

Využití chladicích stropů

Utilization of cooling ceilings

Ing. Daniel RŮČK
RŮPK – projekční a inženýrská
kancelář

Recenzent
Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

Článek informuje o základních principech činnosti chladicích stropů. Uvádí možnosti použití chladicích stropů i pro vytápění a formuluje základní podmínky a zákonitosti tohoto kombinovaného systému.

Klíčová slova: chlazení, vytápění, chladicí stropy, otopné stropy

The article informs about the basic principles of cooling ceilings functioning. The possibilities of cooling ceilings utilization even for heating are indicated and the basic conditions and regularities of this combined system are formulated.

Key words: cooling, heating, cooling ceilings, heating ceilings

Systém chladicích stropů si dnes již našel své stabilní a pevné místo jako jeden ze systémů řešení chlazení budov. Vzárust tepelné zátěže a požadavek malé rychlosti proudění vzduchu a nízkého stupně turbulence, často nedovolí odvod tepelné zátěže pouze vzduchem, neboť hrozí nebezpečí vzniku průvanu. Příznivé řešení nabízejí právě chladicí stropy. Ty však zajistí pouze odvod tepelné zátěže a proto je jejich provoz možný jen v kombinaci s přívodem hygienického množství vzduchu, který zajistí rovněž odvod produkované vlhkosti. Účinek chlazení stropem spočívá v tom, že se na příslušnou teplotu ochladí buď přímo povrch stropu nebo povrch zavěšené podstropní konstrukce. Přenos tepelné energie se uskutečňuje převážně sáláním. Podobně jako u vytápění sálavými plynovými nebo elektrickými panely, kdy dochází k přenosu tepla sáláním z teplejších panelů na chladnější plochy, včetně povrchu těla osob v daném prostoru, tak při chlazení stropem dochází k sálavému toku tepla z povrchu ostatních ploch v místnosti do studenějšího stropu a to se projevuje jejich ochlazováním. V případě chlazení je tedy sálavý tok energie obrácený, než při vytápění. Matematicky bychom tepelný tok označili záporným znaménkem. Soudobým požadavkům vyhovují chladicí stropy, v jejichž konstrukci byly použity kapilární rohože vytvářející rovnoměrně rozloženou chladicí síť. Kapilární sítě jsou velice jednoduše regulovatelné. Povrchová teplota chladicího stropu neklesá pod 20 °C. Tím jsou prakticky vyloučené nepříjemné, nízké vnitřní teploty místnosti. Při pobytu osob v místnosti s přirozenou klimatizací stropním chlazením je jejich pocitový teplotní vjem ze stropu velmi příjemný a působivý, protože chlazení sáláním má okamžitý účinek. Chladicí strop tak nabízí řešení, které podstatně zvyšuje pohodu v klimatizovaných prostorách.

Rozhodujícími přednostmi tohoto systému je jednoduchá montáž, široký okruh použití, bezúdržbový provoz, podstatná úspora energie a minimální nároky na prostor. Při konvekčních klimatizačních zařízeních, kde jsou místnosti chlazené vzduchem, je potřebné množství vzduchu velké a teplota přiváděného vzduchu je v porovnání s vnitřní teplotou vzduchu nízká (max. o 8 K). Vzduch je do místnosti přiváděn relativně vysokou rychlostí vzhledem k nutnosti:

- přivádět velký objem vzduchu;
- snížit plochu výustek na přijatelnou úroveň;
- a potřebě smísit přiváděný vzduch se stávajícím vnitřním vzduchem.

To může vést ke vzniku průvanu. Přenos tepla se při použití stropního chlazení uskutečňuje z větší části sáláním (cca 60 %) a z menší konvekcí (cca 40 %). Sálavé chlazení téměř nezpůsobuje proudění vzduchu. Při stropním chlazení se prostřednictvím vzduchu přiváděného do místnosti s přibližně stejnou teplotou zabezpečuje především účinná výměna spotřebovaného vzduchu za čerstvý tzv. rovnoměrným teplotním spádem. Toto řešení splňuje základní podmínky pro tepelnou pohodu člověka. V porovnání s jinými systémy je stropní chlazení s vyšším podílem sálání velmi příznivě akceptované jako chlazení bez průvanu.

