

Solární střecha ve větracích systémech

Datum: 5.10.2009 | Autor: Ing. Ondřej Šíkula, Ing. Olga Rubinová, Ph.D. |
Recenzent: doc. Ing. Karel Papež, CSc.

Solární kolektory mohou zajistit částečné pokrytí potřeby tepla pro vytápění budov. Vzduchové kolektory používající jako teplonosnou látku vzduch patří k technicky nejjednodušším systémům solárního vytápění. Takový systém může být přímo zakomponován do budovy např. jako solární střecha.

Úvod

Sluneční záření je z pohledu lidského života věčný, přístupný zdroj tepelné energie. Jeho využívání v systémech TZB se stává stále běžnější. Časté je jímání tepelné energie do kapaliny, která následně slouží pro ohřev teplé vody, příp. k vytápění v přechodném období. Kromě kapalinových kolektorů však lze využívat i kolektory vzduchové. Nevýhodné vlastnosti vzduchu z hlediska přenosu tepla jsou kompenzovány malými nároky na konstrukci kolektoru, který může být vhodně zakomponován do stavby, každý může být řešen jako atypický originál šitý na míru potřebám konkrétní stavby. Tato originalita je však provázena velkou nejistotou při jeho návrhu z hlediska dosažení požadované účinnosti a výkonu. Proto je pro návrh takového atypického prvku nutné použít přesnější nástroje, kterými se vytvoří tepelný model.

Z hlediska zabudování vzduchového kolektoru do stavby se rozlišují tyto případy:

- Panelový plochý kolektor (typizovaný, sériově vyráběný prvek k osazení na obvodový plášť budovy, podobně jako kapalinové kolektory)
- Absorpční střechy a fasády (integrovane prvky do stavební konstrukce)
- Energetické fasády (akumulace tepla do hmoty fasády, proudění vzduchu vzduchovou mezerou mezi vnitřní stěnou a předsazeným pláštěm)

Z hlediska použití ohřátého vzduchu se soustavy dělí na uzavřené s cirkulací vzduchu a otevřené, které jsou vhodné pro zapojení do větracích soustav.

V tomto příspěvku je na příkladu fasádního vzduchového kolektoru ukázány možnosti výpočtu teplotních poměrů proudícího vzduchu.

Využití a přednosti vzduchových kolektorů

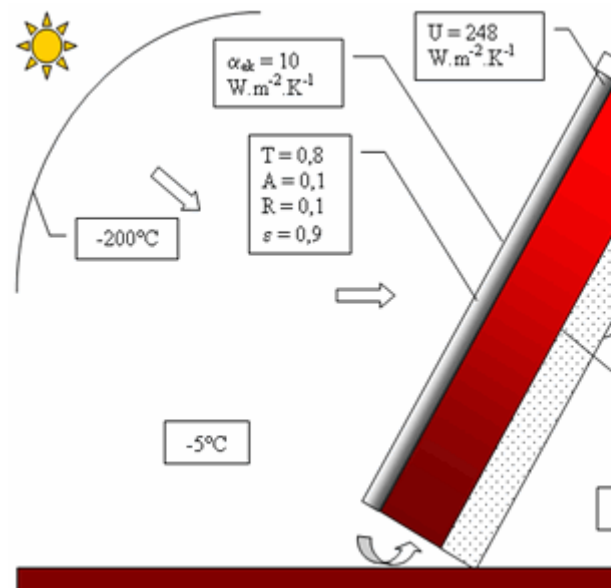
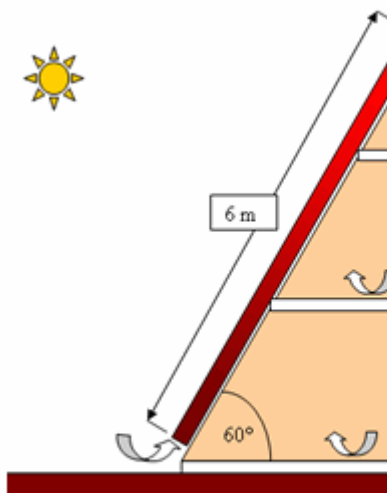
Zásadní nevýhodou vzduchového kolektoru je nízká schopnost vzduchu přenášet teplo, takže při požadavku na dosažení stejného výkonu jako kolektory kapalinové jsou vzduchové systémy nepoměrně větší, stejně jako rozměry potrubí. Vzduchové systémy má význam sestavovat s malými výkony (řádově stovky W na celý systém) a získanou energii využívat přímo bez dalších vložených okruhů. Jsou tedy vhodné pro předehřev vzduchu pro větrání nebo teplovzdušné vytápění. Realizovaný příklad systému solárního skleníku [2] uvádí vzestup teploty po průchodu kolektorem za jasných zimních dnů o 10 až 15 K. V případě polojasné oblohy 4-7 K, při zatažené obloze je reálný vzestup teploty o 1 až 8 K.

