

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

## VLIV ORIENTACE NA VÝKONNOST SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ

EFFECT OF ORIENTATION ON SOLAR SYSTEMS PERFORMANCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

TOMÁŠ DANĚK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. MICHAL JAROŠ, Dr.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2010/11

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Tomáš Daněk

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Vliv orientace na výkonnost solárních systémů**

v anglickém jazyce:

### **Effect of orientation on solar systems performance**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Solární fototermické kolektory se staly jedním z nejvíce využívaných alternativních zdrojů energie, s možností využití získaného tepla pro vytápění, přípravu teplé vody, případně ohřev bazénu. Využitelný energetický zisk však závisí – mimo velikosti a typu kolektorů – také na lokalitě, v níž jsou provozovány, případně i na jejich prostorové orientaci. Tyto faktory by měli potenciální investoři vzít při návrhu solárního systému v úvahu.

Cíle bakalářské práce:

Zhodnoťte vliv prostorové orientace solárních kolektorů (azimut, sklon) na jejich výkonnost v různých obdobích roku, a to pro vybrané lokality v ČR a různé typy kolektorů. Získané poznatky kriticky zhodnoťte s ohledem na předpokládané využití získaného tepla.

Seznam odborné literatury:

- Cihelka, J.: Solární tepelná technika, Nakl. T. Malina, Praha, 1994.  
Murtinger, K., Truxa, J.: Solární energie pro váš dům. ERA group spol. s r.o., Brno, 2005.  
Themessl, A., Weiss, W.: Solární systémy. Grada Publ., Praha, 2005.  
Ladener, H., Spate, F.: Solární zařízení. Grada Publ., Praha, 2003.  
Schulz, H.: Teplo ze slunce a země. Nakl. HEL, Ostrava, 2002.  
Internetové a časopisecké zdroje dle vlastního výběru studenta.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 16.11.2010

L.S.



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan

## Abstrakt

Práce objasňuje vliv orientace a sklonu na výkonnost solárního kolektoru. V první části je uvedeno, jak vzniká sluneční energie a kolik se jí dostane na Zemi a v jaké formě ji jsme schopni zachytit. V druhé části se práce zaměřuje na základní parametry solárního kolektoru a způsob výpočtu výkonu a účinnosti. V další části jsou uvedeny nejpoužívanější typy solárních kolektorů a oblasti jejich použití. V závěru jsou uvedeny výsledky výpočtu a zhodnocení vlivu orientace a sklonu na výkonnost konkrétního typu solárního kolektoru.

## Klíčová slova

Solární kolektory, vakuové trubicové kolektory, ploché kolektory, koncentrující kolektory, bakalářská práce, VUT v Brně

## Summary

The work explains the influence of orientation and inclination on the performance of solar collector. The first part shows how the formation of the solar energy and how it gets on Earth and in what form we are able to capture it. In the second part of the work focuses on the basic parameters of the solar collector and method of calculating the performance and efficiency. The next section describes the most common types of solar collectors and their field of application. In conclusion the results of the calculation and evaluation of the influence and orientation angle on the performance of a particular type of solar collector.

## Keywords

Solar collector, vacuum tube collectors, flat plate collectors, concentrating collectors, bachelor's thesis, VUT Brno



## Bibliografická citace

DANĚK, T. *Vliv orientace na výkonnost solárních systémů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 36 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. MICHAL JAROŠ, Dr..



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vliv orientace na výkonnost solárních systémů vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce. Vycházel jsem při tom ze svých znalostí, odborných konzultací a literárních zdrojů uvedených v mé práci.

V Brně, dne .....

Podpis .....



## Poděkování

Děkuji panu doc. Ing. MICHALU JAROŠOVI, Dr. za odborné vedení, cenné rady a věnovaný čas při tvorbě bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, která mi vytvořila zázemí po celou dobu mého studia.

Děkuji.