Voda má velmi dobrou tepelnou vodivost a z fyzikálního hlediska má ve srovnání se vzduchem až čtyřnásobnou tepelnou kapacitu při více jak 800x větší hustotě. Pro přenos stejného množství tepelné energie stačí vodě jen 1 % potřebného objemu a přibližně 5 % spotřeby elektrické energie na její uvádění do pohybu v porovnání se vzduchem. Vodní soustava potřebuje na výrobu chladu také podstatně méně energie, protože při regulovaném provozu stropního chlazení je jeho teplota 20 °C. Vzhledem k tomu, že teplota chladicí vody může být vyšší než teplota chladicího vzduchu, je možné energii pro chlazení vyrobit nákladově mnohem příznivěji i s využitím alternativních energetických zdrojů (např. tepelná čerpadla atp.). U stropního chlazení se musí zabránit kondenzaci vzdušné vlhkosti, pokud by došlo k poklesu teploty povrchu stropu nebo jeho částí pod teplotu rosného bodu vzduchu. To zajišťuje dostatečná výměna vzduchu a regulace stropního chlazení.

Kromě „kapilárového potrubí“ je třeba zabezpečit ve vodních rozvodech chladicích panelů podmínky pro turbulentní proudění. Při laminárním proudění nejsou tak příznivé podmínky pro přestup tepla jako při turbulentním proudění a výkon výměníků může být podstatně menší, což je nežádoucí. Proto se pro zajištění turbulence doporučuje minimální rychlost vody

$$w_{\min} = \frac{4}{d_i} \text{ [m/s]},$$

kde je d_i [mm] vnitřní průměr potrubí.

TYPY CHLADICÍCH STROPŮ

Podle konstrukce chladicích 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 izolovány, aby nedocházelo k úniku výkonu stropem. Jsou hygienicky čisté, neboť na nich nedochází ke kondenzaci a zpětnému odpařování do místnosti. Až 60 % zátěže odebírané uzavřenými panely je odváděno sálavou složkou, zbytek je odváděn konvekcí. Příkladem uzavřených chladicích stropů jsou kazetové konstrukce – velkoplošné panely upevněné na vodní potrubí, které je pevně fixováno ke stropu; elementy s integrovanými vodními kanálky – na jejich povrchu je vytvořena umělá ozdobná omítka požadovaných vlastností; protlačované profily s předformovanými vodními kanály (s vlisovaným měděným potrubím); velkoplošné panely (kazety) s kapilárovým potrubím.
- **Otevřené chladicí stropy** – sdílející teplo převážně konvekcí. Mají buď otvory mezi panely, nebo jsou v panelech falešného stropu, který je pod výměníky tepla s nezakrytou perforací. Vzduch z místnosti se tak účinkem přiro-

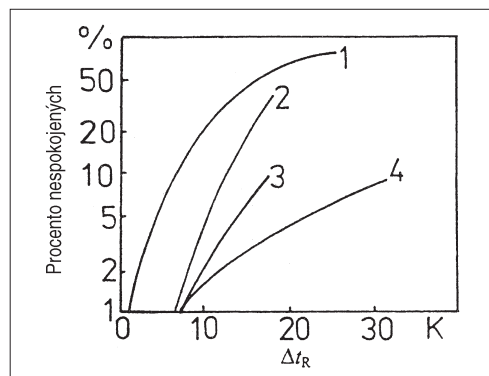
zeného vztlaku dostane na lamelová chladicí tělesa zakrytá ze spodní strany pouze mřížkou. Příklady konstrukce otevřených chladicích stropů jsou: protlačované profily s předformovanými vodními kanály (s vlisovaným měděným potrubím); šikmé lamely „nacvakávané“ na vodní potrubí s mřížovým podhledem; velkoplošné lamely svěrně spojené s vodním potrubím.

- ❑ **Chladicí plachta** – Takto jsou označovány otevřené či uzavřené segmenty chladicích stropů, které jsou zavěšeny nikoliv po celé ploše, ale pouze na určité části stropu. Chladicí plachty jsou obtékány vzduchem z místnosti ze všech stran.

