

Otevřené – konvektivní chladicí stropy



Open convection cooling ceilings

Recenzent
 prof. Ing. Jiří Petrák, CSc.

Článek obsahuje základní informace o novém způsobu chlazení pobytových a pracovních prostor otevřenými chladicími stropy, které patří mezi sálavé chladicí systémy. Pojednává o jejich konstrukci, chladicím výkonu a dimenzování systému. Na četných obrázcích jsou uvedeny příklady jejich instalací. Předností tohoto systému chlazení je, že pracuje s vyšší teplotou chladicí vody a ve srovnání s klasickým způsobem chlazení přináší úspory energie a provozních nákladů.

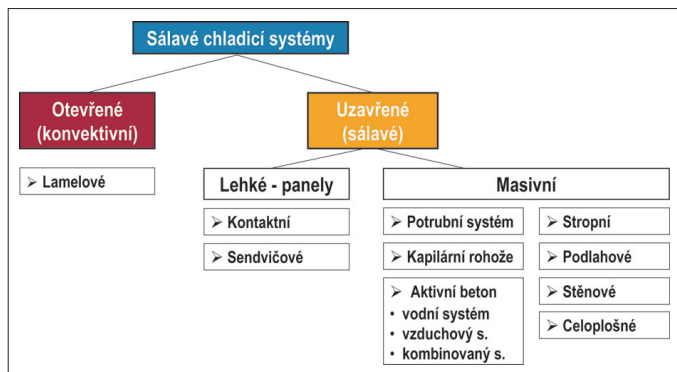
Klíčová slova: chladicí systém, sálavé chlazení, chladicí strop, energetický štítek budovy

The article includes fundamental information regarding the new method of cooling in rooms, in which people stay or work, by way of open cooling ceilings belonging in the group of radiant cooling systems. It describes the structure, refrigerating capacity and the system dimensioning (sizing) thereof. Examples of their installations are shown in numerous pictures. The significance of this cooling system consists in the fact that it works with higher temperature of cooling water and so it saves energy and operation costs in comparison with the classic cooling method.

Key words: cooling system, radiant cooling, cooling ceiling, building energy labeling;

ÚVOD

U otevřených chladicích stropů převažuje konvekční složka přenosu tepla (50 až 60 %) mezi povrchem stropu a okolním vzduchem. Z tohoto důvodu se otevřené konstrukce chladicích stropů někdy nazývají jako *konvektivní*. Sálavá složka tepelného toku tvoří přesto nezanedbatelný podíl a proto patří i otevřené chladicí stropy mezi sálavé chladicí systémy, které tvoří podskupinu vodních klimatizačních systémů. V praxi se lze s otevřenými konstrukcemi setkat výhradně v podobě chladicích stropů. Postavení otevřených chladicích stropů v hierarchii sálavých chladicích systémů je patrné z obr. 1.

