

Účinnost vakuových trubkových solárních kolektorů (II)

Datum: 14.7.2008

Autor: Ing. Tomáš Matuška, PhD.

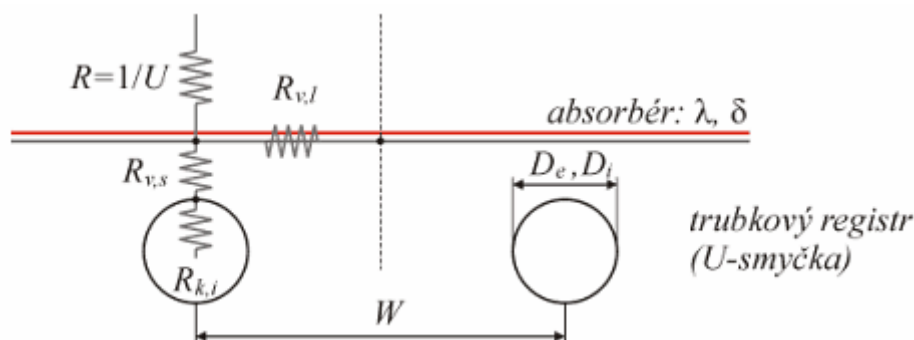
Organizace: ČVUT, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí

Druhý díl článku rozebírající účinnost vakuových trubkových kolektorů upozorňuje na podstatný vliv tzv. účinnostního součinitele. Ten hraje významnou roli u mnohých velmi levných čínských trubkových kolektorů, které se objevují v poslední době na našem trhu.

V minulé části [1] byl ukázán vliv účinnostního součinitele F' na celkovou účinnost solárního kolektoru, významný zvláště v případě vakuových trubkových kolektorů, kde ostatní hlavní parametry kolektoru (propustnost zasklení $\tau = 0,92$, pohltivost absorbéru $\alpha = 0,95$ a součinitel prostupu tepla kolektoru $U = 1,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) jsou na hranici současných možností. V této části bude teoreticky a prakticky na základě experimentálních měření rozebrán vliv konstrukčního řešení typických variant trubkových vakuových kolektorů na hodnotu účinnostního součinitele.