Chladicími stropy je tedy možno dosáhnout vysokého komfortu a zajistit dobrý pocit tepelné pohody člověka. Je možno dosáhnout nízkých rychlostí proudění vzduchu a vyrovnaného teplotního i rychlostního profilu v místnosti. Nízkých rychlostí je dosaženo snížením množství přiváděného vzduchu na hygienické minimum. Aby však i přes malý průtok vzduchu nedocházelo ke zvýšenému proudění v místnosti a k nadměrnému ochlazení osob pod chladicími panely, je třeba zajistit správné rozložení chladicích panelů po ploše stropu. V případě, že by mezi jednotlivými chladicími plochami nebyl dodržen dostatečný odstup (předepisovaný výrobcem), vznikaly by proudy chladného vzduchu padající k podlaze a zhoršující pocit tepelné pohody.

VYUŽITÍ CHLADICÍCH STROPŮ I PRO VYTÁPĚNÍ

V poslední době velmi diskutovanou otázkou je využití chladicích stropů současně i k vytápění. Nejvhodnějším typem pro kombinovaný systém chlazení a vytápění jsou uzavřené chladicí stropy, díky největšímu podílu sálavé složky. Jedním z nejdůležitějších hledisek, ovlivňujících fyziologii člověka a jeho pocit komfortu v místnostech s tepelně aktivními plochami, je asymetrie sálání. Představu o spojitosti chladicích a otopných stěn, v tomto případě chladicích a otopných stropů, a popis problému asymetrie sálání studovali a zpracovali Fanger, Ipsen, Langkilde, Olesen, Christensen a Tanabe v publikaci *Energy and Buildings 8 – Comfort Limits for Asymmetric Thermal Radiation* (1984). Na obr. 1 je zobrazená závislost podílu počtu nespokojených na asymetrii sálání našla široké uplatnění a stala se i součástí norem (DIN 1946 část 2). Z pohledu asymetrie sálání je stropní vytápění a chlazení při plném popřípadě i částečném pokrytí stropu možné s tím, že při plném využití plochy stropu lze očekávat příznivější hodnoty. V první řadě je ale rozhodujícím kritériem neměnnost výsledné teploty v každém místě vytápěného prostoru. Výsledná teplota je určena zejména teplotou vzduchu a účinnou teplotou okolních ploch, přičemž významnou roli hraje ještě závislost na rychlosti proudění vzduchu. Teplota vzduchu v místnosti se odchyluje od průměrné hodnoty pouze v padajícím proudě chladného vzduchu, přímo u venkovní ochlazené stěny. Stačí proto vyšetřit rozložení účinné teploty okolních ploch, podél hloubky místnosti.



Obr. 1 Procento nespokojených při asymetrii sálání stěn podle Fangera, při operativní teplotě prostoru 22 až 23 °C
1 – teplý strop, 2 – studené stěny, 3 – studený strop, 4 – teplé stěny

U mnoha dnešních moderních kancelářských budov, kde jsou instalovány chladicí stropy, je možné s důrazem na tepelnou ochranu zcela vynechat systém vytápění s otopnými tělesy. Důvod je především ve zvyšujícím se počtu moderních komunikačních prostřed-

ků, jako jsou počítače, faxy, tiskárny a kopírovací přístroje, které jsou pro vybavení kanceláří v dnešní době již nepostradatelné. Jejich nárůst, stejně tak jako vylepšené tepelně-technické vlastnosti obvodových konstrukcí budov, mají tedy za následek snižující se nároky na potřebu tepla. Potřeba tepla je především při venkovní teplotě pod 0 °C a lze ji pokrýt otopnými stropy. Při projektování chladicích stropů za účelem chlazení je proto v principu možné tyto stropy použít i k vytápění a zcela tak odstranit např. otopná tělesa a samostatný systém rozvodu tepla.

