

Ing. Tomáš MATUŠKA, Ph.D.,  
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,  
Ústav techniky prostředí

# Výkonnost solárních kolektorů – 1. část: Základní parametry



Ústav techniky prostředí

## Thermal performance of solar collectors – Part 1: Basic parameters

Recenzent

Ing. Vladimír Jirka, CSc.

*Autor přehlednou formou seznamuje čtenáře v celé šíři s problematikou měření fototermálních kolektorů slunečního záření a významem naměřených hodnot pro popis chování. Přesně vymezuje pojmy především vztahných ploch a na praktických příkladech ukazuje rozdíly účinnosti vzniklé jejich různou interpretací. Je uvedena teoretická analýza účinnosti a výkonu solárního kolektoru, vyjádřena s ohledem na střední teplotu teplotnosné kapaliny. Autor se také zabývá chováním kolektoru v šikmých svazcích. Je uvedena analýza výkonu kolektoru experimentálním zjištěním modifikátoru úhlu dopadu (IAM).*

**Klíčová slova:** obrysová plocha, plocha apertury, modifikátor úhlu dopadu, křivka účinnosti, sluneční záření

*Author introduces an issue of solar collector measurement and significance of measured figures for thermal performance description in the form of comprehensive review. Reference areas of solar collector are exactly defined and differences in determined efficiency due to discrepant interpretation have been shown in practical example. Theoretical analysis of solar collector efficiency and power related to mean fluid temperature has been introduced. Author also concentrates on performance of solar collector under skewed beams. Analysis of collector thermal power with use of experimentally determined incidence angle modifier (IAM) has been presented.*

**Keywords:** gross area, aperture area, incidence angle modifier, efficiency curve, solar radiation

Při hodnocení kvality solárních kolektorů je nutné rozlišit mezi hodnocením spolehlivosti a výkonnosti kolektoru. Zatímco hodnocení spolehlivosti mechanickými zkouškami vypovídá o potenciální životnosti kolektoru, účelem hodnocení výkonnosti je určit schopnost solárního kolektoru produkovat energetický zisk. Základem pro oba typy hodnocení jsou zkoušky podle ČSN EN 12975–2 [1]. Spolehlivost (ve smyslu odolnosti) solárního kolektoru je zkoušena mechanickými zkouškami, při kterých je kolektor zatěžován extrémními provozními podmínkami.

Pokud kolektor zkouškám vyhoví bez omezení své funkce, je prohlášen za spolehlivý. Konečný zákazník by měl vyžadovat po dodavateli kolektoru protokol o výsledku takových zkoušek, jinak nemá záruku, že mu solární kolektor na střeše vydrží deklarovanou dobu životnosti.

Pro účely energetických výpočtů a hodnocení výkonnosti, se zkouškami podle stejné normy, získávají informace o tepelném a optickém chování kolektoru za definovaných podmínek. Jde především o křivku tepelného výkonu kolektoru, případně z ní odvozenou křivku účinnosti, a modifikátoru úhlu dopadu, vyjadřující závislost účinnosti solárního kolektoru na úhlu dopadu slunečního záření.

## VÝKON A ÚČINNOST SOLÁRNÍHO KOLEKTORU

Výkon solárního kolektoru se stanovuje z měření průtoku teplotnosné kapaliny kolektorem a rozdílu teplot mezi vstupem a výstupem kolektoru

$$\dot{Q}_k = \dot{M} \cdot c \cdot (t_{k2} - t_{k1}) \quad (1)$$

kde

$\dot{M}$  je hmotnostní průtok teplotnosné kapaliny kolektorem, v kg/s;  
 $c$  měrná tepelná kapacita teplotnosné kapaliny, v J/(kg·K);  
 $t_{k1}$  teplota na vstupu do solárního kolektoru, ve °C;  
 $t_{k2}$  teplota na výstupu ze solárního kolektoru, ve °C.

Účinnost solárního kolektoru  $\eta$  je za ustálených podmínek definována jako poměr tepelného výkonu odváděného teplotnosnou kapalinou z kolektoru k „příkonu“ slunečního záření (zářivému toku) dopadajícího na kolektor

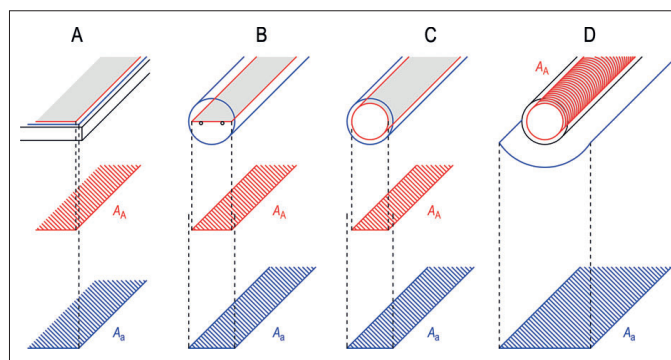
$$\eta = \frac{\dot{Q}_k}{G \cdot A_k} \quad (2)$$

kde

$G$  je sluneční ozáření, ve W/m<sup>2</sup>;  
 $A_k$  vztahná plocha kolektoru, v m<sup>2</sup>.

