

HODNOCENÍ VÝKONNOSTI SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

Tomáš Matuška

Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT v Praze
tomas.matuska@fs.cvut.cz

ANOTACE

Hodnocení výkonnosti solárních kolektorů podává komplexní informaci o tepelných ziscích získatelných z kolektoru za definovaných podmínek (klimatické údaje, provozní teplota). Samotná křivka účinnosti pro hodnocení výkonnosti kolektorů nestačí, zvláště při porovnání různých konstrukčních typů s různými optickými charakteristikami (trubkové kolektory).

ÚVOD

Při hodnocení kvality solárních kolektorů je nutné rozlišit mezi hodnocením spolehlivosti a hodnocením 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 se zkouší mechanickými zkouškami, při kterých se kolektor zatěžuje extrémními provozními podmínkami. Pokud kolektor zkouškám vyhoví bez omezení své funkce, je prohlášen jako 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 křivku **modifikátoru úhlu dopadu** vyjadřující závislost účinnosti solárního kolektoru na úhlu dopadu slunečního záření.

ÚČINNOST SOLÁRNÍHO KOLEKTORU

Účinnost solárního kolektoru se stanovuje vždy jako závislost na venkovních klimatických podmínkách (sluneční ozáření G , venkovní teplota t_e) a provozních podmínkách (střední teplota teplotnosné kapaliny t_m). Vyhodnocuje se proložením stanovených bodů účinnosti při různých teplotách kapaliny křivkou ve tvaru paraboly

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_e}{G} - a_2 G \left(\frac{t_m - t_e}{G} \right)^2 \quad \text{častěji ve tvaru} \quad \eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_e}{G} - a_2 \frac{(t_m - t_e)^2}{G} \quad (1)$$

kde

η_0 je účinnost solárního kolektoru při nulovém teplotním spádu mezi střední teplotou teplotnosné kapaliny t_m a okolím t_e (nulové tepelné ztráty), zjednodušeně označována jako „optická účinnost“;

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 η_0 , a_1 , a_2) solárního kolektoru musí být vždy uváděna společně s vyznačením vztažné plochy kolektoru A_k . 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.

MODIFIKÁTOR ÚHLU DOPADU

Křivka účinnosti vychází 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. Samotná křivka účinnosti solárního kolektoru pro komplexní charakterizaci jeho výkonnosti proto nestačí. Vzhledem k tomu, že propustnost slunečního záření zasklení kolektoru, pohltivost absorpčního povrchu či 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 úhlu dopadu. Takovou závislostí je křivka modifikátoru úhlu dopadu K_θ , někdy označovaného také *IAM* (z angl. zkratky Incidence Angle Modifier). Závislost optické účinnosti na úhlu dopadu slunečního záření θ se u různých typů kolektorů obecně liší. Modifikátor úhlu dopadu je definován jako poměr

$$K_\theta = \frac{F'(\tau\alpha)_{e,\theta}}{F'(\tau\alpha)_{e,n}} = \frac{\eta_0(\theta)}{\eta_0(0^\circ)} \quad (2)$$

kde

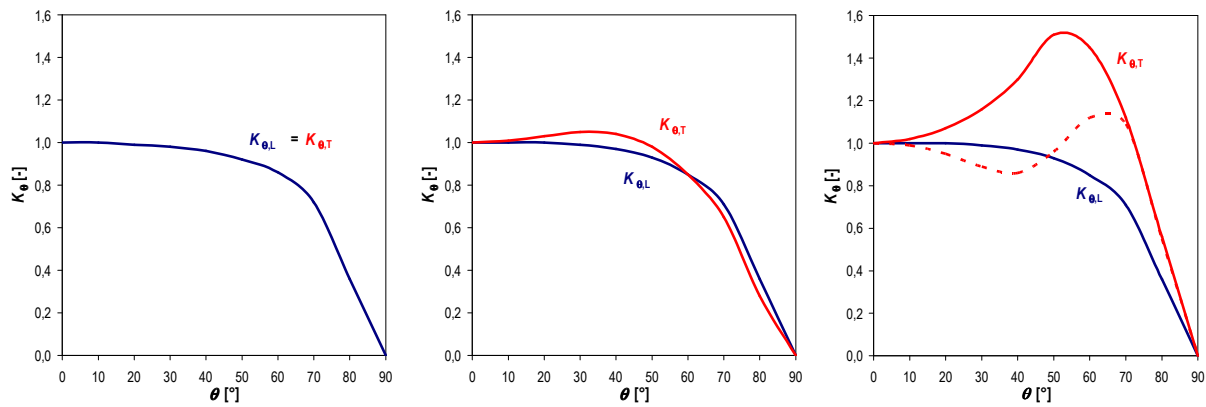
$\eta_0(\theta)$ je optická účinnost při obecném úhlu dopadu θ ,

