

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

KOMFORTNÍ KLIMATIZAČNÍ SYSTÉMY A JEJICH POUŽITÍ

COMFORT AIR CONDITIONING SYSTEMS AND APPLICATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ TRÁVNÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. EVA JANOTKOVÁ, CSc.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Trávníček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Komfortní klimatizační systémy a jejich použití

v anglickém jazyce:

Comfort Air Conditioning Systems and Application

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Klimatizační zařízení upravují vzduch ve vnitřním prostředí na požadovanou teplotu, vlhkost a čistotu. Pro úpravu vzduchu na stav vhodný s ohledem na osoby pobývajících v klimatizovaném prostoru slouží komfortní klimatizační zařízení.

Cíle bakalářské práce:

Rozbor faktorů určujících stav vnitřního prostředí budov a tepelné pohody člověka. Literární rešerše systémů vhodných pro komfortní klimatizaci. Porovnání jednotlivých klimatizačních systémů a jejich použití. Možnosti využití tepelných čerpadel.

Seznam odborné literatury:

Janotková, E.: Technika prostředí. Ediční středisko VUT Brno, 1991

Chyský, J. - Hemzal, K. a kol.: Větrání a klimatizace. Technický průvodce č. 31. Bolit, 1993

Gebauer, G. - Rubinová, O. - Horká, H.: Vzduchotechnika. ERA, 2005

Janotková, E.: Technika prostředí. FSI, VUT v Brně 2008.
<http://ottp.fme.vutbr.cz/vyuka/technikaprostredi/>

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Eva Janotková, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 23.10.2008

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá rozbořem faktorů určujících stav vnitřního prostředí budov, kde člověk pobývá. Dále je uvedeno řešeršní rozdění, porovnání a použití jednotlivých komfortních klimatizačních systémů. Některé klimatizace umožňují využití zpětného získávání tepla. V práci jsou uvedeny možnosti využití tepelných čerpadel.

Abstrakt

This bachelor work deal with analysis factors determining state of inside environment of buildings, where human resides. In next step is mentioned research fission, comparison and using single comfort air conditioning systems. Some air conditioning make possible usage backward obtaining heat. In work are mentioned possibilities usage heat pumps.

Klíčová slova

Mikroklima, rovnice tepelné pohody, čistota vzduchu, klimatizace, klimatizační systémy, tepelné čerpadlo

Keywords

Microclimate, equation of termal comfort, air purity, air conditioning, air conditioning systems, heat pump

Bibliografická citace

TRÁVNÍČEK, T. *Komfortní klimatizační systémy a jejich použití*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. s

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Komfortní klimatizační systémy a jejich použití vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně 26. května 2009

.....
Tomáš Trávníček

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat své vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Evě Janotkové, CSc. za její odborné vedení, cenné rady a připomínky.

Obsah

ÚVOD	6
1 MIKROKLIMA	7
1.1 TEPELNÁ POHODA PROSTŘEDÍ	7
1.1.1 Tepelná rovnováha	8
1.1.2 Rovnice tepelné pohody	11
1.1.3 Hodnocení tepelného stavu prostředí	12
1.2 ČISTOTA VZDUCHU A HYGIENICKÉ LIMITY LÁTEK V OVZDUŠÍ	14
1.2.1 Čistota vzduchu	14
1.2.2 Hygienické limity látek v ovzduší.....	14
2 KLIMATIZACE	16
2.1 KLIMATIZAČNÍ SYSTÉMY.....	16
2.1.1 Vzduchové systémy.....	17
2.1.2 Kombinované klimatizační systémy	21
2.1.3 Vodní klimatizační systémy	23
2.1.4 Chladivové klimatizační systémy.....	26
2.2 MOŽNOSTI VYUŽITÍ TEPELNÝCH ČERPADEL.....	30
ZÁVĚR.....	33
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	34
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	35

Úvod

Klimatizační systémy jsou dnes po světě velmi rozšířené a vyznačují se jistým druhem komfortu, kdy vytváří v daném místě potřebné prostředí z hlediska teploty, vlhkosti a čistoty vzduchu. Využívány jsou jak pro technologické procesy, tak pro příjemnější pobyt v místnostech, kde lidé pracují nebo tráví většinu aktivního času během dne. V současné době si lidé na tento druh komfortu zvykají a začíná patřit k nedílné součásti lidského bytí.

Tato práce je zaměřena na rozbor základních faktorů ovlivňující prostředí, kde člověk pobývá a to na rozbor tepelné pohody prostředí a čistoty vzduchu. V další části jsou rozebrány klimatizační systémy vhodné pro komfortní klimatizaci z hlediska jejich rozdělení a použití. V současné době se klimatizace neustále vyvíjí a jejich možných kombinací provedení je mnoho. V práci je uvedeno základní všeobecné rozdělení komfortních klimatizačních systémů s porovnáním jednotlivých typů a možnosti využití tepelných čerpadel.

1 Mikroklima

Mikroklima, tj. vnitřní prostředí budov, je důležitou součástí životního prostředí, protože v něm člověk tráví většinu času. Kvalita tohoto prostředí je závislá na stavu různých mikroklimatických činitelů dle lit. [1], jenž ovlivňují smyslové chápání a mají vliv na psychický a duševní stav člověka.

Hlavními mikroklimatickými činiteli jsou:

- čistota okolního vzduchu; **teplota vzduchu; teplota povrchu stěn a předmětů; rychlost proudění vzduchu; vlhkost vzduchu; oděv**; intenzita osvětlení; hluk, vibrace, ultrazvuk; koncentrace iontů ve vzduchu; intenzita elektrických a magnetických polí; intenzita ionizujícího záření; prostorové, dispoziční a estetické řešení prostředí; **tělesná konstituce člověka; činnost člověka**; schopnost aklimatizace; klima, rasové zvláštnosti a návyky lidí; další vlivy – tlak vzduchu, psychický stav a další.

K tomu, aby se člověk cítil dobře v místě, kde pobývá či pracuje, je zapotřebí dosáhnout optimálních mikroklimatických podmínek. Takové prostředí se nazývá pohoda prostředí. Pohoda prostředí je komplexní pojem a zahrnuje do sebe všechny vlivy činitelů. Budu se ale zabývat převážně činiteli, které zajišťují tepelnou pohodu prostředí, tedy činiteli, které jsou v textu výše zvýrazněny.

1.1 Tepelná pohoda prostředí

Tepelná pohoda prostředí je definována jako pocit spokojenosti s tepelným stavem prostředí. Důležitým předpokladem pro tepelnou pohodu je režim tepelné rovnováhy člověka, který se snaží udržovat stálou teplotu těla.

V těle člověka probíhají látkové přeměny, při jejichž pochodech se uvolňuje metabolické teplo, které se přenáší do okolního prostředí. Míra uvolňovaného tepla je závislá především na fyzické činnosti a hmotnosti jedince. Většina tohoto tepla (90-100%) se přenese do okolí a minimum se přemění na mechanickou práci. Průměrné hodnoty metabolického tepelného toku vztažené na 1 m² povrchu těla jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Aby si tělo udrželo stálou teplotu, je nutný odvod tepla do okolí, který je uskutečňován vedením, konvekcí, radiací, vypařováním a dýcháním. Toto vše řídí termoregulační centrum těla. Jednou z automatických reakcí těla na stav okolního prostředí je vazomotorická regulace. Jedná se o stahování a roztahování cév, které probíhá při pocitu chladu resp. tepla. Dalšími druhy termoregulace, které člověk uvědoměle neřídí jsou termoregulace chemická a vypařovací. Na rozdíl od těchto automatických termoregulací člověk používá také vědomou termoregulaci.

Uvědomělé činnosti regulující teplotu:

- změna tělesné činnosti a tím změna metabolického tepla
- změna části povrchu těla, účastníci se na tepelné výměně (např. rozpažení, schoulení se apod.)
- změna oblečení
- změna teploty prostředí

Tabulka č. 1 Hustota metabolického tepelného toku při různé činnosti

Druh činnosti	Hustota metabolického tepelného toku $\dot{q}_m$ [W.m ⁻²]
Klidný spánek	40
Klidné sezení	58
Uvolněné stání	70
Umývání, oblékání	93
Kancelářské práce	65 až 70
Práce v laboratoři	80 až 90
Práce v domácnosti (vaření, úklid, praní atd.)	90 až 120
Velmi lehká fyzická práce (švadleny, rýsovači, jeřábníci atd.)	80 až 100
Lehká fyzická práce (nástrojaři, mechanici, zámečníci, svářeči apod.)	100 až 120
Středně těžká fyzická práce (kováři, valčíři, slévači, obsluha většího počtu obráběcích strojů apod.)	120 až 160
Těžká fyzická práce	180 až 380
Sportovní gymnastika	170 až 230
Košíková	440

1.1.1 Tepelná rovnováha

Podmínkou tepelné rovnováhy člověka je, aby rozdíl mezi metabolickým teplem a teplem přenášeným prací byl roven teplu odvedenému do okolí vedením, konvekcí, radiací, vypařováním a dýcháním. Tepelná rovnováha je v lit. [2] charakterizována touto rovnicí

$$\dot{Q}(1-\eta) = \dot{Q}_{ved} + \dot{Q}_k + \dot{Q}_r + \dot{Q}_v + \dot{Q}_d \quad [\text{W}], \quad (1.1)$$

kde $\dot{Q}$ je vnitřní produkce tepla, což je metabolický tepelný tok $\dot{Q} = S\dot{q}_m$ [W],
 S je plocha povrchu těla [m²], $\dot{q}$ hustota metabolického tepelného toku [W.m⁻²],
 η je mechanická účinnost lidského těla [-]
 $\dot{Q}_{ved}, \dot{Q}_k, \dot{Q}_r, \dot{Q}_v, \dot{Q}_d$ jsou tepelné toky sdílené z povrchu těla vedením, konvekcí, radiací, vypařováním a dýcháním

Za normálních podmínek, kdy člověk sedí či stojí, má tepelný tok vedením velmi malou hodnotu tudíž ho můžeme zanedbat. Podobně je to s lidskou prací, která je oproti vytvořenému metabolickému teplu rovněž malá. Přenos tepla se tedy uskutečňuje konvekcí, radiací, vypařováním a dýcháním. Proto rovnici (1.1) můžeme napsat ve tvaru

$$\dot{Q} = \dot{Q}_k + \dot{Q}_r + \dot{Q}_v + \dot{Q}_d \quad [\text{W}] \quad (1.2)$$

Pro vysvětlení jednotlivých členů rovnice si každý člen následně popíšeme.

Přenos tepla konvekcí

Tepelný tok sdílený z vnějšího povrchu oblečeného člověka do okolního vzduchu je dán vztahem

$$\dot{Q}_k = \alpha S_k (t_p - t) \quad [\text{W}], \quad (1.3)$$

kde α je součinitel přestupu tepla konvekcí [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$], při prakticky klidném vzduchu ($w \leq 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) je

$$\alpha = 2,38 (t_p - t) \quad (1.4)$$

při rychlostech proudění vzduchu $0,1 < w < 2,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$\alpha = 12,1 \sqrt{w} \quad (1.5)$$

t_p - střední teplota vnějšího povrchu oděvu,

t - teplota okolního vzduchu,

S_k - povrch oblečeného člověka, $S_k = f_{cl} \cdot S$,

S - povrch lidského těla ($S = 1,9 \text{ m}^2$ pro průměrného dospělého muže,

$S = 1,7 \text{ m}^2$ pro ženu)

f_{cl} - poměr povrchu oblečeného člověka k povrchu lidského těla, to je závislé na druhu oděvu

Přenos tepla radiací

Tepelný tok sdílený mezi povrchem těla a okolními plochami radiací je dán rovnicí

$$\dot{Q}_r = \varepsilon \sigma_0 S_r (T_p^4 - T_r^4) \quad [\text{W}], \quad (1.6)$$

kde ε - je poměrná zářivost mezi povrchem těla a okolními plochami, pro pokožku a většinu tkanin má hodnotu $\varepsilon = 0,95$,

σ_0 - Stefan-Boltzmanova konstanta, $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$,

S_r - povrch lidského těla přenášející teplo radiací, je menší než celkový povrch,

$S_r \approx 0,71 \cdot S_k$

T_r - střední radiační teplota [K], je to myšlená společná teplota všech

ploch v prostoru, při níž by byl celkový tepelný tok radiací mezi povrchem těla a okolními plochami stejný jako ve skutečnosti, t_r se určuje měřením.