Funkce otopných stropů je nejvýraznější především ráno, po víkendu nebo dnu (dnech) pracovního volna, kdy došlo k přerušení plné dodávky tepla (včetně zisků) v budově. Jinak je tepelná ztráta kryta především vnitřními zisky od osob, zařízení a osvětlení. Ne všechny budovy jsou ale pro využití chladicích stropů jako otopných vhodné. Z prvních zkušeností skutečných systémů existují důležité faktory ovlivňující jejich použitelnost:

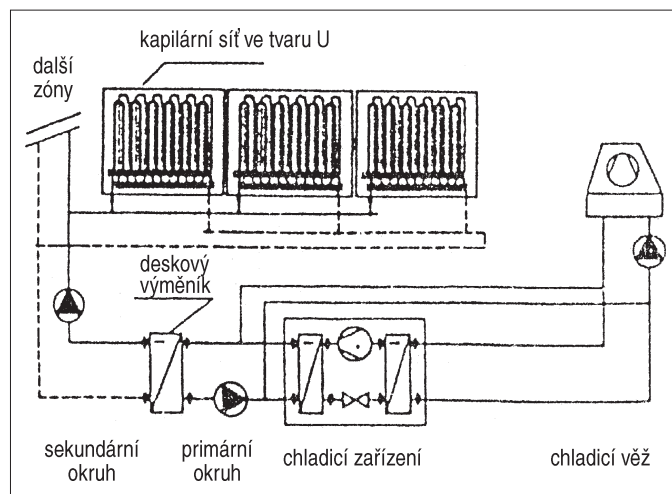
- ❑ sálavá asymetrie teplého stropu a chladných stěn;
- ❑ vertikální a horizontální teplotní profil v místnosti;
- ❑ proudění chladného vzduchu vlivem venkovní ochlazené stěny.

CHLADICÍ STROPY V PRAXI

Důležitým faktorem je možnost zabudování chladicích a otopných stropů do prostoru a kombinovaný systém chladicích a otopných stropů tak nalézá uplatnění zejména u moderních administrativních budov.

Chladicí a otopné stropy doplněné systémem zdrojového větrání se ukazují jako komfortní metoda pro úpravu parametrů tepelné pohody vnitřního prostředí. Požadovaný přívod vzduchu se omezuje na hygienické minimum a je schopen krýt, v případě potřeby, část tepelných zisků a ztrát v rozmezí ± 200 W pro každou typickou místnost. Okna kanceláří by měla být v kvalitním provedení ($k = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) s možností stínění alespoň vnitřními žaluziemi. Vyloučením podokenních jednotek je zvýšeno využití podlahové plochy kanceláří. Tepelný tok mezi předměty a plochami o rozdílných povrchových teplotách probíhá převážně sáláním. Vliv teplých nebo chladných ploch není potřeba kompenzovat nadměrným snižováním nebo zvyšováním teploty vzduchu, čímž lze dosáhnout tepelné pohody i se sníženými energetickými nároky na zařízení techniky prostředí.

Celý systém bývá dělen do dvou okruhů. Primárním okruhem je okruh zdroje tepla a chladu, sekundární okruh je od primárního oddělený deskovými výměníky. Bývá nejčastěji v provedení plast, nerez nebo barevné kovy. Je tedy dlouhodobě odolný proti korozi a zanášení. Sekundární soustava obsahuje vlastní čerpadla, expanzní tlakové nádoby a regulaci. Na obr. 2 je znázorněno princi-



Obr. 2 Hydraulické schéma chladicího systému

piální hydraulické schéma zapojení chladicích stropů. Při použití chladicích stropů i pro vytápění je nutno doplnit schéma ještě o zdroj tepla pro vytápění.

Pro různé situace je vhodné zvolit na místo jedné centrální stanice sekundárního okruhu v objektu více menších centrál pro různé zóny (horizontální – patrové, vertikální rozdělení budovy) znamenající provozní bezpečnost, nezávislost uživatelů při různých provezech objektu či klimatických podmínkách a rozdělení tlakových poměrů.