Křivka účinnosti slouží pro porovnání kvality dvou obdobných konstrukcí kolektoru z hlediska optických a tepelných vlastností. U solárních kolektorů je možné rozlišit celkem tři plochy, ke kterým se vztahuje účinnost, viz obr. 1 a obr. 2:

- plocha absorberu  $A_A$  – plocha, na které dochází k přeměně slunečního záření v teplo;
- plocha apertury  $A_a$  – plocha průmětu otvoru (zasklení), kterým vstupuje do kolektoru nesoustředěné sluneční záření;
- celková obrysová plocha  $A_G$  – plocha průmětu celkového obrysu solárního kolektoru.



Obr. 1 Definice plochy apertury a absorberu solárních kolektorů

A. plochý; B. trubkový s plochým absorberem; C. trubkový s válcovým absorberem; D. trubkový s válcovým absorberem a reflektorem

Zkušební norma ČSN EN 12975 umožňuje vztáhnout účinnost k ploše absorberu  $A_A$  a k ploše apertury  $A_a$ . Na obr. 1 jsou definovány plochy absorberu a plochy apertury pro různé typy kolektorů [1]. Pro solární kolektory s reflektorem (koncentrační), norma původně nebyla určena, a plochy pro ně nedefinuje. V praxi pak může u takových trubkových kolektorů docházet

zet k nesrovnalostem v definici ploch. Obecně však zkušebny uvažují, že plochou apertury je průmět plochy reflektoru (na reflektor dopadá nesoustředěné sluneční záření) a plochou absorberu je povrch válcové absorpční trubky (sluneční záření dopadá obecně ze všech stran vlivem reflektoru).

Jelikož plocha absorberu je zpravidla menší než plocha apertury (viz obr. 2), leží v grafickém porovnání křivka účinnosti, vztažená k absorberu, vždy výše než křivka účinnosti vztažená k apertuře. Nejníže pak leží křivka účinnosti vztažená k obrysové ploše kolektoru (viz obr. 3).

Dodavatelé solárních kolektorů proto uvádějí z marketingových důvodů především křivku účinnosti vztaženou k ploše absorberu. Obecně se však křivka účinnosti podle absorberu nepoužívá jako vztažná z řady praktických důvodů, především:

- nelze ji změřit bez poničení kolektoru (na rozdíl od apertury);
- je různě definovaná pro různé typy kolektorů (na rozdíl od apertury);
- účinnost trubkového kolektoru s reflektorem vztažená k absorpční ploše může být i větší než 1, což může být pro řadu projektantů i auditorů matoucí.

Evropské normy a certifikační systémy (např. Solar Keymark, Modrý anděl, aj.) používají jako vztažnou plochu pro solární kolektory plochu apertury. Vztažení křivky účinnosti k ploše apertury kolektoru je vhodné z hlediska porovnání vlastností dvou kolektorů, konstrukce a kvality provedení, nicméně nevhodné z hlediska rozhodování o potenciálu kolektoru pro danou aplikaci nebo pro porovnání kolektorů s různými účinnými plochami. Vyhodnocování účinnosti kolektoru vztažené k obrysové ploše kolektoru  $A_G$ , tedy ke skutečné ploše, kterou kolektor zaujímá v prostoru (na střeše, v terénu, apod.), však investora zajímá při analýze potenciálu využití sluneční energie na konkrétním místě instalace. Zejména trubkové kolektory bez reflektoru vykazují výrazný podíl neúčinné plochy na celkové ploše zastavěné kolektorem na střeše (cca 40 %) zvláště v porovnání s plochými kolektory (cca 10 %). V případě omezeného prostoru pro instalaci solárních kolektorů, (např. u bytových domů), může dojít k situaci, že na ploše, která je pro instalaci k dispozici, lze plochými kolektory zajistit vyšší výkony a celkové zisky než s trubkovými kolektory bez reflektoru.

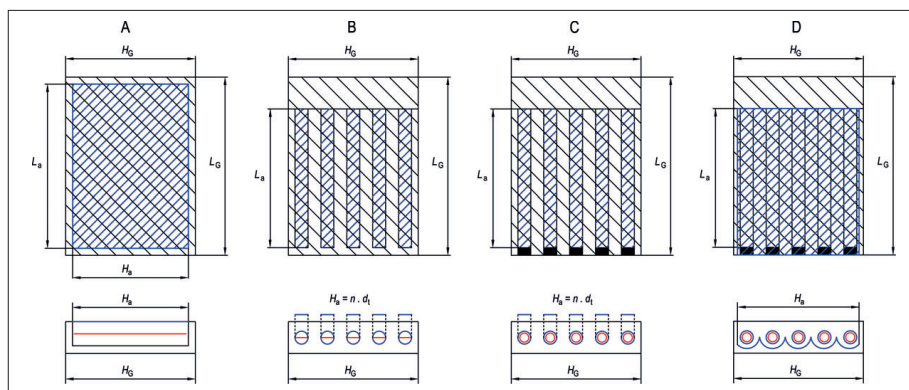
Účinnost solárního kolektoru je stanovena vždy jako závislost na venkovních klimatických podmínkách (sluneční ozáření  $G$ , venkovní teplota  $t_e$ ) a provozních podmínkách (střední teplota teplosnosné kapaliny  $t_m$ ). Křivka účinnosti je vyhodnocena proložení bodů účinnosti stanovených při různých teplotách kapaliny parabolou ve tvaru