Přenos tepla vypařováním potu

Tepelný tok odváděný z povrchu těla vypařováním je roven součtu tepelného toku odváděného tzv. suchým pocením – neviditelným vypařováním vody z pokožky $\dot{Q}_{vs}$ a tepelného toku odváděného viditelným vypařováním $\dot{Q}_{vm}$

$$\dot{Q}_v = \dot{Q}_{vs} + \dot{Q}_{vm} \quad [\text{W}] \quad (1.7)$$

Tepelný tok odváděný neviditelným vypařováním popisuje následující vztah

$$\dot{Q}_{vs} = 3,05 \cdot 10^{-3} S (p_{p(t_k)}'' - p_{p(t)}) \quad [\text{W}], \quad (1.8)$$

kde S je plocha povrchu těla [m^2]

$p_{p(t_k)}''$ - parciální tlak sytých vodních par při teplotě pokožky t_k [Pa],

$p_{p(t)}$ - parciální tlak vodních par v okolním vzduchu závislý na teplotě t a relativní vlhkosti φ [Pa].

Tepelný tok odváděný mokrým vypařováním potu $\dot{Q}_{vm}$ je velmi významným nástrojem termoregulace. Tělo si řídí jeho hodnotu k stálé tělesné teplotě podle potřeby a podle stavu okolního prostředí.

Přenos tepla dýcháním

Vdechovaný vzduch, jehož množství je závislé na fyzické zátěži, se v plicích zahřeje na 34 a 36°C a je zároveň sycen vodní parou. Tepelný tok odváděný dýcháním je potom rovný součtu tepla potřebného k ohřátí vzduchu a tepla potřebného k odpaření vody v plicích, což popisuje následující vztah

$$\dot{Q}_d = m c_p (t_v - t) + m l_{23} (x'' - x) \quad [\text{W}], \quad (1.9)$$

kde m [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$] je hmotnostní tok vzduchu plicemi, závislý na produkci tepla

$$m = 1,433 \cdot 10^{-6} \frac{\dot{Q}}{1 - \eta} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1.10)$$

c_p - měrná tepelná kapacita vzduchu za konstantního tlaku ($c_p = 1,01 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$),

t_v - teplota vydechovaného vzduchu ($t_v \approx 34^\circ\text{C}$),

l_{23} - měrné výparné teplo vody ($l_{23} = 2560 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$),

x'' - měrná vlhkost vydechovaného (nasyceného) vzduchu [kg/kg s.v.],

x - měrná vlhkost vdechovaného vzduchu.

Prostup tepla oděvem

Jelikož se lidské tělo nedokáže samo vyrovnat s tepelnými ztrátami do okolí nebo přebytečné teplo odvést, je nutné tyto procesy řídit určitou vrstvou oděvu. Tepelný tok přenášený konvekcí a radiací z povrchu oblečeného člověka prostupuje oděvem, což můžeme vyjádřit rovnicí

$$\dot{Q}_k + \dot{Q}_r = \frac{S(t_k - t_p)}{R_{cl}} \quad [\text{W}], \quad (1.11)$$

kde t_k je střední teplota povrchu pokožky [$^\circ\text{C}$],

t_p - teplota vnějšího povrchu oděvu [$^\circ\text{C}$],

S - povrch těla [m^2]

R_{cl} - tepelný odpor oděvu [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$].

Tepelný odpor R_{cl} závisí především na počtu vrstev látek, ze kterých se skládá. Pro tento odpor se také používá bezrozměrná veličina I_{cl} definovaná vztahem

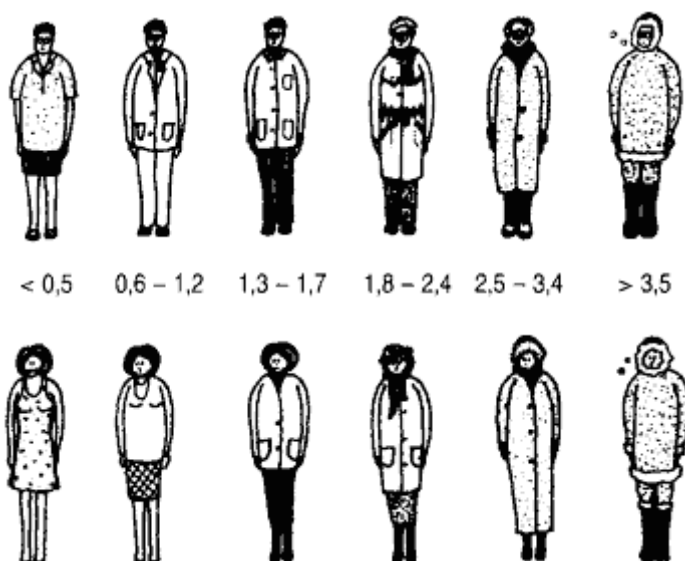
$$I_{cl} = \frac{R_{cl}}{0,155}, \quad (1.12)$$

pro níž se zavedlo jednotkové označení clo. 1clo odpovídá tepelnému odporu $0,155\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. Hodnoty tepelných odporů vybraných oděvů jsou vypsány v tabulce č. 2 dle [1].

Tabulka č. 2 Tepelný odpor oděvu

Druh oděvu	R_{cl} [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]	I_{cl} Clo
Bez oděvu	0	0
Šortky	0,015	0,1
Šortky, košile s krátkým rukávem, ponožky, sandály	0,047	0,3
Kalhoty, košile s dlouhým rukávem	0,078	0,5
Lehký pracovní oděv – košile, lehké kalhoty, blůza	0,091	0,59
Normální společenský oděv – košile, kalhoty, sako	0,154	1,0
Normální společenský oděv s teplým spodním prádlem a zimní kabát	0,333	2,15

Pro názornost zde ještě uvádím na obr. 1 tepelný odpor různých souborů oblečení dle [3].



Obr. 1 Hodnoty odporů oblečení v jednotkách clo

1.1.2 Rovnice tepelné pohody

První podmínkou k dosažení tepelné pohody je rovnice tepelné rovnováhy (1.2). Důležitým faktem je, jakým způsobem dosáhneme tepelné rovnováhy a podle toho se také budeme cítit. Pro příklad, v létě za velkého horka se začneme potit a tím vyrovnávat tepelný stav s okolím, jenomže pro nás to moc dobrý pocit nebude. Stejně tak v zimě za velkého chladu, kdy se nám začnou stahovat cévy a končetiny budou studené, tělo sice tepelně

vyrovnané s okolím bude, ale pro nás to nebude příjemné. Pro naši tepelnou pohodu tedy musí platit, aby se naše tělo co nejméně zapojovalo do vyrovnávání tepelné bilance s okolím.

Jedinými fyziologickými veličinami, ovlivňovanými autoregulací, jsou teplota pokožky t_k a tepelný tok mokřým pocením $\dot{Q}_{vm}$. Tyto veličiny jsou v závislosti na činnosti člověka vyjádřeny pro stav tepelné pohody následujícími vztahy.

$$t_k = 35,7 - 0,0275\dot{q}_m \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (1.13)$$

$$\dot{Q}_{vm} = 0,42S(\dot{q}_m - 58) \quad [\text{W}] \quad (\text{pro } \eta=0) \quad (1.14)$$

Tyto vztahy jsou považovány za druhou a třetí podmínku stavu tepelné pohody. Vyřešením rovnic (1.1) až (1.14) získáme výslednou rovnici tepelné pohody, kterou lze vyjádřit funkční závislostí

$$\dot{Q} = f(R_{cl}, f_{cl}, t, w, t_r, \varphi) \quad [\text{W}],$$

kde $\dot{Q}$ vyjadřuje činnost člověka,

R_{cl}, f_{cl} vyjadřuje vlastnosti oděvu,

t, w, t_r, φ vyjadřuje tepelný stav prostředí.

1.1.3 Hodnocení tepelného stavu prostředí

Pro hodnocení tepelného stavu prostředí se zjednodušeně používají odvozené veličiny, v nichž jsou zahrnuty účinky několika činitelů charakterizujících toto prostředí jako např. operativní teplota t_o ($^{\circ}\text{C}$). Ta je definována jako jednotná teplota uzavřeného černého prostoru, ve kterém by tělo radiací a konvekcí sdílelo stejně tepla, jako ve skutečném teplotně nehomogenním prostředí [9]. Jakmile známe radiální teplotu t_r ($^{\circ}\text{C}$) a teplotu okolního vzduchu t ($^{\circ}\text{C}$), operativní teplotu určíme ze vztahu

$$t_o = t_r + A(t - t_r), \quad (1.15)$$

kde A je funkcí rychlosti proudění vzduchu w [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] a pro $w = 0,05$ až $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ je $A=0,75\cdot w^{0,16}$

Pokud má rychlost proudění vzduchu v místnosti hodnotu menší než $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, můžeme operativní teplotu nahradit teplotou kulového teploměru obr. 2. Střední radiální teplotu vypočítáme dle vztahu

$$t_r = [(t_g + 273)^4 + 2,9 \cdot 10^8 \cdot w^{0,6}(t_g - t)]^{0,25} - 273,$$

kde t_g je výsledná teplota kulového teploměru o $\varnothing 0,10 \text{ m}$,

nebo také

$$t_r = [(t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot w^{0,6}(t_g - t)]^{0,25} - 273$$

pro kulový teploměr o $\varnothing 0,15 \text{ m}$.



Obr. 2 Kulový teploměr [10]

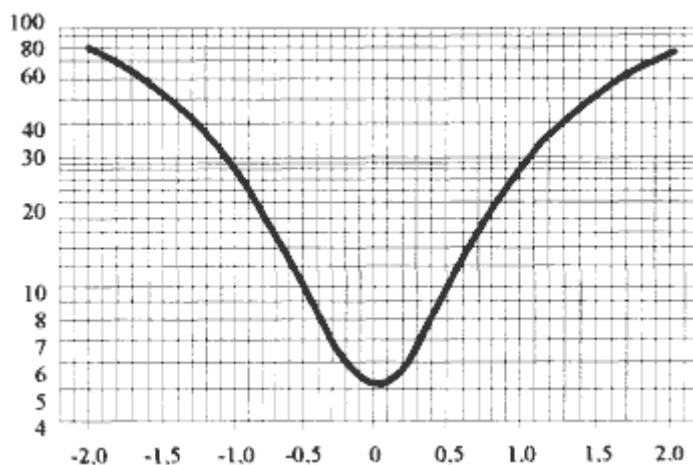
Přípustné hodnoty operativní teploty pro pracovní prostředí v závislosti na vykonávané činnosti a použitém oděvu jsou uvedeny v Nařízení vlády 361/2007 Sb. [4].

Pro hodnocení tepelného stavu prostředí v obytných místnostech se používá výsledná teplota měřená kulovým teploměrem. Požadavky na výslednou teplotu kulového teploměru v obytných místnostech některých staveb jsou uvedeny ve Vyhlášce č.6/2003 Sb. [5].

Dalším způsobem hodnocení tepelného stavu prostředí je podle normy ČSN ISO 7730 [6] posouzení pomocí PMV a PPD indexů. PMV (predicted mean vote) index předpovídá střední tepelný pocit podle stupnice

- +3 horko
- +2 teplo
- +1 mírně teplo
- 0 neutrálně
- 1 mírně chladno
- 2 chladno
- 3 zima.

PPD (predicted percentage dissatisfied) index nám předpovídá procentuální podíl nespokojených osob s tepelnými podmínkami. Tyto dva indexy nám dává dohromady diagram na obrázku č. 3, kde při známé hodnotě PMV můžeme určit PPD odečtením.



Obr. 3 PPD index jako funkce indexu PMV [3]

1.2 Čistota vzduchu a hygienické limity látek v ovzduší

1.2.1 Čistota vzduchu

Kromě tepelného komfortu okolního prostředí je další důležitou složkou komfortu čistota vzduchu. Vzduch v místnosti může být znečišťován různými zápachy, prachem, choroboplodnými zárodky a dalšími škodlivinami.

V místech pobytu lidí odchází z plic do ovzduší CO_2 a vodní pára. Vydechovaný vzduch obsahuje objemově cca 4% CO_2 , 5% vodní páry, 16% kyslíku a 75% dusíku. Někdy dojde k případu, že lidé v místnosti mají pocit vydýchaného vzduchu a je jim nepříjemné teplo. Samotná hodnota množství kyslíku se v tomto případě příliš nezmění, ale nositelem příčiny špatného pocitu je vydechovaná pára, která navýší relativní vlhkost a naruší tepelnou pohodu v místnosti.

