10}. \quad (7.25)$$

7.4 HODNOCENÍ HLUKU A VIBRACÍ

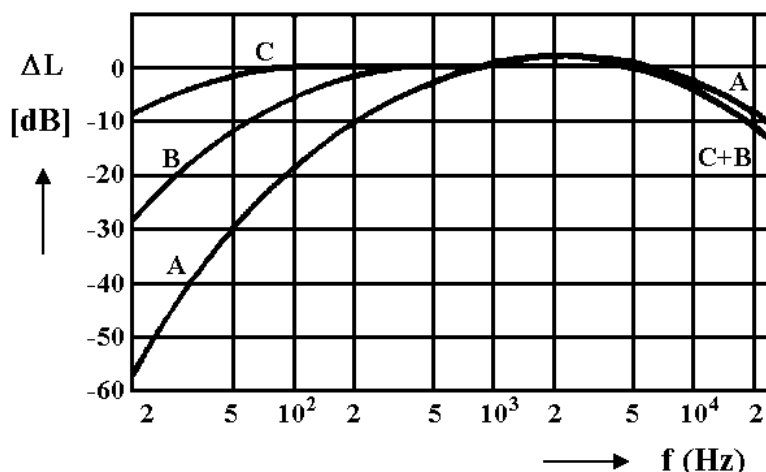
7.4.1 Hladiny akustického tlaku A, B, C

Snaha po co nejvěrnějším zachycení zvukového vjemu měřicím přístrojem vedla k používání kmitočtově závislých akustických filtrů (váhových filtrů) upravujících citlivost zvukoměru v souladu s kmitočtovými závislostmi sluchového orgánu. Mezinárodně jsou v rámci ISO standardizovány kmitočtově závislé filtry označované A, B, C, kterými se upravuje kmitočtová charakteristika přístroje tak, že se omezují (tlumí) kmitočtové složky zejména pod 500 Hz a nad 8000 Hz. Údaje zvukoměru při zapnutém příslušném kmitočtově závislém filtru A, B, nebo C, jsou nazývány hladiny akustického tlaku A, B, C a jsou označovány L_A , L_B , L_C [dB].

Měřené hodnoty akustického tlaku $p_{A(B,C)}$ jsou použitím kmitočtově závislých filtrů ovlivněny a hladina akustického tlaku je pak dána vztahem

$$L_{A(B,C)} = 20 \log \frac{P_{A(B,C)}}{P_o} \text{ [dB]}. \quad (7.26)$$

Relativní průběh kmitočtových charakteristik filtrů ve srovnání s vyrovnanou charakteristikou Lin a hodnoty útlumu ΔL těchto filtrů jsou uvedeny na obr. 7.1. Subjektivnímu vnímání lidského sluchu se nejvíce přibližuje hladina akustického tlaku L_A , která se převážně používá pro hodnocení hluku v budovách i vnějším prostředí. Váhový filtr A je vždy součástí každého zvukoměru.



Obr. 7.1 Útlumové charakteristiky filtrů A, B, C

7.4.2 Hodnocení proměnných hluků - ekvivalentní hladina akustického tlaku A

V technické praxi se můžeme setkat s několika případy hlukové expozice. Nejjednodušší případ nastane, je-li zvukový signál ustálený, tj. v případě kdy hladina akustického tlaku A se v daném místě nemění v závislosti na čase o více než 5 dB.

Dalším případem je hluk proměnný, tj. hluk, jehož hladina akustického tlaku A se v daném místě mění v závislosti na čase o více než 5 dB a dále vysokoenergetický a vysoce impulsní hluk. Vysokoenergetický hluk je hluk tvořený zvukovými impulsy ve venkovním prostoru, jejichž zdrojem jsou např. výbuchy v lomech, sonické třesky, střelba z těžkých zbraní apod. Vysoce impulsní hluk je hluk tvořený zvukovými impulsy ve venkovním prostoru, vznikajícími při střelbě z lehkých zbraní, explozí výbušnin s hmotností pod 25 g ekvivalentní hmotnosti trinitrotoluenu a při vzájemném nárazu tuhých těles.

V případech hluků proměnných se používá pro hodnocení ekvivalentní trvalá hladina akustického tlaku A

$$L_{Aeq} = 10 \log \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \tau_i} \sum \tau_i 10^{L_{Ai}/10} \right) \text{ [dB]}, \quad (7.27)$$

kde τ_i [s] je doba trvání i-té naměřené hladiny L_{Ai} [dB]. Volí se velký počet odečtů (nejméně 100) v pravidelných časových intervalech.

V případech, kdy hluk výrazně kolísá s časem, používá se pro hodnocení proměnných akustických signálů ekvivalentní hladina akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ [dB]. Je to fiktivní

ustálená hladina akustického tlaku A , která má stejné účinky na člověka během sledovaného časového úseku T , jako proměnlivá hladina akustického tlaku A za stejný čas

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_{\tau_1}^{\tau_2} 10^{L_A/10} dt \right] \text{ [dB]}, \quad (7.28)$$

kde $L_{Aeq,T}$ je ekvivalentní hladina akustického tlaku A určená v časovém intervalu $T = \tau_2 - \tau_1$.

V praxi se používá upravený vztah

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{L_{Ai}/10} \eta_i \text{ [dB]}, \quad (7.29)$$

kde L_{Ai} [dB] je střední hladina akustického tlaku A v i -tém hladinovém intervalu a η_i [-] je relativní četnost výskytu hladiny akustického tlaku L_{Ai} .

7.4.3 Přípustné hodnoty hluku a vibrací

Přípustné expoziční limity a hygienické limity hluku a vibrací jsou stanoveny Nařízením vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací [19], které zapracovává příslušné předpisy Evropské unie. V tomto nařízení vlády jsou uvedeny přípustné expoziční limity a hygienické limity:

- Pro hluk na pracovištích.
- Pro hluk
 - v chráněných vnitřních prostorech,
 - v chráněných venkovních prostorech staveb,
 - v chráněném venkovním prostoru.
- Pro vibrace
 - na pracovištích,
 - v chráněných vnitřních prostorech.

Přípustným expozičním limitem se rozumí limit vyjadřující expozici zaměstnance hluku nebo vibracím přepočtenou na osmihodinovou pracovní směnu.

Hygienickým limitem se rozumí limit expozice hluku nebo vibracím při práci pro směnu kratší nebo delší než osmihodinová směna nebo jako požadavek na pracoviště.

Přípustné expoziční limity a hygienické limity pro hluk na pracovištích

Přípustný expoziční limit a hygienický limit pro ustálený a proměnný hluk na pracovištích se vyjadřuje ekvivalentní hladinou akustického tlaku A přepočtenou na osmihodinovou směnu $L_{Aeq,8h}$ [dB] a průměrnou hladinou akustického tlaku A $L_{Aeq,w}$ [dB], používanou pokud pracovní doba je proměnná. Průměrná expozice hluku $L_{Aeq,w}$ se určí dle vztahu

$$L_{Aeq,w} = 10 \log \left[\frac{1}{5} \left(\sum_{k=1}^n 10^{(L_{Aeq,8h})_k/10} \right) \right] \text{ [dB]}, \quad (7.30)$$

kde n je počet směn během sledovaného období.

