

# 30. Setkání kateder mechaniky tekutin a termomechaniky



22.-24.6. 2011

Špindlerův Mlýn

*Jednotlivý příspěvek ze sborníku*



**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Stupeň krytia potreby tepla na ohrev teplej vody pomocou solárnych kolektorov

Lucia ZÁLEŽÁKOVÁ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ing. Lucia Záležáková, Ústav tepelnej energetiky, Strojnícka fakulta, STU v Bratislave, Nám. slobody 17, 812 31 Bratislava, lucia.zalezakova@stuba.sk

**Abstrakt:** Pri projektovaní solárnych sústav je cieľom dosiahnuť úspory primárnej energie, čo znamená, že v uvažovanej sústave by mal byť stupeň krytia potreby tepla čo najvyšší. Popri tom aj z pohľadu hospodárnosti je rozhodujúce čo možno najvyššie krytie tejto potreby takou sústavou, ktorá poskytuje vysoký zisk tepla vyjadrený v kWh na m<sup>2</sup> a rok. Cieľom tohto príspevku je preto na konkrétnom príklade poukázať na vplyv veľkosti absorpčnej plochy kolektora na stupeň krytia potreby teplej vody.

## 1. Úvod

Mierou energetického účinku slnečného žiarenia, ako aj východiskovou veličinou pre výpočet a návrh slnečných energetických sústav je priemerná intenzita slnečného žiarenia dopadajúca na rôzne sklonené plochy orientované na juh. Koľko energie však možno získať zo slnečného žiarenia, závisí od mnohých faktorov. Sú to najmä zemepisná šírka, ročná doba a samozrejme miestna klíma [1], [3].

V našom zemepisnom pásme nie je potreba tepla úmerná slnečnej energii, z čoho vyplýva, že celoročné pokrytie potreby tepla na prípravu teplej vody len slnečnou energiou je nereálne.

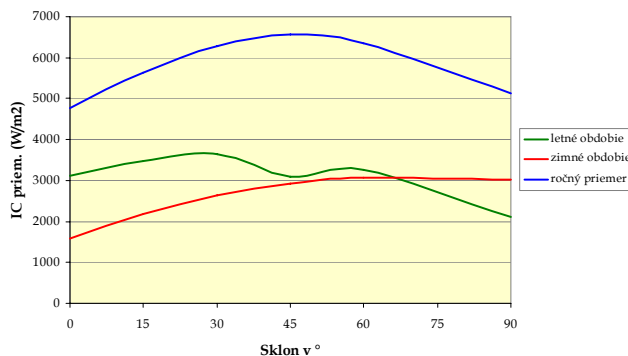
## 2. Priemerná intenzita slnečného žiarenia

Nie je možné predpovedať, koľko energie nám Slnko poskytne v danom dni vybraného mesiaca nasledujúceho roku, ale možno zhruba odhadnúť, koľko jej bude za celý mesiac alebo celý rok [2].

V nasledujúcej tabuľke 1 sú uvedené hodnoty priemernej intenzity slnečného žiarenia vztiahnuté pre mesto Bratislava, platné pre 50° severnej šírky, so súčiniteľom znečistenia atmosféry Z=3, s prehľadom pre možné uhly sklonu oslnenej plochy a názorným grafickým zobrazením pre letné a zimné obdobie [1].

sklon	IC <sub>priem</sub> (W/m <sup>2</sup> ) za mesiac apríl až september	IC <sub>priem</sub> (W/m <sup>2</sup> ) za mesiac október až marec	IC <sub>priem</sub> (W/m <sup>2</sup> ) za rok
0°	3124	1585	4763
15°	3471	2172	5643
30°	3646	2629	6275
45°	3096	2917	6557
60°	3267	3080	6347
90°	2113	3019	5132

Tabuľka 1: Priemerná intenzita slnečného žiarenia IC<sub>priem</sub> pre rôzne sklonené plochy orientované na juh pre Bratislavu v letnom a zimnom období.



Obrázok 1: Grafické znázornenie priebehu intenzity slnečného žiarenia pre rôzne sklonené plochy orientované na juh pre Bratislavu v letnom a zimnom období.