Další příčinou zhoršování kvality vzduchu v místnosti jsou různé zápachy. Mohou to být zápachy např. z rozložených epitelů kůže a sliznic, z rozkladu výpotků a dalších sekretů lidského těla. Nošením oděvů z textilií, které už sami o sobě zapáchají, může ve spojení s potem zápach umocnit. Tento problém se řeší buď větráním nebo použitím různých deodorantů, rozstříkovaných v místnosti. Dalšími nejčastějšími zdroji zápachů jsou kuchyně, záchody, laboratoře apod.

Do kvality vzduchu také promlouvá množství prachu obsaženého v místnosti, který vzniká rozkladem a rozpadem organických a anorganických látek. V pravidelně udržované a čisté místnosti ho ale můžeme hodně eliminovat. Škodlivý prach, co do chemického složení, vzniká v průmyslových odvětvích, to už ale sahá mimo komfortní prostředí, o kterém tu je řeč.

V místnostech, kde se shromažďuje velký počet lidí, vznikají také choroboplodné zárodky, mezi které patří bakterie, viry, plísňe apod. Jelikož tyto zárodky nejsou schopny poletovat volně, vážou se na různé prachové částice. Z toho vyplývá, že jediným způsobem k jejich odstranění je dobré větrání a filtrace vzduchu.

Z úvahy o zvýšené teplotě v místnosti, jako o dalším faktoru ovlivňujícím kvalitu vzduchu, plyne, že se nám roztahují cévy za účelem regulace teploty těla a tím dochází také k pocení a vypařování výpotků do okolí. Tedy nadměrné teplo projevující se vysokou teplotou vzduchu můžeme brát také jako škodlivinu.

1.2.2 Hygienické limity látek v ovzduší

Hygienické limity látek v ovzduší pracovišť a způsoby jejich měření stanovuje Nařízení vlády 361/2007 Sb. [4].

Pro plyny, páry a aerosoly uvádí přípustné expoziční limity PEL a nejvyšší přípustné koncentrace NPK – P. Limity PEL jsou celosvětově časově vážené průměry koncentrací povolené v pracovním ovzduší během osmihodinové pracovní doby takové, aby by došlo i při celoživotní expozici zaměstnance k poškození zdraví. NPK – P jsou limity koncentrace látek, které během pracovní doby nemohou být nikdy překročeny.

Nařízení vlády také stanovuje přípustné expoziční limity pro prach. Pro celkovou koncentraci (vdechovatelnou frakci) uvádí PEL_c a pro respirabilní PEL_r . Vdechovatelná frakce jsou částice, které mohou být vdechnuty nosem či ústy. Respirabilní frakce jsou částice, které proniknou dýchacími cestami do částí, kde není rašínkový epitel nebo do plicních sklípků.

Koncentrace škodlivin se uvádějí koncentracemi hmotnostními [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$] nebo objemovými [% obj.;ppm]. Jednotka ppm (parts per million) je 10^{-4} % obj.

Požadavky na kvalitu vzduchu v pobytových místnostech některých staveb jsou uvedeny ve Vyhlášce č.6/2003 Sb.[5].

2 Klimatizace

Klimatizací vnitřního prostředí budov se rozumí úprava vzduchu, která má za úkol zajistit požadovanou čistotu, teplotu a vlhkost vzduchu, a to automaticky po celý rok. Tuto úpravu vytváří klimatizační zařízení, které se skládá z různých komponent a každá komponenta, má v tomto zařízení svůj úkol.

Hlavními komponentami pro úpravu vzduchu jsou:

- ohřívače a chladiče
- zvlhčovače
- chladicí zařízení
- ventilátory
- filtry
- zařízení pro zpětné získávání tepla (ZZT)

Klimatizační zařízení se dělí podle použití na komfortní a technologické.

komfortní- zajišťují nejvýhodnější stav vnitřního ovzduší s ohledem na osoby pobývající v klimatizovaném prostoru

technologické- upravují stav vzduchu na stav požadovaný průběhem technologických procesů

Z termodynamického hlediska jde hlavně o čtyři druhy úprav vzduchu, a to chlazení, ohřev, vlhčení a odvlhčování. Klimatizační zařízení zajišťuje dle svého složení komponent následující funkce:

- řízené větrání, tj. výměna vzduchu v místnosti za venkovní vzduch za současného odvodu škodlivin
- filtraci vzduchu, popř. další úpravy jako ionizaci a jiné speciální úpravy
- chlazení nebo vytápění místností, kde je faktorem teplota vzduchu
- úpravu vlhkosti vzduchu, tj. vlhčení nebo odvlhčování

Dnes se často setkáváme s pojmem klimatizace i při částečné úpravě vzduchu, např. pouze při chlazení, což ale patří do kategorie tzv. dílčí klimatizace.

2.1 Klimatizační systémy

Klimatizační systémy se dělí z hlediska kompaktnosti a potřeby klimatizovat určitý počet místností na ústřední systémy a klimatizační jednotky.

Ústřední klimatizační systémy jsou složeny z ústřední klimatizační strojovny obsahující zařízení na úpravu vzduchu, potrubního rozvodu a někdy také decentrálních jednotek, které sami dopravují vzduch v jednotlivých místnostech. Používají se pro ně převážně sestavná klimatizační zařízení v plechovém provedení obsahující filtry, ohřívače, chladiče, zvlhčovače, ventilátory a ZZT.

Klimatizační jednotky jsou oproti ústředním systémům malé a vhodné na úpravu mikroklimatu v jednotlivých místnostech.

Dle teplotnosných látek, které zajišťují potřebný komfort nebo požadovaný stav pro technologické procesy, se klimatizační systémy dělí na:

- vzduchové
- kombinované
- vodní
- chladičové

2.1.1 Vzduchové systémy

Jak již název podkapitoly napovídá, teplotnosnou látkou pro přenos tepla a chladu mezi zařízeními a klimatizovanou místností je vzduch, který se rozvádí vzduchovody. Vzduch je jako teplotnosná látka málo energeticky efektivní, a proto se při navrhování musí počítat s větším průtokem a rychlostí přenášeného vzduchu. Z tohoto důvodu se systémy dělí na:

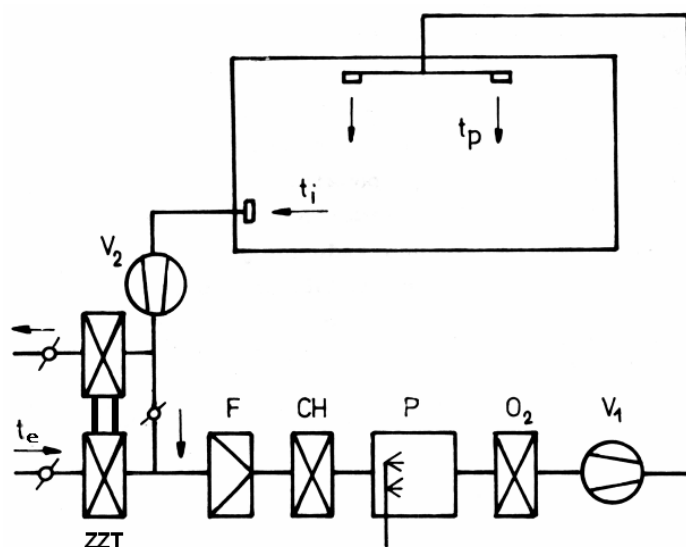
- nízkotlaké
 - jednokanálové
 - vícezónové
- vysokotlaké
 - jednokanálové
 - dvoukanálové

Nízkotlaké ústřední vzduchové systémy

Nízkotlaké ústřední vzduchové systémy se dle [7] vyznačují rychlostmi proudění vzduchu v hlavním rozvodném potrubí do 10 m/s a o úpravu vzduchu se stará ústřední strojovna, konkrétně zařízení pro úpravu vzduchu, ze které je vzduch rozváděn přímo do výústek jednotlivých místností bez možnosti stav tohoto vzduchu regulovat. V místnostech je tedy vytvářeno stejné mikroklima. Typickým příkladem těchto systémů je **jednokanálový ústřední klimatizační vzduchový systém** na obr. 4, kde vidíme řazení komponent v systému. V systému se využívá také část odváděného vzduchu jako vzduch oběhový a zároveň je možné využít ZZT k ohřívání čerstvého příchozího vzduchu. Princip funkce a využití ZZT je vysvětlena v kapitole 2.2. Na obr. 5 je znázorněn příklad, jak může být nízkotlaký ústřední vzduchový klimatizační systém řešen v budově.

Použití nízkotlakých ústředních vzduchových systémů

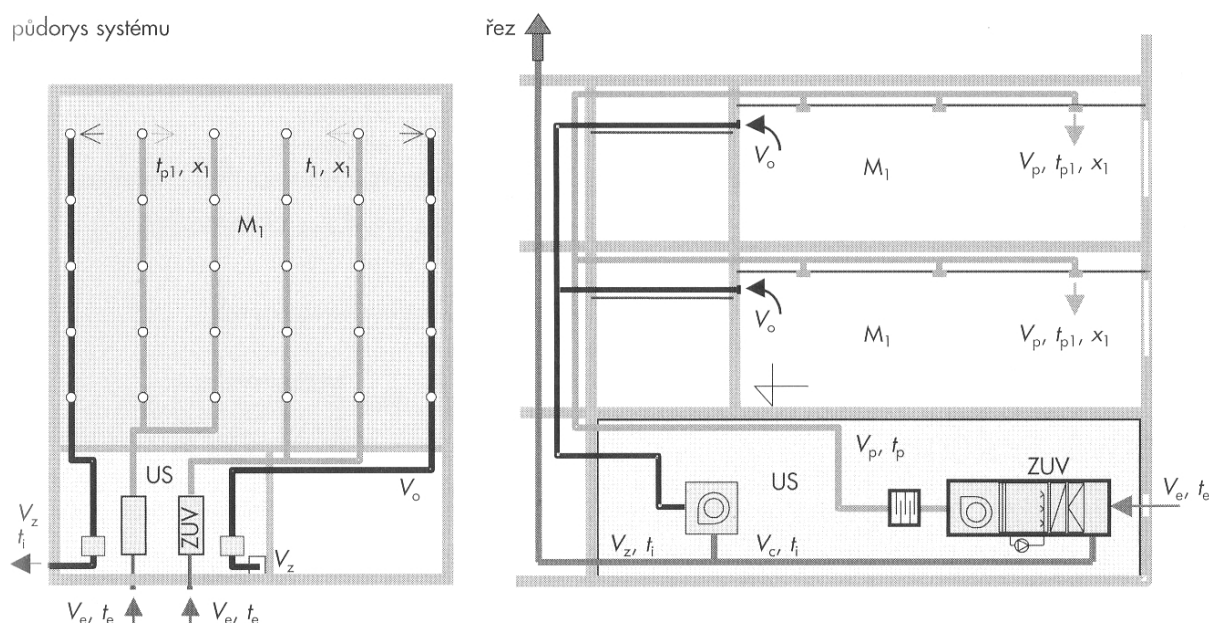
Systémy se používají pro klimatizaci jedné místnosti nebo pro místnosti se stejnými požadavky na mikroklima, jelikož mají jen jedno čidlo autoregulace. Hodí se tedy například pro obchodní domy, divadla, kina, přednáškové sály či sportovní haly. Pro svoji jednoduchost jsou poměrně levné.