## OBSAH

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ÚVOD .....</b>                                                          | <b>8</b>  |
| <b>1 ENERGIE ZE SLUNCE.....</b>                                            | <b>9</b>  |
| 1.1 Měření slunečního záření .....                                         | 10        |
| 1.2 Energie dopadající na osluněnou plochu .....                           | 11        |
| 1.2.1 Teoreticky možné množství energie .....                              | 11        |
| 1.2.2 Skutečné množství energie .....                                      | 12        |
| <b>2 PARAMETRY SOLÁRNÍHO KOLEKTORU.....</b>                                | <b>13</b> |
| 2.1 Vztažná plocha .....                                                   | 13        |
| 2.2 Výkon a účinnost.....                                                  | 13        |
| <b>3 TYPY SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ .....</b>                                    | <b>16</b> |
| 3.1 Plochý solární kolektor .....                                          | 16        |
| 3.1.1 Plochý nekrytý kolektor .....                                        | 17        |
| 3.1.2 Plochý neselektivní kolektor .....                                   | 17        |
| 3.1.3 Plochý selektivní kolektor .....                                     | 17        |
| 3.1.4 Plochý vakuový kolektor .....                                        | 17        |
| 3.2 Vakuové trubkové kolektory .....                                       | 18        |
| 3.2.1 Trubkový jednostěnný vakuový kolektor .....                          | 18        |
| 3.2.2 Trubkový dvoustěnný (Sydney) vakuový kolektor .....                  | 19        |
| 3.3 Koncentrační kolektor .....                                            | 21        |
| <b>4 VÝPOČET A ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....</b>                                | <b>22</b> |
| 4.1 Vliv sklonu na výkonnost kolektoru.....                                | 22        |
| 4.2 Porovnání vlivu orientace kolektoru vzhledem ke světovým stranám ..... | 26        |
| <b>ZÁVĚR .....</b>                                                         | <b>30</b> |
| Seznam použitých zdrojů .....                                              | 31        |
| Seznam obrázků .....                                                       | 32        |
| Seznam tabulek .....                                                       | 32        |
| Seznam použitých symbolů a značek .....                                    | 33        |
| Příloha 1 .....                                                            | 34        |
| Příloha 2 .....                                                            | 35        |
| Příloha 3 .....                                                            | 36        |



---

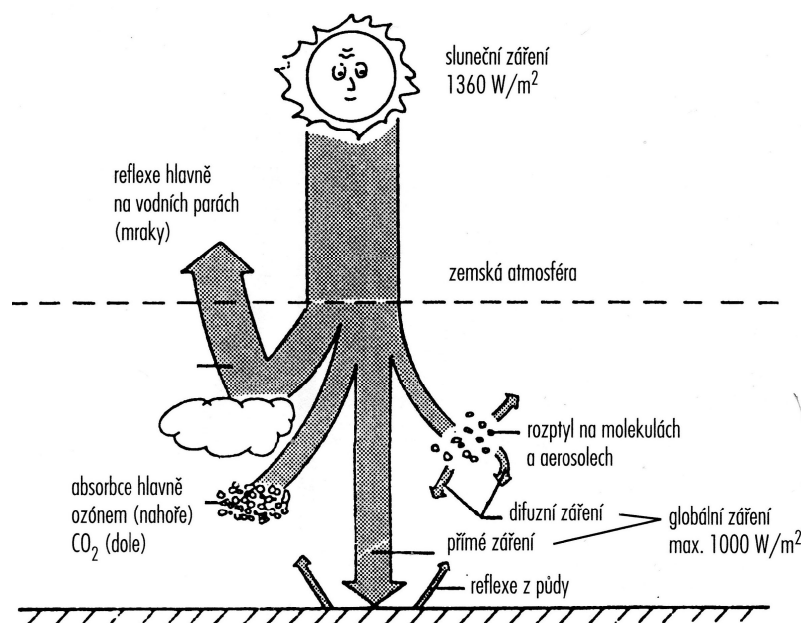
## ÚVOD

V současné době se neustále zvětšují požadavky na energii. Nejvíce používané zdroje energie jakou uhlí, ropa, zemní plyn však nejsou nevyčerpatelné a je třeba hledat alternativní zdroje energie. Dobrou cestou, avšak nedostačující, jsou obnovitelné zdroje energie jako vodní, větrné, geotermální a solární.