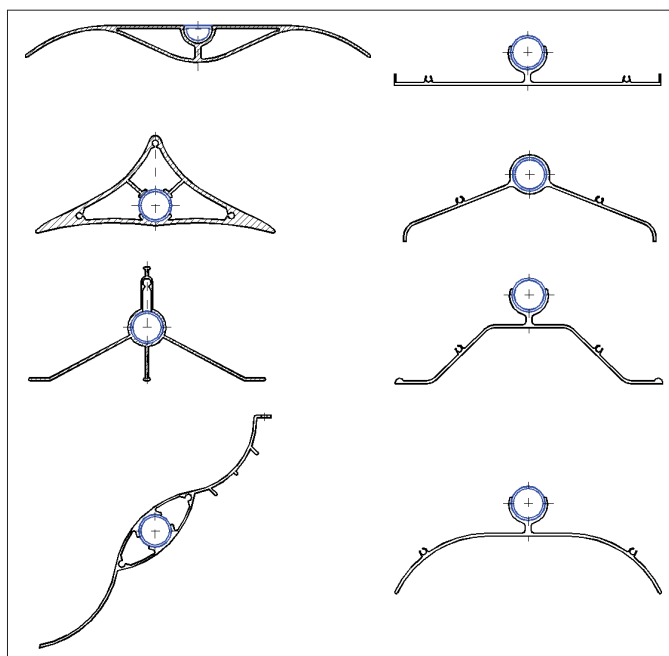


Obr. 1 Rozdělení sálavých chladicích systémů

Obecné výhody a nevýhody chladicích stropů byly již dříve popsány např. v [1] a platí rovněž i pro otevřené konstrukce. I u nich platí omezení výkonu z důvodu nebezpečí orosování povrchu, avšak otevřené konstrukce disponují výrazně vyššími chladicími výkony, než je tomu u stropů uzavřených (viz dále).

KONSTRUKCE

Otevřené chladicí stropy jsou charakteristické svými otvory či mezerami, které umožňují proudění vzduchu až ke stavební konstrukci stropu. Aktivní plochou otevřených chladicích stropů tvoří většinou lamely vyrobené z hliníkových profilů. Jak je vidět z obr. 2a lamely mohou mít konstrukčně různorodá uspořádání. Tvar lamely je zpravidla navržen tak, aby pozitivně přispíval k výraznějšímu vzniku přirozeného proudu vzduchu zejména na zadní straně chladicího stropu. Lamely otevřených chladicích stropů se umísťují do rámu tak, aby tvořily kompaktní celek (obr 2b).

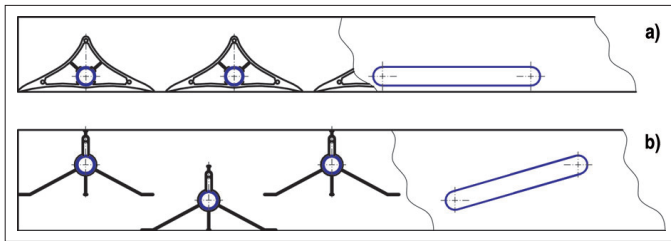


Obr. 2a Různé tvary lamel otevřených chladicích stropů [3], [4], [5]

Podle konstrukce můžeme otevřené chladicí stropy rozdělit na jednořadé nebo dvouřadé. Rozdíl mezi oběma typy je patrný z obr. 3, zatímco jednořadé stropy mají lamely kladeny v řadě vedle sebe (obr. 3a), u dvouřadých konstrukcí jsou lamely kladeny střídavě ve dvou úrovních nad sebou (obr. 3b).



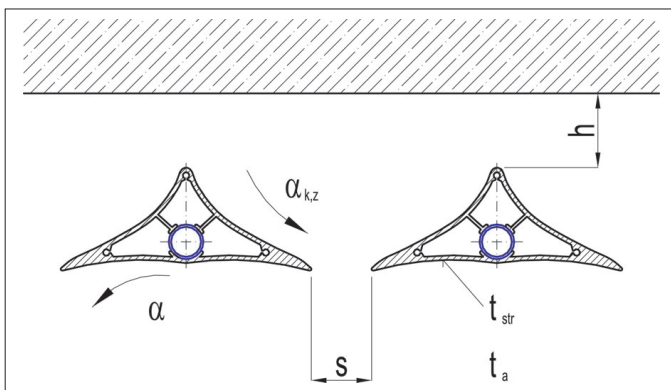
Obr. 2b Otevřený chladicí strop [4]



Obr. 3 Řez otevřeným chladicím stropem a) jednořadá, b) dvouřadá konstrukce

VÝKONY OTEVŘENÝCH CHLADICÍCH STROPŮ

Jak již bylo naznačeno v úvodu, otevřené chladicí stropy dosahují vyšších chladicích výkonů než uzavřené konstrukce. Je to dáno jednak zvýšeným přestupem tepla konvekcí vlivem intenzivnějšího proudění kolem lamel a rovněž větší teplosměnnou plochou. Jednořadá otevřené chladicí stropy dosahují o 50 až 100 %, dvouřadá pak dokonce až o 120 % vyšších chladicích výkonů než uzavřené systémy.



