

Otopné a chladicí stropy

Heating and cooling ceilings

Doc. Ing. Jiří BAŠTA, Ph.D.
 ČVUT v Praze, FS, Ústav techniky prostředí

Autor informuje o možnosti použití chladicích stropů i pro vytápění obytných prostorů v administrativních budovách. Vychází z podmínek hygienických předpisů na dodržování operativní teploty, která je odlišná od vnitřní teploty vzduchu, a která je rozhodující pro dosažení tepelné pohody prostředí. Dále se zabývá omezujícími parametry, tj. povrchovou teplotou chladicího stropu – možností kondenzace vzdušné vlhkosti, a Fangerovým kritériem pro rozdíl radičních teplot. Dále v článku stručně popisuje typy uzavřených a otevřených chladicích stropů a jejich použití při různých typech kancelářských prostorů. V závěru článku uvádí různé druhy hydraulického zapojení chladicích stropů v kombinaci s vytápěním.
Klíčová slova: chladicí stropy, chlazení – vytápění, administrativní budovy

Recenzent
 Ing. Marcel Kadlec

The author informs about the use of cooling ceilings also for heating the staying spaces of administration buildings. The information is based on requirements of hygienic regulations for keeping the operational temperature which is different from the internal air temperature and which is decisive for reaching the thermal comfort of the stay environment. Further he follows with discussing the limiting parameters, ie. surface temperature of the cooling ceiling – possibility of air humidity condensation, and Fanger's criterion for the difference of radiation temperatures. The article further describes briefly the types of closed and open cooling ceilings and their use for different types of office rooms. At article conclusion the author indicates different types of hydraulic interconnections of cooling ceilings in combination with heating.

Key words: cooling ceilings, cooling – heating, administration buildings

Otopné a chladicí stropy v kancelářských budovách zaznamenaly v posledních letech značný rozmach. Především zavěšené stropy jsou dnes multifunkčními stavebními prvky pro:

- prostorovou akustiku – absorpce hluku,
- osvětlení,
- interiérové uspořádání,
- zakrytí trubních rozvodů a ostatní instalační techniky,
- dodávku tepla a chladu do prostoru – vytápění/chlazení.

Stropní vytápění je podstatně starší, než stropní chlazení. S postupem doby se však i pro tento způsob vytápění změnila podmínky:

- lepší tepelně-technické vlastnosti stěn, oken a fasád,
- výrazně menší netěsnost spár a tak i redukováná tepelná ztráta infiltrací,
- velký podíl prosklených ploch u moderních staveb, který přináší i v zimním období značné tepelné zisky z oslunění,
- nárůst vnitřních tepelných zisků kancelářskou komunikační technikou, osvětlením a lidmi.

Na základě tohoto vývoje se zkracují doby provozu vytápění a naopak vzrůstá potřeba chlazení. Dnešní moderní budovy se tak pohybují s měrnou tepelnou ztrátou prostupem okolo 30 W/m² a v mnohých prostorách potřebu tepla pokryjí pouze tepelné zisky. Chlazení poté přebírá hlavní úlohu a vytápění se u mnoha nových kancelářských budov omezuje pouze na pondělní ráno nebo na požadavek dlouhých provozních přestávek.

TEPELNÁ POHODA

Úspěšnost chladicích stropů a s tím i dobrou použitelnost kombinovaných stropů s vytápěcí a chladicí funkcí je třeba posuzovat v širších souvislostech. Nespokojenost v tzv. klimatizovaných budovách vedla v posledních 15 letech k rozsáhlému výzkumu v oblasti tepelné pohody lidí. Úkolem bylo snížení procenta nespokojených a stanovení nových technických standardů. Víme, že se poměrně rychle redukuje duševní výkonnost pracovníků s rostoucí teplotou

vzduchu (obr. 1). Důležitá se však ukázala i potřeba nově definovat určující teplotu. Všechny výzkumy potvrdily, že střední radiční teplota (dříve účinná teplota okolních ploch) má mnohem větší vliv na procento nespokojených, než se dříve předpokládalo.