### 3. Energetická účinnosť a množstvo energie zachytenej kolektorom

Pomer hustoty tepelného toku  $q_k$  ( $W/m^2$ ) na povrchu kolektora a hustoty sálavého toku z dopadajúceho slnečného žiarenia  $q_s$  ( $W/m^2$ ) vyjadruje energetickú účinnosť kolektora. Účinnosť kolektora má premennú hodnotu vzhľadom na premenlivosť dopadajúceho tepelného toku a teploty okolia  $t_e$  a je vyjadrená vzťahom [1], [3]:

$$\eta_k = \frac{q_k}{q_s} = \frac{\dot{Q}_k}{\dot{Q}_s} = (1-r) - \frac{(k_1 + k_2)(t_k - t_e)}{q_s}$$

resp.

$$\eta_k = 0,90 - 6 \frac{(t_k - t_e)}{q_s} \quad (1)$$

Uvedený vzťah je upravený pre plochý kolektor, kde je za pomernú reflexnú schopnosť skiel prednej transparentnej vrstvy dosadená hodnota  $r=0,10$  pre čisté jedno sklo a za stáli súčiniteľ prechodu tepla hodnota  $k=6,0$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) [1].

Aby bolo stanovenie množstva energie zachytenej kolektorom  $Q_k$  ( $kWh/m^2$ ) čo najpresnejšie, počíta sa hodnota za určitú dobu, v tomto prípade za celý mesiac podľa vzťahu [1]:

$$Q_{k,mes} = \eta_k n_{mes} [\bar{\tau} Q_{s,den,teor} + (1-\bar{\tau}) Q_{D,den}] \quad (2)$$

Hodnoty, ako teoretické množ. energie dopad. za deň  $Q_{s,den,teor}$  ( $kWh/m^2$ ), pre uhol azimutu oslnenej plochy  $a_s = \pm 0^\circ$  (orientácia na juh), energia difúzneho žiarenia  $Q_{D,den}$  ( $kWh/m^2$ ) a pomerný čas slnečného svitu  $\bar{\tau}$  (-) sú určené pre našu zemepisnú šírku a klimatickú oblasť podľa literatúry [1].

V tabuľke 2 sú uvedené hodnoty jednotlivých veličín potrebných k výpočtu množstva tepla získaného kolektorom a stupňa krytia potreby tepla na ohrev TV, vzťahnuté pre mesto

Bratislava, platné pre  $50^\circ$  severnej šírky, súčiniteľ znečistenia atmosféry  $Z=3$  [1] a zvolený uhol oslnenej plochy  $45^\circ$  orientovanej na juh. Uvádzam taktiež rozdiel teplôt medzi okolitým vzduchom  $t_e$  a strednou teplotou absorpčnej plochy kolektora  $t_k$  a výsledné hodnoty účinnosti. Hodnoty teplôt absorpčnej plochy kolektora sú určené na základe experimentálnych meraní nemenovanej firmy, ktorá tieto meria na solárnej sústave pre vlastné účely.

Mesiac	$IC_{priem}$ ( $W/m^2$ )	$(t_k - t_e)$ ( $^\circ C$ )	$\eta_k$ (-)	$Q_{k,mes}$ ( $kWh/m^2$ )
I.	415	2,9	86	32,186
II.	579	6,4	83	50,993
III.	596	16,5	73	82,034
IV.	559	26,6	61	85,537
V.	627	36,5	55	100,576
VI.	626	38,4	53	100,253
VII.	647	46,5	47	97,267
VIII.	603	46,4	44	77,917
IX.	577	39,5	49	67,222
X.	541	33,3	53	44,367
XI.	416	21,5	59	21,414
XII.	370	15,8	64	17,163

Tabuľka 2: Energetická účinnosť plochého kolektora  $\eta_k$  skloneného pod uhlom  $45^\circ$  orientovaného na juh.

Pri stálej reflexnej schopnosti  $r$  a stálom súčiniteľi prechodu tepla  $k$  je účinnosť kolektora tým väčšia, čím väčší je dopadajúci tepelný tok  $q_s = IC_{priem}$  a čím menší je rozdiel teplôt medzi strednou teplotou absorpčnej plochy kolektora  $t_k$  a priemernou teplotou vzduchu v čase slnečného svitu  $t_e$  ( $\Delta t = t_k - t_e$ ) [1], [3].

### 4. Množstvo tepla získaného kolektorom a stupeň krytia potreby tepla na ohrev teplej vody

Množstvo tepla vyrobené kolektorom  $Q_{kol}$  ( $kWh$ ) závisí od plochy kolektora  $S_k$  ( $m^2$ ), jeho

účinnosti a množstva slnečnej energie ním zachytenej, vyjadrené vzťahom [1]:

$$Q_{kol} = Q_{k,mes} \eta_k S_k \quad (3)$$

Absorpčná plocha kolektora, ktorá pohlcuje časť dopadajúcej energie, sa ohrieva na určitú teplotu, pričom pohltenu energiu odvádza vo forme tepla pracovnej látky a súčasne sa aj ochladzuje okolitým vzduchom. Množstvo energie zachytenej slnečným kolektorom na plochu 1 m<sup>2</sup> za každý mesiac, rozhoduje o budúcej veľkosti kolektorovej plochy, ktorá má pokryť požadovanú potrebu tepla objektu [4].

