

# Aktivní solární tepelné systémy – 2. část Experimentální měření

## Active solar thermal systems – 2<sup>nd</sup> Part Experimental measuring

Ing. Tomáš MATUŠKA

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí

Jedním z možných způsobů hodnocení účinnosti solárních kolektorů a systémů je experimentální měření (laboratorní, provozní). Měřením získáváme reálný pohled na funkci daného kolektoru, případně systému, tzn. skutečnou účinnost či tepelný zisk s určitou přesností závislou na metodice měření, přesnosti použitých čidel a způsobu zpracování naměřených dat. Měření lze provádět jako laboratorní za jasně definovaných a opakovatelných okrajových podmínek nebo jako provozní měření, většinou probíhající na celém systému během určitého období.

### PŘEDMĚT A METODY ZKOUŠENÍ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

Pro komplexní popis chování solárního kolektoru je nutné znát tři parametry: **tepelná účinnost** (určuje jak kolektor pohlcuje záření a ztrácí teplo), **časová konstanta** (určuje vliv tepelné kapacity kolektoru) a **modifikátor úhlu dopadu** (určuje vliv úhlu dopadu slunečního záření).

#### Tepelná účinnost kolektoru

Základní metodou zkoušení solárních kolektorů je vystavení provozovaného kolektoru účinkům slunečního záření a měření vstupní teploty  $T_{in}$  a výstupní teploty  $T_e$  teplotosné látky spolu s měřením jejího hmotnostního průtoku. Dále jsou měřeny: solární ozáření  $G$  v rovině kolektoru, venkovní teplota  $T_a$  a rychlost vzduchu  $u$  v okolí kolektoru.

Základními obecnými podmínkami, které je nutné při testu dodržet je měření za ustáleného stavu, za jasného počasí (přímé sluneční záření) při přibližně kolmém dopadu paprsků na kolektor (index  $n$ ) a do kolektoru by měla vstupovat teplotosná látka o konstantní teplotě. Tepelný zisk kolektoru je na základě naměřených hodnot dán vztahem

$$Q_u = mc_f(T_e - T_{in}) \quad (1)$$

Teoreticky stanovený tepelný zisk kolektoru je

$$Q_u = A_c F' [(\tau\alpha)_n G - U(T_m - T_a)] \quad (2)$$

Účinnost je definována jako poměr mezi energií získanou (tepelný zisk) a energií dodanou (dopadající sluneční záření)

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c G} = \frac{mc_f(T_e - T_{in})}{A_c G} F'(\tau\alpha)_n - \frac{F'U(T_m - T_a)}{G} \quad (3)$$

kde  $T_m$  je střední teplota teplotosné látky,  $A_c$  je zvolená referenční plocha kolektoru (obvykle plocha apertury či absorberu) a  $F'$  je *účinnostní součinitel kolektoru*.

V různých světových normách (ASHRAE, ISO) pro měření účinnosti solárních kolektorů se můžeme setkat ještě se stanovením účinnosti v závislosti na vstupní teplotě teplotosné látky.

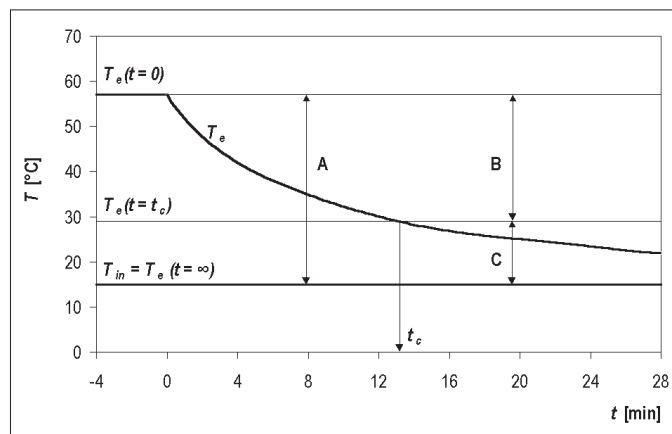
$$\eta = \frac{Q_u}{A_c G} = F_R(\tau\alpha)_n - \frac{F_R U(T_{in} - T_a)}{G} \quad (4)$$

kde  $F_R$  je tepelný přenosový součinitel kolektoru.