Přípustný expoziční limit impulsního hluku se vyjadřuje ekvivalentní hladinou akustického tlaku A $L_{Aeq,8h}$ [dB], hladinou špičkového akustického tlaku C $L_{C,peak}$ [dB], nebo průměrnou

hladinou akustického tlaku $L_{Aeq,w}$ [dB]. Hodnocení hluku podle průměrné expozice se použije, pokud pracovní doba ve sledovaném období je proměnná nebo když se hladina akustického tlaku A v průběhu sledovaného období mění, avšak jednotlivé denní expozice hluku se neliší o více než 10 dB v ekvivalentní hladině akustického tlaku od výsledků opakovaných měření a při žádné z expozic není překročena hladina maximálního akustického tlaku A L_{Amax} 107 dB.

Přípustný expoziční limit vysokofrekvenčního hluku je vyjádřen ekvivalentní hladinou akustického tlaku $L_{teq,8h}$ [dB] v třetinooktávových pásmech o středních kmitočtech 8 kHz, 10 kHz, 12,5 kHz a 16 kHz a přípustný expoziční limit ultrazvuku je vyjádřen ekvivalentní hladinou akustického tlaku $L_{teq,8h}$ [dB] v třetinooktávových pásmech o středních kmitočtech 20 kHz, 25 kHz, 31,5 kHz a 40 kHz. Také přípustné expoziční limity infrazvuku a nízkofrekvenčního hluku jsou vyjádřeny ekvivalentní hladinou akustického tlaku $L_{teq,8h}$ [dB] v třetinooktávových pásmech, a to pro infrazvuk o středních kmitočtech 1 Hz až 16 Hz a pro nízkofrekvenční hluk o středních kmitočtech 20 Hz až 40 Hz.

Hygienické limity pro hluk v chráněných vnitřních prostorech, v chráněných venkovních prostorech staveb a v chráněném venkovním prostoru

Pro hluk v chráněných vnitřních prostorech staveb se hygienické limity vyjadřují maximální hladinou akustického tlaku A L_{Amax} [dB], ekvivalentní hladinou akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ [dB], používanou pro hluk z dopravy a z leteckého provozu a ekvivalentní hladinou akustického tlaku A $L_{Aeq,s}$ [dB], používanou pro hluk ze stavební činnosti.

Hodnoty hluku v chráněných venkovních prostorech staveb a v chráněném venkovním prostoru, s výjimkou vysokoenergetického impulsního hluku se vyjadřují ekvivalentní hladinou akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ [dB]. Vysokoenergetický impulsní hluk se vyjadřuje ekvivalentní hladinou akustického tlaku $L_{Ceq,T}$ [dB].

Přípustné expoziční limity a hygienické limity vibrací

Podle způsobu přenosu vibrací na člověka se rozlišují:

- vibrace přenášené na ruce,
- celkové vibrace (celkové vertikální a horizontální vibrace přenášené na zaměstnance),
- vibrace přenášené zvláštním způsobem (způsobují intenzivní kmitání v horní části páteře a hlavy).

Přípustný expoziční limit vibrací na pracovištích je vyjádřen hladinou zrychlení vibrací $L_{a,8h}$ [dB] a hodnotou zrychlení vibrací $a_{c,8h}$ [m.s⁻²]. Hygienické limity vibrací pro jinou než osmihodinovou směnu se vyjadřují hygienickým limitem souhrnných vážených hladin zrychlení vibrací. Pokud je pracovní doba ve sledovaném období proměnná, nebo když se vibrace v průběhu sledovaného období mění způsobem definovaným v nařízení vlády, hodnotí se vibrace podle průměrné expozice vibrací vyjádřené průměrnou hladinou zrychlení vibrací L_{aw} vyjádřenou vztahem

$$L_{aw} = 10 \log \left(\frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 10^{L_{awi}/10} \right) \text{ [dB]}, \quad (7.31)$$

nebo průměrnou hodnotou zrychlení vibrací a_{cw} vyjádřenou vztahem

$$a_{aw} = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^n (a_{cwi})^2} \text{ [m.s}^{-2}\text{]}, \quad (7.32)$$

kde n je počet směn během sledovaného období, L_{awi} [dB] a a_{cwi} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$] je průměrná expozice vibrací pro každou směnu.

Hygienický limit vibrací v chráněných vnitřních prostorech staveb a na pracovištích je vyjádřený poměrnou váženou hladinou zrychlení vibrací $L_{aw,T}$ [dB] a průměrnou váženou hodnotou zrychlení vibrací $a_{cw,T}$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$].

7.5 ÚČINKY HLUKU NA ČLOVĚKA

Hluk člověk vnímá prostřednictvím sluchového orgánu, částečně vedením kostmi a povrchem těla. Účinky hluku na lidský organismus je možné rozdělit do dvou skupin:

- specifické – vyvolané přímým působením hluku na sluchový orgán,
- nespecifické – tj. mimosluchové účinky hluku.

Specifické poškození zdraví hlukem se projevuje vznikem tzv. profesionální nedoslýchavosti, která se může rozvinout v praktickou hluchotu. Nedoslýchavost vzniká při opakovaně působícím nadměrném hluku, kdy zpočátku dočasné zmenšení citlivosti sluchu se po jisté době nevrací ani po několikadenní přestávce v tichém prostředí na plnou citlivost a s pokračujícím působením hluku se sluchový práh postiženého zvyšuje, až se projeví jako trvalá nedoslýchavost. O rozsahu poškození sluchu rozhoduje především množství přijaté akustické energie. Účinek je však modifikován věkem, celkovým zdravotním stavem, nemocemi sluchového aparátu, současným působením jiných škodlivin (např. toxických látek, vibrací) nebo zvláštním charakterem působení hluku (infrazvuk, ultrazvuk). Za agresivní hluk lze považovat hluk, který vede k narůstání ztráty sluchu na frekvenci 4000 Hz o více než 1,5 dB za rok.

U osob pracujících v nadměrném hluku musí být prováděny pravidelné prohlídky se zabezpečením vstupních a periodických audiometrických vyšetření. Je velmi důležité sledovat zejména mladé pracovníky a nové pracovníky po dobu prvního a druhého roku práce v hlučném prostředí, aby se včas odhalila jejich zvýšená citlivost na hluk a bylo možné je včas přearát na hlukově méně exponované pracoviště. Je potřeba si uvědomit, že vady sluchu způsobené hlukem jsou neléčitelné, lze pouze zastavit jejich postup přemístěním pracovníků do vyhovujícího prostředí.

K poškození sluchu může dojít i krátkodobým akustickým podnětem, např. třeskem, výbuchem apod. Poškození sluchu může být i trvalé – šelesty, poranění bubínku, středního ucha. Zvláště škodlivé jsou hluky úzkopásmové, impulsové a hluky spojené s vibracemi.

Při hodnocení škodlivého účinku hluku na lidské zdraví má stále větší význam i nespecifický účinek hluku, kterým jsou změny v psychice a nervovém systému. I hluk, který nedosahuje škodlivé úrovně, může negativně působit, zvláště v tvůrčí, koncepční a řídicí práci (již od 50 dB). Svým rušivým vlivem na duševní činnost zmenšuje přesnost výkonu, soustředění, kombinační schopnosti. Např. studium se „zvukovou kulisou“ vyžaduje až o 20 % delší čas než studium v tichu.