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_e}{G} - a_2 G \left( \frac{t_m - t_e}{G} \right)^2$$

$$\text{častěji ve tvaru } \eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_e}{G} - a_2 \frac{(t_m - t_e)^2}{G} \quad (3)$$

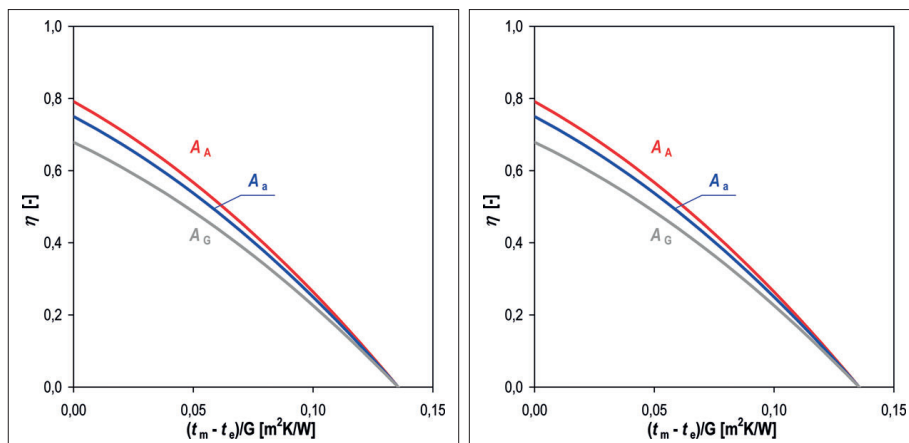
kde

$\eta_0$  je účinnost solárního kolektoru při nulovém teplotním spádu mezi střední teplotou teplosnosné kapaliny  $t_m$  a okolím  $t_e$  (nulové tepelné ztráty), zjednodušeně označována jako „optická účinnost“;



Obr. 2 Definice plochy apertury a obrysové plochy solárních kolektorů

A. plochý; B. trubkový s plochým absorberem; C. trubkový s válcovým absorberem; D. trubkový s válcovým absorberem a reflektorem



Obr. 3 Výkonová křivka kolektoru a křivky účinnosti vztažené k různým referenčním plochám

- $a_1$  lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru, ve  $W/(m^2 \cdot K)$ ;
- $a_2$  kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru (vyjadřuje teplotní závislost), ve  $W/(m^2 \cdot K^2)$ ;
- $\frac{t_m - t_e}{G}$  střední redukovaný teplotní spád mezi kapalinou a okolím, v  $m^2 \cdot K/W$ .

Účinnost, resp. křivka účinnosti (konstanty  $\eta_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ) solárního kolektoru musí být vždy uváděna společně s vyznačením vztažné plochy kolektoru  $A_k$ . Nicméně, při znalosti vztažných ploch kolektoru lze konstanty křivky účinnosti mezi sebou přepočítat, např. z hodnot vztažených k absorberu na hodnoty vztažené k apertuře podle vztahů

$$\eta_{0,a} = \eta_{0,A} \frac{A_A}{A_a}, \quad a_{1,a} = a_{1,A} \frac{A_A}{A_a}, \quad a_{2,a} = a_{2,A} \frac{A_A}{A_a} \quad (4)$$

Křivka účinnosti je nejčastěji citovaný parametr solárního kolektoru a dodavatel, který ji nedokáže prokázat protokolem ze zkoušky v akreditované laboratoři, vlastně zákazníkovi nemůže podat informaci o energetické kvalitě kolektoru a jeho potenciálním tepelném výkonu.

Z teoretické analýzy účinnosti solárního kolektoru, vyjádřené s ohledem na střední teplotu teplosnosné kapaliny, vyplývá vztah:

$$\eta = F' \left[ \tau \cdot \alpha - U \frac{(t_m - t_e)}{G} \right] \quad (5)$$

kde

$F'$  je účinnostní součinitel, vyjadřuje schopnost absorberu odvést z povrchu teplo do teplosnosné kapaliny;

$\tau$  propustnost slunečního záření zasklením;

$\alpha$  pohltivost slunečního záření absorbérem;  
 $U$  součinitel prostupu tepla kolektoru, ve  $W/(m^2 \cdot K)$ ;