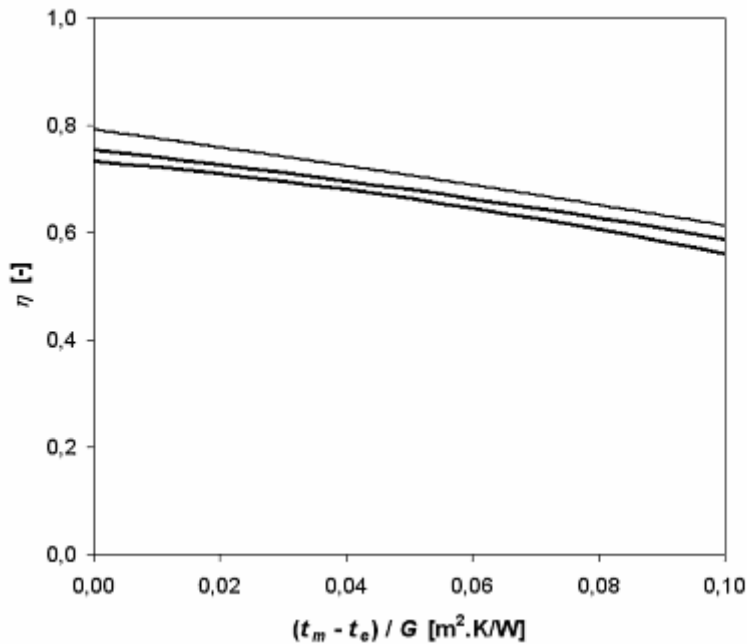
JEDNOSTĚNNÝ TRUBKOVÝ VAKUOVÝ KOLEKTOR

Z hlediska konstrukčního řešení absorbéru je jednostěnný vakuový trubkový kolektor obdobný kolektoru plochému. Plochá lamela absorbéru je navařena na měděné potrubí protékané teplonosnou kapalinou, případně na výparníku tepelné trubice. Na obr. 1 je schématicky znázorněn přenos tepla z plochého absorbéru do teplonosné kapaliny u varianty s přímo protékaným registrem. Tepelný odpor $R_{v,l}$ vyjadřuje vedení tepla lamelou, $1/R_{v,s}$ je tepelný odpor spoje absorpční lamely s protékaným potrubím a $R_{k,i}$ odpor vůči přestupu tepla konvekcí z vnitřní stěny trubky do teplonosné kapaliny. Součinitel prostupu tepla U vyjadřuje tepelnou ztrátu z absorbéru do okolí. Ultrazvukově nebo laserově navařený plochý absorbér na trubkový registr (U-smyčka) vykazuje vysokou tepelnou propustnost podobně jako u plochých kolektorů. Šířka lamely absorbéru W je obdobná jako u plochých kolektorů (100 až 130 mm) nebo v řadě případů je lamela dokonce užší (50 až 100 mm podle průměru vakuové trubky) a vykazuje tak menší odpor vůči toku tepla vedením z povrchu absorbéru do místa spoje s měděným potrubím a tedy vyšší hodnotou F' než u běžných plochých kolektorů. Vliv rychlosti proudění teplonosné kapaliny na účinnostní součinitel není příliš výrazný, detailní analýza byla provedena například v [2]. Analogické schéma přenosu tepla je možné použít i pro jednostěnné trubkové vakuové kolektory s tepelnou trubicí.



Obr. 1 Schéma přenosu tepla v jednostěnném trubkovém kolektoru s plochým absorbérem s přímo protékanou potrubní U-smyčkou (PP)

Z konstrukčního řešení absorberu, účinného z hlediska přenosu tepla, vyplývá vysoko položená hodnota účinnostního součinitele F' a tedy i účinnosti při nulovém teplotním spádu η_o , srovnatelná s hodnotami dosahovanými u kvalitních plochých kolektorů. Vakuovaný prostor okolí absorberu a spektrálně selektivní povrch s nízkou emisivitou v oblasti infračerveného záření zajišťují minimální tepelné ztráty vyjádřené nízkou hodnotou směrnice křivky (poklesu účinnosti s narůstajícím teplotním rozdílem mezi absorberem a okolím). Jednotěnné trubkové vakuové kolektory je možné považovat za nejúčinnější nekoncepční kolektory v rozsahu provozních teplot od 20 °C do 150 °C ve vztahu k ploše apertury (zasklení).



Obr. 2 Křivky účinnosti pro běžné jednotěnné vakuové trubkové kolektory

TRUBKOVÝ SYDNEY KOLEKTOR S PŘÍMO PROTÉKANOU U-TRUBKOU (PP)

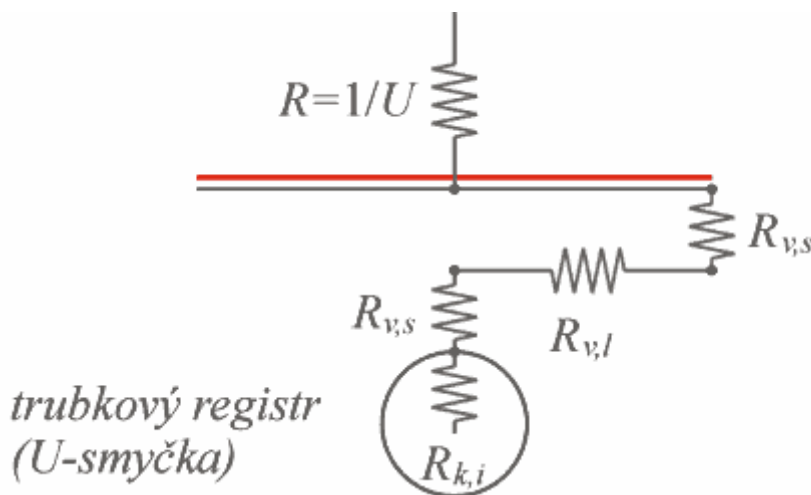
Při bližším prozkoumání rovnice účinnosti kolektoru (viz obr. 3) zjistíme, že u trubkových vakuových Sydney kolektorů jsou základní vlastnosti kolektoru (propustnost zasklení τ , pohltivost absorberu α , součinitel prostupu tepla U) dány kvalitou vlastní Sydney trubky až na účinnostní součinitel F' . Součinitel F' však významně ovlivňuje celkovou účinnost kolektoru, jak z rovnice plyne. Nízká hodnota F' znamená přímo úměrně nízkou hodnotu účinnosti kolektoru v celém teplotním rozsahu. Pro výrobu účinného trubkového Sydney kolektoru je proto nutné kromě použití kvalitní vakuové Sydney trubky zajistit i účinný přenos tepla z absorpční trubky (jejího vnitřního povrchu) do teplotonosné kapaliny.

dáno Sydney trubkou

$$\eta = \left(F' \right) \cdot \left[\tau \cdot \alpha - U \cdot \frac{(t_m - t_e)}{G} \right]$$