Zkoušení solárních kolektorů je možné provádět ve venkovním (nejčastější) a vnitřním prostředí. Zkoušky ve vnitřním prostředí jsou prováděny při umělém ozáření solárním simulátorem, tj. zdrojem produkujícím zářivou energii, která má spektrální rozložení, velikost a homogenitu intenzity záření blízké slunečnímu záření, a generátoru umělého větru.

#### Časová konstanta kolektoru

Časová konstanta, vyjadřující tepelnou setrvačnost kolektoru vlivem tepelné kapacity jeho částí, je definována jako čas potřebný ke změně teploty teplotosné látky na výstupu z kolektoru o 63,2 % z celkové hodnoty teplotní změny z původní teploty na novou ustálenou po skokové změně dopadajícího slunečního záření či vstupní teploty. Časová konstanta závisí na provozních podmínkách, především na průtoku teplotosné látky kolektorem. Způsob stanovení časové konstanty  $t_c$  je názorně uvedeno na obr. 1



Obr. 1 Stanovení časové konstanty

Nejčastějším způsobem stanovení je provoz kolektoru za ustálených podmínek s konstantní vstupní teplotou teplotosné látky  $T_{in}$  blízkou teplotě okolí  $T_a$ . Solární kolektor je náhle zastíněn od dopadajícího slunečního záření a je sledován pokles výstupní teploty jako funkce času nebo naopak stíněný kolektor v ustáleném stavu je náhle vystaven slunečnímu záření a sledován je nárůst výstupní teploty na novou ustálenou hodnotu. Časová konstanta kolektoru  $t_c$  je potom čas, při kterém je dosaženo rovnosti

$$\frac{T_e(t=t_c) - T_{in}}{T_e(t=0) - T_{in}} = \frac{C}{A} = \frac{1}{e} = 0,368 \text{ při chladnutí kolektoru} \quad (5)$$

případně

$$\frac{T_e(t=t_c) - T_{in}}{T_e(t=\infty) - T_{in}} = 1 - \frac{1}{e} = 0,632 \text{ při ohřívání kolektoru} \quad (6)$$

kde  $T_e(t=0)$  je výstupní teplota z kolektoru při přerušení dopadu slunečního záření,  $T_e(t=t_c)$  je výstupní teplota v čase  $t_c$  a  $T_e(t=\infty)$  je nová ustálená výstupní teplota z kolektoru.

Alternativní metodou stanovení časové konstanty je zkoušení kolektoru nevystaveného slunečnímu záření (stíněný, v noci či ve vnitřním prostředí) při zavedení skokové změny vstupní teploty z hodnoty ležící dostatečně nad teplotou okolí na hodnotu teploty okolí.

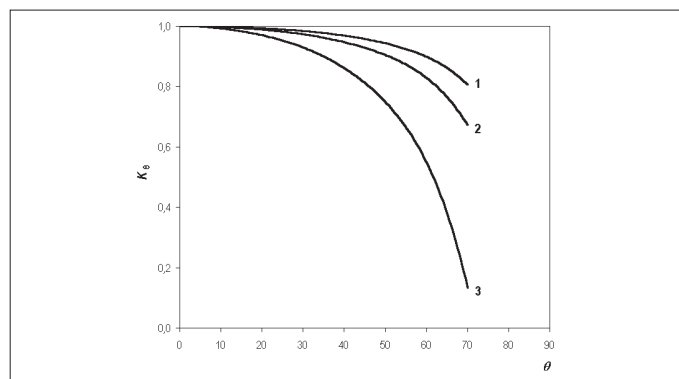
### Modifikátor úhlu dopadu kolektoru

Vliv úhlu dopadu slunečního záření na výkon solárního kolektoru vyjadřuje modifikátor úhlu dopadu  $K_\theta$ . Závislost součinu propustnosti zasklení kolektoru a pohltivosti absorpérů  $\tau\alpha$  na úhlu dopadu se u různých kolektorů liší. Modifikátor je definován jako poměr