Obr. 4 Schéma sdílení tepla na otevřeném chladicím stropu

Budeme-li předpokládat, že t_{str} je střední povrchová teplota lamely, lze tepelný výkon otevřeného chladicího stropu popsat teoreticky jako součet tepelného toku konvekcí a sáláním sdílený podél spodní, aktivní části stropu k němuž se přičte tepelný tok konvekcí, který vzniká na zadní straně stropu.

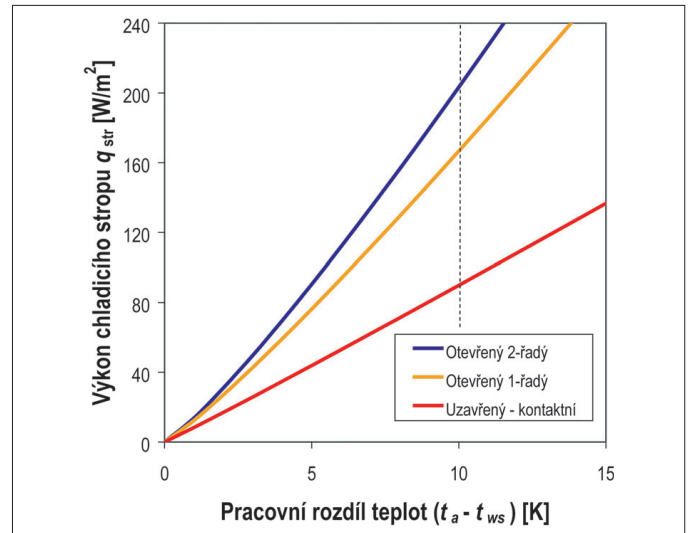
$$Q = (\alpha_k + \alpha_s) A_p (t_a - t_{str}) + \alpha_{kz} A_z (t_a - t_{str}) \quad [W] \quad (1)$$

Měrný tepelný výkon pak bude vztážen na půdorysnou plochu chladicího stropu

$$q_{str} = \frac{Q}{A_{str}} \quad [W/m^2] \quad (2)$$

Výkon resp. konvekční tok sdílený na zadní straně chladicího stropu ovlivňuje jednak velikost volného prostoru mezi chladicím stropem a vlastní stropní konstrukcí h a dále pak velikost volné plochy A_v , která umožňuje přístup vzduchu k zadní straně chladicího stropu.

Problémem při teoretickém výpočtu, vzhledem ke složitosti tvaru lamel, je stanovení povrchové teploty lamely a určení součinitelů přestupu tepla po-



Obr. 5 Výkony otevřených chladicích stropů

dél přední i zadní strany chladicího stropu. Proto je teoretické řešení u otevřených chladicích stropů prakticky nemožné. Výkony otevřených chladicích stropů je tedy možné určit výhradně měřením [2]. Na obr. 5 jsou znázorněny průběhy výkonových charakteristik pro konkrétní typy jednořadáho (obr. 3a) a dvouřadáho (obr. 3b) chladicího stropu dle podkladů výrobce [3]. Pro porovnání je v obr. 5 zakreslen i průběh výkonu pro uzavřený (kontaktní) chladicí strop.