Hluky silnější než 65 dB mohou ovlivnit autonomní (vegetativní) nervstvo, které ovládá regulaci srdečně cévního, dýchacího, zažívacího, hormonálního, termoregulačního a dalších systémů lidského organismu. Projevují se zvýšením krevního tlaku, častějším výskytem žaludečních vředů, nespavostí, bolestmi hlavy, močovými kameny, cukrovkou, podrážděností až agresivitou, malátností, závratěmi apod. Z fyziologického hlediska neexistuje adaptace na hlučné prostředí.

V poslední době se také věnuje velká pozornost kombinovanému účinku hluku a vibrací na lidský organismus. Bylo zjištěno další zhoršení neurovegetativních funkcí lidského organismu

vlivem kombinovaného účinku hluku a vibrací. Výzkum samotného vlivu celkových vibrací prokázal velmi škodlivé důsledky nejen na srdečně cévní systém, ale i na psychické a somatické funkce organismu. Dále je potřeba připomenout, že při každém zvuku se vyskytuje i určité kvantum ultrazvuku. Mimo jiných negativních důsledků jeho vlivu bylo prokázáno i nepříznivé ovlivňování vestibulárního aparátu, které má vztah k udržování rovnováhy a k dalším projevům jeho zvýšeného dráždění.

Přehledně jsou účinky hluku na člověka uvedeny v tab. 7.3.

Tab. 7.3 Účinky hluku na člověka

Hladina akustického tlaku A [dB]	
do 20	hluboké ticho
okolo 30	příjemné ticho
30 - 65	působí zejména na psychiku člověka; přímé škodlivé účinky nejsou pozorovány, mohou se však projevit druhotné účinky vyplývající z psychického rozrušení
65 - 85	působí nepříznivě zejména na neurovegetativní soustavu
85 - 115	mimo nepříznivého působení na psychiku a neurovegetativní soustavu dochází při dlouhodobém pobytu k poškození sluchu; doporučuje se nosit chrániče sluchu, provádět audiometrické kontroly a eventuálně vyřazovat citlivé jedince z hlučného prostředí
115 - 140	pobyt osob dovolen jen po přesně vymezenou dobu, nebo stanovená doba trvání hluku; vždy používat chrániče sluchu
140 - 160	hluk působí bolest, škody na vnitřním uchu jsou pronikavé, rychle postupují a jsou nenapravitelné
160 a výše	okamžitá trvalá ztráta sluchu (protržení bubínku)

Z uvedeného přehledu specifických i nespecifických negativních vlivů nadměrné zvukové zátěže na člověka vyplývá, že nadměrný hluk je rizikovým faktorem pro lidské zdraví.

7.6 ZDROJE A ŠÍŘENÍ HLUKU

Zdrojem hluku jsou zařízení a předměty nebo vymezené oblasti proudění, kde vzniká akustická energie a od nichž se akustickými vlnami šíří do okolí. Rozlišujeme dvě základní příčiny akustické energie.

První případ představuje chvějící se povrch strojů, stěn budov, technologických zařízení, popřípadě jejich částí. Rozruchy akustické povahy se přenesou od kmitajícího povrchu na okolní prostředí, nejčastěji vzduch. Hlukový účinek bývá úměrný hmotnosti chvějící se části či celku, rychlosti jejich pohybu a jejich velikosti.

Druhou závažnou příčinou vzniku akustické energie je neustálené proudění tekutin. Příkladem tohoto způsobu vzniku akustické energie jsou ventilátory, čerpadla, pulsující proudění ve výfuku nebo sání spalovacích motorů, ventily pro vypouštění stlačených plynů atd. I zde hlukové účinky bývají úměrné výkonu a velikosti stroje.

Skutečné zdroje hluku v sobě mnohdy spojují obě příčiny v různé míře.

Od zdroje hluku se rozruch šíří zvukovými (akustickými) vlnami. Akustické vlny se mohou od zdroje šířit přímo prostřednictvím média, které zdroj obklopuje (převážně vzduchem), nebo prostřednictvím spojovacích prvků, jimiž je zdroj připevněn do konstrukce. Ve druhém případě se zvuk dále vede pevnou strojní nebo stavební konstrukcí ve formě chvění a posléze je vyzářen do vzduchu povrchem některé chvějící se součásti konstrukce, která má k vyzářování zvuku předpoklady. Tak dochází často k vyzářování hluku v místech značně vzdálených od zdroje.

Nejvíce nás zajímá šíření hluku vzduchem, neboť takto zvuk dospívá k lidskému uchu. Pro šíření zvuku vzduchem a pro posouzení toho, co dospěje ke sluchovému orgánu, jsou rozhodující zejména dva základní případy. První případ představuje prakticky volné šíření hluku od zdroje, které nastává ve volném prostoru a druhý případ pak nastává při šíření v uzavřených (ohraničených) prostorech.

Šíří-li se akustické vlnění ve volném prostoru, vytváří se tzv. volné zvukové pole, v němž nejsou odražené vlny, ale pouze přímé vlny přicházející přímo od zdroje hluku. V uzavřeném prostoru dospějí přímé vlny k jeho stěnám, od nichž se odráží zpět. Tak vzniká složité šíření zvuku, které je ovlivňováno velikostí prostoru, jeho tvarem, akustickými vlastnostmi materiálu na stěnách prostoru apod. Ve vzniklém akustickém poli nalezneme pole přímých vln a pole odražených vln. V poli přímých vln, které je v malé vzdálenosti od zdroje, převládá účinek přímých vln nad vlnami odraženými. Pole odražených vln ovlivňuje akustické pole ve větší vzdálenosti od zdroje.

7.6.1 Šíření zvuku ve volném prostoru

Ve volném (neohraničeném) prostoru způsobuje v podstatě kulový charakter zvukových vln šířících se od bodového zdroje, že se vyzářovaná akustická energie E , či akustický výkon W , se vzrůstající vzdáleností od zdroje stále více rozptyluje.

Nebudeme-li uvažovat vliv absorpce zvuku ve vzduchu, teploty, absorpce povrchu země, pak akustický výkon na libovolné vlnoploše (kulovém povrchu) se nemění a akustický výkon je vyjádřen rovnicí (7.17), tj.

$$W = I S \text{ [W]},$$

kde $I \text{ [W.m}^{-2}\text{]}$ je intenzita zvuku a $S \text{ [m}^2\text{]}$ je plocha.

Pro dvě různé vzdálenosti od zdroje r_1 a r_2 pak platí

$$W = I_1 4 \pi r_1^2 = I_2 4 \pi r_2^2 \quad (7.33)$$

a

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2}. \quad (7.34)$$

Po dosazení za I_1 a I_2 z rovnice (7.8) dostaneme

$$\frac{r_1^2}{r_2^2} = \frac{p_2^2}{p_1^2}, \quad (7.35)$$

kde p_1 a p_2 jsou akustické tlaky na vlnoplochách o poloměru r_1 a r_2 .