Potrubí sekundárního okruhu bývají vedena šachtami do jednotlivých pater, kde jsou v instalačních jádrech připojeny rozdělovače a sběrače patrových zón s kvantitativní regulací. Obecně často užívané řešení chladicích stropů využívá kapilárních rohoží. Kapilární chladicí rohože jsou vyrobeny z trubek o průměru cca 2 mm s osovou vzdáleností od sebe 10 až 15 mm. Na 1 m² plochy stropu bývá použito asi 80 bm (bm = běžný metr) kapilárních trubek s vnitřním průměrem 1,92 mm. Tomu odpovídá objem vody 0,232 l/m² plochy stropu. Plocha stropu je dělena do celků maximálně po 500 m², takže zvětšení objemu dané objemovou roztažností vody v jednom celku je přibližně 0,8 l. Objemová roztažnost a objem vody v uzavřené soustavě závisí především na teplotních rozdílech. Provozní tlak v kapilárách se pohybuje od 0,1 až 0,2 MPa. Tlakové ztráty rohoží jsou i přes malý průměr kapilár malé, protože celkový průtok vody se rozdělí mezi paralelně probíhající kapiláry.

Z rozdělovačů je dále potrubí vedeno již ke kapilárním rohožím, v jednotlivých zónách místností, které jsou zapojeny Tichelmannovým způsobem k dosažení rovnoměrnému rozdělení průtoku a hydraulické vyváženosti sítě.

Přechod mezi chlazením a vytápěním je řešen přepínáním těchto systémů v závislosti na teplotě venkovního vzduchu. Je-li teplota venkovního vzduchu pod nastavenou hodnotou, která je určující pro regulaci, je aktivní systém vytápění, je-li nad touto hodnotou, je aktivní systém chlazení. Regulace teploty vody v sekundárním okruhu je svěřena centrálnímu systému měření a regulace. Pro chladicí a otopnou vodu se připravuje stálá přívodní teplota (např. 16 °C a 35 °C). Prostorová teplota je regulována nezávisle regulátorem teploty. Ten řídí činnost pohonu, který podle potřeby otevírá nebo uzavírá ventil. Vznik nežádoucího kondenzátu na chladicím stropě je hlídán snímačem vlhkosti. Při vysoké vlhkosti vzduchu snímač dává impuls na ventil s pohonem, ten uzavře přívod chladicí vody a tím je zabráněno kondenzaci vlhkosti obsažené ve vzduchu. Snímač vlhkosti je umístěn na nejchladnějším místě u přívodu do chladicí rohože. Přívodní teplota chladicí vody je regulována v závislosti na teplotě rosného bodu venkovního vzduchu. Vzhledem k zabránění vzniku kondenzátu by přívodní teplota měla být o 1 až 2 K vyšší. Z důvodů různých vlhkostních zátěží v rámci objektu je potřebné pro každou zónu instalovat samostatný snímač vlhkosti.

ZÁVĚR

Závěrem lze říci, že systémy uzavřených chladicích stropů se mohou používat k sálavému stropnímu vytápění. Otevřené chladicí stropy se hodí méně a chladicí konvektory se nehodí vůbec. Chladicí plocha stropu je připojena a přepnutelná na oba systémy – chlazení i vytápění. Je vhodné, instalovat otopný pás podél venkovní zdi. Pro zlepšení energetického hlediska je také možné rozdělovat plochu chladicího/ otopného stropu na jednotlivé, samostatně regulovatelné okruhy, jelikož u administrativních objektů je mnohdy nutné na jedné straně objektu chladit a na druhé straně vytápět. Inteligentně naprogramovaná regulace celého systému dokáže optimálně plnit požadavky jednotlivých okruhů.

Celkově lze říci, že se chladicí stropy využívají v objektech s vyšším podílem vnitřních tepelných zisků. Tyto tepelné zisky kryjí z části a nebo úplně pokryjí potřebu tepla v zimním období. Maximální výkon systému je nutný pouze při začátku vytápění ráno, po delší pracovní pauze (způsobené např. víkendy či svátky) a při velmi nízkých venkovních teplotách. Doprovodným mechanismem

může být i přívod větracího vzduchu o vyšší teplotě. Fyziologická kritéria tepelné pohody ve vnitřním prostředí resp. v místnostech opatřených systémem chladicích a otopných stropů jsou splněna a mají vedlejší význam.