Porovnáním členů v rovnici (3) a rovnici (5) lze experimentálně stanoveným konstantám křivky účinnosti přiřadit fyzikální význam. Pro účinnost při nulových tepelných ztrátách platí

$$F' \cdot \tau \cdot \alpha = \eta_0 \quad (6)$$

a účinný součinitel prostupu tepla kolektorem lze stanovit jako

$$F' \cdot U = a_1 + a_2 \cdot (t_m - t_e) \quad (7)$$

Tepelný výkon solárního kolektoru je dán vztahem

$$\begin{aligned} \dot{Q}_k &= G \cdot A_k \cdot F' \cdot \left[ \tau \cdot \alpha - U \cdot \frac{(t_m - t_e)}{G} \right] = \\ &= A_k \cdot [G \cdot \eta_0 - a_1 \cdot (t_m - t_e) - a_2 \cdot (t_m - t_e)^2] \end{aligned} \quad (8)$$

Výkon kolektoru je vyhodnocován jako závislost na teplotním rozdílu ( $t_m - t_e$ ) při referenčním slunečním ozáření  $G = 1000 \text{ W/m}^2$ . Uvádění křivky výkonu solárního kolektoru má tu výhodu, že oproti křivkám účinnosti je vyjádřena pro celý kolektor bez vlivu volby vztažné plochy (absorbér, apertura, obrysová plocha). Na druhé straně výkonovými křivkami nelze porovnat kvalitu dvou kolektorů s rozdílnou plochou.

## MODIFIKÁTOR ÚHLU DOPADU

Výše uvedené rovnice křivek účinnosti a výkonu vycházejí z výsledků zkoušek tepelného chování solárního kolektoru v ustáleném stavu za definovaných podmínek: jasný den s výraznou přímou složkou slunečního záření a kolmý (normálový) úhel dopadu slunečního záření na rovinu kolektoru. Takové podmínky však v běžném provozu solárního kolektoru nejsou časté, úhel dopadu slunečních paprsků na kolektory je obecně různý vlivem proměnlivé geometrie slunečního záření během dne a roku a podíl přímého záření je proměnlivý a závislý na oblačnosti. Křivka účinnosti, resp. výkonu solárního kolektoru pro komplexní charakterizaci jeho výkonosti proto nestačí. Vzhledem k tomu, že propustnost slunečního záření zasklením kolektoru, pohltivost absorpčního povrchu nebo odrazivost reflektoru jsou parametry závislé na úhlu dopadu slunečního záření, je nutné doplnit křivku účinnosti závislostí, vyjadřující změnu optické účinnosti kolektoru s úhlem dopadu slunečního záření oproti kolmému dopadu. Takovou závislostí je křivka modifikátoru úhlu dopadu  $K_\theta$ , někdy označované také IAM (z anglické zkratky Incidence Angel Modifier). Závislost optické účinnosti na úhlu dopadu slunečního záření  $\theta$  se u různých typů kolektorů obecně liší. Modifikátor úhlu dopadu je definován jako poměr

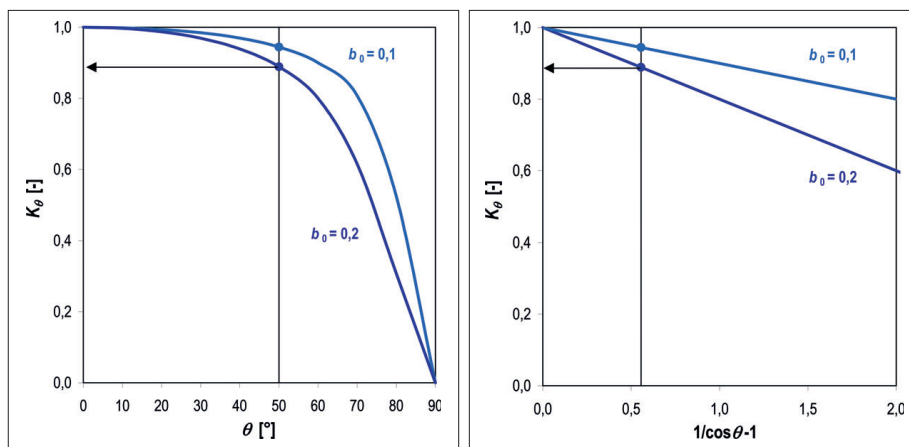
$$K_\theta = \frac{F'(\tau\alpha)_{\theta,\theta}}{F'(\tau\alpha)_{\theta,0}} = \frac{\eta_0(\theta)}{\eta_0(0^\circ)} \quad (9)$$

kde

$\eta_0(\theta)$  je optická účinnost při obecném úhlu dopadu  $\theta$  a nulovém teplotním spádu;

$\eta_0(0^\circ)$  optická účinnost při normálovém kolmém úhlu dopadu ( $\theta = 0^\circ$ ) a nulovém teplotním spádu.

Ploché solární kolektory (ploché zasklení, plochý absorbér) mají optické vlastnosti v obou hlavních rovinách (příčné: východ-západ, podélné: jih-sever) symetrické. Prakticky tedy není důležité, ze které strany sluneční záření dopadá na kolektor, rozhodující je pouze hodnota úhlu dopadu  $\theta$ .