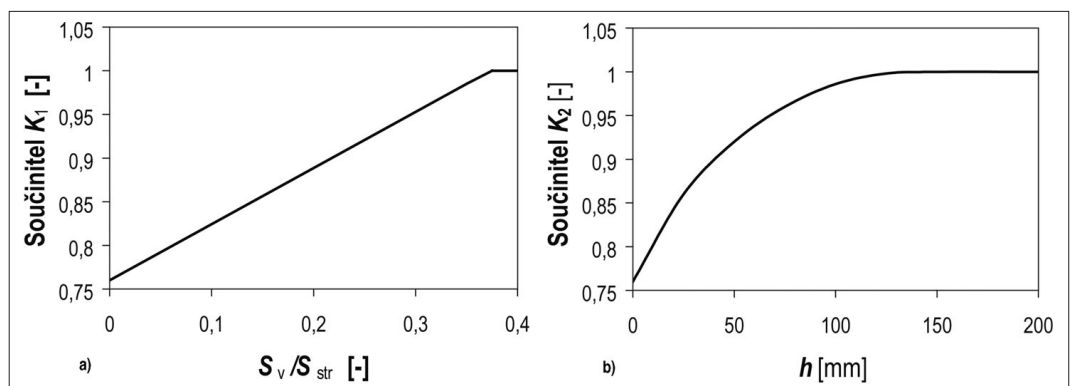
DIMENZOVÁNÍ SYSTÉMU

Princip dimenzování systému s otevřenými chladicími stropy je obdobný jako pro systémy uzavřené [2]. Jmenovitý chladicí výkon q_N je potřebné přizpůsobit podmínkám umístění chladicího stropu v místnosti. Vliv všech parametrů na jmenovitý (změřený) chladicí výkon stropu vyjadřuje konstanta chladicího stropu K_{str} .

$$q_{str} = K_{str} q_N \quad [W/m^2] \quad (3)$$

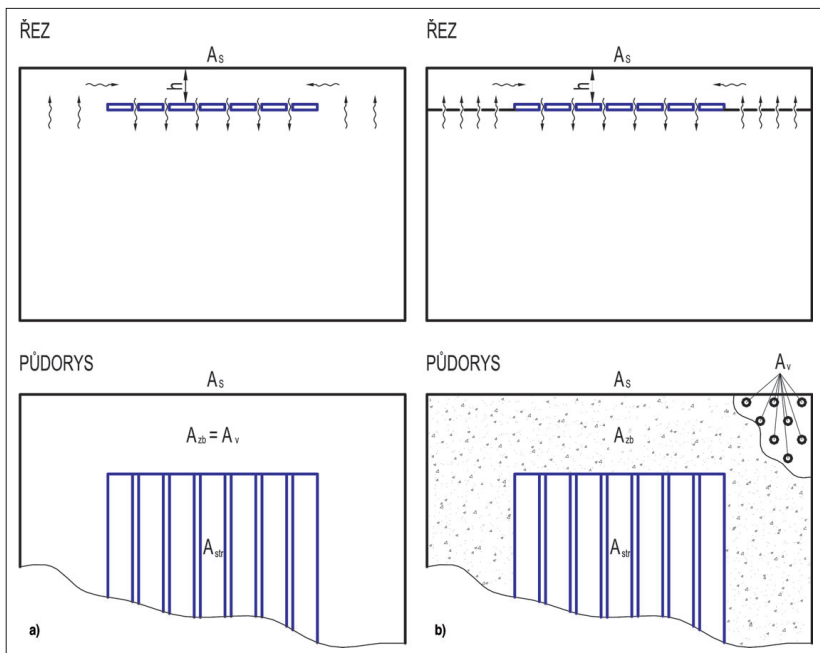
$$K_{str} = K_1 K_2 \quad [-] \quad (4)$$

Součinitel K_1 udává vliv přirozeného proudění volnou plochou A_v na výkon chladicího stropu. Volná plocha může být tvořena např. perforací stropních desek (obr. 7b), atp. Součinitel K_2 pak zohledňuje vliv volného prostoru nad chladicím stropem mezi nejvyšším místem a konstrukcí stropu, který určuje h (obr. 4). Konkrétní hodnoty uvedených součinitelů lze, pro konkrétní konstrukci chladicího stropu, nalézt v katalogových listech výrobce. Na obr. 6 jsou znázorněny ilustrativní průběhy zmíněných korekčních součinitelů pro konkrétní typ chladicího stropu (obr. 3a).