Poměr akustických tlaků tedy je

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{r_1}{r_2} \quad (7.36)$$

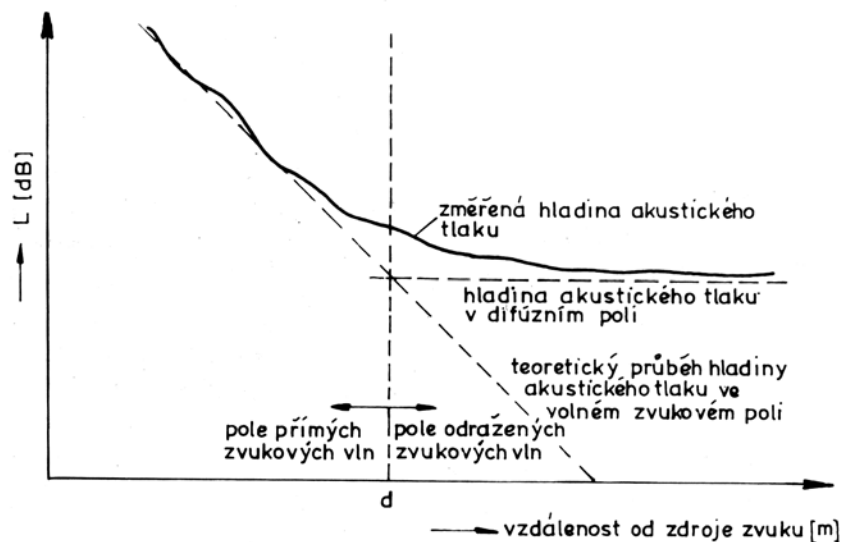
a pokles hladiny akustického tlaku činí

$$L_2 - L_1 = 20 \log \frac{p_2}{p_o} - 20 \log \frac{p_1}{p_o} = 20 \log \frac{p_2}{p_1} = -20 \log \frac{r_2}{r_1}. \quad (7.37)$$

V malé vzdálenosti od zdroje, rovné asi rozměrům zdroje nebo menší, se projevují odchylky od uvedené závislosti. Odchylky se projevují i ve velké vzdálenosti od zdroje (asi nad 100 m). Uplatňuje se zde vliv větru, absorpce zvuku ve vzduchu, teploty, absorpce země apod.

7.6.2 Šíření zvuku v uzavřeném prostoru

Při šíření zvuku v uzavřeném prostoru jsou poměry značně složitější než při šíření zvuku ve volném prostoru. V poli odražených vln se vlivem mnohonásobných odrazů od stěn rozdělí akustická energie přibližně tak, že nezávisí na vzdálenosti od zdroje, poloze a směru vůči zdroji i stěnám. Vzniká tzv. difúzní zvukové pole.



Obr. 7.2 Akustické pole přímých a odražených vln

V difúzním zvukovém poli neplatí úměrnost poklesu akustického tlaku se vzdáleností. V kterémkoliv místě difúzního zvukového pole se akustická energie šíří všemi směry se stejnou intenzitou a rozložení energii v prostoru je naprosto rovnoměrné. Situace je znázorněna na obr. 7.2.

Vzdálenost, do které zdroj zvuku svým primárním polem převažuje nad difúzním polem, nazýváme dozvukovou vzdáleností d a určujeme ji jako vzdálenost, kde se akustická energie přímých a odražených vln sobě rovnají. Dozvukovou vzdálenost lze vypočítat např. z celkové pohltivosti místnosti A_n [m], která je definována rovnicí (7.41)

$$d = 0,14 \sqrt{A_n} \text{ [m]}, \quad (7.38)$$

nebo s vyhovující přesností lze také použít vztah

$$d = 0,1 \sqrt[3]{V} \text{ [m]}, \quad (7.39)$$

kde V je objem místnosti [m^3].

Dozvuk prodlužuje mnohonásobnými odrazy od stěn původní zvuk. Doba dozvuku T_d je čas, za který v uzavřeném prostoru hladina akustického tlaku nebo hladina akustického tlaku měřená s kmitočtově závislými filtry klesne po skončení činnosti zdroje zvuku (po zániku přímého zvuku) o 60 dB.

Odraz zvukové vlny od stěn místnosti podléhá sám o sobě zákonům o šíření zvukové vlny ve volném poli při styku s překážkou. Dopadnou-li zvukové vlny na stěnu, část akustické energie se odrazí a vrací zpět, část se utlumí ve stěně, část je vedena stěnou do okolí a zbytek prochází do sousedního prostoru.

Poměr akustického výkonu pohlceného stěnou W_{pohl} [W] k akustickému výkonu dopadajícímu W_{dop} [W] je činitel zvukové pohltivosti

$$\alpha = \frac{W_{pohl}}{W_{dop}}. \quad (7.40)$$

Činitel zvukové pohltivosti závisí na kmitočtu a na úhlu dopadu zvuku na povrch stěny. V uzavřeném prostoru mluvíme o difúzním či integrálním činiteli zvukové pohltivosti, který udává střední zvukovou pohltivost pro všechny možné úhly dopadu zvukových vln.

Materiály pohlcující zvuk jsou pórovité, vláknité nebo houbovitě s velmi nízkou objemovou hmotností. Na obr. 7.3 je uvedena závislost činitele zvukové pohltivosti α na tloušťce porézního materiálu uloženého na pevné stěně.

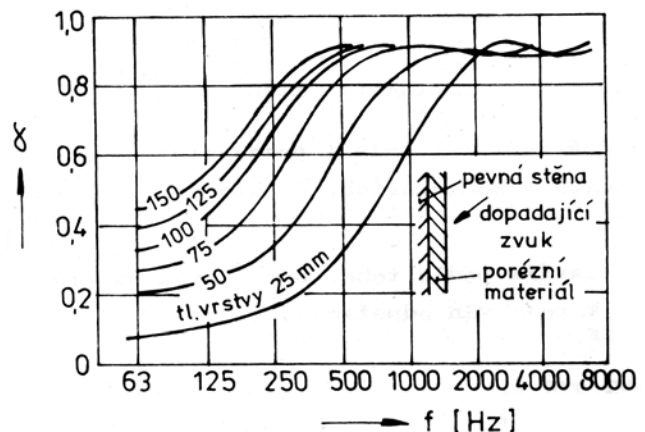
Akustická pohltivost A je určena součinem činitele zvukové pohltivosti pro látku tvořící povrch, na který akustická energie dopadá a plochy této látky. Celková akustická pohltivost prostoru (místnosti) A_n je pak dána součtem všech akustických pohltivostí v daném prostoru

$$A_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i \text{ [m}^2\text{]}, \quad (7.41)$$

kde S_i je plocha [m^2] o činiteli zvukové pohltivosti α_i .