Obr. 4 Tvar křivky modifikátoru úhlu dopadu pro ploché solární kolektory v různých souřadnicích

Průběh modifikátoru úhlu dopadu má charakteristický tvar uvedený na obr. 4, který lze aproximovat rovnicí [2]

$$K_\theta = 1 - b_0 \left( \frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \quad (10)$$

kde

$b_0$  je součinitel modifikátoru úhlu dopadu (kladná hodnota).

Přímková závislost modifikátoru na souřadnici  $(1/\cos \theta - 1)$  umožňuje z hodnoty modifikátoru pro jediný úhel dopadu (např.  $\theta = 50^\circ$ ) vypočítat součinitel  $b_0$  a získat tak rovnici křivky. Na obr. 4 jsou zobrazeny dvě závislosti modifikátoru úhlu dopadu, mezi kterými se pohybuje naprostá většina plochých solárních kolektorů (čiré sklo, prizmatické sklo, antireflexní sklo, dvojité sklo).

Vztah (10) je dostatečně přesný v rozsahu úhlů od  $0^\circ$  do  $60^\circ$ , kde solární kolektor přijímá nejvíce energie. Avšak pro přesnější vyjádření, zvláště u dvojitých zasklení nebo speciálních transparentních izolačních struktur je vhodné využít mocninový vztah

$$K_\theta = 1 - b_0 \left( \frac{1}{\cos \theta} - 1 \right)^m \quad (11)$$

kde

$m$  je exponent získaný spolu s  $b_0$  z proložení naměřené křivky modifikátoru  $K_\theta$  mocninovou funkcí.

Pro solární kolektory, které mají nesymetrickou optickou charakteristiku, např. trubkové vakuové kolektory nebo koncentrační kolektory s reflektory, jsou hodnoty modifikátoru  $K_\theta$  vyhodnocovány odděleně v rovině:

- podélné jako  $K_{\theta,L} = K_\theta(\theta_L, 0)$
- příčné jako  $K_{\theta,T} = K_\theta(0, \theta_T)$

a výsledná závislost modifikátoru na obecném úhlu dopadu  $\theta$  se stanoví jako součin modifikátorů určených v jednotlivých rovinách [3]

$$K_\theta(\theta_L, \theta_T) = K_{\theta,L}(\theta_L, 0) \cdot K_{\theta,T}(0, \theta_T) \quad (12)$$

Na obr. 5 je uvedena geometrie úhlů dopadu v hlavních rovinách pro jednu trubku trubkového kolektoru. Úhly  $\theta_L$  a  $\theta_T$  jsou průměty úhlu dopadu  $\theta$  do hlavních rovin a platí pro ně vztah

$$\tan^2 \theta = \tan^2 \theta_L + \tan^2 \theta_T \quad (13)$$

Modifikátor úhlu dopadu je experimentálně vyhodnocován v souladu s ČSN EN 12975 a výsledkem je tabulka hodnot, příp. křivka v závislosti na úhlu dopadu  $\theta$ . Pro určení modifikátoru jsou stanoveny hodnoty účinnosti při nulo-

vých tepelných ztrátách, tj. při střední teplotě kapaliny v kolektoru blízké teplotě okolního vzduchu, při různých úhlech dopadu. U plochých solárních kolektorů je kromě normálové hodnoty  $\eta_0$  získané ze zkoušky výkonu určena pouze hodnota  $\eta_0$  pro úhel dopadu  $\theta = 50^\circ$  a v souladu se vztahy (9) a (10) je z přímkové závislosti vypočítán součinitel  $b_0$  pro stanovení celé křivky modifikátoru. V protokolech o zkoušce plochých solárních kolektorů se proto uvádí pouze hodnota modifikátoru  $K_{50}$ . U trubkových vakuových solárních kolektorů je nutné podrobné stanovení hodnot modifikátoru v příčné rovině (pro úhly dopadu  $\theta_T$  nejlépe po  $10^\circ$ ). V podélné rovině má křivka modifikátoru trubkového kolektoru stejný tvar jako u plochých kolektorů (viz řez podélnou rovinou na obr. 5, který je geometricky stejný jako u plochého kolektoru) a postačuje stanovit pouze  $\eta_0$  při  $\theta_L = 50^\circ$ .