$\eta_0(0^\circ)$ optická účinnost při normálovém úhlu dopadu ($\theta = 0^\circ$).

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, pouze hodnota úhlu dopadu θ . Pro solární kolektory, které mají nesymetrickou optickou charakteristiku, např. trubkové vakuové kolektory nebo koncentrační kolektory s reflektory, se hodnoty modifikátoru K_θ vyhodnocují odděleně v rovině:

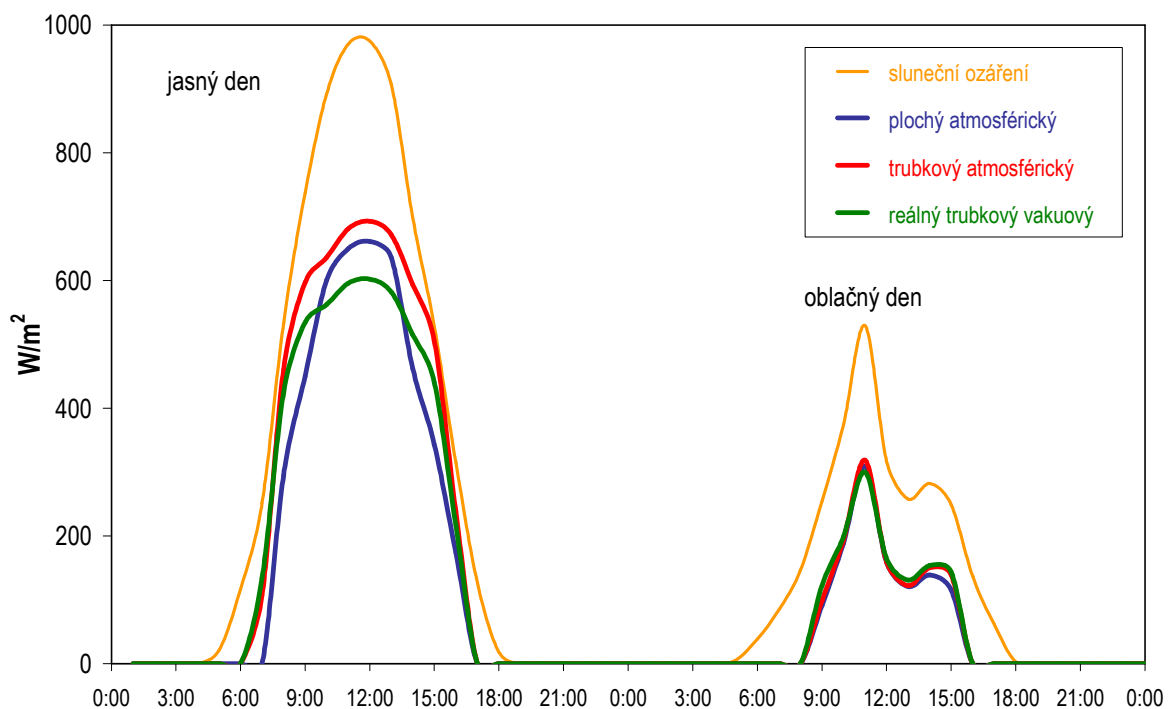
- podélné jako $K_{\theta,L} = K_\theta(\theta_L, 0)$
- příčné jako $K_{\theta,T} = K_\theta(0, \theta_T)$