V této práci se budu věnovat získávání solární energie kolektory, které mění dopadající záření na teplo. Velikost zisku energie je závislá na mnoha faktorech. Mezi tyto faktory se řadí především typ konstrukce kolektoru a kvalita jeho provedení, orientace kolektoru ke slunci a aktuální povětrnostní podmínky. Vliv orientace a sklonu kolektoru bude zhodnocena na konci práce a bude doložen výpočtem.

# 1 ENERGIE ZE SLUNCE

Slunce je z fyzikálního hlediska fúzním reaktorem. Na základě enormně velké hmotnosti a s ní spojené hmotné přitažlivosti se v podstatě atomy vodíku mění na helium. Přitom se uvolňuje velké množství energie, která je ve formě elektromagnetického záření vysílána do kosmu. Malé množství této energie dopadne na Zemi. Přibližně ve výšce satelitů dosahuje proud energie cca  $1360 \text{ W/m}^2$ , což je tzv. solární konstanta. Při průchodu záření atmosférou probíhá řada komplexních dějů. Části záření jsou absorbovány, rozptylovány, reflektovány a emitovány (obr. 1).

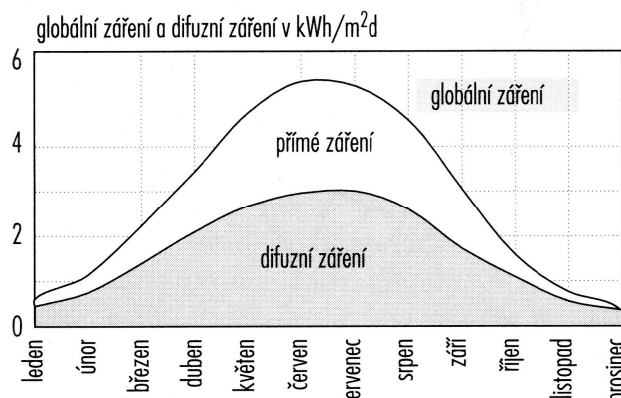


Obr. 1: Ztráty solárního záření při průchodu atmosférou [1]

Při jasné, bezmračné obloze dopadá největší část záření na Zemi, aniž by měnilo směr. Toto **přímé záření** lze koncentrovat např. zrcadly nebo čočkami. Rozptylem přímého záření v mracích a na částech v atmosféře dochází k **difúznímu záření**, které na Zemi přichází ze všech směrů. Difúzní záření nelze koncentrovat. Souhrn přímého a difúzního záření se označuje jako **globální záření**. Zatím co difúzní záření tvoří v létě asi 50 % záření globálního (v měsíčním průměru), je jeho podíl v zimě díky oblačnému počasí podstatně vyšší (tab. 1 a obr. 2). V celoročním průměru obnáší asi 60 %. Proto se musí použít technologie, které dobře využívají i difúzního záření.

Tab. 1: Výkony zářivé energie a podíl difúzního záření při různých povětrnostních podmínkách [1]

|                     | Záření ( $\text{W/m}^2$ ) | Difúzní podíl (%) |
|---------------------|---------------------------|-------------------|
| Modré nebe          | 800-1000                  | 10                |
| Zamlžené nebe       | 600-900                   | až 50             |
| Mlhavý podzimní den | 100-300                   | 100               |
| Zamračený zimní den | 50                        | 100               |
| Celoroční průměr    | 600                       | 50 až 60          |



Obr. 2: Podíl difúzního záření na globální na našem území podle ročního období 50-70% [1]

Čím více vodní páry obsahuje atmosféra a čím vyšší je tedy podíl difúzního záření, tím více energie globálního záření ubývá. Intenzita záření v poledne je:

- Za zamračených dnů  $40\text{--}20\text{ W/m}^2$
- Za jasných dnů  $600\text{--}1000\text{ W/m}^2$