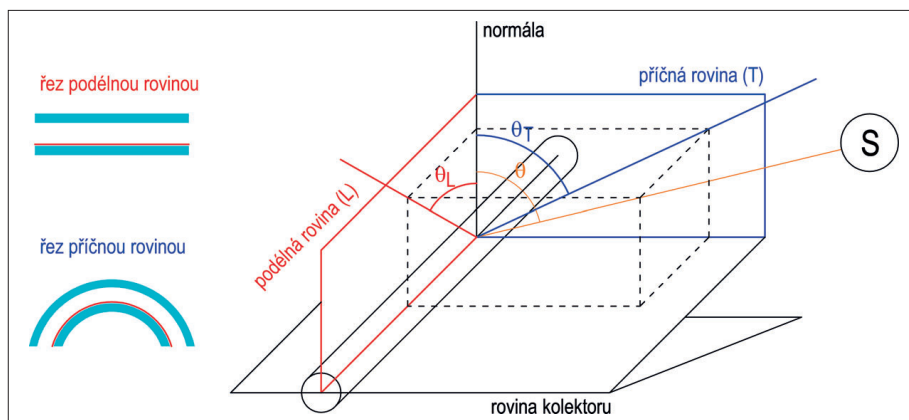
Na obr. 6 jsou uvedeny typické průběhy křivky modifikátoru úhlu dopadu pro plochý kolektor (ploché zasklení, plochý absorber) a trubkový solární kolektor s plochým absorberem (válcová apertura). Na obr. 7 jsou uvedeny typické průběhy křivky modifikátoru úhlu dopadu pro trubkové solární kolektory s válcovým absorberem bez reflektoru a s reflektorem. Zvýšení hodnot modifikátoru v oblasti úhlů  $50^\circ$  až  $60^\circ$  je u různých konstrukcí kolektoru (různý průměr trubek, vzdálenost trubek, ...) různé a pohybuje se od hodnoty 1,2 až do 1,6. U trubkových kolektorů s reflektorem se pro různé konstrukce může tvar křivky příčné modifikátoru  $K_{\theta,T}$  pohybovat mezi oběma variantami na obr. 7. Křivka podélného modifikátoru  $K_{\theta,L}$  je u trubkových kolektorů vzhledem k obdobné optické geometrii v podélné rovině (rovná trubka) stejná jako u plochého kolektoru.

Křivka modifikátoru úhlu dopadu popisuje závislost účinnosti při nulových tepelných ztrátách  $\eta_0$  na úhlu dopadu směrově závislé přímé složky slunečního záření. Pro difúzní sluneční záření, které má homogenní směrovou charakteristiku (rovnoměrná intenzita záření ve všech směrech, izotropické záření), je nutné stanovit modifikátor  $K_{\theta,d}$  experimentálně, kvazi dynamickou metodou zkoušky podle ČSN EN 12975 nebo integračním výpočtem z křivky modifikátoru v očekávaném rozsahu úhlů dopadu (všech možných směrech). Rozsah úhlů dopadu závisí na sklonu solárního kolektoru  $\beta$ , který udává z jaké poměrné části oblohy solární kolektor přijímá sluneční ozáření. Podobným způsobem je možné určit modifikátor  $K_{\theta,r}$  pro odražené sluneční záření (za běžného předpokladu difúzního odrazu). V literatuře je možné najít zjednodušený přístup, který určuje referenční úhel dopadu, pro který se z obecné křivky modifikátoru stanoví hodnota modifikátoru  $K_{\theta,d}$  pro difúzní sluneční záření z oblohy

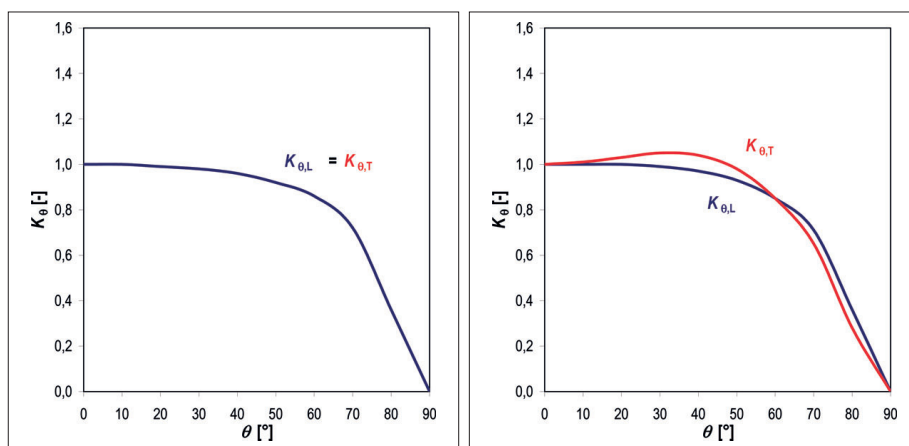
$$\theta_d = 59,7 - 0,1388\beta + 0,001497\beta^2 \quad (14)$$

a  $K_{\theta,r}$  pro odražené sluneční záření od terénu

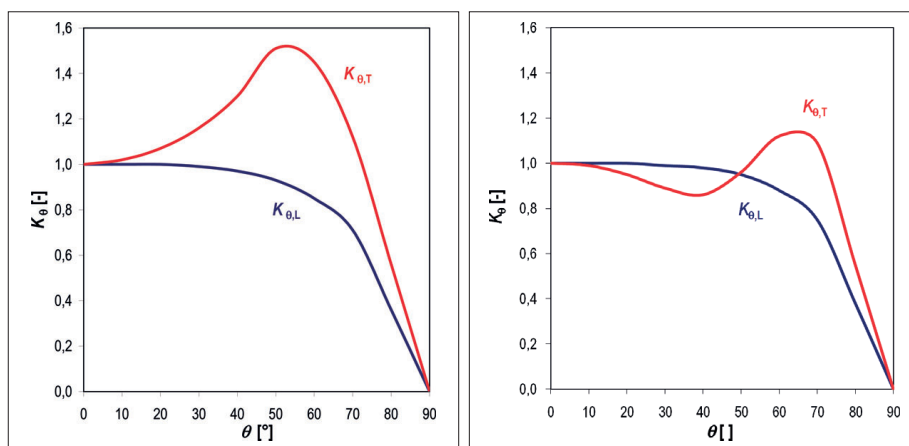
$$\theta_r = 90 - 0,5788\beta + 0,002693\beta^2 \quad (15)$$