Křivka modifikátoru úhlu dopadu se experimentálně vyhodnocuje v souladu s ČSN EN 12975 a výsledkem je tabulka hodnot, příp. křivky v hlavních rovinách v závislosti na úhlu dopadu θ . Na obr. 1 jsou uvedeny typické průběhy křivky modifikátoru úhlu dopadu pro plochý kolektor (ploché zasklení, plochý absorbér) a trubkový solární kolektor s plochým absorbérem (válcová apertura).



Obr. 1 Typické tvary charakteristik modifikátoru úhlu dopadu pro ploché kolektory, trubkové kolektory s plochým absorbérem a trubkové kolektory s válcovým absorbérem (Sydney) s reflektorem nebo bez reflektoru

Na obr. 2 jsou uvedeny typické průběhy křivky modifikátoru úhlu dopadu pro trubkové solární kolektory s válcovým absorbérem bez reflektoru a s reflektorem. Zvýšení hodnot modifikátoru v oblasti úhlů 50 až 60° 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 příčného modifikátoru $K_{\theta,T}$ pohybovat mezi oběma variantami na obr. 2. Křivka podélného modifikátoru $K_{\theta,L}$ je u trubkového kolektoru vzhledem k obdobné optické geometrii v podélné rovině (rovná trubka) stejná jako u plochého kolektoru.



Obr. 2 Porovnání průběhu výkonu kolektoru s plochým a válcovým absorbérem ($t_m = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Modifikátor úhlu dopadu umožňuje zohlednit vliv optické charakteristiky solárního kolektoru (tvar apertury, tvar absorbéru, tvar reflektoru, aj.) na jeho výkon (tepelný zisk) solárního

kolektoru pro obecnou geometrii (sklon, azimut, úhel dopadu) a podmínky slunečního záření (přímé, difúzní, odražená složka).

Charakteristika modifikátoru úhlu dopadu se používá především v počítačových simulacích solárních soustav. Modifikátor K_{θ} umožňuje zohlednit vyšší zisky některých typů solárních kolektorů s trubkovým absorbérem v dopoledních a odpoledních hodinách oproti kolektorům s plochým absorbérem. Na obr. 2 jsou znázorněny průběhy měrného teoretického výkonu (vztažený k apertuře kolektorů) plochého atmosférického kolektoru, trubkového atmosférického (fiktivní kolektor s válcovým absorbérem a křivkou účinnosti identickou s uvažovaným plochým atmosférickým kolektorem) a reálného trubkového vakuového kolektoru s válcovým absorbérem 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. 2, vpravo). Naproti tomu reálný trubkový vakuový kolektor těží nejen z optických vlastností válcové plochy apertury a absorbéru, ale také z vyšší „citlivosti“ na nízké hladiny slunečního ozáření vlivem výrazně nižších tepelných ztrát. Nicméně tyto výhody mohou být „kompenzovány“ často nižší hodnotou $\eta_0(0^\circ)$ a nižším výkonem v okolí poledne oproti plochému kolektoru.

VÝKONNOST SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

Výkonnost solárních kolektorů je možné definovat jako schopnost kolektoru produkovat energetický zisk za stanovených podmínek. S ohledem na očekávání uživatelů solárních soustav je vhodné hodnotit **celoroční** měrný tepelný zisk za typických místních klimatických a provozních podmínek. Pro hodnocení výkonnosti solárních kolektorů existuje řada přístupů, které hodnotí celoroční produkci tepla z kolektoru simulačním výpočtem s využitím křivky účinnosti a křivky modifikátoru úhlu dopadu kolektoru jako vstupních údajů a databáze hodinových klimatických údajů (sluneční ozáření G , venkovní teplota t_e). Mezi základní přístupy patří:

- solární kolektor zapojený do **přesně definované solární soustavy** s daným solárním pokrytím, např. model pro určení minimálního zisku kolektoru v solární soustavě pro přípravu teplé vody se 40% pokrytím pro udělení známky Modrý anděl (Německo) [2]
- solární kolektor nezapojený do solární soustavy, avšak s definovanou a **celoročně stálou provozní teplotou**: stanovení křivky měrných teoretických zisků v simulačním modelu VYKON_SK [3] Solární laboratoře ČVUT v Praze, který je dále podrobněji popsán.

