

Ing. Viacheslav SHEMELIN ¹⁾
 doc. Ing. Tomáš MATUŠKA, Ph.D. ^{1),2)}
¹⁾ ČVUT v Praze, Univerzitní
 centrum energeticky efektivních
 budov
²⁾ ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
 Ústav techniky prostředí

Porovnání různých modelů výpočtu roční produkce tepla solárních kolektorů

Comparison of Different Models for Calculating the Annual Heat Output of Solar Collectors

Recenzent
 doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Príspevek se zabývá porovnáním čtyř výpočtových modelů pro stanovení tepelného výkonu plochého solárního kolektoru. Jednotlivé modely byly porovnány výpočtem roční produkce tepla plochého solárního kolektoru v simulacním prostředí TRNSYS při zvolených provozních teplotách a klimatických podmínkách v lokalitě Würzburg. Simulace ukázala, že neuvažování optické charakteristiky kolektoru může významně nadhodnocovat tepelný zisk kolektoru o zhruba 25 %. Rozdíl mezi dynamickým modelem a stacionárním modelem je velice malý, vzhledem k malé časové konstantě plochých kolektorů. Rozdíl mezi modelem tepelného výkonu vyjádřeným koeficienty křivky účinnosti a podrobným modelem se simulací rozložení teplot v kolektoru je v řádu procent.

Klíčová slova: solární kolektor, stacionární model, dynamický model, podrobný teoretický model

The paper compares four computational models for determination of the thermal performance of a flat-plate solar collector. Individual models were compared by calculating the annual heat output of the flat-plate solar collector in the simulation environment TRNSYS, at the chosen operating temperatures and climatic conditions in Würzburg locality. Simulations showed that neglecting the optical characteristics of the collector can significantly overestimate the heat gains of the collector by approximately 25 %. The difference between the dynamic model and the stationary model is very small due to the small time constant of the flat-plate collectors. The difference between the heat output model expressed by the coefficients of the efficiency curve and the detailed model with simulation of the temperature distribution in the collector is within the range of a few percent.

Keywords: solar collector, stationary model, dynamic model, detailed theoretical model

ÚVOD

Matematické modelování solárních kolektorů má velký význam pro výrobce, dodavatele, projektanty i hodnotitele solárních kolektorů a soustav. Výrobcům umožňuje detailní matematické modelování ekonomiky optimalizovat konstrukci kolektoru pro danou oblast aplikací nebo hodnotit dopad konstrukčních změn kolektorů na roční bilanci. Dodavatelům solárních kolektorů mohou výpočtové analýzy s využitím modelů poskytnout podklad pro prezentaci zisků nebo porovnat kolektory s konkurenčními dodávkami. Projektanti využívají matematické modelování ve výpočtových programech pro dokladování předpokládaných zisků (a úspor) navržené solární soustavy konečným uživatelům, případně státní správě při dokladování splnění podmínek programů podpory.

Tepelné zisky solární soustavy za dané časové období (rok), resp. úspora tepla dodávaného nahrazovaným zdrojem energie, se stanovují výpočtovými metodami nejčastěji pro zatím nerealizované instalace, nejlépe podrobnou počítačovou simulací soustavy výpočtovými programy, např. Polysun, T*SOL, GetSolar aj. [1]. Výpočtové hodnocení má svůj význam ve fázi návrhu solárních soustav, výsledky jsou však vždy závislé na kvalitě vstupních parametrů, tj. do jaké míry odpovídají skutečnosti, a na kvalitě použitých modelů. Matematické modelování má své místo i při ověřování chování již realizovaných solárních soustav, např. v případě pochybností o kvalitě již instalovaného solárního kolektoru [2, 3].