Jisté potíže může působit kondenzace vodní páry v prostoru kolektoru. Mezi zásadní přednosti však patří

- levnější a jednodušší provedení kolektoru z hlediska použitých materiálů i jeho konstrukce, a tím možnost zhotovení atypických prvků, integrací do stavební konstrukce odpadají problémy s kotvením a podpůrnými konstrukcemi. Příkladem integrace do stavební konstrukce je "solární skleník" v budově Slunečního penzionu ve Svitavách [3].
- vzduchový systém nevyžaduje v porovnání s kapalinovým zabezpečovací zařízení, opatření proti zamrznutí, napouštění a vypouštění soustavy, ochrana proti přehřátí
- vytvořením vzduchové mezery vznikne dvouplášťová konstrukce, přičemž vnitřní plášť je chráněn proti povětrnostním podmínkám
- možnost využití více provozních režimů, ve vhodné konfiguraci v létě pracuje systém jako otevřený, čímž chrání vzduchový prostor před přehřátím a podporuje přirozené větrání objektu. Tento režim byl s kladným výsledkem ověřen na experimentálním zařízení "solární komín" [2].

Popis solární střechy

Jako příklad využití vzduchového kolektoru pro ohřev vzduchu pro nucené větrání v zimním období byl použit v současné době budovaný kolektor na rekreačním objektu v Brně. Podle dohody s majitelem objektu zde budou po jeho dokončení prováděna dlouhodobá měření sloužící ke stanovení účinnosti a k verifikaci níže uvedených výpočtových modelů. Objekt je dvoupodlažní, jižní fasáda má sklon 60° C a celá bude sloužit jako absorbér vzduchového kolektoru. Kolektor bude pracovat v několika režimech, v tomto příspěvku je realizován výpočet větracího režimu s nuceným pohybem vzduchu. Předehřátý vzduch pro větrání je nasáván z venkovního prostoru a přiváděn je do jednotlivých místností v 1. a 2. NP objektu. Tento stav je schématicky znázorněn na obr.1. Na dalším obr. Jsou znázorněny hodnoty okrajových podmínek pro sdílení tepla. Vrchní plášť kolektoru je tvořen dvojitým zasklením běžným sklem tl. 3 mm. Vlastní absorbér je uvažován s deskou Cetrus, pod kterými je vrstva tepelné izolace o tl. 250 mm. Výška vzduchové mezery je 8 cm, je uvažováno s průtokem vzduchu $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ šířky kolektoru. Kolektor je vysoký 6m a v podélném směru je členěn na několik polí o šířce 1m. Výpočet je proveden pro střední pole. Na spodním konci je vzduch nasáván podélnou štěrbinou, na horním je vzduch nasáván ventilátorem do kruhového otvoru napojeného na potrubí. V místnostech je uvažována konstantní teplota 21°C . Výpočet je proveden jako stacionární pro jasnou oblohu v poledne 15.února. Tento den reprezentuje nepříznivé zimní podmínky.



Obr. 1 Řez objektem s jižní fasádou tvořenou vzduchovým kolektorem
 Obr.2 Uvažované okrajové podmínky výpočtu ohřevu vzduchu v kolektoru

Metody

Pro výpočet teplotních poměrů vzduchu v kolektoru byly zvoleny 3 různé metody. Každá reprezentuje jiný matematický model, jinou přesnost výpočtu a jiné výsledky. Cílem porovnání je vytipování takového modelu, který je dostatečně přesný a přitom přiměřeně složitý z hlediska zpracování.

1. Rovnice tepelné bilance

Vzduchové kolektory pracují oproti kapalinovým s velkým rozdílem teploty, což je nutno ve výpočtu zohlednit. Kolektor je zahříván dopadajícím slunečním zářením a ochlazován sáláním a konvekcí do okolí. Výměna tepla přes zadní stěnu kolektoru byla zanedbána. Pro úsek dx kolektoru platí rovnice tepelné bilance:

$$T \cdot A_g \cdot I \cdot dx - U_p \cdot t \cdot dx = m \cdot c \cdot dt \quad (1)$$

Tepelná bilance dle vztahu (1) zjednodušuje proces sdílení tepla tak, že se teplo dodané slunečním zářením na základě prostupnosti krytu kolektoru zmenší o ztráty konvekcí přes kryt kolektoru do venkovního prostoru. Ve skutečnosti však sluneční tvářění dopadá na povrch absorbéru, kde dojde ke zvýšení povrchové teploty a teplo se sdílí do vzduchu konvekcí. Předpokládá se, že pokud je výsledný efekt stejný, lze výpočet použít [4].