Simulační model VYKON_SK hodnotí výkonnost jako parametr vlastní solárnímu kolektoru bez ohledu na provedení zbytku solární soustavy a bez ohledu na využitelnost produkovaných zisků v závislosti na podmínkách odběru tepla aplikace. Vstupními údaji pro simulační model VYKON_SK jsou:

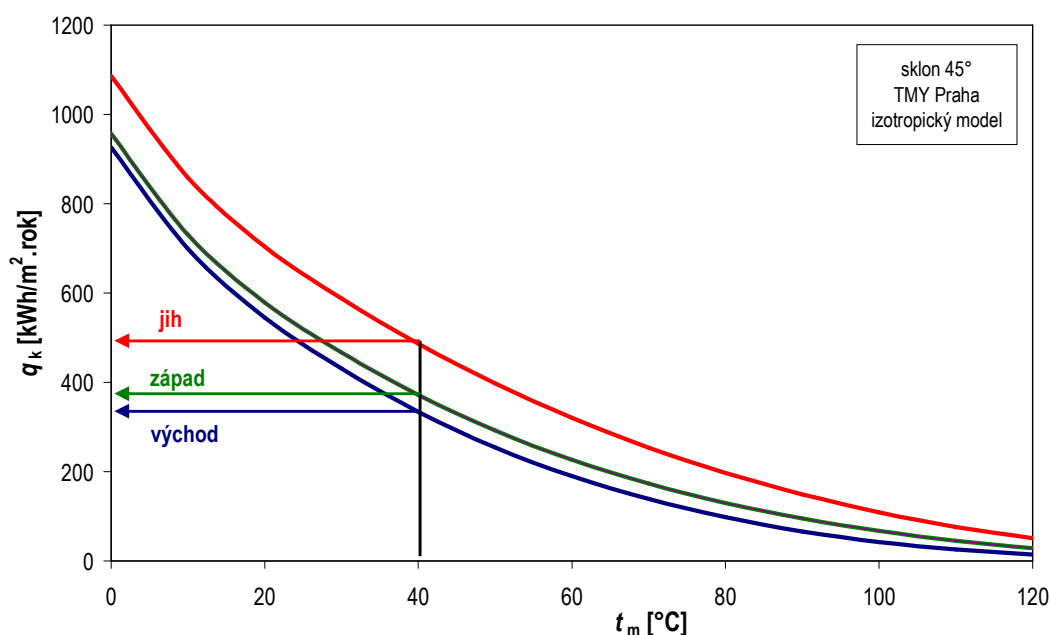
- konstanty křivky účinnosti solárního kolektoru η_0 , a_1 a a_2 stanovené zkouškou v souladu s ČSN EN 12975;
- hodnoty modifikátoru úhlu dopadu solárního kolektoru stanovené pro obě hlavní roviny (podélná, příčná) v rozsahu 0° až 90° v rozlišení po 10° v souladu s ČSN EN 12975;
- hodinové klimatické údaje: celkové sluneční ozáření na horizontální rovinu G , teplota venkovního vzduchu t_e (databáze typického meteorologického roku TMY pro Prahu);
- uvažovaný sklon a orientace solárního kolektoru.