Matematické modelování je vždy určitým zjednodušením skutečnosti. Příliš složitý model vyžaduje značnou potřebu strojního (počítačového) času pro výpočet, příliš jednoduchý model často nepostihuje významné vlivy různých parametrů a může vykazovat značnou nepřesnost výpočtu. Následující analýza je zaměřena na stanovení rozdílu výsledků různých modelů výpočtu tepelného výkonu solárního kolektoru při jeho provozu, od zjednodušených po detailní. V článku jsou popsány čtyři modely plochého kapalínového solárního kolektoru. Cílem je stanovit, jaký stupeň

zjednodušení popisu solárního kolektoru lze použít v rámci hodnocení solárních soustav. Prvním modelem je stacionární model uvažující pouze křivku účinnosti solárního kolektoru, stanovenou na základě zkoušky v ustáleném stavu. Druhý model uvažuje jak křivku účinnosti, tak i modifikátor úhlu dopadu slunečního záření. Oproti prvnímu modelu je navíc uvažována optická charakteristika. Třetím modelem je dynamický model, stanovený na základě kvazi-dynamické zkoušky solárního kolektoru, kdy je navíc uvažována především tepelná kapacita kolektoru. Čtvrtým modelem je teoretický model solárního kolektoru, který v každém časovém kroku výpočtu řeší detailní přenos tepla sáláním, prouděním a vedením v různých částech kolektoru, teplotní rozložení v kolektoru apod.

POPIS MODELŮ

Model 1

Model využívá křivku účinnosti stanovenou na základě zkoušky za ustáleného stavu v souladu s ČSN EN 12975-2 (dříve) [4] nebo ČSN EN ISO 9806 (od roku 2014) [5]. Zkouška probíhá za jasného dne (difuzní ozáření musí být menší než 30 %) pro kolmý dopad slunečního záření, pro rychlost proudění okolního vzduchu větší než 3 m/s. Kolektor je zkoušen v rozsahu provozních teplot pro minimálně 4 různé vstupní teploty. Jeden zkušební bod je vybrán tak, aby střední teplota teplotnosné látky byla v blízkosti teploty okolního vzduchu pro stanovení účinnosti kolektoru bez vlivu tepelných ztrát. Na základě stanovených hodnot výkonu se vyhodnocuje křivka účinnosti kolektoru v závislosti na redukováném teplotním spádu (rozdílu mezi střední teplotou kapaliny v kolektoru t_m a teplotou okolí t_e poděleném slunečním ozářením G) ve tvaru polynomu 2. řádu:

$$\eta = c_0 - c_1 \frac{(t_m - t_e)}{G} - c_2 \frac{(t_m - t_e)^2}{G} \quad [-] \quad (1)$$

kde je:

- c_0 účinnost kolektoru při nulovém rozdílu teplot, tzv. optická účinnost [-],
- c_1 lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [W/m²K],
- c_2 kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru [W/m²K²].

Koeficienty c_0 , c_1 a c_2 se častěji označují η_0 , a_1 a a_2 , nicméně pro účely přehlednosti porovnání modelu v tomto textu jsou značeny jednotně. Koeficienty jsou vztaženy buď k ploše apertury A_a (ČSN EN 12975-2), nebo k hrubé ploše A_g (ČSN EN ISO 9806), a je vždy nutné je uvádět společně s uvedením vztažné plochy (index a nebo G) [6]. Tepelný výkon solárního kolektoru se stanoví:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_k &= A_a \left[Gc_{0,a} - c_{1,a}(t_m - t_e) - c_{2,a}(t_m - t_e)^2 \right] = \\ &= A_g \left[Gc_{0,g} - c_{1,g}(t_m - t_e) - c_{2,g}(t_m - t_e)^2 \right] \quad [W] \end{aligned} \quad (2)$$

Tento nejjednodušší model neuvažuje chování kolektoru za jiných podmínek, než jsou podmínky zkoušky (kolmý dopad, jasno, ustálený stav bez vlivu dynamiky kolektoru). Je zřejmé, že takový model nemůže postihnout reálné chování kolektoru během roku: nekolmý dopad, dynamické stavy vlivem proměnlivých klimatických podmínek. Tento model reprezentuje např. Type 1a v simulačním prostředí TRNSYS.

