

# Sluneční kolektor s transparentní izolací

## Solar collector with transparent insulation

Tomáš MATUŠKA  
 ČVUT, fakulta strojní v Praze,  
 Ústav techniky prostředí

Recenzoval  
 Doc. Ing. Karel Brož, CSc.

Článek uvádí možnosti použití transparentních tepelných izolací jako krycí vrstvy pro aperturu kolektorů slunečního záření. Autor porovnává energetické efekty různých druhů transparentních izolací na kolektorech firmy EKOSOLARIS, a.s. na základě jím sestavených programů KOLEKTOR (stacionární model tepelných toků a ztrát kolektoru) a PROVOZ SK (celoroční provoz kolektoru za podmínek slunečního záření podle referenčního roku pro pražskou oblast). Výpočtové programy byly korigovány podle výsledků měření v solární laboratoři Ústavu techniky prostředí Fakulty strojní ČVUT v Praze. Výsledky naznačují, že využitím voštinových transparentních izolací lze podstatně zvýšit celoroční účinnost kolektorů s neselektivním absorberem tak, že předčí klasické provedení kolektoru s vysoce selektivním absorberem.

**Klíčová slova:** kolektor slunečního záření, transparentní tepelné izolace, absorber selektivní a neselektivní, účinnost.

*The possibilities of transparent thermal insulations use in solar collectors are described. Author compares energy savings of different types of transparent insulations used on collectors produced by Czech firm EKOSOLARIS a.s.. Computer programmes KOLEKTOR and PROVOZ\_SK are used for all-year energy savings evaluation. These programmes are based on Reference Year Climate Data for Prague region and were corrected according to real measured results in open Solar Laboratory at Department of Environmental Engineering, CTU Prague. The results confirm that transparent insulation of honeycomb structure applied at usual non-selective absorber is rather more efficient than single-glazed highly selective absorber.*

**Key words:** solar collector, transparent thermal insulation, selective and non-selective absorber, efficiency.

V současné době se v oblasti využívání sluneční energie věnuje celosvětově velká pozornost použití transparentních tepelných izolací jako zasklívacích prvků v pasivních i aktivních solárních systémech. Transparentní izolace nabízejí obecně dvě významné vlastnosti pro solární techniku: relativně vysokou propustnost slunečního záření a nízkou tepelnou ztrátu. Transparentní tepelné izolace prošly v posledních desetiletích velkým vývojem, od laboratorních experimentů přes první pokusné realizace až do aplikačního stadia.

Tradičním prvkem zasklení v solární technice je sklo. Jeho výhodou je relativně vysoká propustnost slunečního záření, dobrá absorpce infračerveného záření, odolnost proti poškrábání a vysokým teplotám. Na druhou stranu má však řadu nevýhod jako např. vysokou hustotu a především velkou tepelnou vodivost ( $\lambda = 0,8 \text{ W/mK}$ ). Součinitel prostupu tepla jednoduchým zasklením je  $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Pro zvýšení izolační schopnosti se zvyšuje počet tabulí, čímž klesne součinitel prostupu tepla na  $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  (dvojsklo) a  $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  (trojsklo). Vícevrstevná zasklení však zároveň snižují propustnost slunečního záření. Transparentní izolace svými dobrými tepelnými izolačními vlastnostmi odstraňuje problém vysokých tepelných ztrát tradičního zasklení.

### POUŽITÍ TRANSPARENTNÍCH IZOLACÍ VE SLUNEČNÍCH KOLEKTORECH

Ploché sluneční kolektory jsou nejpoužívanějším typem kolektorů pro přípravu teplé užitkové vody (TUV) s využitím slunečního záření. Jako zasklení se u nich používá tabulové bezpečnostní sklo o tloušťce 4 až 5 mm. Pro sezónní přípravu TUV se používají kolektory s neselektivním absorberem, pro celoroční přípravu TUV jsou nutné absorbery selektivní z důvodu snížení vyzařování tepelné energie, a tedy tepelných ztrát kolektoru v zimním období.

Celková účinnost plochého slunečního kolektoru je závislá na optických a tepelných vlastnostech jeho prvků (zasklení, absorber, rám kolektoru). Účinnost je dána jednak tzv. optickou účinností (součin propustnosti slunečního záření zasklením a pohltivosti absorberu) a tepelnou ztrátou kolektoru. Součinitel prostupu tepla krycího skla je okolo  $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , optická účinnost kolektoru je ko-

lem 80 %. Zhruba 80 % z celkové tepelné ztráty neselektivního slunečního kolektoru tvoří tepelná ztráta zasklením. V zimním období dochází u takových slunečních kolektorů k velkým tepelným ztrátám, způsobeným vyzařováním tepelné energie z absorberu a prostupem tepla zasklením, a tím k výraznému snížení účinnosti. Pro snížení tepelných ztrát se proto využívají tzv. selektivní absorbery, které snižují tepelné ztráty vyzařováním. Tepelná ztráta zasklením se tak sníží zhruba na 70 % z celkové tepelné ztráty kolektoru.