S definovanou operativní teplotou t_o (jednotná teplota černého uzavřeného prostoru, kde by tělo sdílelo konvekci i sáláním stejné množství tepla jako ve skutečném teplotně nesourodém prostředí)

$$t_o = A \cdot t_i + (1-A) \cdot t_r$$

kde

$$A = f(w),$$

t_i – teplota vzduchu,

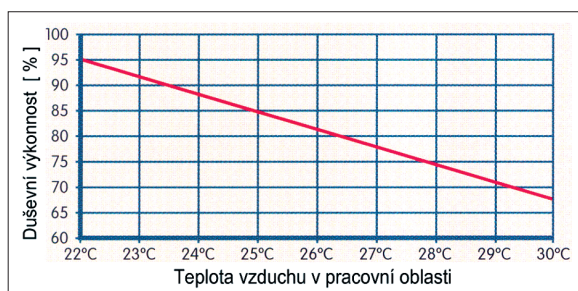
t_r – střední radiční teplota,

w – rychlost proudění vzduchu

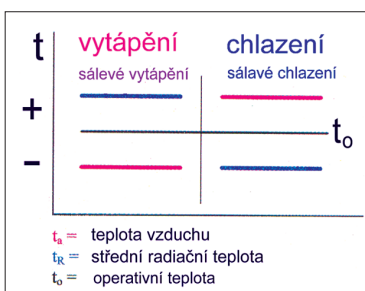
Ize lépe vystihnout tepelný pocit lidí, než s pouhou teplotou vzduchu. U prostor s otopnými či chladicími stropy je rychlost proudění vzduchu menší jak 0,2 m/s a součinitel $A = 0,5$. Vztah pro operativní teplotu se tak zredukuje na střední hodnotu $t_o = 0,5 \cdot (t_i + t_r)$.

S nově definovanou operativní teplotou lze sálavé vytápění či chlazení lépe postihnout. V případě chlazení je teplota vzduchu vyšší než teplota operativní a naopak střední radiční teplota je nižší. V případě stropního vytápění je tomu právě naopak (obr. 2).

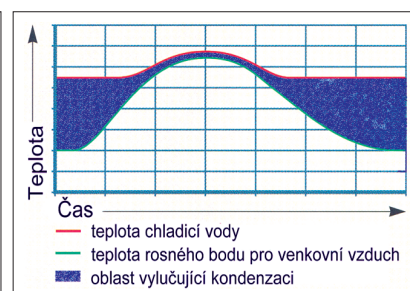
Rovněž byl zaujat nový postoj k rychlosti proudění vzduchu. Otopné/chladicí stropy zajistí pouze odvod tepelné zátěže a proto je jejich provoz možný jen v kombinaci s přívodem hygienického množství vzduchu, který zajistí rovněž odvod produkované vlhkostní zátěže. Ukazuje se, že je potřebné zohlednit nejen vliv rychlosti proudění vzduchu ale rovněž i intenzitu turbulence jako neopomenutelný parametr. Jestliže přistoupíme na německý údaj, že je hygienicky přijatelné přivádět 5 až 7 m³/h.m² vzduchu, nebude problém dodržet požadované maximální rychlosti proudění, včetně udržení intenzity turbulence v nízkých mezích a zajištění přijatelné relativní vlhkosti.



Obr. 1 – Duševní výkonnost pracovníků v závislosti na teplotě vzduchu



Obr. 2 – Operativní teplota a teplota vzduchu při sálavém vytápění a chlazení



Obr. 3 – Rozsah mezi teplotou rosného bodu a teplotou chladicí vody

VYTÁPĚNÍ A CHLAZENÍ ZAVĚŠENÝMI STROPY

Zkušenosti ukazují, že lze s chladicími a otopnými stropy dosahovat vysoké úrovně tepelného komfortu. Díky velkým teplosměnným plochám systémy vykazují malý rozdíl mezi teplotou teplosměnné látky a teplotou vzduchu. Tím se otevírají možnosti i pro použití alternativních zdrojů energií. Soudobým požadavkům tak vyhovují i chladicí stropy, v jejichž konstrukci byly použity kapilární rohože vytvářející rovnoměrně rozloženou chladicí síť. Kapilární sítě jsou jednoduše regulovatelné a povrchová teplota chladicího stropu neklesá pod hodnotu 20 °C. Dnes by zřejmě již nikdo neprojektoval starý způsob zalití ocelových trubek do nosné betonové konstrukce stropu (Crittall).