Model 2

Stacionární model, daný charakteristikou účinnosti kolektoru, může být rozšířen o optickou charakteristiku, která zohledňuje chování kolektoru při nekolmém dopadu slunečního záření. Křivka účinnosti je, podobně jako v modelu 1, výsledkem zkoušky v ustáleném stavu. Optické chování je popsáno tzv. modifikátorem úhlu dopadu K_θ (někdy značeném také *IAM*: incidence angle modifier). Křivka modifikátoru úhlu dopadu se stanovuje zkouškou v souladu s ČSN EN 12975-2 [4] nebo ČSN EN ISO 9806 [5]. Zkouškou se stanovuje optická účinnost pro různé úhly dopadu slunečního záření (za podmínky jasného dne) na kolektor a modifikátor je poměrem těchto hodnot s hodnotou optické účinnosti pro kolmý dopad podle vztahu:

$$K_\theta = \frac{c_0(\theta)}{c_0(0^\circ)} \quad [-] \quad (3)$$

kde je:

- $c_0(\theta)$ optická účinnost při obecném úhlu dopadu θ [-],
- $c_0(0^\circ)$ optická účinnost při kolmém úhlu dopadu ($\theta = 0^\circ$) [-].

Modifikátor úhlu dopadu je bezrozměrná křivka, která zohledňuje závislost propustnosti slunečního záření zasklením a pohltivosti slunečního záření absorberem na úhlu dopadu θ . Optická charakteristika se u různých druhů i typů kolektorů obecně liší. Ploché solární kolektory mají optické vlastnosti v obou hlavních rovinách kolektoru (příčné, podélné) symetrické a mezi různými typy plochých kolektorů není výrazný rozdíl. Tvar křivky modifikátoru úhlu dopadu je snadno předvídatelný a lze jej vyjádřit jednoduchou rovnicí:

$$K_\theta = 1 - b_0 \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \quad [-] \quad (4)$$

Pro stanovení součinitele b_0 postačuje experimentálně stanovit pouze hodnotu modifikátoru K_θ pro úhel 50° . V protokolech o zkoušce plochých solárních kolektorů se proto uvádí pouze hodnota modifikátoru K_{50} . U osově nesymetrických kolektorů (např. trubkové kolektory) je nutné rozlišovat různé charakteristiky v podélné a příčné rovině. Především v příčné rovině je křivka modifikátoru velice odlišná v závislosti na typu kolektoru.

Ze své podstaty platí modifikátor pro přímé úhlově závislé sluneční záření s výrazně vyšší intenzitou v jednom směru než v ostatních. Pro difuzní a odražené sluneční záření se všesměrovým charakterem (intenzita záření ve všech směrech stejná) se uvažuje souhrnně jedinou hodnotou, která vyjadřuje integrál křivky modifikátoru v oblasti předpokládaného rozsahu úhlů (směrů) dopadu v závislosti na úhlu sklonu solárního kolektoru [7]. Rozlišují se tak tři modifikátory úhlu dopadu: pro přímé záření $K_{\theta,b}$, pro difuzní $K_{\theta,d}$ a pro odražené sluneční záření $K_{\theta,r}$. Výkon solárního kolektoru s vlivem úhlu dopadu slunečního záření na jeho vlastnosti se stanoví podle vztahu:

$$\dot{Q}_k = A_a \left[\left(K_{\theta,b}(\theta)G + K_{\theta,d}G + K_{\theta,r}G \right) c - c_1(t_m - t_e) - c_2(t_m - t_e)^2 \right] \quad [W] \quad (5)$$

kde je:

- $G_{\theta,b}$ přímé sluneční ozáření v rovině kolektoru [W/m²],
- $G_{\theta,d}$ difuzní (oblohové) sluneční záření v rovině kolektoru [W/m²],
- $G_{\theta,r}$ odražené sluneční záření v rovině kolektoru [W/m²].

Člen zohledňující odražené záření je možné s ohledem na jeho hodnotu zcela zanedbat, pokud se nejedná o svislé orientace kolektoru. Výše uvedený model se objevuje v naprosté většině simulačních nástrojů pro modelování výkonu solárního kolektoru v solárních soustavách a lze ho považovat za referenční. V simulačním prostředí TRNSYS je tento model reprezentován např. modelem Type 1b.