Obr. 5 Geometrie trubkového kolektoru a úhlů dopadu slunečního záření v hlavních rovinách



Obr. 6 Typické tvary charakteristik modifikátoru úhlu dopadu pro ploché kolektory a trubkové kolektory s plochým absorberem



Obr. 7 Typické tvary charakteristik modifikátoru úhlu dopadu pro trubkové kolektory s válcovým absorberem bez reflektoru (vlevo) a s reflektorem (vpravo)

kde  
 $\beta$  je sklon solárního kolektoru ve  $^\circ$ .

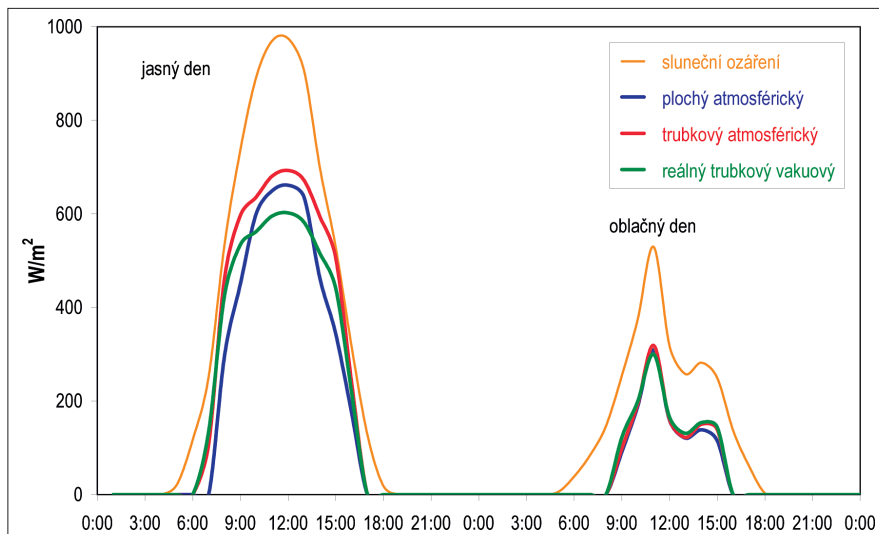
Uvedené závislosti referenčních úhlů dopadu  $\theta_d$  a  $\theta_r$  byly získány ze středních hodnot pro různé typy zasklení (jednoduchá, dvojí) a různé materiály (indexy lomu, součinitele pohltivosti zasklení) [4].

Modifikátor úhlu dopadu umožňuje zohlednit vliv optické charakteristiky solárního kolektoru (tvar apertury, tvar absorberu, tvar reflektoru, aj.) na výkon (tepelný zisk) solárního kolektoru pro obecnou geometrii (sklon, azimut, úhel dopadu) a podmínky slunečního záření (přímé, difúzní, odražená složka)

$$\dot{Q}_k = A_a \left[ \frac{(K_{\theta,b} G_{b,T} + K_{\theta,d} G_{d,T} + K_{\theta,r} G_{r,T}) \eta_0 - a_1 (t_m - t_e) - a_2 (t_m - t_e)^2}{-a_1 (t_m - t_e) - a_2 (t_m - t_e)^2} \right] \quad (16)$$

kde

$K_{\theta,b}$  je modifikátor úhlu dopadu vyjádřený pro úhel dopadu přímého slunečního záření  $\theta$ ;  $G_{b,T}$  přímé sluneční ozáření na rovinu kolektoru, ve  $W/m^2$ ;  $K_{\theta,d}$  modifikátor úhlu dopadu pro difúzní sluneční záření;  $G_{d,T}$  difúzní sluneční ozáření na rovinu kolektoru, ve  $W/m^2$ ;  $K_{\theta,r}$  modifikátor úhlu dopadu pro odražené sluneční záření;  $G_{r,T}$  odražené sluneční ozáření na rovinu kolektoru, ve  $W/m^2$ .