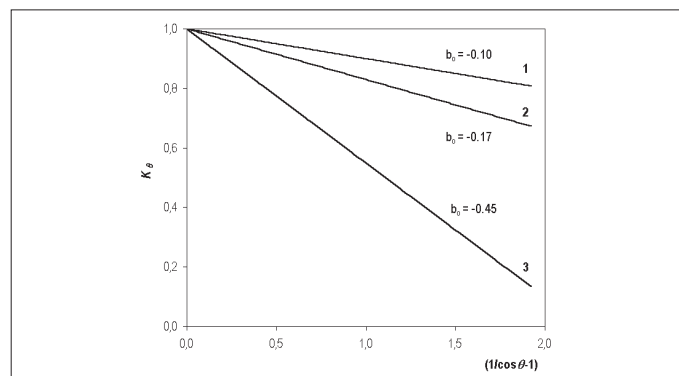
$$K_\theta = \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \quad (7)$$

kde index  $n$  značí kolmý úhel dopadu. Potom pro různé úhly dopadu slunečního záření je využitelný tepelný zisk kolektoru dán vztahem

$$Q_u = A_c F' [K_\theta (\tau\alpha)_n G - U(T_m - T_a)] \quad (8)$$



Obr. 2a Typické závislosti modifikátoru úhlu dopadu pro jednoduché zasklení (1), dvojité zasklení (2) a voštinovou strukturu (3)



Obr. 2b Přímkové závislosti modifikátoru úhlu dopadu

Typické závislosti modifikátoru na úhlu dopadu pro kolektor s jedním a dvěma zaskleními jsou uvedeny na obr. 2a, 2b. Zavedením goniometrických funkcí lze získat obecnou závislost pro ploché kolektory jako přímku se směrnici  $b_0$ , nazývanou **součinitel modifikátoru úhlu dopadu** (záporná hodnota)

$$K_\theta = 1 + b_0 \left( \frac{1}{\cos \theta} \right) \quad (9)$$

Experimentální stanovení  $K_\theta$  se provádí buď ve vnitřním prostředí polohováním kolektoru pod různými úhly v rozmezí 30° až 60°, nebo ve venkovním prostředí prováděním dvojice zkoušek při stejných podmínkách vždy symetricky okolo solárního poledne, při úhlech dopadu slunečního záření od 30° do 60°.

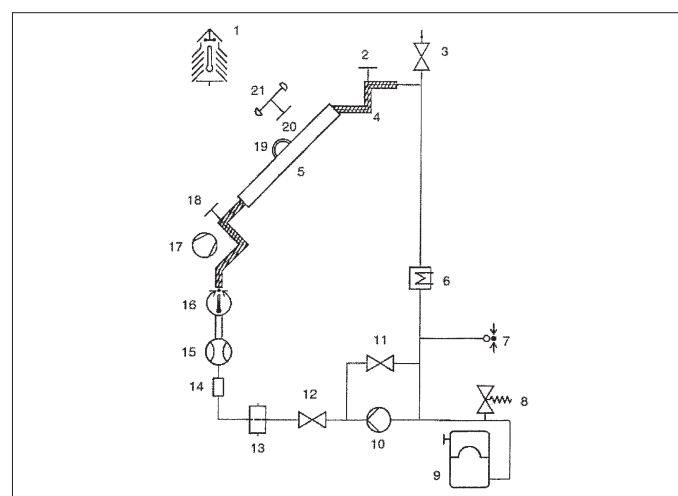
### STANDARDNÍ ZKOUŠENÍ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

Zkušební metody a výpočtové postupy pro určení ustáleného nebo kvazi-ustáleného tepelného výkonu solárních kapalinových tepelných kolektorů poskytuje norma ČSN EN 12975-2:2001. Jsou to metody pro provádění zkoušek ve venkovním prostředí při přirozeném slunečním záření a přirozeném či simulovaném větru a pro provádění zkoušek ve vnitřním prostředí při simulovaném záření a větru. Dále norma poskytuje zkušební metody a výpočtové postupy pro určení jak ustálených, tak celodenních výkonových parametrů pro solární kolektory za proměnlivých podmínek počasí.

Norma není použitelná na kolektory s vestavěným zásobníkem, či na koncentrační kolektory. Pro zkoušení kolektorů zhotovovaných na zakázku, např. vestavby do střechy, je nutné použít zkušební moduly stejné konstrukce.