Model 3

Třetím modelem je dynamický model, který vychází z kvazi-dynamické zkoušky solárního kolektoru. Tento model uvažuje kromě účinnosti a optické charakteristiky také dynamické chování kolektoru. Metoda kvazi-dynamické zkoušky [4, 5] využívá pro vyhodnocení tepelného výkonu solárního kolektoru naměřené údaje v neustáleném stavu při měnících se provozních a klimatických podmínkách. Zkouška nevyžaduje podmínku jasné oblohy v okolí slunečního poledne a využívá mnohem větší část dne pro měření. Je proto výhodná především pro venkovní zkoušení v oblastech s proměnlivými klimatickými podmínkami. Zahrnuje navíc vliv úhlu dopadu slunečního záření, vliv difuzního záření, vliv proudění okolního vzduchu, vliv teploty oblohy a vliv tepelné kapacity kolektoru, což umožňuje popsat chování solárního kolektoru podrobněji a komplexněji – díky mnohem širší oblasti zkušebních podmínek – než u zkoušky za ustáleného stavu. Výkon solárního kolektoru se stanoví podle vztahu:

$$\dot{Q}_k = A_a \left[\left(K_{\theta,b}(\theta)G_{\theta,b} + K_{\theta,d}G_{\theta,d} + K_{\theta,r}G_{\theta,r} \right) c_0 - c_1(t_m - t_e) - c_2(t_m - t_e)^2 - c_3 w(t_m - t_e) + c_4(E_L - \sigma T_e^4) - c_5 \frac{dt_m}{d\tau} - c_6 wG \right] \quad [W] \quad (6)$$

kde je:

- w rychlost proudění vzduchu [m/s],
- E_L dlouhovlnné záření dopadající na plochu kolektoru [W/m²],
- τ čas [s],
- c_3 součinitel tepelných ztrát závislý na rychlosti proudění okolního vzduchu [J/m³K],
- c_4 součinitel tepelných ztrát závislý na sálání vůči okolí (především vůči obloze) [-],
- c_5 účinná tepelná kapacita kolektoru [J/m²K],
- c_6 součinitel účinnosti při nulové tepelné ztrátě závislý na rychlosti větru [s/m].

Základním rozdílem oproti zkoušce za ustáleného stavu je měření a sběr dat během celého dne (od rána do odpoledne). Interval snímání hodnot

je 1 až 6 sekund se stanovením průměrných hodnot za 5 až 10 minut. Požadavky na zkušební podmínky jsou redukovány na konstantní průtok (identické jako u metody v ustáleném stavu), konstantní teplotu na vstupu do kolektoru ± 1 K během dne (zkušební období) a požadavek na rychlost okolního vzduchu mezi 1 a 4 m/s (pokud je to nezbytné, jsou použity generátory umělého větru). Pro zkoušku jsou požadovány periody jak jasného dne pro určení modifikátoru pro přímé sluneční záření, tak dne s proměnným slunečním ozářením pro zachycení vlivu difuzního záření a tepelné kapacity kolektoru. Norma předepisuje, jakým způsobem vyhodnotit použitelnost zkušebních podmínek ke stanovení spolehlivých nezávislých parametrů – kvazi-dynamických součinitelů výkonu kolektoru.

Vzhledem k tomu, že u zasklených solárních kolektorů je zpravidla vliv větru a sálání vůči obloze zanedbatelný, je možné součinitele c_3 , c_4 a c_6 nestanovovat [8], na rozdíl od nezasklených kolektorů, kde je nutné použít úplný model. Účinná tepelná kapacita c_5 se stanovuje podle postupu uvedeném ve zkušební normě.

Pro modelování výkonu solárního kolektoru dynamickým modelem potom lze použít rovnici ve tvaru:

$$\dot{Q}_k = A_a \left[(K_{0,b}(\theta)G_{bT} + K_{0,d}G_{dT} + K_{0,r}G_{rT})c_0 - c_1(t_m - t_e) - c_2(t_m - t_e)^2 - c_5 \frac{dt_m}{d\tau} \right] \quad [W] \quad (7)$$

Člen odraženého záření je možné podobně jako v modelu 2 zanedbat. Dynamický model se používá v detailních matematických simulacích chování kolektorů s velmi krátkým časovým krokem, kdy se např. porovnává výpočet výstupní teploty kolektoru s naměřenými hodnotami při zkoušení různých způsobů regulace a odezvy na teplotním čidle za kolektorem. Model umožňuje podchytit zpožděný náběh teploty na výstupu kolektoru. V simulačním prostředí TRNSYS je tento model dostupný v knihovně nestandardních komponent jako Type 832 [9].