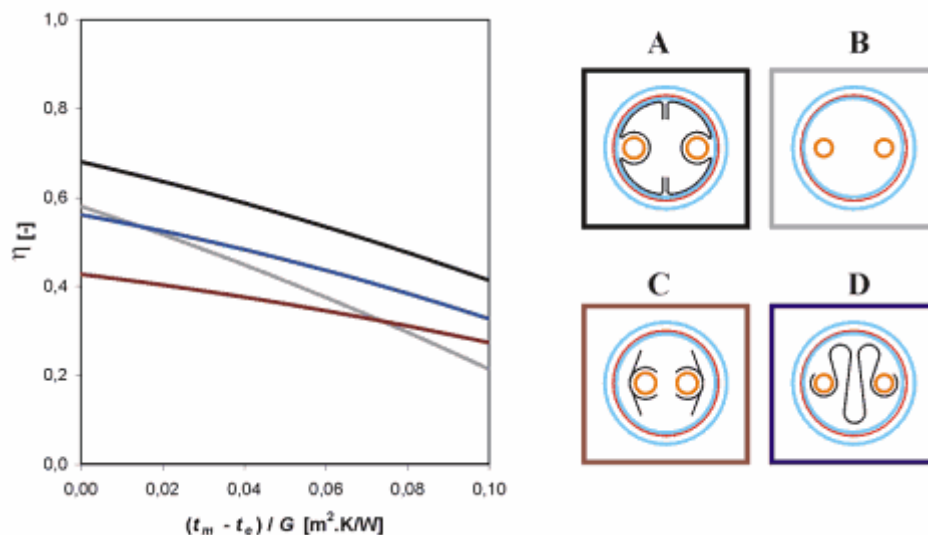
Obr. 3 Rovnice účinnosti solárního kolektoru

Na obr. 4 je zobrazeno schéma přenosu tepla v trubkovém přímo protékaném (PP) Sydney kolektoru. Použití vodivé lamely (hliník, měď) dotýkající se celoplošně (nezbytný přesně odpovídající tvar lamely) jak vnitřního povrchu absorpční trubky, tak vnějšího povrchu potrubí registru (U-smyčka) protékané teplonosnou kapalinou je základní podmínkou pro dobrý přestup tepla (nízký tepelný odpor $R_{v,l}$), nicméně velmi záleží na kvalitě obou kontaktů, reprezentovaných tepelnými odpory $R_{v,s1}$ a $R_{v,s2}$ (viz obr. 4). Do jaké míry má použití vodivé lamely vliv na přenos tepla a tím i na účinnost celého kolektoru ukazuje obr. 5, kde je porovnán kvalitní Sydney kolektor (PP) s celoplošným kontaktem lamely s vnitřním povrchem absorpční trubky a vnějším povrchem teplonosnou kapalinou protékané U-smyčky potrubního registru (varianta A, černá barva) se zcela identickým kolektorem, nicméně bez lamely (varianta B, šedá barva). Z grafu vyplývá výrazný pokles účinnosti způsobený absencí lamely. Přenos tepla z absorpčeru k U-smyčce registru je však kromě vedení lamelou realizován i zářením (protékaná U-smyčka je téměř v ohnisku vnitřní plochy absorpční trubky) a volnou konvekcí, což vysvětluje skutečnost, že i v případě absence lamely není účinnost kolektoru nulová.



Obr. 4 Schéma přenosu tepla v trubkovém Sydney kolektoru (PP)