Obr. 6 Opravné součinitele pro konkrétní typ otevřeného chladicího stropu (ilustrativní – neplatí obecně!) [3]

a) Součinitel K_1 na vliv volné plochy; b) Součinitel K_2 na vliv volného prostoru nad chladicím stropem



Obr. 7 Schéma otevřeného chladicího stropu s definovanými plochami

a) případ kdy $A_v = A_{zb}$, $f = 1$

b) případ kdy $A_v < A_{zb}$, $f < 1$

Potřebná plocha chladicího stropu pro odvod citelné tepelné zátěže Q_c se pak určí jako

$$A_{str} = \frac{Q_c}{q_{str}} \quad [m^2] \quad (5)$$

Plocha stropu, která není využita pro instalaci chladicího stropu tvoří zbytkovou plochu

$$A_{zb} = A_s - A_{str} = (1 - a)A_s \quad [m^2] \quad (6)$$

kde a je poměr využití plochy stropu, který se stanoví jako poměr plochy chladicího stropu A_{str} a celkové plochy stropu A_s .

$$a = \frac{A_{str}}{A_s} \quad [-] \quad (7)$$

Volná plocha stropu A_v , která umožňuje proudění vzduchu nahoru ke stropní konstrukci je určena poměrem

$$f = \frac{A_v}{A_{zb}} \quad [-] \quad (8)$$

V případě, že je otevřený chladicí strop zavěšen pod betonovou stropní deskou a nejsou zde instalovány žádné další prvky, tak jako na obr. 7a, pak bude $f = 1$.



Obr. 8 Příklad instalace otevřeného chladicího stropu ve velkoprostorové kanceláři [3]

APLIKACE SYSTÉMU

Díky vyšším chladicím výkonům nacházejí otevřené chladicí stropy stále širší uplatnění a to i v exponovaných prostorách s vyšší tepelnou zátěží. Oproti sálavým chladicím stropům zabírá otevřený chladicí strop o stejném výkonu až 2x menší plochu. Otevřené chladicí stropy mohou být zavěšeny přímo na stropní desku závitovými tyčemi, nebo se instalují jako součást podhledové konstrukce.

Na obr. 8 až 12 jsou příklady instalací otevřených chladicích stropů. Asi nejběžnější jsou aplikace v kancelářích a zasedacích místnostech administrativních budov.

Příklad instalace ve velkoprostorové kanceláři s výrazným podílem prosklených ploch je patrný z obr. 8. Chladicí strop zde tvoří zároveň podhled a určuje architektonický ráz celého prostoru. Další technologické vybavení může být umístěno v nosné konstrukci podhledu a svítidla jsou v tomto případě zavěšena pod stropem. Jiná možnost instalace je zob-



Obr. 9 Příklad instalace skrytého chladicího stropu nad podhledovou mříží [3]



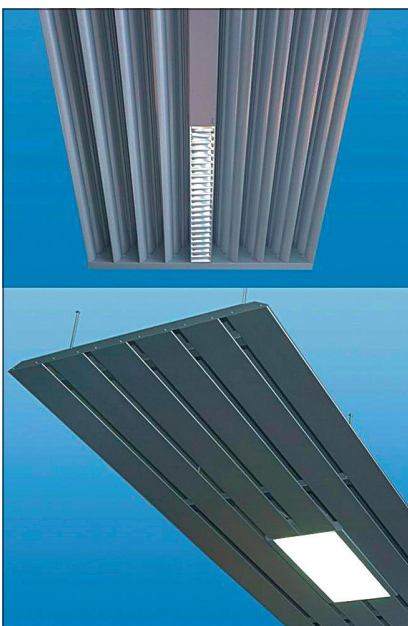
Obr. 10 Integrace otevřeného chladicího stropu do sádkartonového stropu [3]



Obr. 11 Ukázka viditelného chladicího stropu v zasedací místnosti [3]



Obr. 12 Použití otevřených chladicího stropů v televizním studiu [3]



Obr. 13 Možnosti integrace osvětlení do otevřeného

razena na obr. 9, kdy je chladicí strop, vč. všech rozvodů, skrytý pod podhledovou mříží. Ta musí umožňovat přístup vzduchu k chladicím elementům. Otevřené chladicí stropy lze integrovat i do sádkartonových podhledů. Příkladem může být instalace v zasedací místnosti zobrazená na obr. 10. Pokud je to architektonicky přijatelné, mohou být otevřené konstrukce chladicích stropů opticky „přiznané“ obr. 11. Posledním příkladem je aplikace těchto systémů v televizním studiu, které je vystaveno značné tepelné zátěži od osvětlení a technologic-
kého vybavení obr. 12. Otevřený chladicí strop je zde vhodný řešením nejen díky tomu, že disponuje poměrně vysokým chladicím výkonem, ale rovněž nezabírá místo v prostoru studia.