Model 4

Posledním porovnávaným modelem je podrobný teoretický model, který na základě detailních informací o konstrukci kolektoru (geometrické, optické a termofyzikální vlastnosti jednotlivých součástí) modeluje tepelné toky z povrchu absorbéru do okolí (vnější energetická bilance absorbéru) a z povrchu absorbéru do teplotnosné kapaliny (vnitřní energetická bilance absorbéru) a v souvislosti s tím i rozložení teplot v kolektoru. Model neuvažuje tepelnou kapacitu jednotlivých částí kolektoru, jde o řešení v ustáleném stavu popsané základní rovnicí pro výkon solárního kolektoru [10] ve tvaru:

$$\dot{Q}_k = F_R A_a \left[(K_{0,b}(\theta)G_{bT} + K_{0,d}G_{dT} + K_{0,r}G_{rT})\tau\alpha - U(t_{k1} - t_e) \right] \quad [W] \quad (8)$$

kde je:

- F_R tepelný přenosový součinitel kolektoru [-],
- τ propustnost zasklení kolektoru [-],
- α pohltivost absorbéru kolektoru [-],
- U celkový součinitel prostupu tepla kolektoru [W/m²K],
- t_{k1} teplota kapaliny na vstupu do kolektoru [°C].

Iteračním způsobem se v rámci vnější energetické bilance řeší přenos tepla volným prouděním a sáláním ve vzduchové šterbině mezi povrchem absorbéru a vnitřním povrchem zasklení (resp. vnitřním povrchem skříně kolektoru), vedení tepla zasklením (resp. tepelně izolovanou skříní kolektoru) a přenos tepla prouděním a sáláním z vnějšího povrchu zasklení (resp. ze skříně kolektoru) do okolí. Pro stanovení jednotlivých součinitelů přestupu tepla je nutná znalost teplot v hlavních rovinách kolektoru, které jsou zpětně závislé na hodnotách součinitelů přestupu

tepla. Výsledkem vnější energetické bilance je celkový součinitel prostupu tepla kolektoru a rozložení teplot v kolektoru, které jsou pro každé podmínky detailně spočítány. Podobně se iteračním cyklem v rámci vnitřní energetické bilance stanovuje přenos tepla lamelou absorbéru, spojem trubkového registru a absorbéru a prouděním ze stěny trubky do kapaliny. Výsledkem je tepelný přenosový součinitel F_R . Jelikož obě bilance jsou vzájemně propojené a na sobě závislé, nadřazený iterační cyklus předává výsledky vnější bilance do vnitřní (součinitel prostupu tepla U) a výsledky vnitřní bilance do vnější (teplota absorbéru t_{abs}) [11].

Na základě výše popsaného modelu byl nově vytvořen Type 205 v simulačním prostředí TRNSYS [12]. Matematický model byl validován na základě konfrontace mezi teoreticky stanoveným výkonem a výkonem naměřeným.

ANALÝZA

Popsané modely byly porovnány výpočtem výkonnosti konkrétního plochého solárního kolektoru za stejných klimatických a provozních podmínek během roku v simulačním prostředí TRNSYS s využitím uvedených modelů. Výkonností se rozumí roční měrný tepelný zisk solárního kolektoru provozovaného při definované konstantní teplotě. Byl uvažován plochý solární kolektor s parametry stanovenými experimentální zkouškou. Parametry kolektoru jsou uvedeny v tab. 1. Model 4 je založen na teoretickém výpočtu výkonnosti solárního kolektoru, a proto vstupními parametry do modelu jsou geometrické vlastnosti (rozměry, plochy apod.), tepelné vlastnosti (tepelné vodivosti materiálů) a optické vlastnosti části kolektoru. Tyto parametry jsou nastaveny tak, aby křivka účinnosti daného kolektoru stanovená modelem souhlasila s charakteristikou používanou v modelech 1 až 3.