Řešením rovnice (1) je vztah pro průběh teploty v kolektoru. Pro otevřený okruh, kdy je vstupní teplota vzduchu t_1 shodná s teplotou okolí, lze podle [1,4] použít zjednodušený vztah, kterým se vyčíslí rozdíl výstupní teplota vzduchu t_2 :

$$t_2 = t_1 + \frac{T \cdot A_2 \cdot I}{U_p} \left(1 - e^{-\frac{U_p \cdot b}{m \cdot c}} \right) \quad (2)$$

T - poměrná prostupnost slunečního záření (-)

A - poměrná absorpce slunečního záření (-)

R - poměrná odrazivost slunečního záření (-)

α - součinitel přestupu tepla ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)

I - dopadající sluneční záření ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

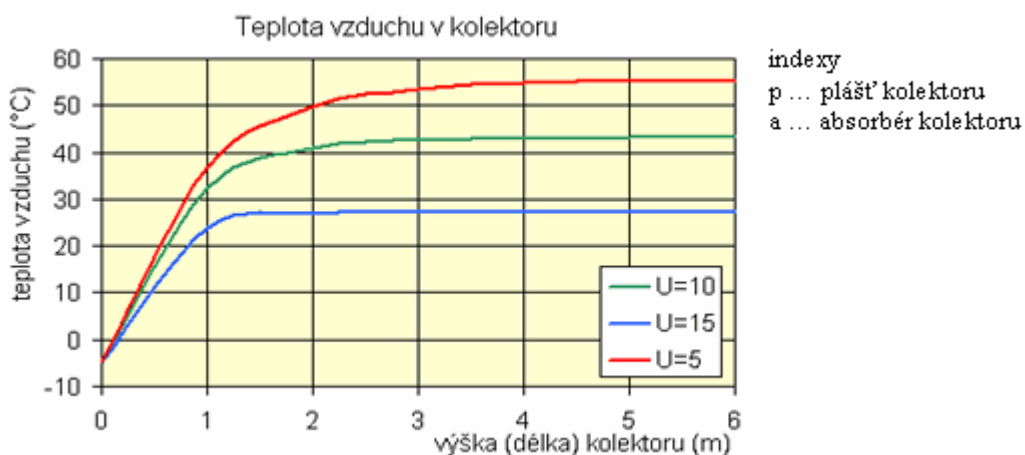
U - součinitel prostupu tepla ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$); doporučená hodnota $U = 10 - 15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

b - šířka kolektoru (m)

l - délka kolektoru (m)

m - hmotnostní tok vzduchu (kg/s)

c - měrná tepelná kapacita vzduchu ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)



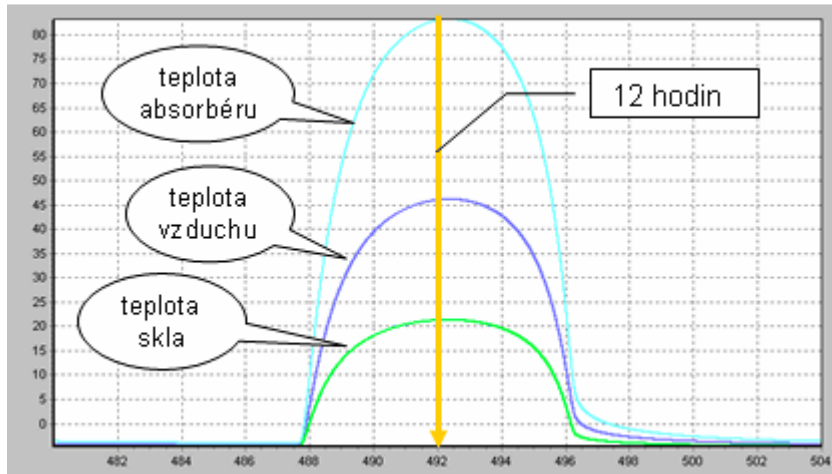
Obr.3 Průběh teploty v kolektoru dle vztahu (2)

Z průběhu teploty dle obr. 3 zpracovaného pro 3 varianty součinitele prostupu tepla je zřejmé, že již ve vzdálenosti 2 až 3 m je dosaženo tepelné rovnováhy. Tepelný zisk od slunečního záření je v této vzdálenosti stejný jako ztráta tepla do okolí přes kryt kolektoru. Součinitel prostupu tepla U v grafu reprezentuje různou kvalitu krytu kolektoru. Doporučená hodnota dle [4] je $U = 10-15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Volba této hodnoty je spojena s velkou nejistotou, poněvadž při jednoduchém i dvojitým zasklení tu hrají významnou úlohu součinitele přestupu tepla na obou stranách zasklení.