Výpočet mesačného stupňa krytia potreby tepla na ohrev teplej vody je daný vzťahom:

$$ST_{kryt} = \frac{Q_{kol}}{Q_{tv,mes}} 100 \quad (4)$$

kde  $Q_{tv,mes}$  je potreba tepla na ohrev teplej vody (TV).

Pre reálnu predstavu zostrojenia priebehu kriviek výkonu solárnej sústavy a potreby tepla na prípravu TV som pre príklad zvolila rodinný dom so 4 osobami, potrebu teplej vody na deň a osobu 50 litrov pri 60 °C, vysoký hygienický komfort, kúpanie a sprchovanie. Pre jednoduchosť vychádzam z toho, že spotreba TV je počas celého roka konštantná. Energii dodanú teplej vode som vypočítala podľa STN EN 15316-3-1 – Vykurovacie systémy v budovách, výpočet podľa požadovaného množstva vody.

Hodnota pre zostrojenie krivky pre potrebu tepla na ohrev TV pre uvažovaný výpočet je:

$$Q_{tv,mes} = 355 \text{ kWh / mes.}$$

## 5. Priebehy množstva získaného tepla a stupňa krytia potreby tepla na ohrev TV vzhľadom na dispozičné plochy kolektorov

Na získanie potrebných údajov v rámci výpočtov množstva tepla dodávaného kolektormi a stupňa krytia potreby tepla na ohrev TV, ako aj na grafické zobrazenia tejto závislosti pri rôznom počte kolektorov som si

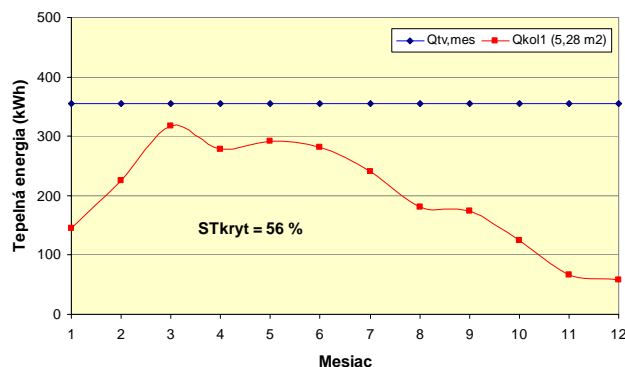
vybrala z ponuky vyrábaných kolektorov plochý kolektor s absorpčnou plochou 1,76 m<sup>2</sup>.

V nasledujúcej tabuľke 2 sú uvedené hodnoty množstva tepla vyrobeného 3 a 4 kusmi kolektorov s absorpčnou plochou  $S_{k1} = 5,28 \text{ m}^2$  a  $S_{k2} = 7,04 \text{ m}^2$ . Pre jednotlivé mesiace je znázornený aj stupeň krytia potrieb ohrevu TV s výslednou priemernou hodnotou krytia potreby za celý rok s následným grafickým zobrazením priebehu závislosti výkonu solárneho zariadenia a potreby TV.

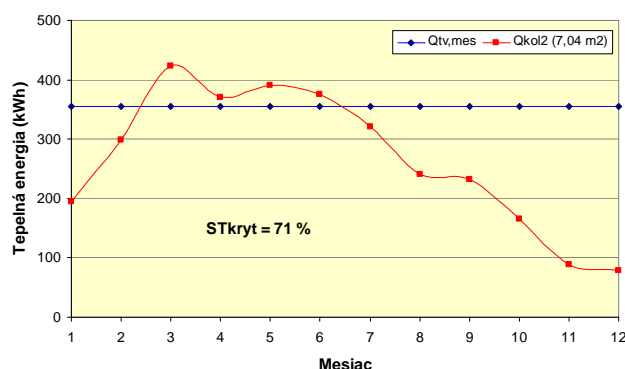
V uvedenej tabuľke 2 je vidieť, že hodnoty množstva tepla získaného 4 kusmi kolektorov  $Q_{kol,2}$  o absorpčnej ploche 7,04 m<sup>2</sup> v štyroch mesiacoch prevyšujú potrebu tepla na ohrev teplej vody, kedy nebude zapotreby žiadna podpora primárnymi zdrojmi. Ak túto energiu zosumarizujem za celý rok, tak v mesiacoch, keď nám kolektory vykazujú prebytok, počítame len s hodnotou potreby TV.