Celková akustická pohltivost prostoru je určující veličinou pro stanovení doby dozvuku T_d [s] a je s objemem prostoru V vázána vztahem

$$T_d = 0,164 \frac{V}{A_n}. \quad (7.42)$$



Obr. 7.3 Činitel zvukové pohltivosti α porézního materiálu

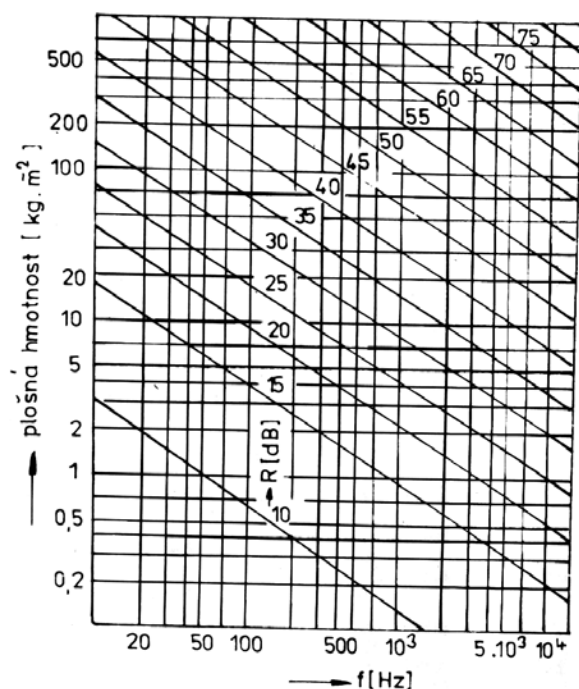
Poměr akustického výkonu prošlého stěnou W_{pr} [W] k akustickému výkonu dopadajícímu W_{dop} [W] definuje činitel zvukové průzvučnosti τ

$$\tau = \frac{W_{pr}}{W_{dop}}. \quad (7.43)$$

Jeho reciproká hodnota je nazývána činitelem zvukové neprůzvučnosti, pomocí kterého se definuje stupeň vzduchové neprůzvučnosti R

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} \text{ [dB]}, \quad (7.44)$$

používaný k hodnocení vlastností stěn a konstrukcí. Stupeň vzduchové neprůzvučnosti stěny (tj. útlum hluku pronikajícího stěnou) závisí na plošné hmotnosti stěny v $[\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}]$ a na kmitočtu dopadajícího zvuku (obr. 7.4). Při stejné plošné hmotnosti stěny lze dosáhnout vyšších hodnot neprůzvučnosti, je-li uvnitř stěny vzduchová mezera. Důležitou aplikací vícevrstevných konstrukcí jsou dvojí a trojí okna.



Obr. 7.4 Kmitočtová závislost stupně vzduchové neprůzvučnosti R na plošné hmotnosti stěny

7.7 PROSTŘEDKY KE SNIŽOVÁNÍ HLUKU

Prostředky ke snižování hluku se volí především podle toho, zda člověk se pohybuje v poli přímých vln, nebo v poli odražených vln.

7.7.1 Prostředky ke snižování hluku v poli přímých vln

V poli přímých vln, tj. v blízkosti zdroje hluku, jsou hlavními prostředky ke snižování hluku:

- Snižování akustického výkonu zdroje (stroje či zařízení).
- Umístění hlučných zdrojů, nebo jejich obsluhy do zvukově izolovaných místností.

7.7.1.1 Snižování akustického výkonu zdroje hluku

Praktické zásahy snižující akustický výkon zdrojů hluku jsou:

- konstrukční úpravy strojů vedoucí ke snížení zdrojů hluku,
- použití krytů a přepážek,
- použití tlumičů hluku,
- použití izolátorů chvění,
- použití materiálů omezujících vyzařování hluku z povrchu strojů,
- změna technologie nebo pracovního postupu.

Konstrukční úpravy strojů vedoucí ke snížení akustického výkonu zdrojů hluku je třeba uplatňovat již při návrhu nového stroje či zařízení, protože dodatečné úpravy jsou velmi nákladné. Ke konstrukčním úpravám strojů vedoucím ke snížení akustického výkonu zdrojů hluku patří např. použití materiálu s vyšším vnitřním tlumením, vymezení mechanických vůlí, použití vhodného mazacího prostředku, vyvážení rotujících dílů, omezení možnosti vzniku turbulence a sirenového hluku, změna charakteru hluku.

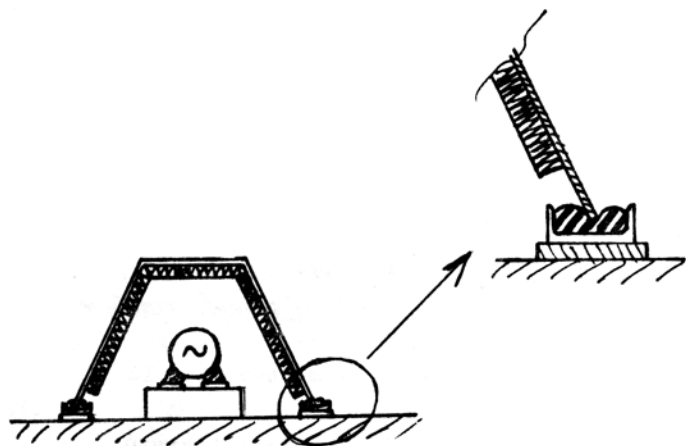
Jako příklad uveďme hluk mechanického původu jako je např. hluk ozubených převodů. Zde může být hluk snížen již tím, že bude použit správný mazací prostředek, rozdíly mohou činit 4 až 6 dB. Příznivě se projeví rovněž volba materiálu kol. Kde jsou přenášeny menší výkony, je účelné nahradit kovová kola koly z plastických hmot, hluk se tak sníží o 5 dB a v oblasti vyšších frekvencí až o 10 dB. Rovněž použití kol se šikmým ozubením může snížit hlučnost ozubených převodů až o 5 dB.

Vzhledem k tomu, že je jednodušší tlumit vysoké tóny než hluboké, je někdy účelné změnit charakter zvuku. Zvýšení frekvencí ve spektru se dosáhne např. zvětšením počtu zubů u převodů, počtu lopatek u ventilátorů, válců u pístových strojů apod.

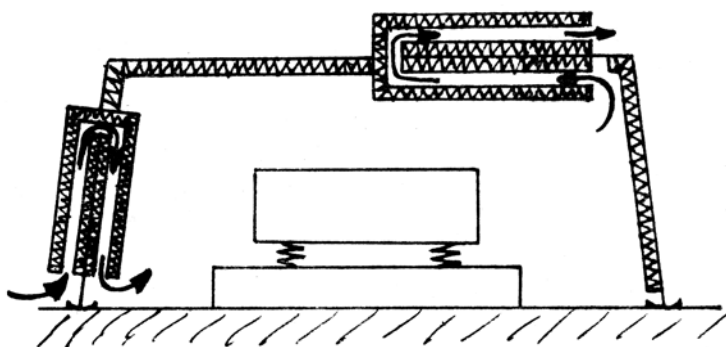
Významnými zdroji hluku u řady zařízení mohou být valivá ložiska. Tam, kde je to možné, je účelné je nahradit klznými ložisky, která lze považovat za prakticky bezhlučná. U rotačních strojů je také důležité dokonalé vyvážení rotujících částí.

Použití krytů a přepážek. Toto opatření je na místě především tam, kde není možné snížit hluk vznikající ve stroji a šířící se vzduchem. V tomto případě lze stroj umístit do krytu nebo za stínící přepážku.

Pod pojmem kryt na strojní zařízení se rozumí relativně lehká konstrukce, která může být snadno demontována, nebo přemístěna. Používají se nejčastěji kryty s jednoduchými, případně dvojitými stěnami z ocelového, nebo duralového plechu tloušťky 1 až 1,5 mm. Snížení hluku užitím takového krytu činí 15 až 20 dB. Při použití krytu s vnitřním zvuk pohltivým obložení (molitanem, rohožemi ze skleněné nebo minerální vlny) se hluk snižuje o dalších 5 až 8 dB. Je také nezbytné řádné dotěsnění všech dílčích elementů krytu a spáry mezi podlahou a krytem. Doporučuje se usadit kryt do korýtky s pryžovou vrstvou (obr. 7.5).