Obr. 4 Nízkotlaký ústřední klimatizační systém jednokanálový [2] doplněný o ZZT

F – filtr, CH – chladič, P – zvlhčovač, O₂ – dohříváč, V₁, V₂ – ventilátor pro přívod a odvod vzduchu, ZZT – zařízení pro zpětné získávání tepla

půdorys systému



Obr. 5 Ústřední nízkotlaký vzduchový klimatizační systém pro klimatizaci více místností [7]

M₁ – interní mikroklima, US – ústřední strojovna, ZUV – zařízení úpravy vzduchu, V – objemový průtok vzduchu, t – teplota vzduchu, x – měrná vlhkost vzduchu

Indexy veličin: e – vnější, i – vnitřní, p – přiváděný, c – cirkulační, o – odváděný, z - odpadní

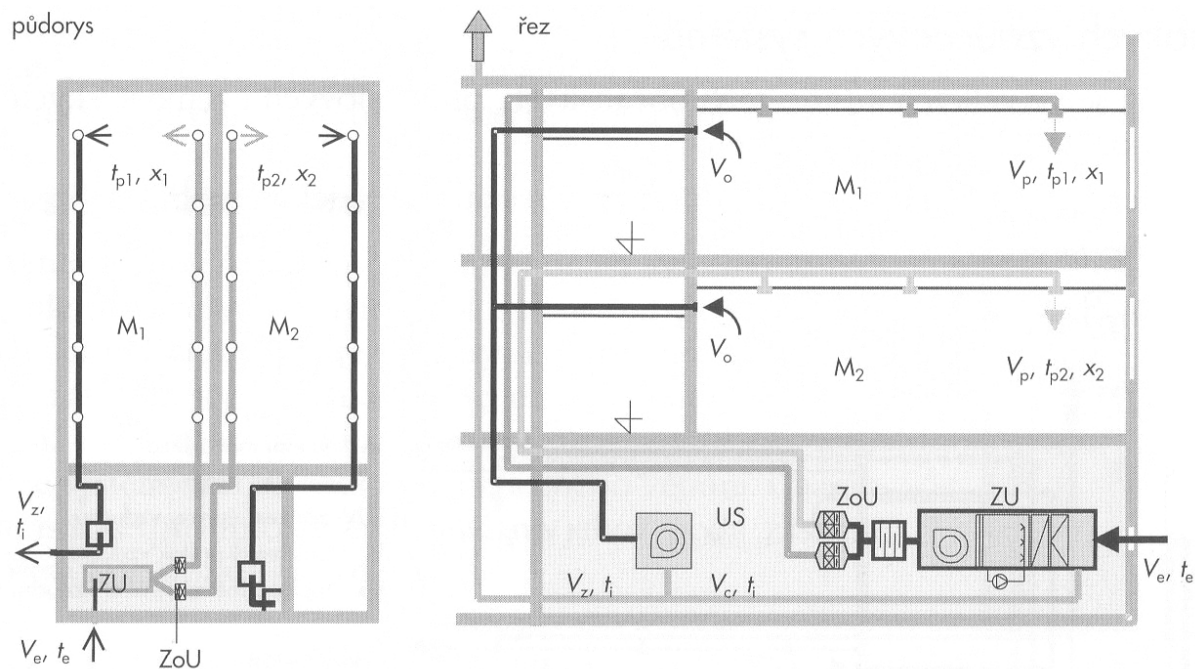
Nízkotlaké vícezónové vzduchové systémy

Vícezónové klimatizační systémy se od ústředních systémů příliš neliší. Vzduch je taktéž upravován v ústřední strojovně, kde vzduch projde určitou sestavnou jednotkou. V dalším kroku nastává změna, vzduch je doupravován v doplňkovém zařízení (ZoU). Toto zařízení zajišťuje rozvod teplého a studeného vzduchu a před každou z místností nebo zónou

se tento vzduch mísí na požadovanou teplotu. Odpadní vzduch je z místností odváděn samostatným potrubím a v zimě se může také využít na ohřev příchozího čerstvého vzduchu. Základní varianta systému je na obr. 6.

Použití vícezónových vzduchových systémů

Podobně jako u ústředních jednokanálových nízkotlakých systémů se zónové systémy využívají ve velkoprostorových budovách s tím rozdílem, že se můžou různé zóny klimatizovat na požadované mikroklima. Těmito budovami mohou být např. výstavní pavilony, výrobní haly, obchodní centra apod.



Obr. 6 Schéma nízkotlakého vícezónového klimatického systému [7]

$M_{1,2}$ – interní mikroklima, US – ústřední strojovna, ZU – zařízení základní úpravy vzduchu, ZoU – zařízení zónové úpravy vzduchu, V – objemový průtok vzduchu, t – teplota vzduchu, x – měrná vlhkost vzduchu

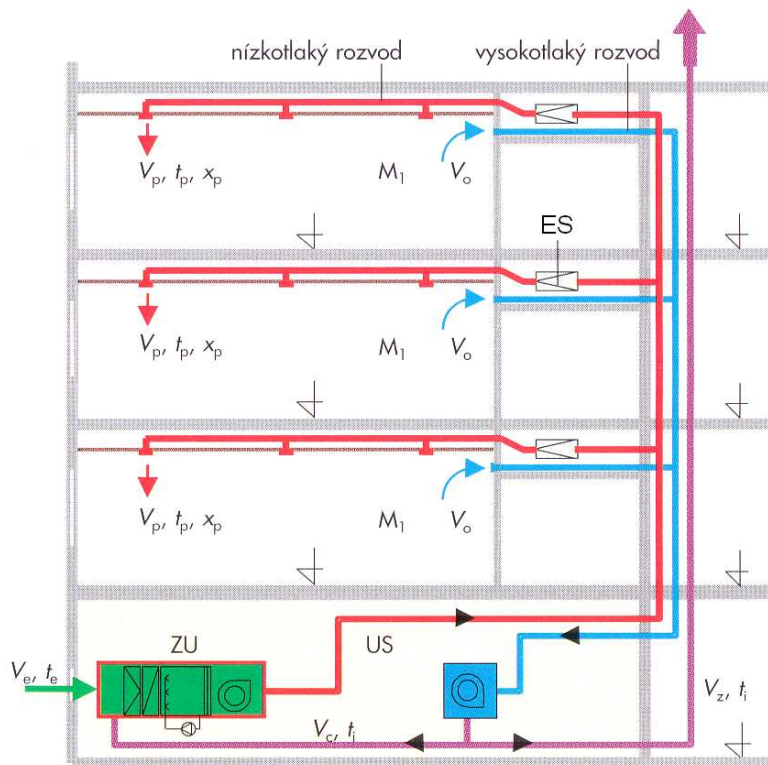
Indexy veličin: e – vnější, i – vnitřní, p – přiváděný, c – cirkulační, o – odváděný, z – odpadní

Jednokanálové vysokotlaké vzduchové systémy

Vysokotlaké systémy jsou velmi podobné nízkotlakým systémům, ale v jejich hlavní potrubní rozvodné síti proudí vzduch podstatně rychleji. Jeho rychlost se pohybuje přes 12 m/s do 25 m/s [2]. Výhodou je, že vyšší rychlost vzduchu umožňuje zmenšit velikost potrubí. Nevýhodou je naopak větší hlučnost a vyšší provozní náklady. Systém je tvořen ústřední strojovnou, odkud je upravený vzduch rozváděn vysokotlakou částí potrubí ke klimatizovaným místnostem. Před místnostmi je umístěna expanzní skříň. Výhodné jsou zejména expanzní skříně, které umožňují regulovat průtok vzduchu podle okamžité potřeby. Odváděný odpadní vzduch prochází nízkotlakou částí systému, kde jeho část může být využita jako vzduch cirkulační. Schéma jednokanálového vysokotlakého systému je na obr. 7.

Použití jednokanálových vysokotlakých vzduchových systémů

Systémy jsou vhodné do větších budov jako jsou obchodní centra, divadla nebo kina, tedy tam, kde je zapotřebí intenzivního větrání. Jejich výhodou oproti nízkotlakým je již výše zmíněný menší zastavěný prostor vzduchovody a možnost regulace průtoku vzduchu do místnosti. Základní varianta však umožňuje pouze konstantní průtok.



Obr. 7 Jednokanálový vysokotlaký vzduchový systém [7]

M_1 – interní mikroklima, US – ústřední strojovna, ZU – zařízení základní úpravy vzduchu, ES – expanzní skříň, V – objemový průtok vzduchu, t – teplota vzduchu, x – měrná vlhkost vzduchu

Indexy veličin: e – vnější, i – vnitřní, p – přiváděný, c – cirkulační, o – odváděný, z – odpadní

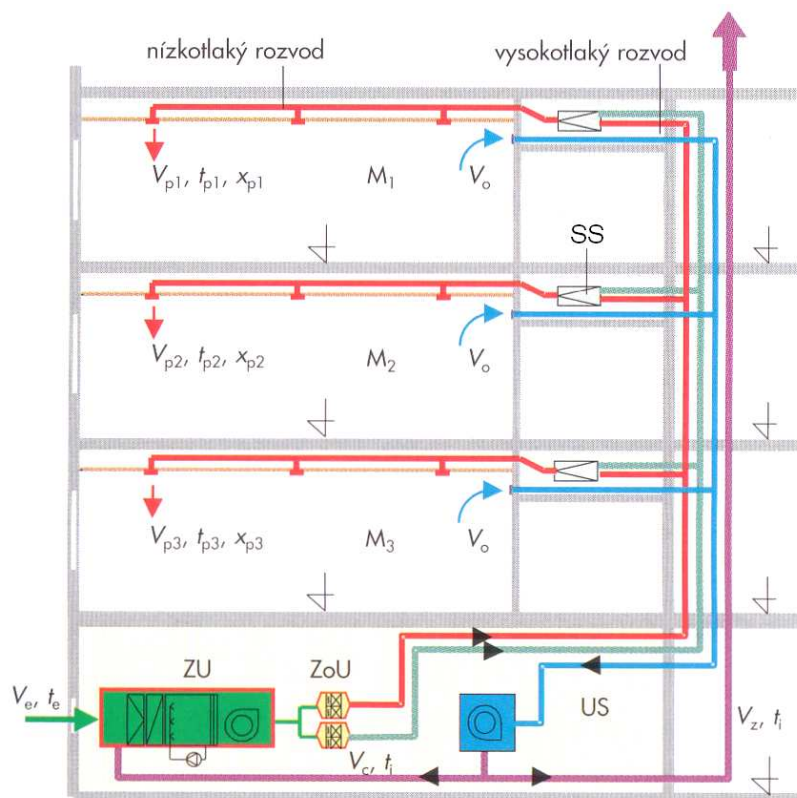
Dvoukanálové vysokotlaké vzduchové systémy

Dvoukanálový systém upravuje vzduch v ústřední strojovně na dva stavy, studený a teplý. Odtud je vzduch rozváděn budovou dvěma samostatnými vysokotlakými vzduchovody k místnostem, před nimiž je umístěna směšovací skříň, která současně zajišťuje redukci tlaku. Pomocí této skříně se může měnit teplota přiváděného vzduchu a tedy je systém více variabilní k potřebné teplotě v místnosti. Teplota v kanálu chladného vzduchu je povětšinou roku stálá okolo 10 až 13 °C. Teplota v kanálu teplého vzduchu je však proměnlivější, v létě se udržuje na hodnotě o 3 K vyšší než je teplota cirkulačního vzduchu a v zimě je s ohledem na venkovní teplotu vyšší o 30 až 40 K než cirkulační vzduch. Příklad vysokotlakého dvoukanálového systému je na obr. 8.

Použití dvoukanálových vysokotlakých systémů

Systémy jsou vhodné do budov s větším počtem místností jako jsou kancelářské budovy. Oproti jednokanálovému systému mají nespornou výhodu regulovat jak průtok

vzduchu, tak i jeho teplotu. Naproti tomu v ústřední strojovně je zapotřebí více zařízení a rozvodná síť je objemnější. Část odpadního vzduchu je také možné využít jako vzduch cirkulační.



Obr. 8 Dvoukanálový vysokotlaký vzduchový systém [7]

$M_{1,2,3}$ – interní mikroklima, US – ústřední strojovna, ZU – zařízení základní úpravy vzduchu, ZoU – zařízení zónové úpravy vzduchu, SS – směšovací skříň, V – objemový průtok vzduchu, t – teplota vzduchu, x – měrná vlhkost vzduchu

Indexy veličin: e – vnější, i – vnitřní, p – přiváděný, c – cirkulační, o – odváděný, z – odpadní

2.1.2 Kombinované klimatizační systémy

Kombinované systémy mají hlavní teplotonosnou látku vodu, ta se stará o dodávku tepla či chladu do místnosti. Vzduchová část systému se stará především o úpravu a výměnu primárního větracího vzduchu v místnosti. Úprava primárního vzduchu se provádí v ústřední strojovně a vzduch je pak rozváděn vysokotlakým potrubím do indukčních jednotek umístěných v jednotlivých místnostech.

Vodní část systému je tvořena z vertikální nebo horizontální rozvodné soustavy, která je tvořena z potrubí, čerpadel a armatur.

Podle provedení vodní potrubní sítě se dělí systémy na:

- dvoutrubkové
- třítrubkové
- čtyřtrubkové

Dvoutrubkový klimatizační systém nepřepínací

Rozvod vody u tohoto systému je tvořen dvěma trubkami, jedna přivádí do výměníku vnitřní jednotky jen studenou vodu a druhá trubka jí opět odvádí, tepelné ztráty během chladných dní pokrývá primární vzduch. Systém je vhodný pro teplé oblasti.