### Venkovní zkouška účinnosti za ustáleného stavu

Norma stanovuje řadu požadavků na montáž a umístění kolektorů ve venkovním prostředí, z nichž zásadními jsou orientace kolektoru na jih, pokud není použito zařízení pro natáčení kolektoru za sluncem, a úhel sklonu 45° ± 5°. Kolektor nesmí být tepelně ovlivňován dalšími zdroji tepla a záření. Schéma zkušebního zařízení s uzavřeným okruhem je uvedeno na obr. 3. Základními částmi okruhu jsou solární kolektor (5), ohříváč/chladič pro primární regulaci teploty (6), oběhové čerpadlo (10), regulační ventil průtoku (12), sekundární regulátor teploty (16), příp. generátor větru (17). Norma stanovuje přesnost měření jednotlivých veličin: globální a difúzní ozáření – pyranometry (19, 20), teploty teplosnosné látky – čidla teploty (2, 18), průtok teplosnosné látky – průtokoměr (15), teplota venkovního vzduchu – čidlo teploty (1), rychlost vzduchu proudícího přes aperturu kolektoru – anemometr (21), velikost plochy kolektoru, absorpér a apertury, příp. požadavky na kalibraci měřících přístrojů.



Obr. 3 Zkušební okruh (uzavřený) pro testování solárních kolektorů

Zkouška probíhá za jasného dne (podíl difúzního ozáření musí být menší než 30 %) v období okolo slunečního poledne tak, aby modifikátor úhlu dopadu byl nižší než 2 %. Kolektor je zkoušen v rozsahu provozních teplot pro minimálně 4 různé vstupní teploty (jedna vstupní teplota vybrána tak, aby střední teplota

teplonosné látky byla v blízkosti teploty okolního vzduchu – stanovení optické účinnosti), přičemž pro každou vstupní teplotu musí být získány minimálně čtyři nezávislé body symetricky rozdělené před a pod polední (není požadováno při natáčení kolektoru za sluncem). Zkušební období by mělo být rozděleno na přípravné období (délka je rovna nejméně 4 násobku časové konstanty nebo nejméně 15 minut), kdy se koriguje vstupní teplota teplonosné látky, a období ustáleného měření (délka je rovna nejméně 4 násobku časové konstanty nebo nejméně 10 minut).

Zkušební podmínky, tj. rozmezí hodnot měřených veličin a jejich dovolená odchylka od střední hodnoty během měření, aby byla zajištěna podmínka ustáleného měření, jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Zkušební podmínky pro měřené veličiny

Parametr	Rozmezí hodnot	Dovolená odchylka
Globální solární ozáření	> 700 W/m <sup>2</sup>	± 50 W/m <sup>2</sup>
Teplota okolního vzduchu	nedefinováno	± 1 K
Hmotnostní průtok teplonosné látky	cca 0,02 kg/s.m <sup>2</sup>	± 1 %
Teplota teplonosné látky na vstupu do kolektoru	< 80 °C	± 0,1 K

Okamžitá účinnost musí být znázorněna graficky jako funkce redukováného teplotního rozdílu  $T_m^* = (T_m - T_a)/G$ , kde střední teplota teplonosné látky  $T_m = (T_{in} + T_e)/2$ . Grafické znázornění účinnosti musí být provedeno statistickým zpracováním křivky užitím např. metody nejmenších čtverců k získání závislosti účinnosti ve tvaru

$$\eta = \eta_0 - a_1 T_m^* - a_2 G (T_m^*)^2 \quad (10)$$

Hodnoty účinnosti je možné vztahovat k ploše apertury kolektoru nebo k ploše absorberu. Mezi takto stanovenými hodnotami norma nabízí přepočtové vztahy.

### Zkouška účinnosti za ustáleného stavu se simulátorem solárního ozáření

Při zkoušení solárních kolektorů ve vnitřním prostředí se využívá solárních simulátorů a generátorů větru. Nejběžnější typ solárního simulátoru využívá elektrický oblouk v uzavřeném parabolickém reflektoru jako světelný zdroj. Simulátory by měly být vybaveny stabilizací výkonu, jinak je nutné během každého zkušebního období integrovat výkon a napětí. Spektrální rozdělení simulovaného záření musí být přibližně stejné jako má solární spektrum při optické hmotě 1,5. Jelikož je v praxi obtížné dosáhnout rovnoměrného simulovaného ozáření, je nutné měřit střední hladinu ozáření přes aperturu kolektoru, přičemž v průběhu zkoušky se nesmí ozáření v různých místech apertury lišit o více než 15 % od střední hodnoty. V průběhu zkoušky musí být ozáření monitorováno a nesmí kolísat.