Obr. 7.5 Usazení zvukoizolačního krytu

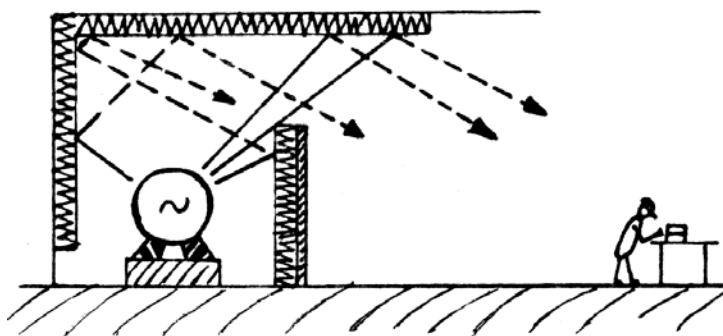


Obr. 7.6 Kryt s otvory pro chladicí vzduch

Je-li navrhován kryt pro zařízení, které je třeba při provozu chladit je nutné větrací otvory v krytu řešit jako kanály s vnitřním obložením absorpčním materiálem, které se chovají jako tlumiče hluku (obr. 7.6).

Tam, kde z provozních a technologických důvodů nelze stroj umístit do zcela uzavřeného prostoru (krytu), užívá se zástěn a přepážek. Jsou to lehké

konstrukce, představující obvykle příčky dosahující do výšky asi 2,5 až 3 m. Jednoduchá zástěna o velké ploše bez otvorů snižuje hluk o 2 až 5 dB. Dvoustranné a třístranné ohrazení se střechem nebo bez ní umožňuje ještě větší snížení hluku, a to o 10 až 20 dB. Ve směru ponechaných volných ploch mohou být vyšší hladiny akustického tlaku než bez ohrazení. Tento nepříznivý efekt lze omezit, jsou-li vnitřní stěny opatřeny vrstvou zvuk pohltivého materiálu, viz obr. 7.7.



Obr. 7.7 Zástěna v kombinaci s absorpčním obložením

Použití tlumičů hluku. Tlumiče hluku se používají k omezení aerodynamického hluku. Existují dva základní typy tlumičů hluku – reflexní tlumiče a absorpční tlumiče.

Reflexní tlumiče se používají pro pulsující proudění v potrubí menších průměrů (pístové automobilové motory, pístové kompresory). Jejich základním prvkem je kombinace trubky, kterou proudí plyn a komory o větším průměru. V místě náhlé změny průřezu nastává odraz zvukových vln zpět ke zdroji.

Absorpční tlumiče se používají pro stroje dopravující velké objemové toky plynů. Pro tlumení se zde využívá absorpce zvuku v materiálech, kterými jsou vyloženy vnitřní stěny tlumičů.

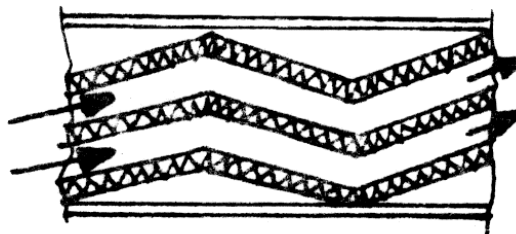
Běžně se absorpční tlumiče používají ve vzduchotechnických zařízeních, pro něž se navrhují různé konstrukce. Nejjednodušším řešením je přímé potrubí tvořené dvěma soustřednými potrubími, z nichž vnitřní je děrované a prostor mezi potrubími je vyplněn absorpčním materiálem (skelná nebo minerální vata). Někdy je také v ose tlumiče navíc umístěno jádro z absorpčního materiálu. Tam, kde tlumiči prochází znečištěný vzduch, který by mohl otevřené póry nebo vzduchové buňky mezi vlákny absorpčního materiálu ucpat, je zapotřebí pohltivý materiál překrýt řídkou skelnou tkaninou nebo polyetylenovou fólií. Někdy je nutné překrytí aplikovat také z důvodu, aby při vyšších rychlostech proudění vzduchu byl absorpční materiál chráněn proti oděru.

V oblasti nízkých frekvencí je velikost útlumu přímo ovlivněna tloušťkou absorpčního materiálu. Ve všech kmitočtových pásmech má na útlum hluku vliv šířka mezi absorpčními vrstvami, a to tak, že čím menší je šířka mezery mezi absorpčními vrstvami, tím větší bude útlum. Zmenšování mezery, však vede ke zvyšování hydraulických ztrát při průtoku vzduchu.

Dalším používaným provedením absorpčního tlumiče je čtyřhranný tlumič kulisový. Vložka tlumiče (kulisa) má rám z perforovaného plechu a je vyplněna minerální vatou. Vložky se vkládají do obdélníkového potrubí s přírubami.

Ve snaze zvýšit útlum absorpčních tlumičů se navrhují také tlumiče s tvarovanými absorpčními vložkami, viz např. tlumič na obr. 7.8. Zvýšeného útlumu se dosáhne v oblasti vyšších kmitočtů. Tlaková ztráta je však vysoká.

Tam, kde je požadována extrémně nízká hladina akustického tlaku, resp. vysoký útlum hluku, je nutné, aby rychlosti proudění vzduchu tlumičem byly voleny malé. Tím ale vychází průřez i cena tlumiče velká.



Obr. 7.8 Tlumič s lomeným kanálem

Použití pružných vložek. Pružné vložky, nazývané také izolátory chvění, zabraňují především šíření hluku vedeného konstrukcí. Nejčastěji se používají při ukládání strojů na základové desky, při uchycování a napojování potrubí, při izolování jednotlivých stavebních prvků apod. Základní podmínkou dobré zvukové izolace je požadavek, aby se přenos chvění mohl uskutečnit pouze přes pružnou vložku. Uplatňují se tedy všude tam, kde má být zabráněno přenosu budících sil do jiných konstrukcí, které by pak mohly vyzařovat hluk.

Pro ukládání strojů se používají pružné členy vyrobené z ocelových pružin, nebo z pryže. Pryžové pružiny se vyrábí v různých provedeních a v několika různých složeních pryžové směsi. Používají se s úspěchem při budících frekvencích vyšších než asi 14 Hz. Nevýhodou pryžových pružin je malá odolnost proti různým chemikáliím, olejům, slunečnímu záření apod., což snižuje jejich životnost. Oblast využití ocelových pružin je široká, lze u nich poměrně snadno dosáhnout libovolných tuhostí. Výhodou je odolnost proti olejům a různým chemikáliím. Nevýhodou je, že jsou schopny dobře přenášet pouze vyšší zvukové frekvence. Tato nevýhoda se však dá odstranit jejich vhodnou kombinací s pryžovými vložkami. U strojů nerotačních se mohou rovněž použít podložky z plsti, plastických hmot aj., které však mají horší vlastnosti než pryž.