Dvoutrubkový klimatizační systém přepínací

Rozvod vody je opět tvořen dvěma trubkami s tím rozdílem, že se může přepínat mezi rozváděním teplé a studené vody do výměníku vnitřní jednotky v místnosti.

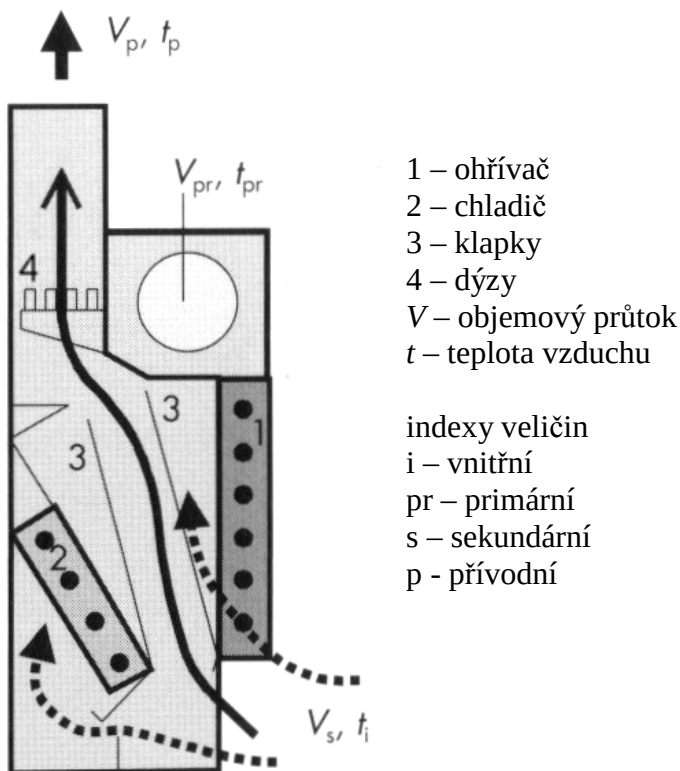
Třítrubkový klimatizační systém

Tento systém přivádí trubkami teplou a studenou vodu do výměníku zvlášť a třetí trubkou společnou se voda odvádí. Dnes se již systém nepoužívá.

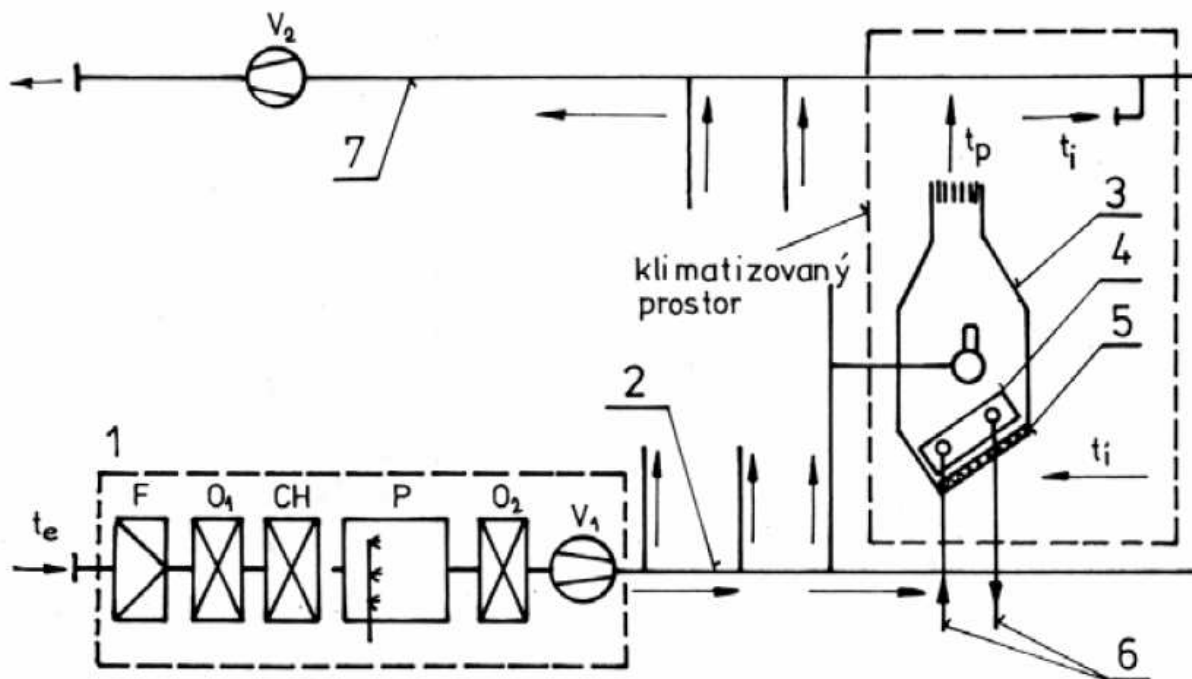
Čtyřtrubkový klimatizační systém

Rozvod vody je tvořen dvěma dvojicemi trubek, jedna dvojice přivádí a odvádí do výměníku vnitřní jednotky studenou vodu, druhá dvojice stejně tak do dalšího výměníku teplou vodu. Jedná se tedy o chladič a ohřívač vzduchu v jednotce.

Tento kombinovaný klimatizační systém umožňuje díky koncovému prvku v místnosti, kterým je indukční jednotka, regulovat mikroklima podle potřeby. Primární čerstvý vzduch je upravován v ústřední strojovně a je veden vysokotlakým potrubím do indukční jednotky obr. 9. Indukční jednotka nasává sekundární vzduch z místnosti a následně jej dopravuje v chladiči nebo ohřívači. Nasávání zajišťuje řada dýz umístěných v jednotce. Voda je do indukční jednotky přiváděna resp. odváděna potrubním vodním systémem. Schéma kombinovaného klimatizačního systému s indukční jednotkou je na obr. 10.



Obr. 9 Schéma parapetní indukční jednotky [7]



Obr. 10 Schéma kombinovaného klimatizačního systému s indukční jednotkou [2]

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

Použití kombinovaných klimatizačních systémů s indukčními jednotkami

Indukční systémy jsou velice komfortní a využívají se v občanských budovách jako jsou hotely, restaurace, kancelářské budovy. Výhodou je především tichý provoz díky absenci ventilátoru v jednotce. Dnes jsou často nahrazovány systémem vodním vzhledem k jeho nižším pořizovacím nákladům.

2.1.3 Vodní klimatizační systémy

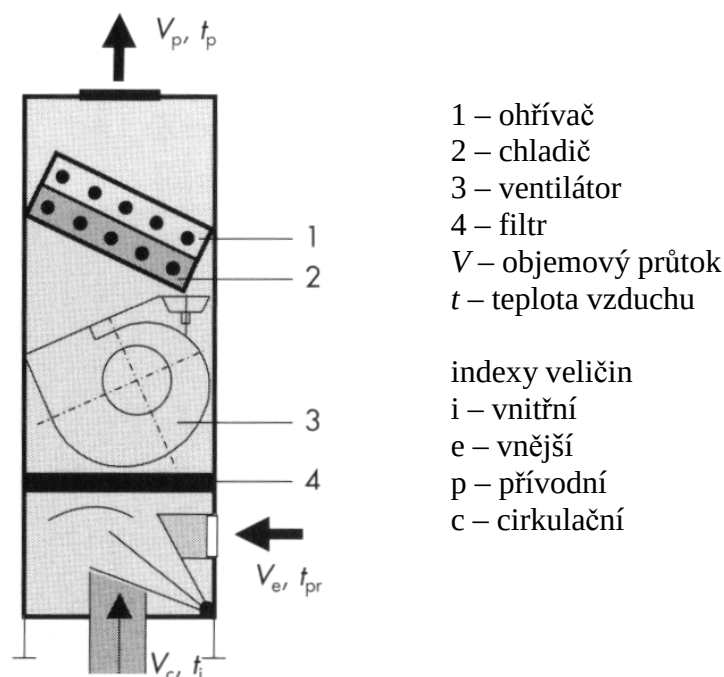
Vytápění a chlazení místností u těchto systémů zajišťuje výhradně voda. V současné době se ke klimatizování obytného prostoru používají dva druhy vodních systémů:

- systémy s jednotkami fancoil (klimakonvektory)
- chladicí strop

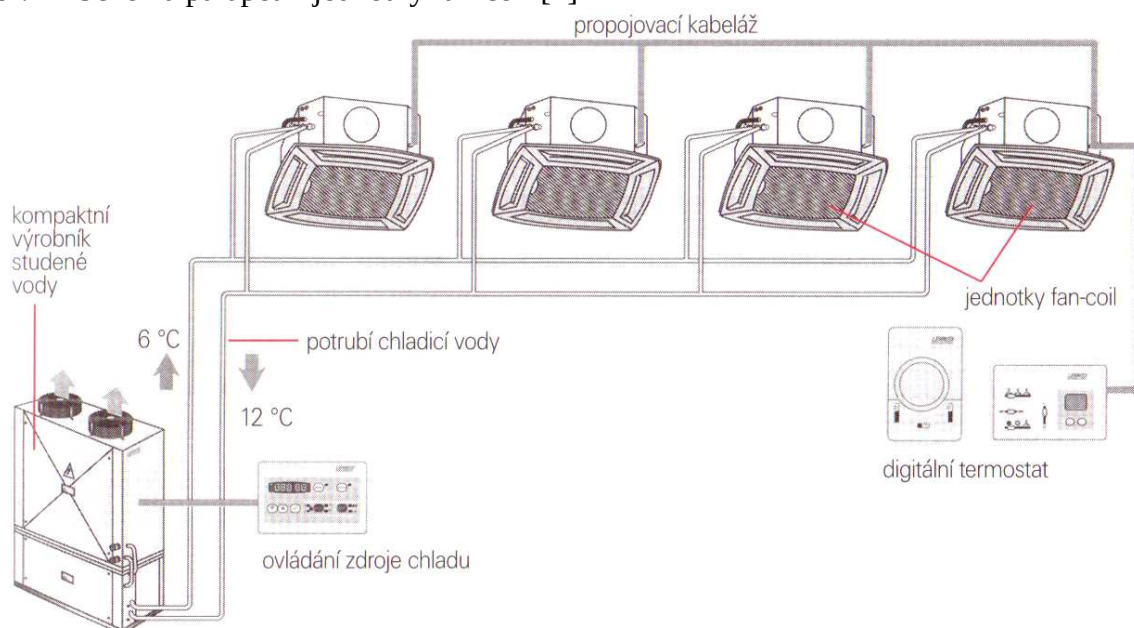
Systémy s jednotkami fan-coil

Hlavní součástí tohoto systému jsou ventilátorové konvektory, tzv. klimakonvektory či fan-coily (obr. 11) umístěné v každé místnosti napojené na dvourubkový či čtyřrubkový rozvod vody. Tyto systémy mají díky ventilátoru umístěnému uvnitř jednotky větší schopnost rychleji měnit interní klima než systémy s indukčními jednotkami. Fan-coil obsahuje kromě ventilátoru s filtrem také vodní ohřívač a chladič. Ohřívač a chladič jsou napojeny na rozvod teplé a chladné vody. Výhodou je možnost regulovat teplotu. Na obr. 12 je uvedeno schéma

systému s výrobníkem studené vody pro režim chlazení. Větrání v místnosti se může provádět čtyřmi způsoby, a to vedením primárního vzduchu mimo fan-coil ze strojovny přímo do místnosti nebo vedením vzduchu ze strojovny přes fan-coil nebo přísáváním venkovního vzduchu přímo pomocí fan-coilu otvorem ve fasádě anebo přirozeným větráním okny.