Transparentní tepelné izolace jako zasklení slunečních kolektorů umožňují jednak zvýšit celkovou účinnost kolektorů v oblasti provozních parametrů a jednak dosáhnout vyšších provozních teplot. Tepelná ztráta zasklením se výrazně sníží v závislosti na použitém typu transparentní izolace. Použitím voštinových transparentních izolací může podíl tepelné ztráty zasklením poklesnout až na 30 % z celkové tepelné ztráty kolektoru. Na druhou stranu se do určité míry zhorší optická účinnost (s poklesem propustnosti slunečního záření zasklením).

### SLUNEČNÍ KOLEKTORY S TRANSPARENTNÍ IZOLACÍ

Pro účely zjišťování potenciálu použití transparentních izolací v aktivních systémech využití slunečního záření (slunečních kolektorech) byly vyrobeny dva sluneční kolektory s výměnným zasklením, aby bylo možné snadno vyměňovat jednotlivé typy transparentních izolací. Kolektor č. 1 byl vyroben na podkladě slunečního kolektoru s neselektivním absorberem Ekostart Standard (Ekosolaris a.s.). Kolektor č. 2 byl vyroben na podkladě slunečního kolektoru se selektivním absorberem Ekostart Therma (Ekosolaris a.s.). Tyto kolektory byly vybrány z důvodu zkoumání interakce tepelného chování transparentní izolace a absorberu (neselektivní, selektivní). Schéma kolektoru s transparentní izolací je na obr. 1.

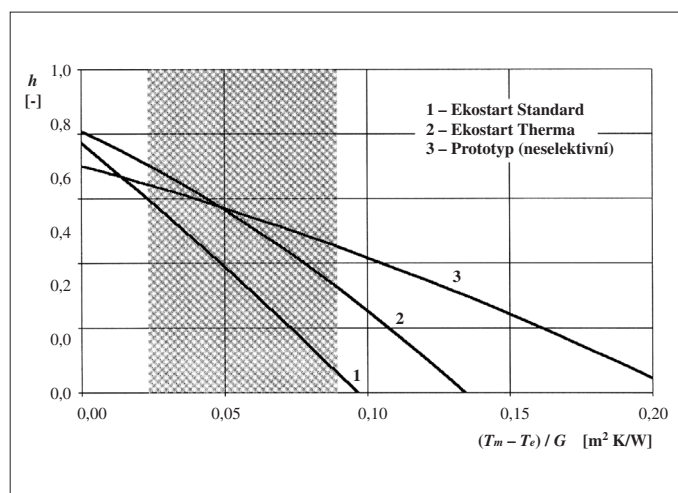
Kolektor č. 1 má absorpční plochu vytvořenou z měděných trubek a měděných lamel o šířce 110 mm. Horní povrch lamel je opatřen mírně selektivním nátěrem Solarlack M 40 Li (pohltivost absorberu  $\alpha = 0,95$ , zářivost absorberu  $\varepsilon = 0,86$ ), spodní povrch lamel není pokryt žádnou vrstvou (lesklá měď). Kolektor č. 2 má selektivní absorpční vrstvu Black crystal™ (fa Thermafina, USA), zajišťující pohltivost absorberu  $\alpha = 0,95$  a zářivost absorberu  $\varepsilon = 0,08$ .



U slunečních kolektorů se strukturami Lexan Thermoclear dochází k výraznému poklesu optické účinnosti (nízká propustnost slunečního záření strukturou). Tím se zhoršuje celková účinnost natolik, že u neselektivního kolektoru je celoroční provoz s takovou strukturou horší, či srovnatelný se základním typem (sklo). Z použití těchto struktur na kolektory s neselektivním absorberem vyplývá malý či nulový zisk (viz tab. 2). Obdobné výsledky byly získány pro kolektory se selektivním absorberem, kde oproti základnímu typu selektivního kolektoru (sklo) je celoroční účinnost kolektorů se strukturami Lexan Thermoclear mnohem horší.

Naopak použití voštinových struktur Okalux Kapipane na sluneční kolektory přináší zisk. Z křivek účinnosti a z analýzy celoročního provozu vyplývá, že použití transparentních izolací Okalux Kapipane výrazně zvyšuje účinnost obou typů slunečních kolektorů (neselektivní, selektivní). U kolektoru s neselektivním absorberem je nárůst celoroční účinnosti zhruba o 15 % oproti původnímu neselektivnímu kolektoru se sklem. U kolektoru se selektivním absorberem je nárůst o 5 až 7 %.

Navíc kolektor s voštinovou strukturou a neselektivním absorberem má průměrnou celoroční účinnost vyšší než selektivní kolektor s jednoduchým zasklením (základní typ). Ekonomicky a energeticky náročná výroba selektivního povrchu absorberu tak může být nahrazena použitím transparentní izolace při zachování přibližně stejné účinnosti.