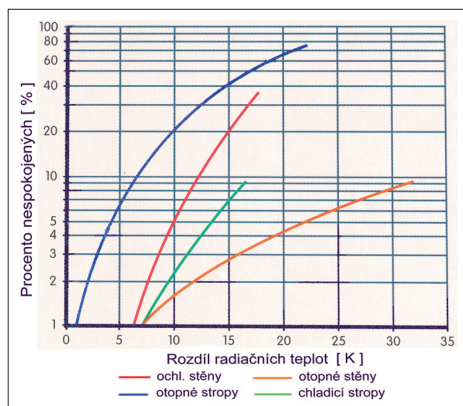
Pro stropní vytápění a chlazení se používají především ty stropní systémy, které mají co největší podíl sálání. Zatím co při provozu chlazení se dosahuje podíl sdílení tepla sáláním až 60 %, u vytápění se pohybujeme nad 80 %.

MEZE POUŽITÍ

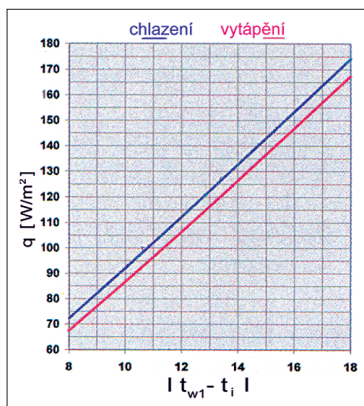
Zatím co u stropního chlazení jsme výkonově omezeni především stran kondenzace vzdušné vlhkosti na chladicích stropích, u vytápění jsou to kritéria tepelné pohody prostředí, jako je intenzita sálání v oblasti temene hlavy a podle Fangerova rozdílu radičních teplot. U centrálního hlídání teploty rosného bodu musí regulace pracovat s jakýmsi bezpečným rozsahem mezi teplotou rosného bodu venkovního vzduchu, odváděného vzduchu či vzduchu v referenční místnosti a teplotou přívodní chladicí vody (obr. 3).

Fangerovo kritérium (obr. 4) je dáno rozdílem radičních teplot otopné / chladicí plochy a okolních ploch. Rovněž je zahrnuto v DIN 1946 a platí následovně pro:

- otopné stropy $|t_1 - t_2| \leq 3,5 \text{ K}$
- ochlazené stěny $|t_1 - t_2| \leq 8,0 \text{ K}$
- chladicí stropy $|t_1 - t_2| \leq 17,0 \text{ K}$
- otopné stěny $|t_1 - t_2| \leq 19,0 \text{ K}$



Obr. 4 – Asymetrie radičních teplot ve vztahu k procentu nespokojených



Obr. 5 – Typické průběhy výkonu chladicích a otopných stropů s kovovým podhledem



Obr. 6 – Uzavřený chladicí strop

Dobré stropní vytápěcí / chladicí systémy přenášejí teplotu otopné / chladicí vody na spodní stranu stropu s malými ztrátami, čímž se dosahuje velkého vytápěcího / chladicího výkonu (obr. 5). Rovněž materiály, které se dnes používají na zakrytí podhledu mají malou tepelnou setrvačnost a reagují během řádově minut na změny výkonu.