Obr. 11 Schéma parapetní jednotky fan-coil [7]



Obr. 12 Schéma rozvodu chladicí vody u vodního klimatizačního systému s fan-coily [11]

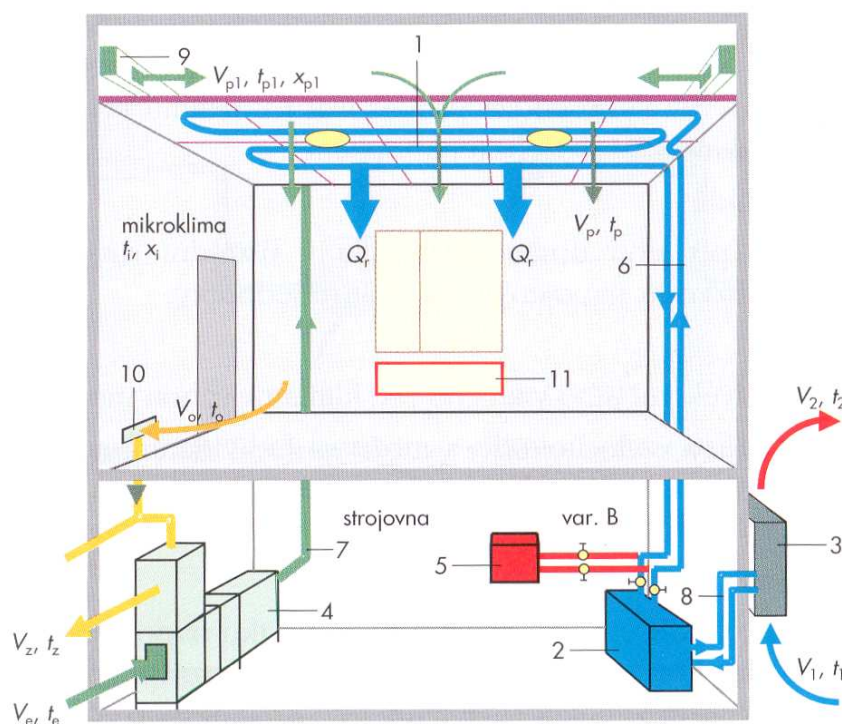
Použití vodních klimatizačních systémů s fan-coily

Systémy s fancoily jsou více upřednostňované než systémy s indukčními jednotkami. Velkou výhodou je absence vzduchovodů, jsou levnější a mají i menší provozní náklady, protože se mohou využívat jen některé klimakonvektory podle potřeby a ostatní mohou být vypnuty. Jsou využitelné ve výškových budovách, bankách, správních budovách, restauracích či hotelech.

Vodní klimatizační systém chladicí strop

Systém chladicí strop nemá koncovou jednotku pro úpravu vzduchu, ale výměník tepla tvořený potrubím umístěným pod stropem místnosti. Potrubím protéká voda a ta odebírá teplo resp. pokrývá tepelnou zátěž prostoru případně i tepelné ztráty. Teplota povrchu chladicího stropu se pohybuje dle [11] v rozmezí 16-20 °C s tím, že je důležité strop udržet na vyšší teplotě než je teplota rosného bodu vzduchu v místnosti, jinak by mohlo docházet k orosení a možnému vzniku plísní při dlouhodobějším působení vlhkosti.

Přívod větracího vzduchu zajišťuje nízkotlaký vzduchový systém s ústřední strojovnou a potřebným potrubním rozvodem, který je schopen také vzduch ohřívat a vlhčit. Pokud celou tepelnou zátěž pokryje chladicí strop, ve strojovně se potom vzduch upravuje na stav požadovaný v místnosti. Příkladné řešení chladicího stropu je na obr. 13.



Obr. 13 Schéma systému chladicí strop [7]

1 – chladicí strop – zavěšený systém sestavený z panelů, lamel, trubek; 2 – jednotka pro chlazení vody se vzduchem chlazeným kondenzátorem; 3 – kondenzační jednotka vzduchem chlazená; 4 – vzduchotechnická jednotka (filtrace, vlhčení, ohřev, event. chlazení); 5 – zdroj tepla (výměník, kotel) – var. B; 6 – rozvod vody – chladicí, event. otopné; 7 – rozvod přívodního vzduchu; 8 – rozvod chladiva; 9 – koncový element přívodního vzduchu; 10 – koncový element odváděného vzduchu; 11 – otopné těleso – doplňkový prvek; Q_r – sálavý, event. tepelný tok; V – objemový průtok; t – teplota; x – měrná vlhkost vzduchu
Indexy veličin: e – vnější, i – vnitřní, p – přívodní, o – odváděný, z – odpadní, 1 – vstupní, 2 – výstupní

Použití vodních klimatizačních systémů chladicí strop

Systém chladicí strop má z termodynamického hlediska velkou výhodu, pro vytvoření požadovaného mikroklimatu využívá hlavně sálavé složky chlazení či ohřevu a není tudíž zapotřebí velkých výměn vzduchu a s tím spojené rychlé proudění vzduchu, které naopak vyžadují vzduchové systémy. Z toho plynou další výhody, potrubí s přiváděným čerstvým vzduchem může být menších rozměrů. Nevýhodou jsou zejména vyšší investiční náklady a již

zmíněná možnost orosení stropu, jelikož systém nemá možnost vzduch odvlhčit na rozdíl od systému s fancoily.

Systém chladicí strop se stejně jako předcházející systémy využívají v bankách, kancelářích, restauracích apod.

2.1.4 Chladivové klimatizační systémy

U těchto systémů se pro přenos tepla a pokrytí tepelné zátěže, případně částečně tepelných ztrát klimatizované místnosti využívá chladiva. Systémy pracují převážně v chladicím cyklu, v zimě se však dají využít v režimu tepelného čerpadla. Vhodné jsou také k přečerpávání tepla z více tepelně zatížené místnosti do méně tepelně zatížené místnosti a naopak.

Chladivové systémy jsou většinou dělené systémy tzv. split systémy, jelikož mají jednu vnější jednotku a jednu či více jednotek vnitřních oddělené, ty jsou spojené potrubím s chladivem. Vnější jednotka obsahuje kompresor, vzduchem chlazený kondenzátor a ventilátor. Chlazení vzduchu ve vnitřní jednotce je prováděno pomocí výparníku. Chladivové systémy nejsou ale jen split systémy, ale také okenní klimatizátory nebo mobilní jednotky.

Podle provedení se chladivové systémy dělí takto:

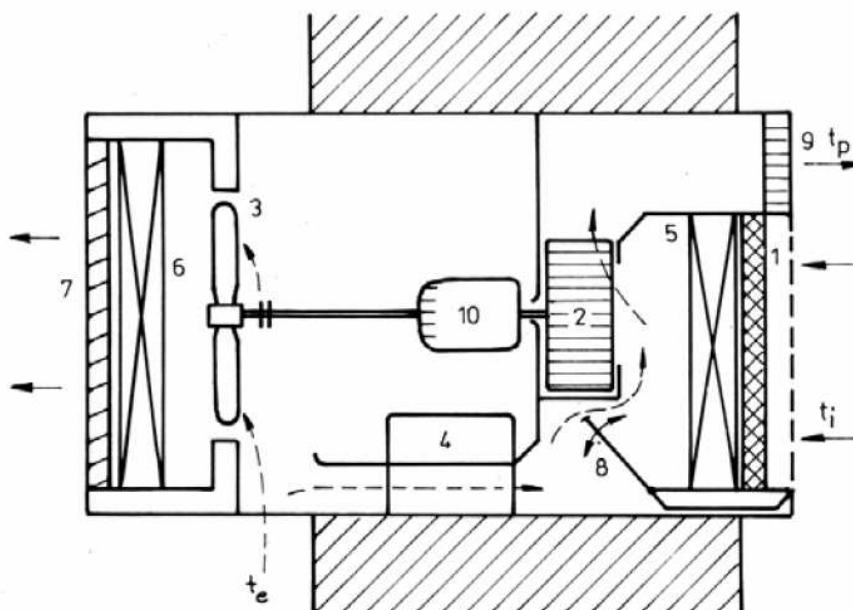
- okenní klimatizátory
- mobilní klimatizační zařízení
- dělené chladivové systémy, tzv. split
 - systémy chladivové split
 - systémy chladivové multisplit
 - systémy chladivové multisplit s proměnným průtokem chladiva
 - systémy chladivové multisplit s proměnným průtokem chladiva a přečerpáváním tepla

Okenní klimatizátory

Tyto jednotky mají vestavěné chladicí zařízení se vzduchem chlazeným kondenzátorem, který je umístěn vně místnosti. Mohou pracovat s oběhovým a částečně i čerstvým vzduchem. Umisťují se přímo do oken nebo se zabudují do stěny oddělující místnost a venkovní prostor. V zimě může klimatizátor fungovat i jako tepelné čerpadlo a dodávat tak do místnosti teplo, může se využít i vestavěného elektrického ohřívače vzduchu, pokud je jím klimatizátor vybaven. Dnes se spíše využívají klimatizátory v režimu tepelného čerpadla. Schéma okenního klimatizátoru je na obr. 14.

Použití okenních klimatizátorů

Jednotky se instalují do jednotlivých místností. Jejich výhodou je příznivá cena a jednoduchá montáž. Nevýhodou je poměrně velká hlučnost způsobená ventilátorem.



Obr. 14 Okenní klimatizátor [2]

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 zařízení

Je to kompaktní klimatizační zařízení s vestavěným chladicím okruhem. Zařízení je vybaveno pružnou hadicí pro odvod vzduchu proudícího přes kondenzátor mimo místnost. Hadice je vyvedena buď oknem nebo otvorem ve zdi. Zařízení je většinou vybaveno kolečky, což usnadňuje jeho přemísťování.

Použití mobilních klimatizačních zařízení

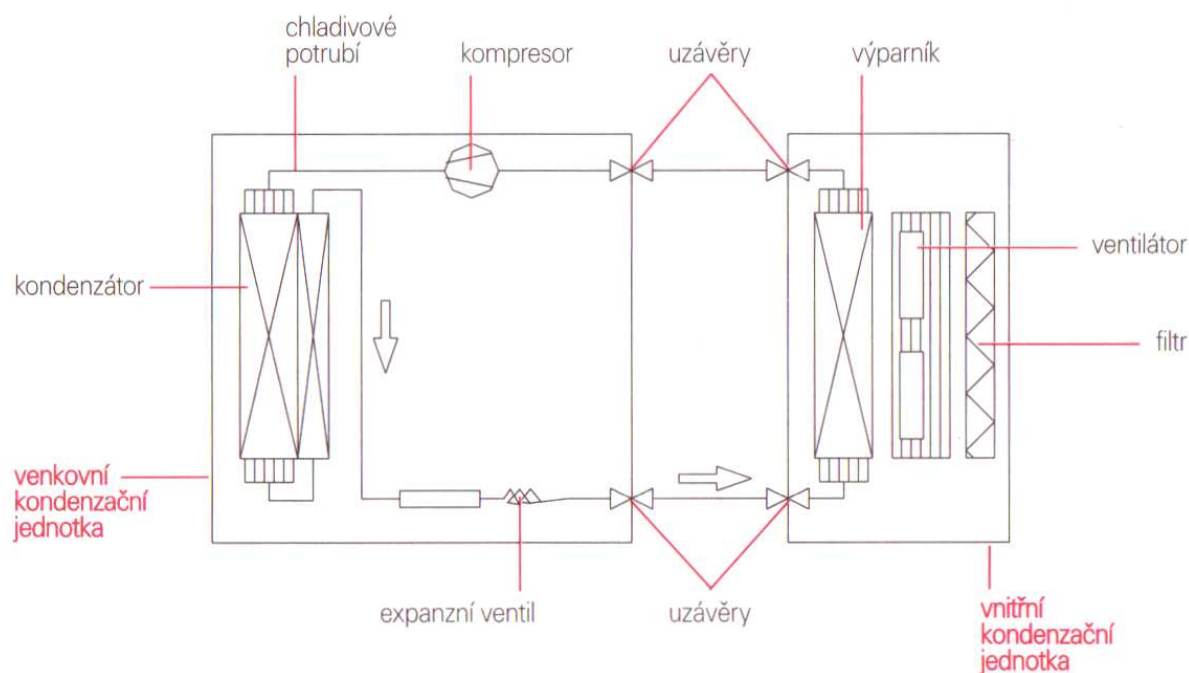
Pro svoji kompaktnost se zařízení hodí ke klimatizování kanceláří, bytů, skladů, stavebních buněk. Často se využívá v pronajatých prostorách, kde není možno provádět stavební úpravy.

Dělené chladivové systémy - split

Je to základní chladivový systém, který je tvořen z jedné vnitřní a jedné venkovní jednotky. Ve vnitřní ventilátorové jednotce je výparník, který zajišťuje chlazení vzduchu. Kompresor s kondenzátorem chlazeným vzduchem je umístěn ve venkovním prostoru.