Obr. 8 Porovnání průběhu výkonu kolektoru s plochým a válcovým absorberem ( $t_m = 40^\circ C$ )

Charakteristika modifikátoru úhlu dopadu se používá především v počítačových simulacích solárních soustav. Modifikátor  $K_\theta$  zohledňuje vyšší zisky některých typů solárních kolektorů s trubkovým absorberem v dopoledních a odpoledních hodinách oproti kolektorům s plochým absorberem. V obr. 8 jsou znázorněny průběhy měrného teoretického výkonu (vztáženého k apertuře kolektorů) plochého atmosférického kolektoru, trubkového atmosférického (fiktivní kolektor s válcovým absorberem a křivkou účinnosti identickou s uvažovaným plochým atmosférickým kolektorem) a reálného trubkového vakuového kolektoru s válcovým absorberem a typickou charakteristikou účinnosti. V případě jasného dne umožňuje trubkový atmosférický kolektor získat více energie pouze díky svým výhodnějším optickým vlastnostem oproti plochému, avšak v průběhu oblačného dne s vyšším podílem difúzního záření již rozdíl není výrazný (obr. 8, vpravo). Naproti tomu reálný trubkový vakuový kolektor těží nejen z optických vlastností válcové plochy apertury a absorberu, ale také z vyšší „citlivosti“ na nízké hladiny slunečního ozáření vlivem výrazně nižších tepelných ztrát. Nicméně tyto výhody mohou být „kompenzovány“ často výrazně nižší hodnotou  $\eta_0(0^\circ)$  a nižším výkonem v okolí poledne oproti plochému kolektoru.

## ZÁVĚR

Pro zodpovědné zhodnocení výkonnosti solárních kolektorů nestačí pouze běžně používaná křivka účinnosti, ačkoli je základní charakteristikou při

výběru solárních kolektorů. Pro zahrnutí vlivu optických charakteristik kolektoru při obecně šikmých úhlech dopadu do jeho hodnocení je nutné znát křivku modifikátoru úhlu dopadu v hlavních rovinách kolektoru. Návazující příspěvek se bude zabývat použitím obou základních charakteristik solárních kolektorů pro analýzu výkonnosti různých konstrukčních typů kolektorů.

Kontakt na autora: Tomas.Matuska@fs.cvut.cz

## Použité zdroje:

- [1] ČSN EN 12975-2 Tepelné solární soustavy a součásti – Solární kolektory – Část 2: Zkušební metody, ČNI, 2006
- [2] Souka, A., F., Safwat, H., H., Optimum Orientations for the Double Exposure Flat-Plate Collector and Its Reflectors, Solar Energy 10, str. 170–174, 1966
- [3] McIntire, W., R., Read, K., A., Orientational Relationships for Optically Non-Symmetric Solar Collectors, Solar Energy 31, str. 405–410, 1983
- [4] Brandemuehl, M., J., Beckman, W., A., Transmission of Diffuse Radiation through CPC and Flat-Plate Collector Glazings. Solar Energy 24, str. 511–513, 1980
- [5] Theunissen, P.-H., Beckman, W., A., Solar Transmittance Characteristics of Evacuated Tubular Collectors with Diffuse Back Reflectors, Solar Energy 35, str. 311–320, 1985

Pokračování (část 2), v č. 1/2011

## \* Inovace větrných elektráren a ceny Hermes Award

Ke konci roku 2008 byl ve světě instalován výkon větrných elektráren 121,2 GW; z toho 25,2 GW v USA, 23,9 GW v Německu, 18,7 GW ve Španělsku, 12,2 GW v Číně, 9,6 GW v Indii, také 150 MW v Česku a jen 5 MW na Slovensku.

U velkých jednotek VE přes 5 MW však stávající technologie již naráží na hranici svých možností. Důvody jsou hlavně poškození velkých převodovek únavou materiálu (až z 19,4 %), růst hmotnosti nad 400 t a u velkých výkonů neúnosné náklady montáže a oprav zejména v zimě.

Zajímavou alternativu nabízí užití vysokoteplotních supravodičů (HTS), které umožní realizaci zařízení s 10 až 12 MW, při jednodušší konstrukci a nižších nákladech. Jestliže konvenční jednotka 6 MW stojí 4 mil. €, pak jednotka 6 MW s HTS generátorem stojí 3 mil. €. Společnost Zenenergy Power, která připravuje pro HTS generátory VE, uvádí jako přednosti mj. snížení ceny energie o 20 až 25 %, vyšší produktivitu, zmenšení generátoru až o 66 %, snížení hmotnosti až

o 75 %, nižší pořizovací náklady, nižší náklady na údržbu a vyšší hustotu výkonu na  $km^2$  parku. Technologie získala cenu hannoverského veletrhu Hermes Award 2008.

I v roce 2009 byla oceněna technika pro VE, když Hermes Award 2009 získal převodový systém WinDrive firmy Voith Turbo. U systému WinDrive byl nový mechanický převodový systém pro přenos proměnlivých otáček od rotoru s výstupem konstantních otáček na hřídel generátoru použit bez frekvenčního měniče. Při vysokém výstupním napětí generátoru 4,16 až 13,8 kV odpadá i transformátor. Konstrukce WinDrive je řešena pro výkony do 8 MW, při proměnlivých vstupních otáčkách nad  $300 \text{ min}^{-1}$  a konstantních výstupních otáčkách  $1500 \text{ min}^{-1}$  pro generátor 50 Hz s převodovým poměrem 1 : 3 až 1 : 5,5.

Ceny Hermes Award, spojené s finanční odměnou 100 000 €, představují technologického Oscara a mají vysokou marketingovou hodnotu.

Pramen: Tisková informace Hannover Messe, Hannover, 24. 4. 2009

(AB)