2. Jednorozměrný model přenosu tepla (Teruna)

Tato varianta výpočtu je založena na jednorozměrném modelu přenosu tepla, který byl sestaven pro řešení teplotních poměrů běžných místností pro pobyt člověka, čemuž odpovídají

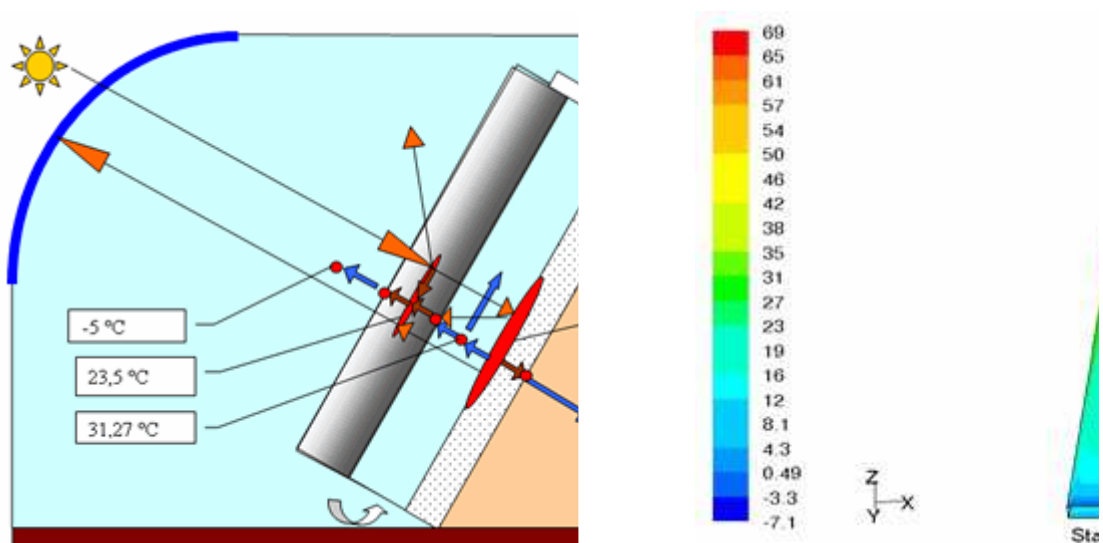
i určité idealizace přenosu tepla (program Teruna). Mechanismus sdílení tepla je založen na přenosu tepla sluneční radiací na pevné konstrukce vytvářející obálku místnosti (zde kolektoru), ze kterých se teplo předává vedením do stěn a konvekcí do vzduchového prostoru. Vzduch je reprezentován jednou teplotou, stejně jako jednotlivé stěny. Model je založen na řešení tepelné rovnováhy za dynamického tepelného stavu, grafický výstup pro daný případ s okrajovými podmínkami dle obr. 2 je na obr. 4. Z průběhu je zřejmé, že přestože teplota vzduchu odpovídá přibližně ostatním modelům, v teplotách absorbéru i skla se dost liší. Důvody bude nutno hledat v zanedbání sdílení tepla dlouhovlnným sáláním. Přestože postižení procesu sdílení tepla je výrazně přesnější než řešení podle bodu 1, jsou výsledky z celkové hlediska jen orientační.



Obr.4 Teplotní poměry v kolektoru během 24 hodin za jasného oblohy.

3. Trojrozměrný model přenosu tepla (Fluent)

Tato varianta je založena na výpočtu sdílení tepla v solární střeše CFD simulací. Simulace vychází z trojrozměrného geometrického modelu vnitřního pole solární střechy a postihuje sdílení tepla vedením, prouděním, sáláním a to jak slunečním, tak i dlouhovlnným. Pro řešení proudění v solární střeše byl použit RNG $k - \epsilon$ model turbulence. Výpočet přenosu tepla sáláním je založen na solárním modelu pro bezmračnou oblohu dle ASHRAE a DO modelu radiace [5]. Částečné výsledky jsou dokumentovány na obr. 5 a 6.