Po zhodnocení všech aspektů, výhod a nevýhod, při použití kombinovaných systémů chladicích a otopných stropů můžeme říci jedním slovem ANO. Podmínkou dobrých vlastností tohoto systému je zvládnutí a dodržení vhodné regulace. Systémové řešení je náročnější a oproti systému pouze chladicích stropů narůstají i pořizovací náklady. Naproti tomu odpadá oddělený systém vytápění jednotlivých místností otopnými plochami (otopná tělesa, ... atd.) a nabízí jak vysoký uživatelský komfort, tak i snížení nákladů na oddělený systém vytápění a nákladů na materiál. S výhledem do budoucna se dá říci, že se dají očekávat logicky a efektivně navržené kombinované systémy a zařízení.

Literatura:

- [1] KAST, W., KLAN, H., ROSENBERG, J.: Leistungen von Heiz- und Kühlflächen. HLH, 1994, č.6, s. 278–281
- [2] BAŠTA, J.: Otopná tělesa. STP, 2000. 211 s. ISBN 80-02-01351-4
- [3] CIHELKA, J.: Sálavé vytápění. Praha: SNTL, 1961. 376 s. DT 697.35
- [4] ČSN 73 0540 – část 1 až 4. Tepelná ochrana budov. 1994
- [5] BAŠTA, J.: Nový přístup k navrhování otopných těles. In Vytápíme levně a bezpečně IV. Pardubice: I. Hovorková s.r.o., 1998, s. 81–92
- [6] FANGER, P. O.: Thermal Comfort. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970. 224 s
- [7] CHYSKÝ, J., HEMZAL, K. a kol.: Větrání a klimatizace. Brno: Bolit – B press, 1993, 560 s. ISBN 80-901574-0-8
- [8] RECKNAGEL, SPRENGER, SCHRAMEK: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 94/95. München: R. Oldenbourg Verlag, 1995. s. 1061–1067. ISBN 3-486-26213-0
- [9] ČERMÁK, J.: Sálavé chlazení v klimatizaci (diplomová práce). Praha 1996. ČVUT-FS
- [10] UNIVERSA, Olomouc: Stropní chlazení. 1998. 16 s
- [11] ZENT-FRENGER: Heizen und Kühlen mit abgehängten Decken. HLH, 1997, č.5, s. 50–53
- [12] NICKEL, J.: Einsatz von Kühldecken zum Heizen. [Nr. 649]. Betzdorf. Heinrich Nickel GmbH. 1997. 23 s
- [13] GLÜCK, B.: Sind Kühldecken als Heizdecken einsetzbar? HLH, 1994, č.2, s. 64–67.

* PCA systémy

Jde o hospodárné větrání upraveným vzduchem zaparkovaných letadel, tzv. Pre-Conditioned-Air (PCA).

Zatímco parkující letadla jsou zásobována elektrickým proudem kabelem ze sítě již delší dobu, je dosud běžné přivádět a upravovat větrací vzduch vnitřním zařízením letadla. V poslední době se začíná prosazovat PCA systém, kde vzduch je upravován v externím zařízení a do letadla přiváděn pružnou hadicí. Zařízení PCA sestává z vysokotlakého ventilátoru, filtru, ohříváče a chladiče. Přistavuje se většinou do bezprostřední blízkosti letadla a je zpravidla dálkově řízeno.

Vzhledem k omezenému prostoru v letadle a s tím spojeným malým průřezům vzduchovodů, dochází k vysokým ztrátám tlaku, takže používané ventilátory musejí překonávat odpor až 8500 Pa, což má za následek zvýšení teploty až o 12 K. Pokud zohledníme ještě ohřátí vzduchu v hadici, pak musí být přiváděn vzduch chlazen až na teplotu –4 °C. A tak vycházejí, v závislosti na velikosti letadla, chladicí výkony jednotlivých zařízení mezi 65 až 240 kW. Propočty ukazují, že v současné době má popsání řešení amortizační dobu asi 2,5 roku. Vzhledem ke stále stoupajícím cenám kerosinu bude situace postupně ještě příznivější. Současně tímto řešením dochází i k odlehčení životního prostředí potlačením výfukových emisí.