Program VYKON_SK (Excel) rozpočítává celkové sluneční ozáření na vodorovnou rovinu na přímou a difúzní složku modelem na základě jasnosti oblohy a pro zadaný sklon a orientaci

kolektoru stanovuje izotropickým modelem přímou, difúzní a odraženou složku slunečního ozáření na rovinu kolektoru. Na základě parametrů kolektoru je pro každou hodinu stanoven teoreticky dostupný výkon solárního kolektoru v závislosti na úhlu dopadu slunečního záření a klimatických podmínkách pro celoročně konstantní teplotu t_m . Pro vyhodnocení celoročního teoreticky dostupného energetického zisku solárního kolektoru jsou kladné hodinové energetické zisky sečteny (záporné nejsou uvažovány). Výpočet se postupně provádí pro 13 různých celoročně konstantních provozních teplot v kolektoru v rozsahu 0 až 120 °C a výsledkem výpočtu je křivka teoreticky dostupných měrných ročních energetických zisků solárního kolektoru (viz obr. 3). Výpočet simulačním modelem VYKON_SK lze použít především pro srovnání:

- výkonnosti daného kolektoru pro různé orientace a sklony;
- výkonnosti různých kolektorů při daném sklonu a orientaci;

pro zvolenou očekávanou provozní teplotu kapaliny t_m v solárních kolektorech, např. 40 °C.



Obr. 3 Křivky teoreticky dostupných ročních tepelných zisků kolektoru v závislosti na provozní teplotě pro různé orientace (jih, východ, západ)

ANALÝZA VÝKONNOSTI SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

Pro porovnání výkonnosti různých typů solárních kolektorů s různými charakteristickými křivkami účinnosti a křivkami modifikátoru úhlu dopadu byly vybrány reálné kolektory různého konstrukčního typu a v různé kvalitě jak optické (hodnota η_0 , křivka modifikátoru) tak tepelné (hodnoty a_1 a a_2), v jaké jsou dostupné na trhu. Jejich parametry byly převzaty ze zkušebních protokolů. Plochý kolektor PK1 je kolektor s neselektivním absorbérem (vysoké hodnoty a_1 a a_2) a relativně nízkou hodnotou „optické“ účinnosti, která naznačuje zpravidla nízký účinnostní součinitel F' (např. málo vodivý absorbér, velká rozteč trubkového registru, nevodivý spoj absorbér-registr). Plochý kolektor PK2 je z hlediska křivky účinnosti běžným kolektorem, avšak křivka modifikátoru K_0 je položena relativně nízkou oproti účinnosti obdobnému kolektoru PK3. Kolektor PK4 je velmi kvalitním plochým kolektorem s nízkou tepelnou ztrátou, vodivým absorbérem, vysokou propustností zasklení kolektoru a pohltivostí absorbéru a vysokými hodnotami modifikátoru. Parametry srovnávaných plochých solárních kolektorů jsou uvedeny v tab. 1. Trubkové vakuové kolektory s plochým absorbérem od

různých výrobců vykazují navzájem velmi podobné vlastnosti jak z hlediska účinnostní křivky tak křivky modifikátoru. Pro porovnání byla proto použita jediná varianta solárního kolektoru TP1, jehož parametry jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Parametry porovnávaných plochých solárních kolektorů a trubkového kolektoru s plochým absorbérem