Mesiac	$Q_{kol1}$ [kWh]	$ST_{kryt1}$ [%]	$Q_{kol2}$ [kWh]	$ST_{kryt2}$ [%]	$ST_{kryt2}$ [%]
I.	145,8	41,1	194,4	54,8	54,8
II.	224,5	63,2	299,3	84,3	84,3
III.	317,9	89,5	<b>423,8</b>	<b>119,4</b>	100
IV.	277,5	78,2	<b>370,0</b>	<b>104,2</b>	100
V.	292,4	82,4	<b>389,9</b>	<b>109,8</b>	100
VI.	281,6	79,3	<b>375,4</b>	<b>105,8</b>	100
VII.	240,8	67,8	321,0	90,4	90,4
VIII.	180,3	50,8	240,4	67,7	67,7
IX.	173,7	48,9	231,5	65,2	65,2
X.	124,3	35,0	165,8	46,7	46,7
XI.	66,7	18,8	88,9	25,1	25,1
XII.	58,3	16,4	77,8	21,9	21,9
		<b>55,9</b>			<b>71,3</b>

Tabuľka 3: Teplo vyrobené 3 a 4 ks kolektorov a stupeň krytia potreby tepla na ohrev TV.



Obrázok 2: Pribeh množstva tepla získaného kolektormi s plochou 5,28 m<sup>2</sup> a potreby tepla na ohrev TV.



Obrázok 3: Pribeh množstva tepla získaného kolektormi s plochou 7,04 m<sup>2</sup> a potreby tepla na ohrev TV.

Z obrázku 2 je zrejmé, že množstvo tepla získané kolektormi s plochou 5,28 m<sup>2</sup> predstavuje takmer 56 % pokrytia potreby na ohrev TV. Pri tomto kolektorovom poli nie je 100 % krytie potrieb tepla ani v jednom mesiaci roka a sústava by slúžila len ako podpora ohrevu TV pri vykurovaní primárnymi zdrojmi. V druhom kroku som zvýšila kolektorovú plochu o 33 %, kde na obrázku 3 je vidieť, že v 4 mesiacoch nebude nutná podpora primárnym zdrojom. Takto získané teplo na pokrytie potrieb TV za rok je  $Q_{kol,2} = 3039,2 \text{ kWh}$  a stupeň krytia je 71 %.

Z obrázku 3 je vidieť, že takáto solárna sústava vykazuje len malé prebytky tepla, čo nie je technický problém, pretože sa to rieši dostatočným nadimenzovaním expanzných nádob sústavy.

Týmto spôsobom by sme vedeli ďalej postupovať so zväčšovaním kolektorovej plochy, čo by v podstate viedlo aj k zvýšeniu

percentuálneho krytia potreby tepla na ohrev TV, ale aj k zvyšovaniu prebytkov tepla.

## 6. Záver

Riešením zvolených príkladov som zistila, že so zväčšovaním kolektorovej plochy sa miera krytia nezvyšuje len lineárne. Pri malej ploche kolektorov miera krytia potreby TV síce rastie takmer lineárne (priamoúmerne), ale so zväčšovaním plochy stupeň krytia v závislosti od zväčšovania plochy kolektorov stúpa viacmenej exponenciálne. Je to spôsobené tým, že pri zväčšujúcej sa ploche kolektorov sa časť slnečnej energie v letných mesiacoch nevyužije, pretože prevyšuje potrebu, v tomto prípade potrebu ohrevu TV.

Vyhodnotenie príkladu s požiadavkou potreby tepla na prípravu TV poskytuje možnosť využiť dané poznatky na účely dimenzovania absorpčných plôch kolektorov v rámci projektovania solárnych sústav.

## 7. Literatúra

- [1] CÍHELKA J.: SOLÁRNÍ TEPELNÁ TECHNIKA, PRAHA, NAKLADATELSTVÍ T. MALINA, 1994, ISBN 80 – 900759-5-9
- [2] MURTINGER K., TRUXA J.: SOLÁRNÍ ENERGIE PRO VÁŠ DŮM, BRNO, ERA GROUP, 2006, ISBN 80-7366-076-8
- [3] PETRÁŠ D. A KOL.: NÍZKOTEPLTNÉ VYKUROVANIE A OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE, BRATISLAVA, JAGA, 2001, ISBN 80-88905-12-5
- [4] REMMERS K.-H.: VELKÁ SOLÁRNÍ ZAŘÍZENÍ, BRNO, ERA GROUP, 2007