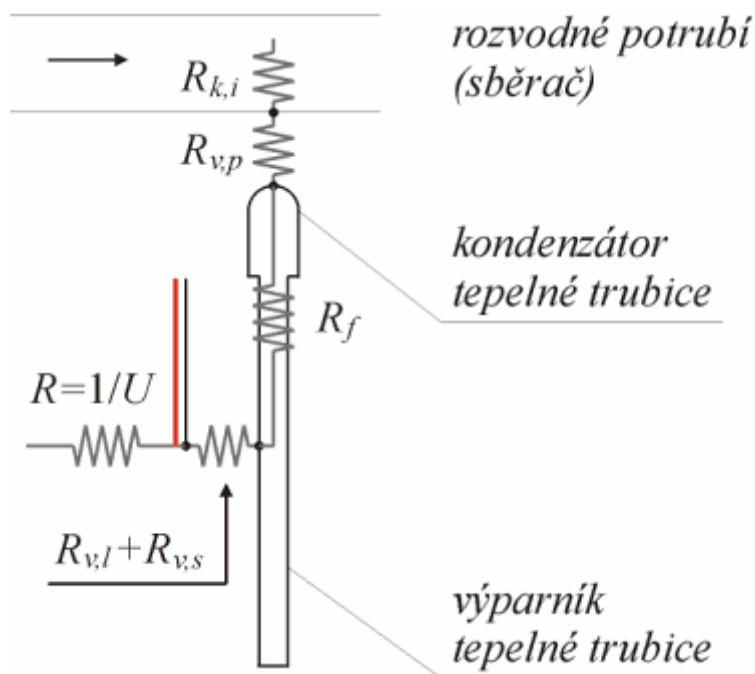
Ve stejném grafu na obr. 5 jsou zobrazena také další konstrukční uspořádání (varianty C a D), u kterých je sice lamela přítomna, nicméně absorpční trubky se nijak nedotýká. Přenos tepla z absorpční trubky do teplonosné kapaliny je tak poměrně komplikovaný: sáláním a volnou konvekcí na lamelu a dále vedením lamelou a více či méně vodivým spojem s U-smyčkou potrubního registru, což znamená výrazné zhoršení účinnostního součinitele F' . Rozdíl v křivkách mezi konstrukčním uspořádáním C a D je možné vysvětlit vyšší přestupní plochou lamely u varianty D.



Obr. 5 Porovnání různého konstrukčního řešení trubkových Sydney kolektorů

TRUBKOVÝ SYDNEY KOLEKTOR S TEPELNOU TRUBICÍ (TT)

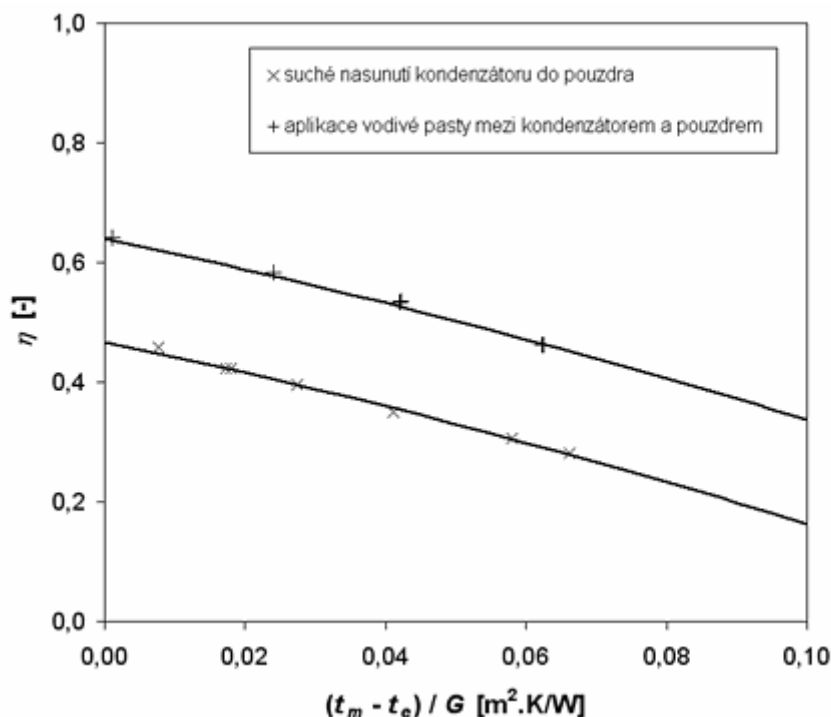
V současné době na český trh přichází řada levných trubkových Sydney kolektorů s tepelnou trubicí od čínských výrobců, které se vyznačují sice jednoduchým uspořádáním kondenzační části (trubkové pouzdro pro "suché" zasunutí kondenzátoru), nicméně často se špatným kontaktem, kdy povrch kondenzátoru nedoléhá dostatečně k vnitřnímu povrchu pouzdra. Na obr. 6 je schematicky znázorněn tepelný odpor problematických částí konstrukčního uspořádání trubkového Sydney kolektoru s tepelnou trubicí.