TYPY CHLADICÍCH STROPŮ

Z hlediska provedení chladicích a otopných stropů je lze rozdělit na:

uzavřené chladicí stropy – sdílející teplo převážně sáláním. Vylučují provětrávání chladicích panelů vzduchem z místnosti. Tyto panely by měly být na horní straně odizolovány, aby nedocházelo k úniku výkonu stropem. Uzavřené chladicí stropy mohou mít různé provedení v podobě:

- velkoplošných panelů upevněných na vodní potrubí, které je pevně fixováno ke stropu,
- elementů s integrovanými vodními kanálky – na jejich povrchu je vytvořena umělá ozdobná omítka požadovaných vlastností,
- protlačovaných profilů s předformovanými vodními kanály (s vlisovaným měděným potrubím),
- velkoplošných panelů (kazet) s kapilárovým potrubím či
- integrované stropní plochy s kapilárovým potrubím.

otevřené chladicí stropy – mající buď otvory mezi panely, nebo jsou v panelech falešného stropu, který je pod výměňky tepla s nezakrytou perforací. Vzduch z místnosti se tak účinkem přirozeného vztaku dostane na lamelová chladicí tělesa zakrytá ze spodní strany pouze podhledovou mřížkou.

Konstrukce otevřených chladicích stropů může být tvořena:

- protlačovanými profily s předformovanými vodními kanály (s vlisovaným měděným potrubím)



Obr. 7 – Otevřený chladicí strop

- lamelami „nacvakávanými“ na vodní potrubí s mřížkovým pohledem
- velkoplošné lamely svěrně spojené s vodním potrubím.

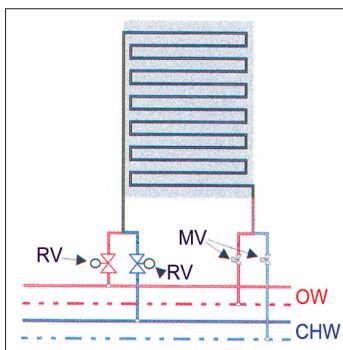
CELOPLOŠNÁ ČI LOKÁLNÍ POKLÁDKA

Nutná aktivní plocha je určena většinou na základě požadavku chlazení. Výkon potřebný k vytápění lze z plochy navržené pro chlazení snadno dosáhnout. V některých případech se proto k vytápění používá jen část chladicí plochy. Otázka, zda částečné pokrytí stropu pro vytápění je z hlediska vytvoření tepelné pohody v celém vytápěném prostoru dostačující je závislá na konkrétním projektu a hloubce místnosti. Celoplošná pokládka skýtá výhodu v dosahovaných nižších teplotách otopné vody a v rovnoměrném osálení teplem či chladem celého prostoru. U velmi hlubokých místností se celoplošná pokládka otopných / chladicích stropů nedoporučuje s ohledem na horizontální teplotní profil vzduchu. Především u otopných stropů by se v uvažované horizontální rovině směrem do středu objektu neúměrně zvyšovala teplota vzduchu. U hlubokých místností se tak mnohdy používá zdánlivě nesmyslná kombinace současného stropního vytápění v blízkosti fasády a chlazení ve vnitřní zóně pobytu. Tento kombinovaný způsob současného vytápění a chlazení se nedoporučuje u místností s běžnou či malou hloubkou s větráním okny (infiltrace, provětrávání).

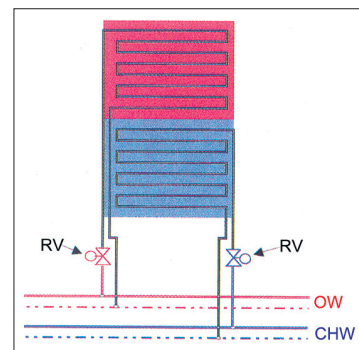
PROVOZOVÁNÍ STROPNÍHO VYTÁPĚNÍ

U nových rozlehlých kancelářských budov můžeme zjistit, že téměř nepotřebují vytápění. Tepelná ztráta prostupem se zde pohybuje od 25 do 35 W/m², vnitřní tepelné zisky od kancelářské techniky a osvětlení a tepelné zisky z oslunění se v součtu pohybují od 25 do 50 W/m².