Tab. 1 Parametry hodnoceného solárního kolektoru

Tab. 1 Specifications of the evaluated solar collector

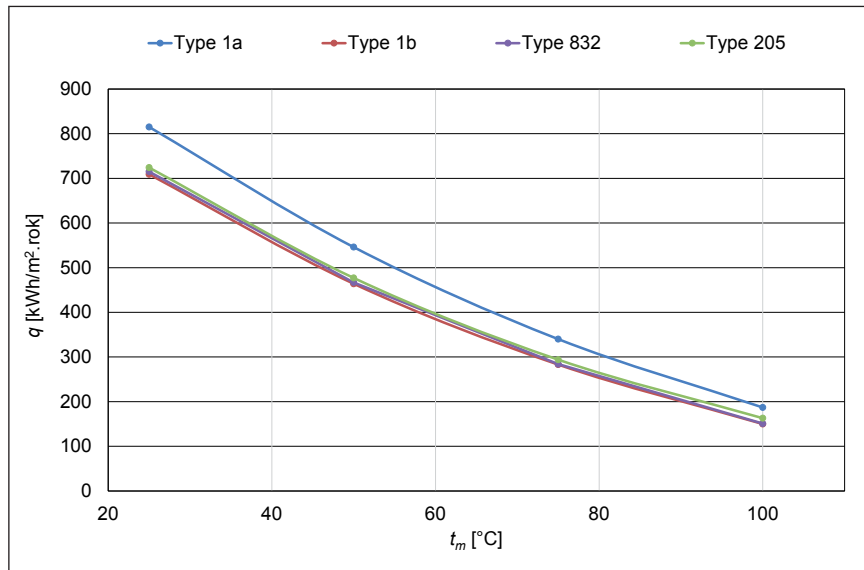
Parametr	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
c_0 [-]	0,782	0,782	0,782	počítá se
c_1 [W/m ² K]	3,663	3,663	3,663	počítá se
c_2 [W/m ² K ²]	0,0085	0,0085	0,0085	počítá se
$K_{0,b}$ [-]	-	0,920	0,920	0,920
$K_{0,d}$ [-]	-	0,876	0,876	0,876
c_5 [J/m ² K]	-	-	3746	-

Výkonnost solárního kolektoru byla jednotlivými modely simulována při provozní teplotě 25, 50, 75 a 100 °C. Solární kolektor je uvažován se sklonem 45° a orientací na jih. Pro simulaci byly použity klimatické údaje typického meteorologického roku pro Würzburg (roční úhrn energie slunečního záření na plochu kolektoru 1230 kWh/m²). Výsledky modelování jsou uvedeny v tab. 2 a graficky na obr. 1. Pro porovnání byly jako reference použity výsledky z modelu 2. U hodnot uvedených v tab. 2 jsou v závorce uvedeny odchylky vypočteného zisku vzhledem k výsledku referenčního modelu. Na obr. 2 je uveden příklad denního průběhu výkonu kolektoru stanoveného srovnávanými modely.

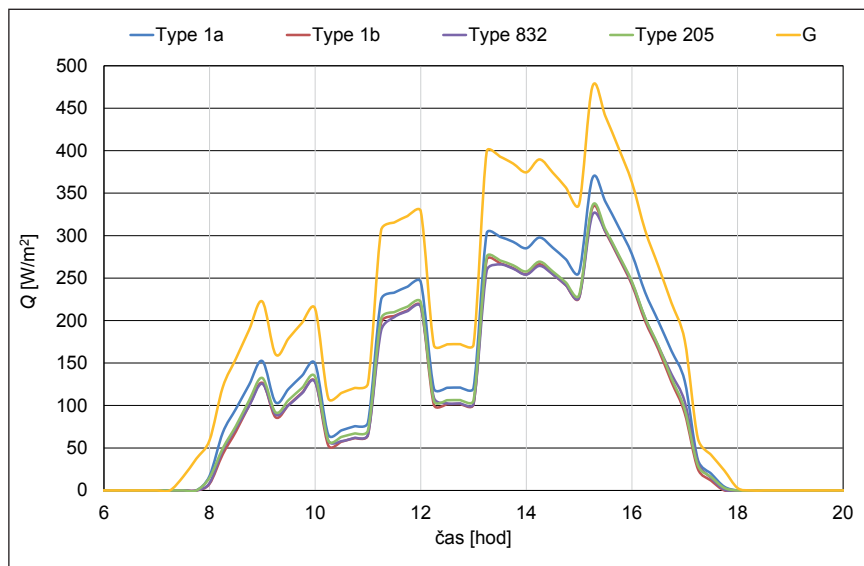
Z výsledků je zřejmé, že model 1 (bez vlivu optické charakteristiky) vykazuje výrazně vyšší zisk o 15 až 25 % v uvedeném rozsahu provozních teplot. V případě odklonu uvažovaného kolektoru od jihu se odchylka navíc zvětšuje. To je logické, protože model neuvažuje změnu optických vlastností kolektoru s úhlem dopadu slunečního záření a uvažuje, že záření dopadá po celý rok kolmo na zasklení. Takový model nelze doporučit pro výpočty, zvláště pokud výpočet má být pod-