Zkušební okruh, požadavky na přesnost přístrojů a zkušební podmínky jsou stejné jako při zkoušce ve venkovním prostředí. Odlišnosti vycházejí pouze z dalších požadavků na provoz simulátoru (měření tepelného ozáření kolektoru). Podobně i analýza výsledků zkoušky je totožná s výše uvedenou pro venkovní prostředí.

### Zkouška časové konstanty kolektoru

Metodika zkoušky daná normou spočívá ve skokové změně solárního ozáření kolektoru a to přechodem ze zastíněného kolektoru na ozářený kolektor či opačně. Při zkoušce je solární kolektor zastíněn odrazivým krytem a zkušebním okruhem protéká teplonosná látka o konstantní teplotě blízké teplotě okolí

a stejném průtoku, který je použit po zkoušku tepelné účinnosti, dokud nejsou dosaženy podmínky ustáleného stavu. Po odstranění krytu je pokračováno v plynulém měření teplot  $T_a$ ,  $T_{in}$  a  $T_m$  dokud nejsou znovu dosaženy podmínky ustáleného stavu, tzn. teplota na výstupu z kolektoru kolísá méně než 0,05 K za minutu. Časová konstanta je určena z průběhu nárůstu, příp. poklesu, výstupní teploty (obr. 1).

### Zkouška modifikátoru úhlu dopadu

Norma poskytuje dvě metody pro zkoušky solárního kolektoru za účelem stanovení jeho modifikátoru úhlu dopadu.

První metoda je použitelná pro zkoušky v solárním simulátoru nebo ve venkovním prostředí s použitím pohyblivého zkušebního stojanu s možností orientace solárního kolektoru vůči slunci. Kolektor je natáčen podle požadovaného úhlu dopadu. Pro běžné ploché kolektory je postačující jediný úhel dopadu 50°.

Druhá metoda je použitelná pro venkovní zkoušky na nepohyblivém zkušebním stojanu. Hodnoty účinnosti se stanovují symetricky před a po solárním polední s ohledem na žádané úhly dopadu (především 50°). Průměrný úhel dopadu je pro oba datové body tentýž.

V obou metodách je střední teplota teplonosné látky regulována v nejužším možném rozsahu (alespoň ± 1 K) vzhledem k teplotě okolního vzduchu, neboť potom je tepelná účinnost kolektoru rovna optické účinnosti. Hodnoty účinnosti jsou stanovovány v souladu s výše popsanou metodou zkoušky tepelné účinnosti.

Modifikátor úhlu dopadu je určen ze vztahu

$$K_\theta = \frac{\eta}{F'(\tau\alpha)_n} \quad (11)$$

kde člen  $F'(\tau\alpha)_n$  je určen ze zkoušky tepelné účinnosti jako průsečík s osou y.

Použitím vztahu (9) je možné z hodnoty  $K_\theta(0^\circ) = 1$  a měřením stanovené hodnoty  $K_\theta(50^\circ)$  určit směrnici  $b_\theta$  a tudíž celou charakteristiku modifikátoru úhlu dopadu v závislosti na úhlu dopadu.

### Ostatní zkoušky solárních kolektorů uváděné normou

Z důležitých zkoušek uváděných normou pro provedení na zkušebním okruhu lze uvést stanovení tlakové ztráty kolektoru, zkoušení nezasklených solárních kolektorů za ustálených podmínek a zkoušení zasklených a nezasklených kolektorů při kvazi-dynamických podmínkách.

Norma dále předepisuje zkoušky spolehlivosti solárních kolektorů, jmenovitě zkouška na vnitřní přetlak, odolnosti vysokým teplotám, vystavení vlivům prostředí, na vnější a vnitřní tepelný ráz, průniku deště, odolnosti vůči mrazu, mechanického zatížení a odolnosti proti nárazu.

### STANDARDNÍ ZKOUŠENÍ SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ

Pro zkoušení průmyslově vyráběných tepelných solárních soustav byla zavedena evropská norma ČSN EN 12976 (Všeobecné požadavky a Zkušební metody). Z hlediska zkoušení výkonových vlastností soustav se norma zabývá zkouškou tepelného výkonu solárních soustav s dodatkovým zdrojem tepla a bez dodatkového zdroje tepla (předehřev).