Jednotka vnitřní a vnější jsou propojeny potrubním, ve kterém koluje chladivo. Chladivo během oběhu mění svoje skupenství, ve vnitřní jednotce se vypařuje a tím odebírá teplo z místnosti, naopak ve venkovní jednotce v kondenzátoru chladivo předává teplo okolnímu vzduchu. V zimě se některé systémy dají využít i k vytápění při provozu v režimu tepelného čerpadla. Základní schéma systému split je na obr. 15.

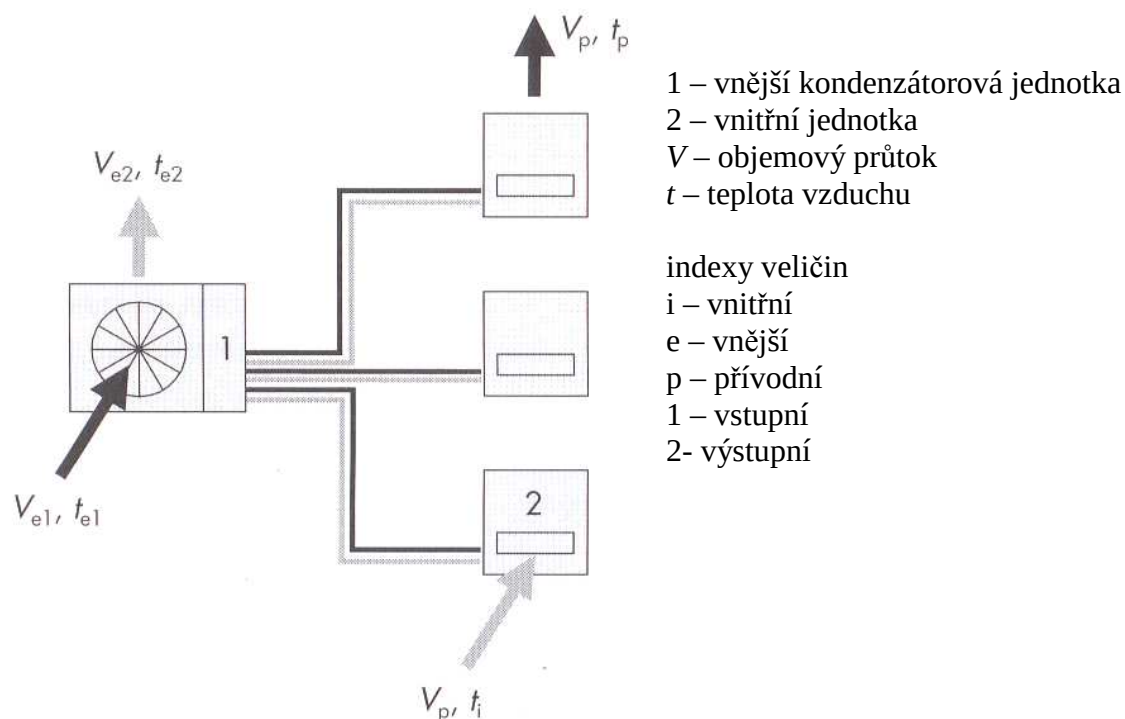
Větrání u tohoto systému se zajišťuje otevíráním oken nebo pomocí samostatného větracího systému.



Obr. 15 Základní schéma split systému [11]

Dělené chladivové systémy - multisplit

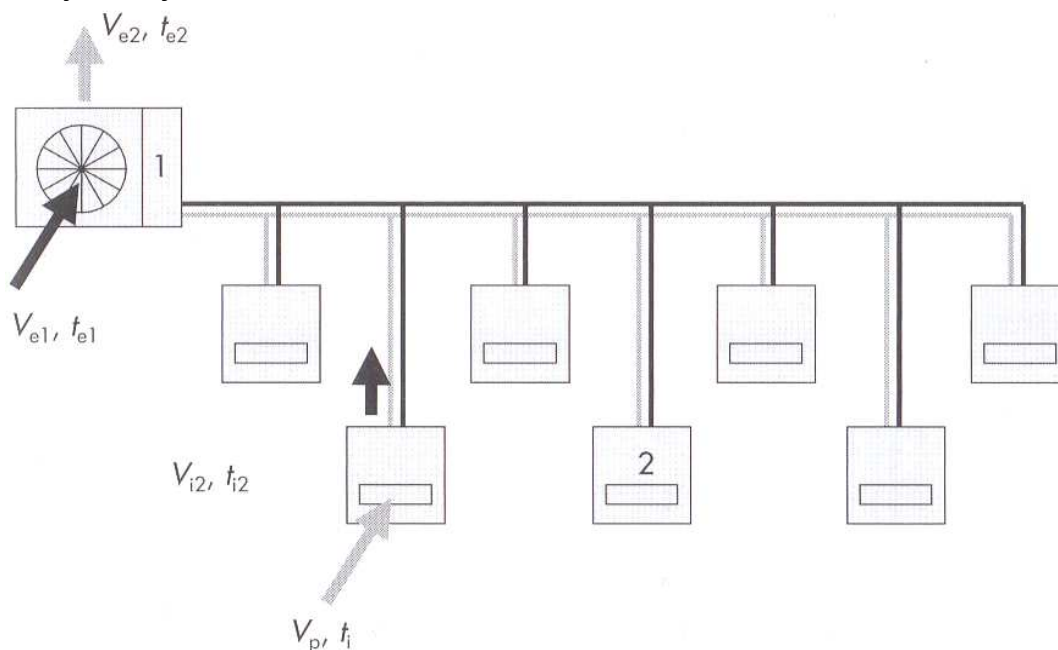
Systém, který má jednu venkovní a zpravidla do pěti vnitřních jednotek. Multisplit systémy jsou výhodnější než jednoduché split systémy, protože nepotřebují ke každé vnitřní jednotce jednu venkovní. Tímto se ušetří místo na střeše či v okolí domu a na jednu vnitřní jednotku vyjdou menší finanční náklady. Schéma systému multisplit je na obr. 16.



Obr. 16 Schéma chladivového systému multisplit [7]

Dělené chladivové systémy - multisplit s proměnným průtokem chladiva

Systém je tvořen dle [8] až 44 vnitřními jednotkami napojenými na jednu venkovní jednotku. Regulace chladicího výkonu se u těchto systémů provádí změnou průtoku chladiva. Schéma systému je na obr. 17.



Obr. 17 Schéma chladivového systému multisplit s proměnným průtokem chladiva [7]
 1 – vnější kondenzátorová jednotka, 2 – vnitřní jednotka, V – objemový průtok, t – teplota vzduchu
 Indexy veličin: i – vnitřní, e – vnější, p – přívodní, 1 – vstupní, 2- výstupní

Dělené chladivové systémy - multisplit s proměnným průtokem chladiva a s přečerpáváním tepla

Systém je co do provedení téměř stejný jako předchozí, ale s funkcí přečerpávání tepla může pracovat až 64 vnitřních jednotek na jednu venkovní [8]. Kromě využití systému jako tepelného čerpadla má ještě jednu výhodu, obsahuje totiž inteligentní regulaci, čímž umožňuje přečerpávat teplo mezi místnostmi. Tento systém umožňuje v některých aplikacích zajistit přívod čerstvého vzduchu do vnitřní mezistropní jednotky. Schéma je stejné jako u předcházejícího systému na obr. 17.

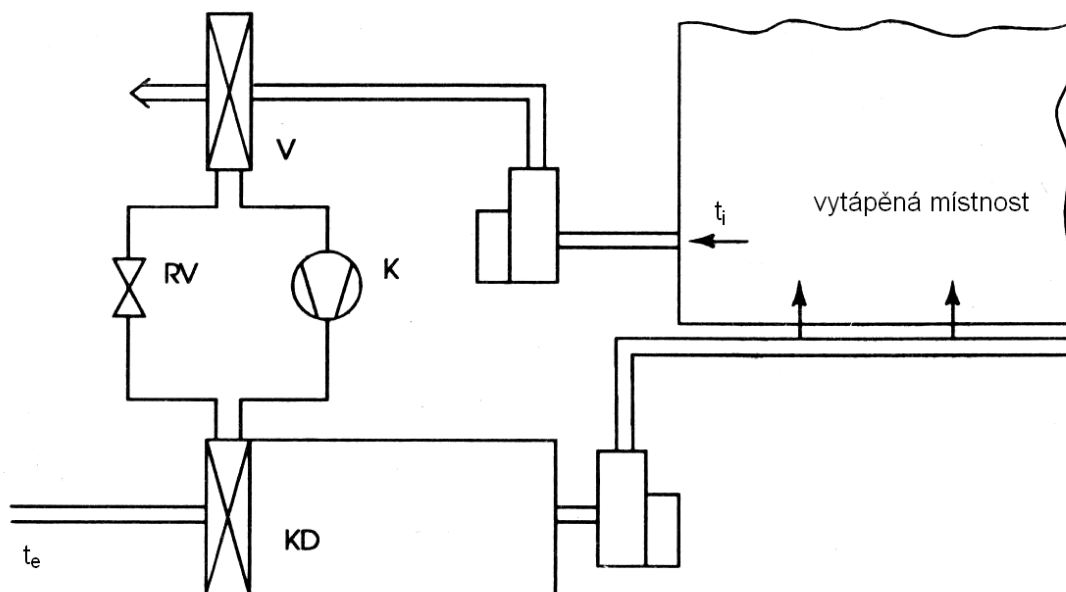
Split-systém ve funkci tepelného čerpadla

Split systémy umožňují díky reverznímu chodu v zimě také přitápět. Výměník ve vnitřní jednotce slouží v tomto režimu jako kondenzátor a naopak výměník ve venkovní jednotce jako výparník. Systémy jsou v tomto režimu schopny pracovat v teplotách až do -15°C , může ale docházet k namrzání venkovní jednotky, proto se spíše přitápí přerušovaně.

2.2 Možnosti využití tepelných čerpadel

Tepelná čerpadla

Jsou to kompresorová zařízení, u kterých je hlavní komponentou předávající teplo kondenzátor. Jedná se v podstatě o obrácený režim než při chlazení. Odváděný teplý odpadní vzduch proudí odváděcím vzduchovodem přes výparník, ve kterém se odpařuje chladivo. V další fázi jsou vypařené páry chladiva stlačovány kompresorem, čímž se zvýší teplota nasycených par a nakonec páry kondenzují v kondenzátoru, který se zahřívá a předává teplo přiváděnému studenému vzduchu v přívodním vzduchovodu. Schéma tepelného čerpadla je na obr. 18.



Obr. 18 Schéma tepelného čerpadla pro zpětné získávání tepla z odváděného vzduchu [9]
V – výparník, K – kompresor, KD – kondenzátor, RV – redukční ventil, t_e – přiváděný vzduch, t_i – vnitřní odváděný vzduch

Tepelná čerpadla jsou investičně i provozně drahá. Mají ale obrovskou výhodu, nepotřebují mít celé zařízení na výměnu tepla ve společném vzduchovodu a rozměry jejich potrubí s chladivem jsou velmi malé. To umožňuje mít výparník a kondenzátor i více vzdálené od sebe, aniž by potrubí zabíralo hodně místa nebo překáželo na budově. Účinnost tepelných čerpadel se vyjadřuje topným faktorem COP (coefficient of performance).

V současné době se klimatizační systémy vybavují také jinými zařízeními pro zpětné získávání tepla (ZZT). Tato zařízení slouží k předávání tepla mezi odpadním odváděným vzduchem a přiváděným čerstvým vzduchem a zvyšují tak hospodárnost celého systému. Bez těchto zařízení by odpadní vzduch unikl nevyužitý a navíc by byl samotný systém více zatížen na potřebný topný výkon.

Základními ZZT jsou:

- dvojice rekuperačních lamelových výměníků
- deskové výměníky
- tepelné trubice
- regenerační výměníky

Dvojice rekuperačních lamelových výměníků

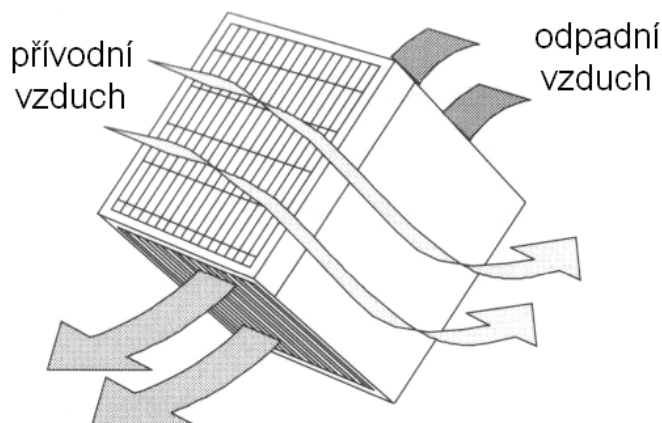
Zařízení se skládá ze dvou výměníků propojených potrubím, ve kterém je nemrznoucí kapalina. Jeden výměník je umístěn ve vzduchovodu s příchozím čerstvým vzduchem a druhý ve vzduchovodu odpadním. Přenos tepla zajišťuje teplotonosná látka, o jejíž pohyb mezi výměníky se stará oběhové čerpadlo, proto mohou být oba proudy vzduchu od sebe i více vzdáleny.