kladem pro smluvní záruky. Rozdíl mezi modelem 2 a modelem 3 je v podstatě zanedbatelný a nepřesahuje 1 %. Zohlednění dynamiky solárního kolektoru nepřináší výrazně jiný výsledek, což je mj. dáno nízkou

tepelnou kapacitou kolektoru plochého solárního kolektoru obecně a z toho vyplývající velice krátkou časovou konstantou (v řádu minut). Z toho důvodu nebyla do modelu Type 205 tepelná kapacita zahrnuta.



Obr. 1 Porovnání měrných tepelných zisků stanovených různými modely
Fig. 1 Comparison of the specific heat gains determined by different models



Obr. 2 Výkon srovnávaných modelů solárního kolektoru v závislosti na čase za proměnlivých klimatických podmínek
Fig. 2 Output of the compared models of solar collector in dependency on time for variable climatic conditions

Tab. 2 Porovnání výkonnosti plochého kolektoru stanovené různými modely
Tab. 2 Comparison of the flat-plate collector output determined by different models

q [kWh/m²·rok]	tm [°C]			
	25 °C	50 °C	75 °C	100 °C
model 1 (Type 1a)	815 (+ 15 %)	546 (+ 18 %)	340 (+ 20 %)	187 (+ 25 %)
model 2 (Type 1b)	709	464	283	150
model 3 (Type 832)	715 (+ 1 %)	467 (+ 1 %)	284 (+ 0 %)	151 (+ 1 %)
model 4 (Type 205)	724 (+ 2 %)	477 (+ 3 %)	294 (+ 4 %)	163 (+ 9 %)

Rozdíl mezi referenčním modelem 2 a podrobným modelem 4 se v běžném rozsahu provozních teplot pohybuje v řádu procent. Pouze pro vysoké provozní teploty (100 °C) se výpočet teoretickým podrobným modelem liší o 9 %. To může být dáno řadou okolností. Odchylna může být na straně modelu 2 např. již v omezeném rozsahu vlastní normové zkoušky výkonu solárního kolektoru, která se neprovádí v oblasti takto vysokých teplot a křivka jako výsledek proložení hodnot účinnosti je tím zkreslena. Na druhé straně, odchylna může být dána i nepřesností modelu 4 v oblasti vysokých teplot vlivem snížené platnosti použitých modelů konvekce ve štěrbině, závislosti použité tepelné vodivosti izolace na teplotě, skutečné hodnoty použité emisivity absorberu, která významně ovlivňuje sálání projevující se při zvýšených teplotách, apod.

ZÁVĚR

V příspěvku byly porovnány čtyři různé výpočtové modely pro stanovení výkonu solárního kolektoru, které jsou k dispozici v oblasti modelování solárních soustav, od nejjednoduššího, využívajícího popis kolektoru omezený na křivku účinnosti, po podrobný teoretický model. Modely byly porovnány výpočtem výkonnosti plochého solárního kolektoru za definovaných provozních a klimatických podmínek. Z výsledků se ukazuje, že pro získání spolehlivých údajů o ročním zisku solárního kolektoru nelze použít model neuvažující optickou charakteristiku kolektoru (rozdíly 15 až 25 %). Naopak lze modelování zjednodušit na využití parametrů získaných ze zkoušky v ustáleném stavu bez znalosti tepelné kapacity kolektoru (rozdíly do 1 %). Použití podrobného teoretického modelu není obvyklé, nicméně v případě vhodné kalibrace modelu v širokém rozsahu teplot experimentálními měřeními by takový model mohl poskytovat i spolehlivější informaci než výsledek běžného testu, který neuvažuje vliv menších rychlostí proudění okolního vzduchu než 3 m/s či zvýšení sálání při vysokých teplotách mimo rozsah teplot kapaliny při zkoušce. Podrobný model je však vhodný spíše v oblasti navrhování konstrukce kolektorů, nikoli pro vlastní hodnocení solárních kolektorů již instalovaných.