V mnoha takovýchto budovách je vytápění v provozu pouze při nejnižších venkovních teplotách po víkendech nebo svátcích. Mnohdy stačí nastavit stropní vytápění na začátku provozu krátkodobě na větší výkon a tak zahřát (osálat) okolní plochy. Po začátku pracovní doby se začínou projevat i vnitřní tepelné zisky a automaticky vedou ke zvýšení teploty vzduchu. Stropní otopná plocha sjíždí s výkonem dolů či zcela vypíná. Díky ohřátí vnitřních povrchů, stejně jako nábytku se při zajištění tepelného komfortu může teplota vnitřního vzduchu držet na nižší hodnotě než je tomu u konvekčního vytápění. Při obvyklých výškách stropů okolo 3 m se povrchová teplota otopného stropu nepohybuje nad 35 °C.



Obr. 8 – Schéma zapojení čtyřtrubkového systému otopného / chladicího stropu



Obr. 9 – Schéma zapojení čtyřtrubkového přepínacího systému otopného / chladicího stropu

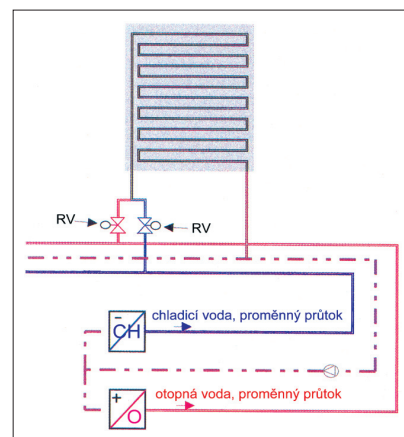
HYDRAULICKÉ ZAPOJENÍ

Dobře fungující otopný / chladicí strop je závislý na správném výběru hydraulického systému. Zde je potřeba zvážit, zda např. budova se severně / jižní orientací bude vyžadovat současné vytápění a chlazení. Podle způsobu použití a provozování lze volit následující systémy:

- **čtyřtrubkový systém:** otopná voda – přívodní a zpětné potrubí; chladicí voda – přívodní a zpětné potrubí; otopná a chladicí plocha většinou identické; dochází k přepínání mezi chladicí a otopnou vodou proudící do stropu; individuální volba chlazení či vytápění je možná; použitelné pro místnosti s normální až velmi malou hloubkou (obr. 8).

- **čtyřtrubkový přepínací systém:** otopná voda – přívodní a zpětné potrubí s centrálním přepínáním na špičkové chlazení; chladicí voda – přívodní a zpětné potrubí pro celoroční základní chlazení; špičkové chladicí plochy a základní chladicí plochy představují celkovou chladicí plochu; možné individuální chlazení či vytápění; systém je použitelný pro místnosti s normální až velkou hloubkou, stejně jako pro velkoplošné kancelářské budovy (obr. 9)

- **třítrubkový systém:** otopná voda – přívodní potrubí; chladicí voda – přívodní potrubí; společné zpětné potrubí; dva regulační ventily na okruh; následně řetězový provoz; projevují se ztráty směřováním díky společnému zpětnému potrubí; možné individuální vytápění či chlazení; použitelné pro místnosti s normální až velmi malou hloubkou (obr. 10)



Obr. 10 – Schéma zapojení třítrubkového systému otopného / chladicího stropu

- **dvoutrubkový systém:** jedno přívodní a jedno zpětné potrubí; centrálně přepínáno vytápění či chlazení; není možná individuální volba vytápění či chlazení; použití lze doporučit pouze výjimečně.

Použité zdroje:

- [1] RÜCK, D.: *Využití chladicích stropů*. VVI, 2001, roč. 10, č. 5, s. 233–235. ISSN 1210-1389
- [2] BAŠTA, J.: *Otopné plochy*. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2001. – 328 s. – ISBN 80-01-02365-6
- [3] ZENT-FRENGER, Gesellschaft für Gebäudetechnik mbH – firemní podklady. ■