Známé jsou aplikace především z Německa, kde se systém vyrábí a běžně užívá. Asi nejrozsáhlejší je aplikace v administrativní budově ve Frankfurtu kde je systém nainstalován na ploše cca 7 000 m². V nové budově Vertigo Technické univerzity v Eindhovenu v Nizozemí je nainstalováno cca 350 m² otevřených chladicích stropů v kancelářských částech objektu [3].

Speciální provedení

Často se lze setkat s požadavkem architekta na konkrétní, vizuálně lépe vypadající technické řešení daného prostoru. Některé vyráběné konstrukce chladicích stropů, které zasahují do interiéru umožňují integraci dalšího technologického vybavení prostoru. Nevýhodou je především cena, neboť se většinou nejedná o běžné sériové výrobky, nýbrž o výrobu na zakázku. Na obr. 13 jsou znázorněny příklady integrace osvětlovacích těles do otevřených konstrukcí chladicích stropů.

ZÁVĚR

I přes výhody, kterými otevřené chladicí stropy disponují, neexistuje u nás žádný distributor, který by je na našem trhu oficiálně nabízel a tak je systém prakticky neznámý. Pořizovací hodnota klimatizačního systému s konvektivními chladicími stropy je totiž poměrně vysoká. Zmíněné skutečnosti ho staví na okraj zájmu nejen investorů, ale i projektantů, či dodavatelských firem. V budoucnu, v souvislosti s nutností opatřovat budovy energetickými štítky s cílem co nejvíce snižovat spotřebu energie, je možné, že otevřené chladicí stropy najdou uplatnění i v našich podmínkách.

Seznam veličin

a	poměr využití plochy stropu	[-]
A_p	plocha přední části chladicího stropu	[m ²]
A_z	plocha zadní části chladicího stropu	[m ²]
A_{str}	půdorysná plocha chladicího stropu	[m ²]
A_s	celková plocha stropu (podlahy)	[m ²]
A_{zb}	plocha stropu bez chladicího stropu	[m ²]
A_v	volná plocha v A_{zb} umožňující přístup vzduchu	[m ²]
α_k	součinitel přestupu tepla konvekcí na chladicím stropě	[W/m ² K]
$\alpha_{k,z}$	součinitel přestupu tepla konvekcí na zadní části stropu	[W/m ² K]
α_s	součinitel přestupu tepla sáláním na chladicím stropě	[W/m ² K]
f	poměr volné plochy stropu ku ploše bez chladicího stropu	[-]
K_{str}	součinitel stropu	[-]
$K_{1,2}$	opravní součinitel	[-]
Q_c	celková citelná tepelná zátěž	[W]
q_N	normalizovaný chladicí výkon stropu	[W/m ²]
q_{str}	měrný výkon chladicího stropu	[W/m ²]
t_a	teplota vzduchu	[°C]
t_{ws}	střední teplota vody	[°C]

Příspěvek byl napsán s podporou výzkumného záměru MSM 6840770011 Technika životního prostředí.

Kontakt na autora: Vladimír.Zmrhal@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] ZMRHAL V. Hodnocení tepelného komfortu v prostoru s chladicím stropem. In *Vytápění, větrání, instalace*, 2004, roč. 13, č. 4, s. 149-152.
- [2] ZMRHAL V. Zkoušení a dimenzování chladicích stropů. In *Vytápění, větrání, instalace*, 2007, roč. 16, č.2, s.75-79
- [3] Krantz Komponenten, Domovské stránky, Dostupné z: <<http://www.krantz.de>>.
- [4] Trox. Domovské stránky. Dostupné z <<http://www.trox.de>>.
- [5] Schako. Domovské stránky výrobce distribučních elementů. Dostupné z: <<http://www.schako.de>>.