Obr. 6 Schéma přenosu tepla v trubkovém vakuovém Sydney kolektoru s tepelnou trubicí (TT)

Právě u konstrukční varianty s tepelnou trubicí (TT) je vliv dostatečně vodivého kontaktu ještě kritičtější, neboť se týká výparníkové i kondenzační části tepelné trubice (tepelný odpor spoje kondenzátor-pouzdro $R_{v,p}$ a tepelný odpor spoje vodivá lamela-výparník $R_{v,s}$), na jejichž

vnitřním povrchu dochází k fázové změně pracovní látky doprovázené vysokými součiniteli přestupu tepla (vyjádřené jako tepelný odpor R_f) a nedostatečný přenos tepla na vnějších površích může výhodu fázové změny výrazně degradovat. Na obr. 7 jsou znázorněny experimentálně zjištěné křivky účinnosti výše zmíněných levných Sydney kolektorů s tepelnou trubicí vztažené k ploše apertury [3]. Dolní křivka odpovídá běžnému stavu, kdy kondenzátor je "nasucho" nasunut do pouzdra (špatný kontakt). Z grafu je patrné, že křivka účinnosti je položena velmi nízko vlivem nedostatečného přenosu tepla mezi absorbérem Sydney trubky a teplotonosnou kapalinou (přehřívání absorbéru). Pro stejný kolektor (stejně tepelné trubice, stejné Sydney trubky) byla provedena změna v kondenzační části kolektoru. Pro zlepšení kontaktu byla aplikována tepelně vodivá pasta, zajišťující přenos tepla z kondenzátoru do pouzdra a teplotonosné kapaliny. Zvýšení účinnostního součinitele F' pak znamená odpovídající posun celé křivky účinnosti do oblasti vyšších hodnot.



Obr. 7 Experimentálně zjištěné křivky účinnosti trubkových vakuových Sydney kolektorů s tepelnou trubicí

ZÁVĚR

Z teoretického rozboru a experimentálních zkoušek vyplývá, že účinnost kolektorů obecně vždy závisí kromě "hlavních" parametrů kolektoru (τ , α , U) také na nenápadném a především ve starší tuzemské literatuře velmi zanedbávaném a nezmiňovaném účinnostním součiniteli F' vyjadřujícím kvalitu přenosu tepla z absorbéru do teplotonosné kapaliny. Řada výrobců a dodavatelů vakuových trubkových kolektorů tuto skutečnost přehlíží a výsledkem jsou málo účinné trubkové kolektory s vysoce účinnými Sydney trubkami.

POZNÁMKA

Experimentální hodnocení a zkoušení řady trubkových solárních kolektorů s různým konstrukčním řešením bylo prováděno v Solární laboratoři Ústavu techniky prostředí ČVUT v Praze v letech 2006 až 2008 [4, 5] v rámci Výzkumného záměru MSM 684077011. Solární

laboratoř slouží pro výzkum aplikací v oblasti využití sluneční energie a v rámci své činnosti zajišťuje zkoušky tepelného výkonu solárních kolektorů podle ČSN EN 12975 [6] jako podklad pro jejich certifikaci. Mezi solárními kolektory zkoušenými pro certifikaci se právě v posledních letech stále více objevují trubkové kolektory se Sydney trubkami. Z měření a vyhodnocování účinnosti a výkonu těchto kolektorů vyplývají poznatky důležité jak pro jejich návrh tak pro jejich použití v solárních soustavách. Mezi uvedenými hodnocenými kolektory nejsou trubkové Sydney kolektory s odrazným zrcadlem (reflektorem), neboť na tyto ve své podstatě koncentrační kolektory se nevztahuje metodika zkoušení a hodnocení dle normy [6], přičemž jiná standardizovaná metodika v současné době neexistuje.

LITERATURA

- [1] Matuška, T.: *Účinnost vakuových trubkových solárních kolektorů (I)*, Portál tzb-info. 2008.
- [2] Matuška, T.: *Vliv návrhu trubkového registru absorbéru na účinnost solárního kolektoru, Vytápění, větrání, instalace. 2006, roč. 15, č. 3, s. 143-145. ISSN 1210-1389.*
- [3] Šourek, B., Matuška, T.: *Zkušenosti ze zkoušení vakuových trubkových solárních kolektorů, Sborník konference Vykurovanie 2008 - Energetická efektívnosť zásobovania teplom, str. 275 - 278, Tatranské Matliare, 2008. ISBN 978-80-89216-19-2.*
- [4] Šourek, B., Matuška, T.: *Solární laboratoř na Ústavu techniky prostředí, fakulty strojní, ČVUT v Praze, Alternativní energie, roč. X, č. 4, 2007.*
- [5] *Webové stránky Solární laboratoře Ústavu techniky prostředí, fakulty strojní, ČVUT v Praze, <http://solab.fs.cvut.cz>*
- [6] *ČSN EN 12975-2 Tepelné solární soustavy a součásti - Solární kolektory - Část 2: Zkušební metody. ČNI 2006.*

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum účinnosti trubkových solárních kolektorů byl podpořen z Výzkumného záměru MSM 6840770011 Technika životního prostředí.