Vložky do konstrukcí, např. při průchodu trubek skeletem budovy, při zavěšování potrubí se zhotovují z měkkých materiálů, např. pryže. Rovněž pružné mezikusy do potrubí, různé pružné spojky hřidelů, pružné spoje potrubí, kompenzátory do potrubí atd. se používají pryžové.

Použití materiálů omezujících vyzařování hluku z povrchu strojů a zařízení. Závažnými zdroji hluku v průmyslových provozech jsou potrubní systémy pro rozvod tlakového vzduchu, páry apod., kterými se šíří hluk čerpacích a regulačních zařízení do velkých vzdáleností a jejichž stěnami hluk proniká do okolí. Vyzařování hluku lze v těchto případech obvykle dosti účinně omezit užitím tzv. přídatné zvukové izolace. Nejčastěji je řešena tak, že potrubí je opatřeno vrstvou pohltivého materiálu (skelná rohož, minerální plst) o tloušťce 100 až 300 mm, překrytou tenkým ocelovým plechem (tloušťky asi 1 mm). Útlum se pohybuje od 10 do 20 dB.

Často je hluk vyzařován vibrujícími tenkými plechy, které tvoří kapotáž stroje. K omezení chvění a tím i vyzařovaného hluku, je nejvýhodnější nanést vrstvu antivibračního nátěru o dvojnásobné až čtyřnásobné tloušťce plechu. Antivibrační nátěry jsou vhodné pro plechové konstrukce do tloušťky asi 3 mm. U konstrukcí zhotovených z tlustších plechů je účelnější využít třívrstvé konstrukce, kde na plech je nanášena vrstva tlumicího materiálu, která se ještě překryje tuhou fólií.

Změna technologie nebo pracovního postupu. V mnoha případech je nadměrný hluk dán pracovním principem, jako je tomu např. při narovnávání plechů kladivy, nýtování plechů, ražení, odsekávání švů odlitku pneumatickými sekáči apod. Zlepšení hlukových poměrů je zde možné dosáhnout jen tehdy, budou-li tyto hlučné operace nahrazeny jinými pracovními postupy nebo jinou technologií. Ve zmíněných případech je účelnější rovnání plechů plamenem namísto kladiva, nýtování lze v řadě případů nahradit svařováním nebo šroubováním, ražení lze nahradit lisováním a odsekávání švů odlitků lze nahradit upalováním autogenem. Uvedenými změnami technologie je možné snížit hluk o 15 až 20 dB.

7.7.1.2 Umístění hlučných zdrojů nebo jejich obsluhy do zvukově izolovaných místností

Když nelze provést opatření ke snížení akustického výkonu zdroje v požadované míře, pak izolujeme hluk na pokud možno nejmenší prostor a zabraňujeme jeho rozšíření do okolí. V tomto případě se hlučné stroje soustřeďují do zvukově izolovaných místností, nebo obsluha se chrání před účinky hluku zvukově izolovanou ovládací kabinou a ovládání stroje je konstruované jako dálkové.

Ke zvýšení zvukově izolačních vlastností se stěny konstruují dvojitě s dostatečně širokou mezerou vyplněnou zvuk pohlcujícím materiálem. Obdobně se konstruují dveře. Okna se používají s trojitým zasklením. Dosažení zvukové izolace místnosti vyžaduje, aby místnost byla zcela uzavřená, poněvadž sebemenší komunikační otvor (otevřené dveře, vrata, vlečky, větrací otvory apod.) izolační schopnosti velmi snižuje.

7.7.2 Tlumení hluku v poli odražených vln

Pokud se člověk nachází v poli odražených vln, pak je možné útlum hluku dosáhnout obložením stěn zvuk pohlcujícími materiály, nebo zavěšením zvuk pohlcujících těles. Zvuk pohlcující obklady a tělesa zvětšují celkovou zvukovou pohltivost místnosti, což způsobí snížení hladiny akustického tlaku a zkrácení doby dozvuku. Činitel zvukové pohltivosti zvuk pohlcujících materiálů a konstrukcí se pohybuje v rozmezí od 0,8 do 0,9, zatímco činitel zvukové pohltivosti samotných stěn, stropu a běžných konstrukčních materiálů bývá obvykle menší než 0,1. Celková absorpce akusticky neupravené místnosti je tvořena nejen absorpcí stropu, stěn a vzduchu, ale také absorpcí vnitřního zařízení, strojů, lidí apod. Celková absorpce místnosti bez akustické úpravy proto bývá větší, než by odpovídalo pouze činiteli zvukové pohltivosti stěn.

Základním typem zvuk pohlcujících materiálů (absorpčních materiálů) jsou **porézní materiály**, které se používají především jako zvuk pohlcující obklad pro pohlcování středních a vysokých kmitočtů. Podle struktury je lze rozdělit na pórovité a vláknité.

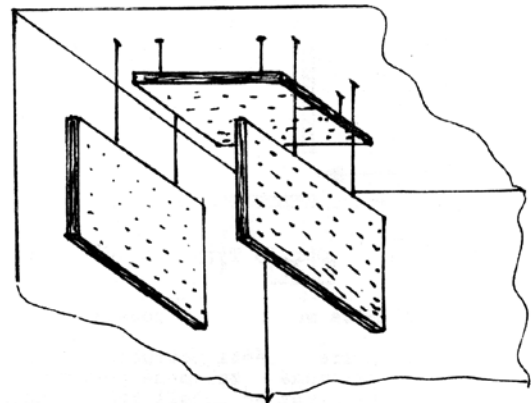
Pórovité materiály musí mít póry otevřené. Jsou to např. polyuretanové pěny (u nás např. molitan). Hodí se především tam, kde není nebezpečí požáru (snáší teploty do 70 °C), kde je nutné, aby při vyšší rychlosti proudění nenastával úlet pohltivého materiálu, a kde nedojde k zanesení pórů. Vyrábějí se převážně jako desky. Vláknité materiály jsou tvořeny většinou z mikrovláken ze skla, nebo minerální plsti. Vyrábějí se většinou jako desky a rohože. Používají se např. tam, kde musí odolávat vysokým teplotám.

Čím větší je tloušťka použitého absorpčního materiálu, tím více se rozšíří schopnost pohlcovat zvuk směrem k nízkým kmitočtům. Vzhledem k tomu, že v praxi často hrozí nebezpečí, že se zanesením vzduchových buněk se zhorší funkce těchto materiálů, je možné je překrýt tenkou polyetylenovou fólií. Snížíme tím ale částečně jejich absorpční schopnost v oblasti vysokých kmitočtů. Z důvodů ochrany pohltivého materiálu proti mechanickému poškození a často i vzhledových bývá takový obklad na povrchu opatřen sítkou, nebo je možné k jeho překrytí použít perforované vrstvy z plechu, z plastické hmoty nebo obdobných materiálů. Aby nebyla znehodnocena schopnost pohltivého materiálu, perforace musí být minimálně 25 %. Přitom je výhodnější větší počet otvorů o malém průměru, než malý počet velkých.