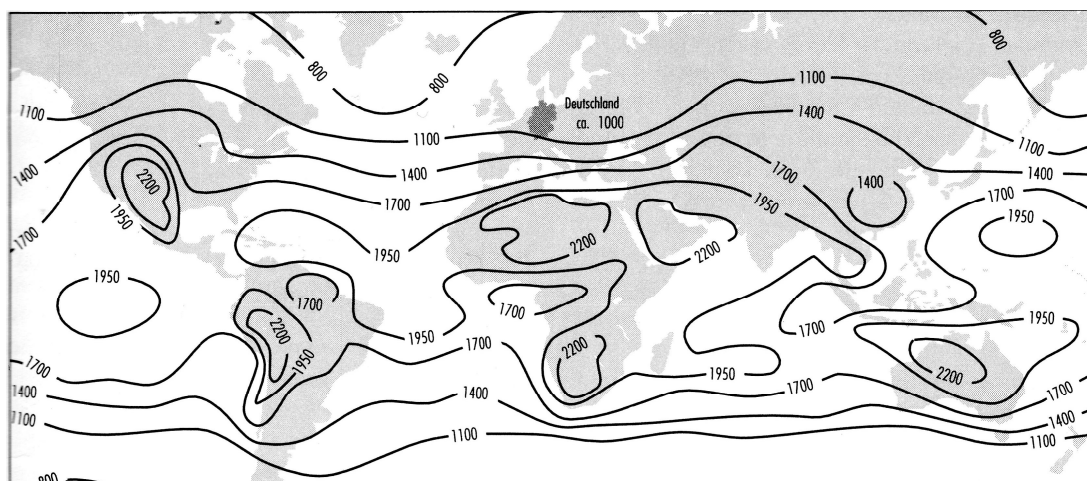
Odpovídajícím způsobem kolísá v průběhu dne i energie záření. Vlivem otáčení Země a jejího oběhu kolem Slunce během roku kolísá i záření na povrchu Země vlivem střídání dne a noci i střídání ročního období. V zimě přijímá severní polokoule méně energie než v létě, protože dny jsou kratší a Slunce je níže na nebi. Pokles solárního záření za spolupůsobení globálního větrného systému u nás vede k převážně pošmornému a chladnému zimnímu počasí s nízkými hodnotami solárního záření.

## 1.1 Měření slunečního záření

Pro navrhování solárních soustav je potřebné vyjadřovat nabídku záření ze Slunce v číslech. Na meteorologických stanicích celého světa jsou měřeny především dvě zajímavé hodnoty solárního záření:

- Délka slunečního svitu, měřená v hodinách za měsíc, nebo rok apod.
- Zářivá energie na vodorovnou plochu, nebo přesněji řečeno denní, nebo měsíční sumy globálního záření na vodorovnou plochu, měřené ve  $\text{Wh/m}^2$  resp.  $\text{kWh/m}^2$ .

Aby mohly být brány v úvahu při pozdějších propočtech „rozmary“ počasí, sdělují meteorologové z měřených dat průměry za více let, které popisují průměrnou nabídku záření v daném místě. Aby se omezilo množství datových sad, je území rozdělené do řady klimaticky srovnatelných zón. Střední hodnoty desetiletých měření osvědčených stanic udávají výše zmíněné TRY (Test Reference Year = Referenční rok). Tato data lze získat až v rozlišení po hodinách. Obrázek 1.3 představuje globální záření na horizontální plochu. Dobré předpoklady pro využití sluneční energie jsou dány především v létě, tedy přednostně pro chlazení, ohřev vody v bazénech, přípravu teplé vody atd. [1]



Obr. 3: Střední roční globální záření na vodorovné plochy v kWh/m² rok [1]