Ve výkonové zkoušce se z výsledků zkoušky určují **výkonové ukazatele** solárních soustav s *dodatkovým zdrojem tepla* – potřeba čisté dodatkové energie, pomocná energie (elektrina) pro pohon čerpadel a regulace a solárních sou-

stav bez dodatkového zdroje tepla – teplo dodané solárním systémem, solární podíl a pomocná energie (elektrina) pro pohon čerpadel a regulace. Zkoušky využívají zkušebních metod stanovených v normách ISO 9459-2 (solární soustavy bez dodatkového zdroje tepla) a ISO/DIS 9459-5:1997 (solární soustavy s dodatkovým zdrojem tepla). Tyto normy u nás zatím nebyly zavedeny.

Další zkoušky předepsané normou jsou zkoušky odolnosti proti mrazu, ochrany proti přehřátí (poškození soustavy, opaření uživatele), tlakové odolnosti, znečištění vody, ochrany proti blesku, mechanické odolnosti nosného rámu, bezpečnostních zařízení, označování, schopnosti krýt nejvyšší denní zatížení dodatkovým zdrojem tepla (při nulové hladině ozáření), ochrany proti zpětnému průtoku a bezpečnosti elektrických zařízení.

## PROVOZNÍ MĚŘENÍ SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ

Provozní měření na solárních systémech jsou velmi významná. Oproti standardním zkušebním metodám za jasně definovaných „ideálních“ podmínek nám poskytují informaci o tom, jak se solární systém chová jako celek v reálných podmínkách v průběhu určitého časového období. Ve výsledném tepelném zisku stanoveném z experimentálních dat systému je zahrnuta vlastní interakce mezi zdrojem tepla (solární kolektor), přenosovou soustavou (výměník, potrubí), spotřebičem (akumulační zásobník) a dalšími faktory, např. provozní strategie či znečištění kolektorů. Je zřejmé, že vysoce kvalitní kolektor, který je zapojen ve špatně navrženém systému, např. příliš poddimenzovaný akumulací zásobník, s neefektivními prvky, např. špatná izolace potrubí, nebo je „pouze“ špatně udržovaný (zašpiněný), může vykazovat nízký tepelný zisk.

Jak již bylo uvedeno provozní podmínky se významně liší od laboratorních podmínek, za kterých výrobce stanovuje závislost účinnosti kolektoru. Nejedná se pouze o klimatické podmínky či teplotní poměry na kolektoru, ale také např. o teplotnost látky (nemrznoucí směs bude mít horší parametry z hlediska přenosu tepla než čistá voda) či velikost průtoku teplotnost látky systémem (systémy s vysokým a nízkým průtokem).

Měřicí okruh pro provozní měření je oproti laboratornímu zjednodušen, neboť je dán skutečnými prvky systému. Z klimatických dat je sledována venkovní teplota v okolí kolektorů a globální sluneční ozáření v rovině kolektoru. Čidlo slunečního ozáření (pyranometr) je nutně během měření udržovat v dostatečné čistotě. Pro stanovení tepelného zisku solárního systému (energie dodané za časové období) je vhodné využít měřič tepla – průtokoměr se dvěma čidly teploty přívodního a zpětného potrubí primárního okruhu ve strojovně v místě před připojením akumulací zásobníku.

Pro další analýzy je možné připojit doplňková teplotní čidla na vstup a výstup kolektorového pole (pro hodnocení tepelných ztrát, případně zisků v potrubí), teplotní čidla v různých výškách akumulací zásobníku (pro hodnocení úrovně stratifikace), měřiče tepla na straně teplé užitkové vody a dodatkového zdroje tepla, případně měření spotřeby elektrické energie pro pohon oběhových čerpadel.

Provozní měření se využívají k různým účelům, nejčastěji se stanovuje tepelný zisk, případně provozní účinnost solárního systému za určité období  $\Delta t$

$$\eta = \frac{\int Q_u \Delta t}{A_c \int G \Delta t} \quad (12)$$

Provozní měření se využívají pro detailní analýzy velkých solárních systémů (identifikace slabých míst návrhu, zkoumání chování kolektorů za reálných podmínek, apod.), pro vytváření či kalibraci počítačových modelů solárních systémů, nebo pro prosté stanovení přínosu solárního systému uživateli (jednoduché systémy). Požadavky na přístrojové vybavení a dobu trvání měření odpovídají požadovanému typu informace.