Druhou skupinou zvuk pohlcujících materiálů (nebo přesněji řečeno konstrukcí) jsou **rezonanční prvky**. Nejjednoduššími typy jsou kmitající desky a membrány. Z běžně vyráběných a používaných materiálů a konstrukcí splňují požadavek širokopásmovosti především rezonátory s větším činitelem perforace (minimálně 0,15) a se vzduchovým polštářem alespoň 10 cm. Jsou to např. obklady typu Akulit, tj. tvrdá dřevotřísková deska s otvory o průměru 3 až 5 mm ve čtvercové síti, nebo kovové obklady používané ve formě zavěšených podhledů.

V oblasti nízkých kmitočtů se k pohlcování používají panely s kmitajícími membránami, které lze velikostí objemu a materiálem membrány naladit tak, aby byla tlumena požadovaná kmitočtová oblast.

Zavěšená akustická tělesa. Tyto zvuk pohlcující prvky se vyznačují tím, že se nepoužívají jako obklad stěn nebo stropu, ale zavěšují se do prostoru nepříliš vysoko nad zdroje hluku (dle možnosti 0,5 až 1 m), což částečně omezuje přenos zvukových vln od jednoho pracoviště na druhé a snižuje hladiny akustického tlaku v exponovaných místech pracovišť. Taková akustická tělesa mohou mít tvar desek, klínů a konoidů a montují se v různém uspořádání podle dané situace. Příklad jejich aplikace je na obr. 7.9.



Obr. 7.9 Aplikace zavěšených akustických těles

7.7.3 Tlumení hluku šířícího se pevnou konstrukcí

Materiály pohlcující zvuk se používají nejen pro snižování hluku v prostoru, kde je umístěn zdroj, ale i pro snížení hluku v prostoru, do kterého hluk proniká ze sousedních místností nebo z vnějšího prostředí.

Chceme-li zabránit pronikání hluku z jedné místnosti, kde je instalován zdroj hluku, do druhé je pro izolaci obou prostorů rozhodující neprůzvučnost dělicí stěny mezi oběma prostory. Platí to však za předpokladu, že nedochází k přenosu zvukových vln chvěním pevnou stavební konstrukcí.

U jednoduché přičky lze zjednodušeně říci, že čím je dělicí stěna těžší (čím je větší její plošná hmotnost – viz obr. 7.4) tím je zvuková izolace obou prostorů větší. U dělicích stěn, fasád apod. je však potřeba mít na paměti, že celková neprůzvučnost stěny může značně poklesnout, má-li nějaká její část sníženou neprůzvučnost, např. dveře, okna, netěsnosti dílů apod.

Dává se přednost dvojitým stěnám se vzduchovou mezerou mezi dvěma lehkými díly. U tohoto typu konstrukce nezáleží na její hmotnosti. Nejefektivnější je dvojitá stěna, pokud nejsou oba lehké díly vzájemně propojeny svorníky. Čím je vzduchová mezera širší, tím je tlumicí účinek stěny větší. U širších mezer se může účinek ještě zvětšit tím, že se prostor mezi lehkými díly vyplní vláknitým absorpčním materiálem.

7.7.4 Osobní ochranné prostředky k ochraně sluchu

Pokud není možné technickými prostředky zabránit rizikům vyplývajícím z expozice hluku, musí mít pracovníci k dispozici vhodné osobní ochranné prostředky k ochraně sluchu. Existují tři základní typy osobních ochranných prostředků sluchu:

- Nejjednodušší jsou zátkové chrániče, které se vkládají do vzduchovodu. Používají se pro hluky o hladině akustického tlaku A maximálně 100 dB.
- Vyšší stupeň ochrany zajišťují mušlové chrániče. Tyto se skládají z mušlí, kryjících celé vnější ucho, a z upínacího zařízení. Používají se většinou do maximální hladiny akustického tlaku A 110 dB. Dnes se také vyrábí mušlové chrániče s elektronikou tlumící hluk a zesilující mluvenou řeč i s možností napojení na komunikační systém.
- V nejhluchnějších provozech se používají protihlukové kukly a přilby, které chrání kromě sluchu i celou hlavu proti vedení zvuku kostmi lebky. Lze je ale použít maximálně do hladiny akustického tlaku A 140 dB.

U všech uvedených chráničů sluchu roste útlum s frekvencí, a tedy tlumí především vyšší frekvence.

Osobní ochranné prostředky k ochraně sluchu jsou vždy provizorním řešením, neboť nikdy nezaručují 100 % ochranu. Jejich použití navíc není vždy možné (např. na pracovištích, kde je třeba hovorových sdělení nebo kde se používá zvuková signalizace) a většinou způsobují pracujícím určitá omezení. Použití chráničů sluchu nesmí narušovat bezpečnost práce a zhoršit vnímání výstražných znamení. V některých případech jsou však jedinou cestou, jak pracovníky chránit před nepříznivým působením hluku.

LITERATURA

- [1] JANOTKOVÁ, E.: *Technika prostředí*. Ediční středisko VUT Brno, 1991.
- [2] NOVÝ, R. a kol.: *Technika prostředí*. Vydavatelství ČVUT, Praha 2000.
- [3] JANOTKOVÁ, E.: *Technika prostředí – 1. část* [online]. 1. upravené vyd. Brno: FSI VUT v Brně, 2014. Dostupné z: <http://studyenergyweb.fme.vutbr.cz/technika-prostredi/technika-prostredi>.
- [4] PAVELEK, M. a kol.: *Termomechanika*. FSI VUT v Brně, Brno 2011.
- [5] BÁTRLA, M.; PAVELEK, M.; JANOTKOVÁ, E.: *Mollier. Program pro vykreslování h-x diagramů vlhkého vzduchu* [online]. FSI VUT v Brně, 1999. Dostupné z: <http://otfp.fme.vutbr.cz/~pavelek/mollier.zip>.
- [6] SNÁŠEL, P.; PAVELEK, M.; JANOTKOVÁ, E.: *Vlhký vzduch. Interaktivní grafický software pro výpočty stavů a dějů ve vlhkém vzduchu* [online]. FSI VUT v Brně, Brno 2010. Dostupné z: <http://otfp.fme.vutbr.cz/~pavelek/vzduch-3..zip>.
- [7] CHYSKÝ, J.; HEMZAL, K. a kol.: *Větrání a klimatizace. Technický průvodce sv. č. 31. Bolit – Bpress Brno*, 1993.
- [8] SZÉKYOVÁ, M.; FERSTL, K.; NOVÝ, R.: *Větrání a klimatizace*. JAGA, Bratislava 2006.
- [9] BROŽ, K.: *Vytápění*. Vydavatelství ČVUT, Praha 1995.
- [10] BAŠTA, J.: *Otopné plochy*. Vydavatelství ČVUT, Praha 2001.
- [11] LÁZŇOVSKÝ, M.; KUBÍN, M.; FIŠER, P.: *Vytápění rodinných domků*. Nakladatelství T. Malina, Praha 1996.
- [12] BAŠTA, J. a kol.: *Topenářská příručka*. Praha. GAS 2001.
- [13] NOVÝ, R.: *Hluk a chvění*. Vydavatelství ČVUT, Praha 2009.

Normy a legislativní dokumenty

- [14] ČSN 730548: 1986. Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů.
- [15] ČSN EN 12831: 2005. Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu.
- [16] ČSN 730540–2: 2011 Z1. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky.
- [17] ČSN 730540–3: 2005. Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin.
- [18] ČSN 730540–4: 2005. Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody.
- [19] Nařízení vlády č.272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.