| | PK1 | PK2 | PK3 | PK4 | TP1 | |
|--------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------|----------------|
| $\eta_{0,a}$ | 0,702 | 0,755 | 0,753 | 0,824 | 0,751 | |
| $a_{1,a}$ | 7,89 | 3,99 | 3,91 | 3,66 | 1,24 | |
| $a_{2,a}$ | 0,028 | 0,005 | 0,003 | 0,009 | 0,006 | |
| A_a | 1,62 | 2,12 | 2,30 | 2,74 | 2,15 | |
| A_G | 2,01 | 2,34 | 2,58 | 3,11 | 2,87 | |
| θ | $K_{\theta,L}, K_{\theta,T}$ | $K_{\theta,L}, K_{\theta,T}$ | $K_{\theta,L}, K_{\theta,T}$ | $K_{\theta,L}, K_{\theta,T}$ | $K_{\theta,L}$ | $K_{\theta,T}$ |
| 0 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 10 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,01 |
| 20 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 1,03 |
| 30 | 0,98 | 0,97 | 0,99 | 0,99 | 0,97 | 1,05 |
| 40 | 0,96 | 0,93 | 0,97 | 0,97 | 0,95 | 1,04 |
| 50 | 0,92 | 0,88 | 0,95 | 0,95 | 0,90 | 0,98 |
| 60 | 0,86 | 0,78 | 0,91 | 0,91 | 0,82 | 0,85 |
| 70 | 0,72 | 0,58 | 0,83 | 0,83 | 0,54 | 0,56 |
| 80 | 0,36 | 0,29 | 0,41 | 0,41 | 0,27 | 0,28 |
| 90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Tab. 2 Parametry porovnávaných trubkových vakuových kolektorů s válcovým absorbérem (Sydney) bez reflektoru

| | TV1 | | TV2 | | TV3 | | TV4 | |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $\eta_{0,a}$ | 0,45 | | 0,533 | | 0,659 | | 0,745 | |
| $a_{1,a}$ | 1,80 | | 1,30 | | 2,16 | | 2,01 | |
| $a_{2,a}$ | 0,008 | | 0,013 | | 0,009 | | 0,005 | |
| A_a | 0,95 | | 1,71 | | 2,80 | | 1,33 | |
| A_G | 1,66 | | 2,91 | | 4,95 | | 2,32 | |
| θ | $K_{\theta,L}$ | $K_{\theta,T}$ | $K_{\theta,L}$ | $K_{\theta,T}$ | $K_{\theta,L}$ | $K_{\theta,T}$ | $K_{\theta,L}$ | $K_{\theta,T}$ |
| 0 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 10 | 1,00 | 1,02 | 1,00 | 1,02 | 1,00 | 1,01 | 1,00 | 1,00 |
| 20 | 1,00 | 1,07 | 1,00 | 1,08 | 1,00 | 1,06 | 0,99 | 1,05 |
| 30 | 0,99 | 1,16 | 0,99 | 1,17 | 0,99 | 1,13 | 0,98 | 1,15 |
| 40 | 0,97 | 1,30 | 0,97 | 1,32 | 0,98 | 1,25 | 0,97 | 1,29 |
| 50 | 0,93 | 1,51 | 0,93 | 1,49 | 0,95 | 1,44 | 0,94 | 1,50 |
| 60 | 0,85 | 1,45 | 0,86 | 1,47 | 0,88 | 1,45 | 0,89 | 1,54 |
| 70 | 0,71 | 1,12 | 0,72 | 1,11 | 0,75 | 1,16 | 0,66 | 1,12 |
| 80 | 0,36 | 0,56 | 0,36 | 0,56 | 0,38 | 0,58 | 0,33 | 0,56 |
| 90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Trubkové vakuové kolektory s válcovým absorbérem (typ Sydney) bez reflektoru jsou v analýze výkonnosti zastoupeny čtyřmi kategoriemi (TV1, TV2, TV3, TV4) z hlediska účinnostní křivky, nicméně s obdobnými křivkami modifikátoru. Z hlediska četnosti výskytu

těchto kolektorů na trhu se nejvíce objevují kolektory s charakteristikami mezi TV2 a TV3. Jejich parametry jsou uvedeny v tab. 2.

Z trubkových vakuových kolektorů s válcovým absorbérem (typ Sydney) s reflektorem byly vybrány tři různé konstrukční varianty. Kolektor TR1 je vybaven plochým reflektorem, kolektor TR2 má reflektor válcového tvaru a kolektor TR3 využívá složeného parabolického reflektoru (CPC). Parametry trubkových kolektorů s reflektorem jsou uvedeny v tab. 3.