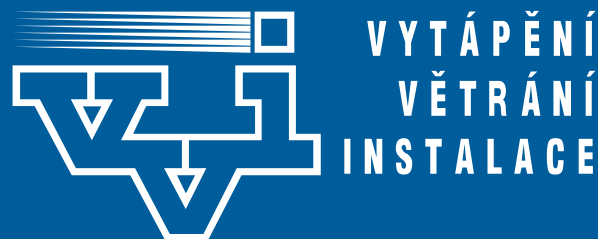
Kontakt na autora: Viacheslav.Shemelin@cvut.cz

Poděkování: Tento příspěvek vznikl za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. LO1605 – Univerzitní centrum energeticky efektivních budov – Fáze udržitelnosti.

Použité zdroje:

- [1] MATUŠKA, T. Simulační nástroje pro hodnocení solárních soustav. In: TZB-info [online]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/152-simulacni-nastroje-pro-hodnoceni-solarnich-soustav>

- [2] POKORNÝ, N., MATUŠKA, T. Modelování provozu solárního tepelného kolektoru. *Sborník konference Alternativní zdroje energie 2014*. Praha: Společnost pro techniku prostředí.
- [3] POKORNÝ, N., MATUŠKA, T., ŠOUREK, B. Modelování a testování solárních kolektorů v praxi. *Sborník konference Vytápění 2015*. Praha: Společnost pro techniku prostředí.
- [4] ČSN EN 12975-2:2006. Tepelné solární soustavy a součásti – Solární kolektory – Část 2: Zkušební metody. *Zrušena 2014*.
- [5] ČSN EN ISO 9806: 2014. Solární energie – Solární tepelné kolektory – Zkušební metody.
- [6] MATUŠKA, T. Výkonnost solárních kolektorů - 1. část: Základní parametry. *Vytápění, větrání, instalace*. 2010, roč. 19, č. 5, s. 210 – 214. ISSN 1210-1389.
- [7] DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: Wiley, 2006.
- [8] FISCHER, S., MÜLLER-STEINHAGEN, H., PERERS, B., BERGQUIST, P. Collector test method under quasi-dynamic conditions according to the European standard EN 12975-2. *Solar Energy*. 2004, Volume 76, Issues 1–3, pp. 117–123.
- [9] HALLER, M. *TRNSYS Type 832 v5.00 „Dynamic Collector Model by Bengt Perers“ Updated Input-Output Reference*. Rapperswil: SPF, 2012.
- [10] HOTTEL, H. C., WOERTZ, B. B. The performance of flat plate solar heat collectors. *Transactions of ASME*. 1942, Volume. 64, s. 91–104.
- [11] MATUŠKA, T., ZMRHAL, V. *A mathematical model and design tool KOLEKTOR 2.2 reference handbook*. 2009. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=194 a http://users.fs.cvut.cz/~matustom/kolektor/Reference_Handbook_KOLEKTOR_012009.pdf
- [12] SHEMELIN, V., MATUŠKA, T. *Detailed Mathematical Model for Solar Flat Plate Collector Type 205*. 2015. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=194 ■



Webová prezentace časopisu VVI
www.stpcr.cz/vvi

Na těchto stránkách najdete:

- úplné texty článků vydaných v letech 1958 až 1991 v časopise Zdravotní technika a vzduchotechnika (předchůdce VVI),
- vyhledávací databázi článků od roku 1958,
- vybrané články VVI,
- informace pro autory a recenzenty,
- informace o předplatném a inzerci.

REKUPER®

BETA 9/7



- Obousměrná větrací jednotka s nastavitelným vzduchovým výkonem do $7500 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$
- Volná oběžná kola s EC motory s proměnlivými otáčkami
- Protiproudý deskový rekuperační výměník s účinností rekuperace až 75%
- Pro zvýšení komfortu možnost vybavení kondenzačním plynovým teplovodním kotlem
- Automatické řízení a regulace jednotek s možností připojení k síti Ethernet
- Distribuce vzduchu dálkově ovládanou tryskovou vyústkou