Účinnost přenosu tepla toho zařízení dle [2] se pohybuje mezi 40 až 60 %.

Deskové výměníky

Výměník je tvořen soustavou desek s mezerami 3 až 6 mm. Mezi deskami, které mají hladký, tvarovaný nebo žebrovaný povrch, proudí střídavě přívodní a odpadní vzduch (obr. 19). Desky jsou vyrobeny z hliníku, plastických hmot nebo i ze skla (pro chemický průmysl).

Účinnost tepelné výměny se pohybuje v rozmezí 50 až 70 %.

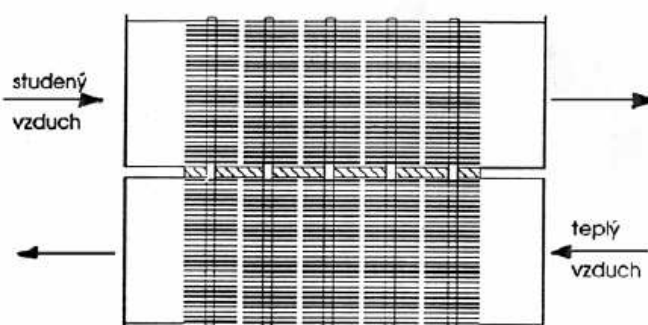


Obr. 19 Deskový výměník [7]

Tepelné trubice

Jsou to žebrované trubky, uchycené do rámu. Uvnitř trubic je chladivová náplň asi do 1/3 výšky. Používají se hlavně gravitační trubice, schéma jejich provedení je na obr. 20. Spodní částí potrubí proudí teplý vzduch, ten odpařuje chladivo v trubicích, vypařené syté páry chladiva stoupají do horní části trubice, kolem které proudí studený vzduch, trubice mu předávají teplo a zároveň chladivo kondenzuje na stěnách a stéká opět dolů.

Účinnost těchto tepelných výměníků se pohybuje okolo 50 až 60 %.

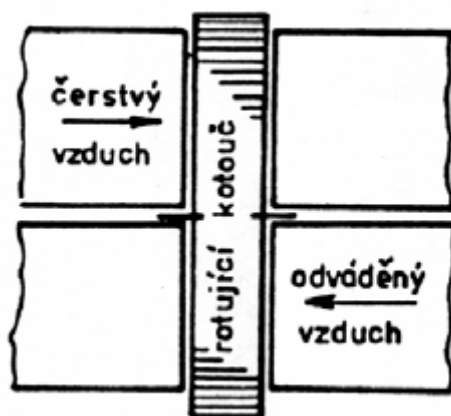


Obr. 20 Schéma gravitačních tepelných trubic [2]

Regenerační výměníky

Jejich hlavní vlastností je střídavá změna styku povrchu teplosměnné plochy s přívodním a odvodním vzduchem. Existují dva druhy těchto výměníků, a to přepínací a rotační. Rotační (obr. 21) jsou více používané. V potrubí, které je rozděleno na dvě poloviny, je umístěn buben, který se otáčí a teplosměnná plocha, tvořená z kanálků o průměru 3 mm, předává při rotaci teplo chladnějšímu vzduchu. Výměník může přenášet i vlhkost, povrch výměníku musí být ale vyroben z hygroskopického materiálu.

Regenerační výměníky mají ze všech ZZT nejvyšší účinnost, která se pohybuje v rozmezí 80 až 90 %.



Obr. 21 Schéma rotačního výměníku [2]

Zařízení pro zpětné získávání tepla, jakými jsou výše popsané výměníky, se využívají hlavně ve vzduchových systémech nebo všude tam, kde se upravuje primární vzduch ve strojovnách. Tepelné čerpadlo se používá ve vzduchových systémech, ale také v chladivových split systémech nebo okenních klimatizátorech.

Nejvíce používanými ZZT jsou dvojice lamelových výměníků, deskové výměníky a nejúčinnější rotační výměníky. U dvou posledně jmenovaných výměníků je největší nevýhodou nutnost mít u sebe přívodní a odvodní vzduchovod, díky tomu je celkový vzduchový rozvod rozměrný a je velmi náročný na prostor budovy.

Závěr

Cílem práce bylo udělat rozbor faktorů ovlivňujících stav prostředí s ohledem na pobyt lidí v místnostech budov a vypracovat literární rešerši rozdělení komfortních klimatizačních systémů a jejich použití, tyto systémy porovnat a zhodnotit. Dále bylo za úkol pojednat o možnosti využití tepelných čerpadel v klimatizačních systémech.

Mikroklima je pojem, který je pro člověka v místnosti velmi důležitý. Každý člověk se chce dobře cítit v místnosti, kde pobývá. To, jak se právě cítí, ovlivňují faktory jako jsou teplota vzduchu, teplota povrchu stěn a předmětů, rychlost proudění vzduchu v místnosti, vlhkost vzduchu, oděv, tělesná konstituce a činnost člověka. Z tohoto výčtu vyplývá, že pocit, který člověk právě má, může ovlivňovat sám a i za pomoci technického vybavení, starajícího se o dané mikroklima, pokud je v místnosti instalováno. Matematické vyjádření tepelné výměny mezi člověkem a prostředím popisuje rovnice tepelné rovnováhy a její dílčí složky. Pro příjemný pocit je ale nutné, aby se člověk do tepelné výměny příliš nezapojoval, neboť by tato činnost způsobovala pocení či prochladnutí. Stav tepelné pohody popisuje rovnice tepelné pohody, která je funkční závislostí několika faktorů a vychází z rovnice tepelné rovnováhy společně s dvěma rovnicemi vyjadřující fyziologické veličiny člověka. Hodnocení tepelného stavu prostředí se provádí za pomoci kulového teploměru nebo pomocí posouzení PMV a PPD indexů.

Důležitým faktorem pro kvalitu prostředí je také čistota vzduchu. V místnostech, kde pobývají lidé je nutné přivádět stále čistý čerstvý vzduch, protože v nevětraných místnostech snadno vzniká prach, viry, choroboplodné zárodky nebo různé zápachy. Pro pracovní dobu jsou stanovené přípustné expoziční limity nebo nejvyšší přípustné koncentrace plynů, par a aerosolů. Limity stanovuje příslušné Nařízení vlády.

Klimatizace je úprava vzduchu, která zajišťuje požadované mikroklima. Ke komfortní úpravě vzduchu slouží klimatizační systémy, které jsou v této práci uvedeny. Jedná se o vzduchové, kombinované, vodní a chladivové systémy. Vzduchové systémy vyžadují ústřední strojovnu na úpravu vzduchu, jsou velmi rozměrné a díky tomu více náročné na instalaci, navíc u nich většinou nelze regulovat teplotu přiváděného vzduchu do místnosti. Podobně jsou na tom kombinované systémy co do rozměrnosti, ale jejich výhodou je přítomnost indukční jednotky v místnosti a možnost regulovat mikroklima. Kombinované systémy jsou nahrazovány vodními systémy využívající klimakonvektory, jelikož odpadávají veškeré vzduchovody. Vodní systémy jsou levnější a mají nižší provozní náklady. V současné době se ale nejvíce rozšiřují a vyvíjí chladivové dělené systémy split. Jejich největší výhodou je možnost připojení několika vnitřních jednotek, které jsou regulovatelné, na jednu venkovní jednotku, což ušetří hodně místa. Nevýhodou je nutnost větrání okny nebo pomocí samostatného větracího systému.

U některých systému je možno využít kompresorové zařízení jako tepelné čerpadlo a získávat tak teplo z odváděného vzduchu a předávat ho přiváděnému. Kromě tepelného čerpadla se dají využít i zařízení pro zpětné získávání tepla.

Tato bakalářská práce mi ukázala jaké možnosti v současné době existují v oblasti klimatizačních systémů, myslím si však, že s postupující dobou přijdou nové varianty a nápady jak klimatizace více zdokonalit.

Seznam použitých zdrojů

- [1] JANOTKOVÁ, Eva. *Technika prostředí*. Vyd. 1. Brno: Ediční středisko VUT, 1991. 201 s. ISBN 80-214-0258-X.
- [2] JANOTKOVÁ, Eva. *Technika prostředí* [online] Brno, 2009 [cit. 2009-04-01]
Dostupné z: < <http://ottp.fme.vutbr.cz/vyuka/technikaprostredi/SylabyTP4.pdf>>
- [3] CENTNEROVÁ, Lada. *Tepelná pohoda a nepohoda* [online]. Vydáno: 13.12.2000, [cit. 2009-04-03]
Dostupné z: < <http://www.tzb-info.cz/t.py?i=404&h=1&t=2&th=56#lit>>.
- [4] Nařízení vlády 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci
- [5] Vyhláška č.6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.
- [6] ČSN EN ISO 7730 Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního komfortu: říjen 2006
- [7] GEBAUER, G. RUBINOVÁ, O. HORKÁ, H.: *Vzduchotechnika*. Vyd. 2. Brno: ERA, 2007. 262 s. ISBN 978-80-7366-091-8.
- [8] [Www.daikin.cz](http://www.daikin.cz): *VRV III katalog* [online]. [cit. 2009-05-11].
Dostupný z:
< http://www.daikin.cz/binaries/VRV%20Catalogue%20CZ_tcm88-6270.pdf >.
- [9] CHYSKÝ, J. HEMZAL, K. a kol.: *Větrání a klimatizace. Technický průvodce č. 31*. Bolit –Bpress Brno, 1993
- [10] LEHOCKÁ, H. JIRÁK, Z.: *Kulový teploměr a jeho vývoj z hlediska hodnocení tepelné pohody organismu* [online]. Vydáno: 28.11.2005, [cit. 2009-03-03]
- [11] RUBINOVÁ, O. RUBINA, A.: *Klimatizace a větrání*. Brno: ERA, 2004. 115 s. ISBN 80-86517-30-6.

Seznam použitých zkratk a symbolů

Popis	Symbol	Jednotka
Měrná tepelná kapacita	c_p	$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
Poměr povrchu oblečeného člověka k povrchu lidského těla	f_{cl}	-
Tepelný odpor oděvu	I_{cl}	clo
Měrné výparné teplo vody	l_{23}	J.kg^{-1}
Hmotnostní tok	$\dot{m}$	kg.s^{-1}
Parciální tlak sytých vodních par při teplotě pokožky t_k	$p_{p(tk)}$	Pa
Parciální tlak vodních par v okolním vzduchu	$p_{p(t)}$	
Hustota metabolického tepelného toku	$\dot{q}_m$	W.m^{-2}
Tepelný tok	$\dot{Q}$	W
vedením	$\dot{Q}_{ved}$	
konvekcí	$\dot{Q}_k$	
radiací	$\dot{Q}_r$	
vypařováním	$\dot{Q}_v$	
dýcháním	$\dot{Q}_d$	
Tepelný odpor oděvu	R_{cl}	$\text{m}^2.\text{K.W}^{-1}$
Povrch	S	m^2
Povrch oblečeného člověka	S_k	
Teplota	t	$^{\circ}\text{C}$
	T	K
Objemový průtok	V	$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$
Rychlost	w	m.s^{-1}
Měrná vlhkost vzduchu	x	kg/kg s.v.
Součinitel přestupu tepla	α	$\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$
Emisivita	ε	-
Mechanická účinnost lidského těla	η	-
Relativní vlhkost vzduchu	φ	-
Přípustné expoziční limity	PEL	mg.m^{-3} nebo % obj.
Nejvyšší přípustné koncentrace	NPK - P	
Přípustné expoziční limity celkové	PEL_c	
Přípustné expoziční limity respirabilní	PEL_r	
Topný faktor	COP	-

Indexy

Označení	Význam
c	cirkulační
e	vnější
i	vnitřní
o	odváděný
p	přiváděný
pr	primární
s	sekundární
z	odpadní