Obr. 5 Vypočtené průměrné teplotní poměry v kolektoru *Obr. 6 Povrchová teplota skla kolektoru*

Výsledky

Kvalitativním parametrem kolektoru je jistě rozdíl teploty na sání a výstupu vzduchu z kolektoru a jeho účinnost, jejíž vyčíslení umožňuje vztah (3). Vyjadřuje poměr tepelného toku pohlceného vzduchem, který se projeví zvýšením teploty ku tepelnému toku dopadajícímu na plášť kolektoru.

$$\eta = \frac{m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{I \cdot b \cdot I} \cdot 100 \quad (3)$$

Vyčíslená účinnost konkrétního řešeného kolektoru všemi výše zmiňovanými způsoby výpočtu činí přibližně 7 %. Přestože tato účinnost je v porovnání s kapalinovými kolektory nízká, dosažená teplota výstupního vzduchu z kolektoru $t_2 = 44^\circ\text{C}$ je pro teplovzdušné větrání dostatečná.

Hygienické a provozní aspekty vzduchového kolektoru

Pokud je kolektor součástí větracího systému jako otevřená soustava, je nutné při volbě materiálů pro jeho konstrukci k tomuto přihlížet. Povrchy musí být bezprašné, kolektor chráněn před hmyzem, ptactvem apod. Sání vzduchu musí být realizováno v určité výšce nad terénem (vzhledem k zimnímu provozu i proti zapadání sněhem). Dále je třeba omezit nasávání prachových částic z povrchu přilehlého terénu. Povrch absorbéru se upravuje tak, aby dosahoval vysoké pohltivosti, a tyto nátěry musí být i při expozici vysokým teplotám být stabilní a nesmí uvolňovat chemické látky do proudícího vzduchu. Barva by však měla být stálá i při dlouhodobém oslunění. Pokud se černý nátěr změní během životnosti kolektoru na šedý, dochází ke zmenšení jeho účinnosti.

Závěr

Výše popsané metody použity ke zhodnocení účinnosti konkrétní uvažované, avšak doposud nerealizované solární střechy pro teplovzdušné větrání rekreačního objektu v Brně. Je tedy nutno je chápat jako předběžné. Teplota vzduchu na výstupu ze solárních střechy vypočtená CFD simulací velmi dobře odpovídá vypočtené teplotě z tepelné bilance sestavené dle [1]. Tato teplota je v posuzovaných okrajových podmínkách dostatečná pro teplovzdušné větrání a dokonce i pro částečné teplovzdušné vytápění tohoto objektu. V ranních, či odpoledních hodinách však bude energetický přínos kolektoru výrazně nižší. Na základě výše uvedených výsledků lze předpokládat, že zvolená konstrukce solární střechy bude z energetického hlediska funkční.

V další fázi budou na teoretické bázi optimalizovány její rozměry, v průběhu času simulován její energetický přínos a tyto výstupy ověřovány dlouhodobým měřením.

Príspevek byl publikován na konferenci Vykurovanie 2006 v Tatranské Lomnici.

Literatura

- [1] *Harcuba Jiří: Vzduchové solární systémy, Topenářství a instalace 3/2006 str. 36 – 38*
- [2] *Charvát Pavel, Jícha Miroslav, Štětina Josef: Solární komín pro větrání a pasivní chlazení, VVI 5/2004 str. 196 – 197*
- [3] *Jaroš Michal a kol: Solární skleník jako zdroj tepla pro teplovzdušné větrání, VVI 4/2004, str. 146-148*
- [4] *Cihelka Jaromír: Solární tepelná technika, nakladatelství T. Malina, Praha 1994*
- [5] *Fluent 6.2 User's Guide. Lebanon. Fluent Inc., 2005*
- [6] *ČSN EN 12975 - Tepelné solární soustavy a součásti - Solární kolektory. ČSNI. 2001.*

Lektorský posudek

Předložený článek se zabývá možností použití vzduchových kolektorů umístěných na střešní konstrukci objektu.

Toto řešení se jeví jako velmi zajímavé a výhodné ze dvou základních hledisek, a to:

Celá aplikace není tak investičně náročná ve srovnání s jinými podobnými návrhy a docílených energetických hodnot je možné velmi dobře využít v oblasti teplovzdušného větrání. Navíc celá konstrukce vzduchových kolektorů se nejeví jako složitá. Jsou zde využity poznatky ze solárního komína. Celý návrh v článku je doplněn výpočtovými metodami.

Článek se mi jeví jako velmi zajímavý a v budoucnu v praxi aplikovatelný.

doc. Ing. Karel Papež, CSc.

Zdroj: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/5948-solarni-strecha-ve-vecracich-systemech>