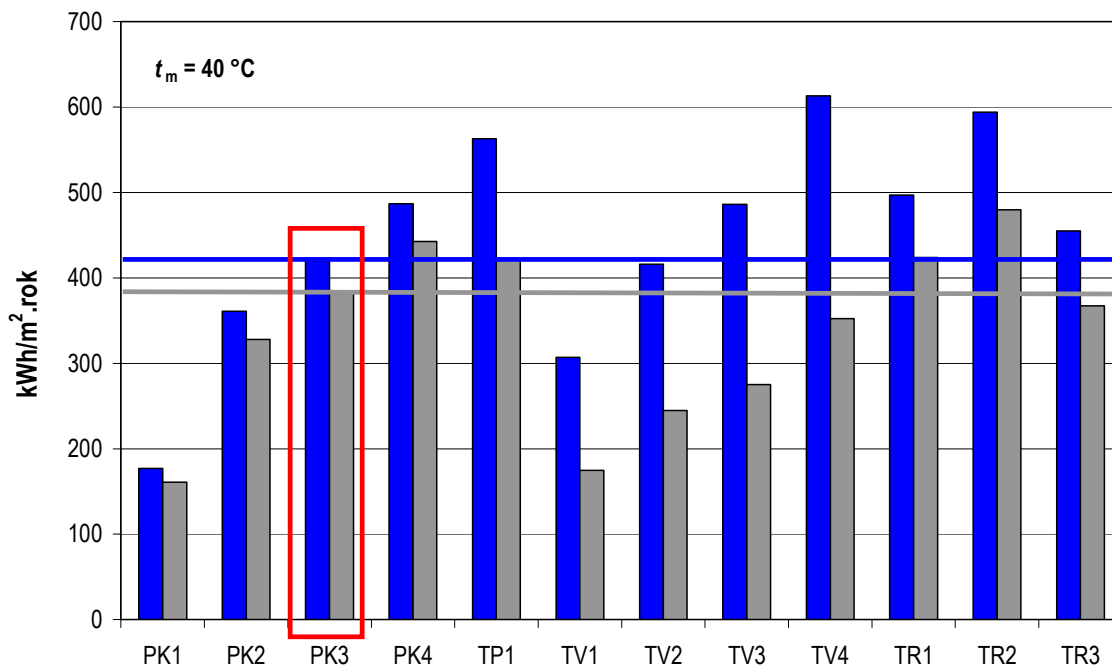
Tab. 3 Parametry porovnávaných trubkových vakuových kolektorů s válcovým absorbérem (Sydney) s reflektorem

| | TR1 | | TR2 | | TR3 | |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $\eta_{0,a}$ | 0,569 | | 0,756 | | 0,552 | |
| $a_{1,a}$ | 0,91 | | 1,42 | | 0,86 | |
| $a_{2,a}$ | 0,003 | | 0,003 | | 0,003 | |
| A_a | 1,74 | | 1,72 | | 1,72 | |
| A_G | 2,04 | | 2,13 | | 2,13 | |
| θ | $K_{\theta,L}$ | $K_{\theta,T}$ | $K_{\theta,L}$ | $K_{\theta,T}$ | $K_{\theta,L}$ | $K_{\theta,T}$ |
| 0 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 10 | 1,00 | 1,02 | 1,00 | 0,99 | 1,00 | 1,02 |
| 20 | 1,00 | 1,07 | 1,00 | 0,95 | 0,99 | 1,03 |
| 30 | 0,99 | 1,13 | 1,00 | 0,89 | 0,98 | 1,03 |
| 40 | 0,98 | 1,19 | 0,99 | 0,86 | 0,97 | 1,03 |
| 50 | 0,95 | 1,28 | 0,97 | 0,96 | 0,94 | 1,08 |
| 60 | 0,88 | 1,38 | 0,91 | 1,12 | 0,89 | 1,23 |
| 70 | 0,75 | 1,16 | 0,79 | 1,09 | 0,66 | 0,90 |
| 80 | 0,38 | 0,58 | 0,40 | 0,55 | 0,33 | 0,45 |
| 90 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

V grafu na obr. 4 jsou porovnány roční měrné zisky uvedených solárních kolektorů pro střední teplotu kapaliny v kolektorech 40 °C (celoročně konstantní) jako výstup z výpočtu v modelu VYKON_SK. Tepelné zisky solárních kolektorů jsou jednak vztaženy k ploše apertury (aby bylo možné srovnávat obdobné konstrukce mezi sebou) a jednak k obrysové ploše (tepelný zisk ze skutečně zabrané plochy na střeše).