**Dlouhodobá provozní měření** velkých solárních systémů slouží k optimalizaci využití sluneční energie a dlouhodobému monitorování parametrů. Měřicí přístroje (uvedeny výše) jsou trvalou součástí solárního okruhu a slouží ke kontinuálnímu snímání měřených veličin. Vyhodnocují se tepelné zisky za určitá období, provozní účinnost, mezní stav systému apod.

Pro běžně instalované jednoduché solární systémy se používá minimálního přístrojového vybavení pro stanovení množství tepla dodaného solárním systémem (kalorimetr – průtokoměr, 2 čidla, vyhodnocovací jednotka). Měření se provádí buď na straně spotřeby, pokud je akumulací zásobník bez dodatkového zdroje tepla, nebo na primární straně, pak nejsou uvažovány tepelné ztráty zásobníku. Čidlo ozáření není nutné, pro dlouhodobé bilance lze využít informace o slunečním záření z měření prováděných v dané lokalitě Českým hydro-meteorologickým ústavem.

**Krátkodobá provozní měření** (řádově měsíce) se využívají většinou k vytvoření dynamického matematického modelu solárního systému s reálnými parametry. Pomocí takového modelu je pak možné odhadnout dlouhodobý výkon solárního systému bez nutnosti trvalého měření. Délka měření je dána kritériem, že klíčové proměnné (střední teplota teplotnost látky  $T_m$ , teplota okolí  $T_a$ , sluneční ozáření  $G$ , rychlost vzduchu v okolí kolektoru  $u$ , úhel dopadu slunečního záření  $\Theta$ ) se během měření musí měnit v celém svém rozsahu (doporučená rozmezí), aby byly při měření dostatečně postihnuty provozní stavy solárního systému.

Pro splnění kritérií proměnlivosti všech klíčových proměnných se měření ukončí a provede se porovnání s matematickým modelem. Před vlastním měřením je vhodné provést s matematickým modelem systému tzv. „slepou simulaci“ s použitím teoretických hodnot parametrů solárního systému. Tím je možné získat odhad rozsahu hodnot jednotlivých proměnných, a tyto rozsahy se použijí jako rozhodující kritéria pro ukončení krátkodobého měření. Kritéria jsou vždy závislá na daném systému a lokalitě.

Zobecnění kritérií vede ke snížení přesnosti parametrů nebo k prodloužení trvání měření. Uvedená metoda nevykazuje rozdíly při měření v různých částech roku, přesnost odhadu ročního tepelného zisku je  $\pm 5\%$  [4].

Při krátkodobých měřeních používaných ke kalibraci matematických modelů se kromě výše uvedených veličin měří i rychlost větru a sluneční difúzní ozáření.

Laboratorní a provozní měření poskytují různé typy informace o chování solárních kolektorů a systémů. Laboratorní měření umožňuje určit jmenovitý tepelný zisk kolektoru za jednoznačně definovaných provozních podmínek danými standardními metodami a tedy porovnat různé typy solárních kolektorů a systémů od různých výrobců z hlediska jejich efektivnosti. Provozním měřením lze stanovit reálný tepelný zisk solárního systému za skutečných, značně proměnlivých, podmínek v určitém časovém horizontu (měsíce, roky).

*Spojení na autora:*

tel: 224 355 637, fax: 224 355 606, e-mail: tomas-matuska@volny.cz

Symbolika je uvedena v 1. části – VVI 2/2003.

### Použitá zdroje:

- [1] DUFFIE, J., BECKMAN, W.: *Solar Engineering of Thermal Processes*. 2<sup>nd</sup> edition. John Wiley & Sons, Inc. 1991. ISBN 0-471-51056-4
- [2] ČSN EN 12975 – Tepelné solární soustavy a součásti – Solární kolektory. ČSN. 2001.
- [3] ČSN EN 12976 – Tepelné solární soustavy a součásti – Soustavy průmyslově vyráběné. ČSN. 2001
- [4] BOSANAC, M., NIELSEN, J. E.: *In situ check of collector array performance*. Solar Energy, Vol. 59, Nos. 4-6, pp. 135-142. Elsevier Science Ltd. 1997. ■