Obr. 3 Porovnání prototypu neselektivního slunečního kolektoru s transparentní izolací. Křivka 3 – s kolektory dostupnými na trhu v ČR (Ekostart Standard a Ekostart Therma). Rastrem je naznačena pracovní oblast kolektorů, křivky jsou vypočteny pro  $G = 800 \text{ W/m}^2$

### PROTOTYP SLUNEČNÍHO KOLEKTORU S TRANSPARENTNÍ IZOLACÍ

Na základě uvedené analýzy slunečních kolektorů byl navržen sluneční kolektor s transparentní izolací. Jedná se o kolektor s neselektivním absorberem se zasklením na bázi voštinové struktury tl. 82 mm s ochranným bezpečnostním sklem. Voštinová struktura Okalux Kapipane se pro použití ve slunečních kolektorech ukázala nevhodná z důvodu nízké teplotní odolnosti materiálu. Maximální doporučená provozní teplota struktury z PMMA je 80 °C a využívá se proto výhradně ve stavebnictví (pasivní sluneční architektura). Při chodu kolektoru naprázdno je možné ve slunečním kolektoru s transparentní izolací dosáhnout teploty až 240 °C. Pro prototyp bylo proto navrženo použití voštinové struktury ze skla, která má stejný průměr i délku voštin (struktura Helioran tl. 80 mm, Glaswerke Arnold GmbH). Podle podkladů výrobce se struktura vyznačuje prakticky stejnými optickými i tepelně-technickými vlastnostmi jako Okalux Kapipane a je proto možné využít výsledky analýzy získané pro struktury Okalux.

Na obr. 3 je uvedeno porovnání křivky účinnosti prototypu slunečního kolektoru na bázi voštinové transparentní izolace tl. 80 mm a neselektivního absorberu s původním neselektivním kolektorem Ekostart Standard a selektivním kolektorem Ekostart Therma.

Z porovnání celoroční účinnosti prototypu s kolektorem Ekostart Therma (viz tab. 3) je zřejmé, že prototyp dosahuje vyšší účinnosti než sluneční kolektor s kvalitním selektivním absorberem.

Tab. 3 Porovnání prototypu s původními slunečními kolektory

Typ kolektoru	$\eta_{\text{roční}}$ [%]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	bez DPH [Kč]	bez DPH [Kč/m <sup>2</sup> ]
Ekostart Standard	21	1.50	8 800	5 867
Ekostart Therma	31	1.50	11 050	7 367
Prototyp Okalux 82 mm	37	1.50	10 800	7 200

Byla zpracována orientační ekonomická analýza reálné ceny prototypu. Prototyp je založen na původním neselektivním kolektoru Ekostart Standard. Místo mírně selektivního laku Solarlack M 40 Li bude pro absorber použit černý trvanlivý lak  $\alpha/\epsilon = 0,90/0,90$ . To zlevní výrobu kolektoru zhruba o 800 Kč. Cena transparentní izolace (bez DPH) pro plochu kolektoru 1,50 m<sup>2</sup> je zhruba 2800 Kč (1850 Kč/m<sup>2</sup>). Celková cena bez DPH bude tedy 10 800 Kč. Do odhadu ceny prototypu nebylo zahrnuto zvýšení nákladů na dvojnásobnou tloušťku prototypu oproti původním kolektorům. Porovnání s cenami původních slunečních kolektorů je uvedeno v tab. 3. Z porovnání plyne konkurenceschopnost prototypu slunečního kolektoru s původními slunečními kolektory na trhu v ČR.

### ZÁVĚR

V projektu byl zkoumán potenciál využití transparentních tepelných izolací v plochých slunečních kolektorech. Byl vytvořen matematický model slunečního kolektoru. Standardní metodikou byly změřeny křivky účinnosti slunečních kolektorů s transparentními izolacemi (neselektivní, selektivní) a naměřené hodnoty byly využity pro kalibraci matematického modelu. Výsledky kalibrovaného modelu (křivka účinnosti ve tvaru polynomu) byly využity k analýze celoročního provozu slunečních kolektorů s transparentní izolací.

Na základě celoroční analýzy byl navržen prototyp slunečního kolektoru s voštinovou strukturou Helioran tl. 80 mm a s neselektivním absorberem. Prototyp byl porovnán se slunečními kolektory dostupnými na trhu v ČR. Prototyp vykázal nejvyšší celoroční provozní účinnost (%). Porovnání měrné ceny zkoumaných slunečních kolektorů ukázalo dobrou konkurenceschopnost prototypu slunečního kolektoru s transparentní izolací (7 200 Kč/m<sup>2</sup>) s ostatními slunečními kolektory na trhu v ČR.

### Literatura:

- [1] DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A.: Solar Engineering of Thermal Processes. 2<sup>nd</sup> ed. Wiley Interscience. 1991.
- [2] MATUŠKA, T., BROŽ, K.: Závěrečná zpráva projektu FRVŠ 1999 č. int. 2399015 – Transparentní tepelné izolace. ČVUT Praha 2000.
- [3] MATUŠKA, T.: Závěrečná zpráva projektu IG2000 č. int. 3000056 – Sluneční kolektor s transparentní izolací. ČVUT Praha 2001.
- [4] Standard ISO 9806-1:1994 – Test methods for solar collectors – Part 1: Thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop. ISO 1994.