Jako referenční solární kolektor byl zvolen běžný plochý atmosférický kolektor PK3. Z porovnání výkonnosti kolektorů vztažené **k ploše apertury** vyplývá, že v případě běžných aplikací s provozní teplotou $t_m = 40$ °C produkují kvalitní trubkové vakuové kolektory bez reflektoru ročně o cca 20 až 30 % více energie než běžné ploché kolektory, nicméně méně kvalitní kolektory stejného typu mohou vykazovat stejný případně i o 30 % menší zisk. Trubkové kolektory s reflektorem vykazují v porovnání výsledky lepší. Vzhledem ke spolehlivé kvalitě trubkových kolektorů s plochým absorbérem lze předpokládat, že jejich o 30 % vyšší výkonnost oproti plochým kolektorům platí pro tento konstrukční typ obecně.

Odlíšná je situace v případě vztažení výkonnosti solárních kolektorů **k obrysové ploše** při zjišťování potenciálu výkonnosti dostupné plochy na střeše. Rozdíly mezi referenčním plochým kolektorem a trubkovými vakuovými kolektory obecně nejsou již tak výrazné. Navíc, zvláště trubkové kolektory typu Sydney bez reflektoru mohou vykazovat vzhledem k vysokému podílu neúčinné plochy (až 40 %) výrazně nižší výkonnost (některé varianty i o více jak 30 %) než referenční plochý kolektor.



Obr. 4 Roční teoretické měrné zisky srovnávaných solárních kolektorů podle apertury (modrá) a podle obrysové plochy (šedá)

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 nenormálových úhlech dopadu do hodnocení solárního kolektoru je nutné znát křivku modifikátoru úhlu dopadu v hlavních rovinách kolektoru.

Výkonnost jako schopnost kolektoru produkovat tepelný zisk v průběhu celého roku byla vyhodnocena pro různé typy solárních kolektorů s charakteristickými křivkami účinnosti a modifikátoru úhlu dopadu slunečního záření jak pro plochu apertury tak pro obrysovou plochu kolektorů. Analýza byla provedena simulačním modelem VYKON_SK vyhodnocujícím roční tepelný zisk solárního kolektoru pro zvolenou celoročně stálou provozní teplotu (v analýze 40 °C). Z porovnání vyplývá výrazná variabilita energetické kvality různých trubkových vakuových kolektorů s válcovým absorbérem a její dopad na potenciální tepelné zisky trubkových solárních kolektorů, které v řadě případů mohou být lepší než u plochých kolektorů, ale v řadě případů dostupných na trhu také výrazně horší. Analýza jasně ukázala, že při srovnávání energetické kvality solárních kolektorů nelze paušálně označit určitý konstrukční typ za více či méně ziskový v porovnání s jinými bez znalosti základních parametrů (křivka účinnosti a křivka modifikátoru) pro konkrétní případy a konkrétní účel hodnocení (provozní teplota, hodnocení podle typu referenční plochy).

LITERATURA

- [1] ČSN EN 12975-2 Tepelné solární soustavy a součásti – Solární kolektory – Část 2: Zkušební metody, ČNI, 2006.
- [2] RAL-UZ 73: Basic Criteria for Award of the Environmental Label „Der Blaue Engel“, Solar Collectors, březen 2009, dostupné na <<http://www.blauer-engel.de>>.
- [3] Matuška, T.: Nástroj pro hodnocení výkonnosti solárních kolektorů VYKON_SK, dostupné na <<http://solab.fs.cvut.cz>>.