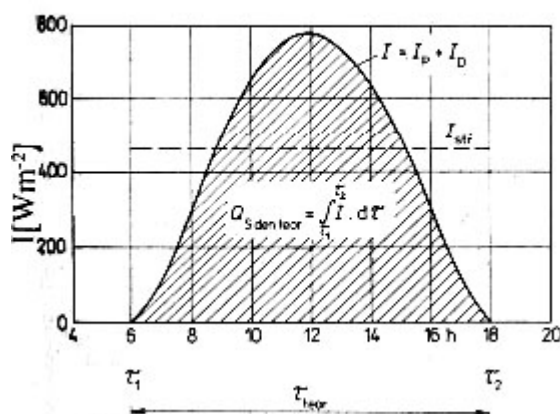
## 1.2 Energie dopadající na osluněnou plochu

### 1.2.1 Teoreticky možné množství energie

Plocha pod křivkou  $I = f(\tau)$  udávající denní průběh intenzity celkového záření (obr. 4) je úměrná energii dopadající na osluněnou plochu za den  $Q_{s \text{ den teor}} [\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}]$  za předpokladu, že od východu po západ slunce je jasná obloha. Dopadající energie se pak určí podle vztahu

$$Q_{s \text{ den teor}} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I d\tau \quad (1)$$

Krajní hodnoty  $\tau_1$  a  $\tau_2$  označují dobu východu a západu slunce. Krajními hodnotami  $\tau_1$  a  $\tau_2$  je určena tzv. teoretická doba slunečního svitu  $\tau_{\text{teor}}$ .



Obr. 4: Průběh intenzity slunečního záření během dne [2]

S pomocí  $\tau_{\text{teor}}$  lze odvodit střední hodnotu intenzity slunečního záření během dne

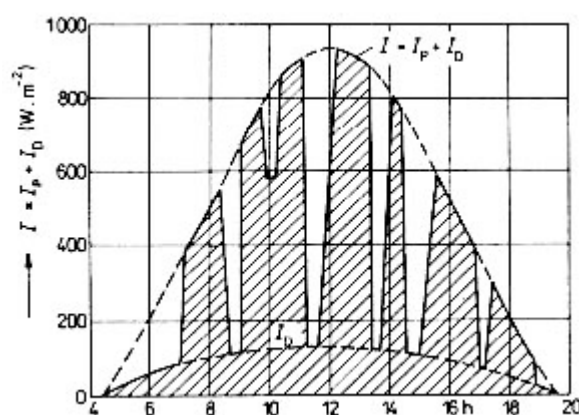
$$I_{\text{stř}} = \frac{1}{\tau_{\text{teor}}} \int_{\tau_1}^{\tau_2} I d\tau = \frac{Q_{s \text{ den teor}}}{\tau_{\text{teor}}} \quad (2)$$

Pro využití energie slunečního záření je samozřejmě nejvýhodnější orientace osluněné plochy na jih, kdy dosahuje  $Q_{s \text{ den teor}}$  maxima. Při praktickém řešení někdy není možné

orientovat osluněnou plochu přesně na jih, a proto je nutné se smířit s určitou odchylkou od tohoto směru. V žádném případě by však tato odchylka neměla být větší než  $\alpha_s=45^\circ$  od jihu.

### 1.2.2 Skutečné množství energie

Teoreticky možné množství energie  $Q_{s \text{ den teor}}$  dopadá na osluněnou plochu jen ve slunečných dnech, kdy slunce svítí nepřetržitě po celou teoreticky možnou dobu slunečního svitu. Takový případ je však v našich klimatických podmínkách poměrně vzácný. Nejčastěji se během dne střídá jasná obloha s oblohou zataženou. Při jasné obloze působí na osluněnou plochu intenzita přímého i difúzního záření, ale při zatažené obloze působí pouze intenzita difúzního záření. Příklad skutečného průběhu intenzity slunečního záření během dne je na obr. 5.



Obr. 5: Skutečná intenzita slunečního záření [2]

Počítá-li se s dlouhodobými průměry klimatických údajů, není obvykle známo časové střídání fáze jasno a zataženo, ale pouze skutečná doba slunečního svitu  $\tau_{\text{skut}}$  za delší časové období (měsíc).

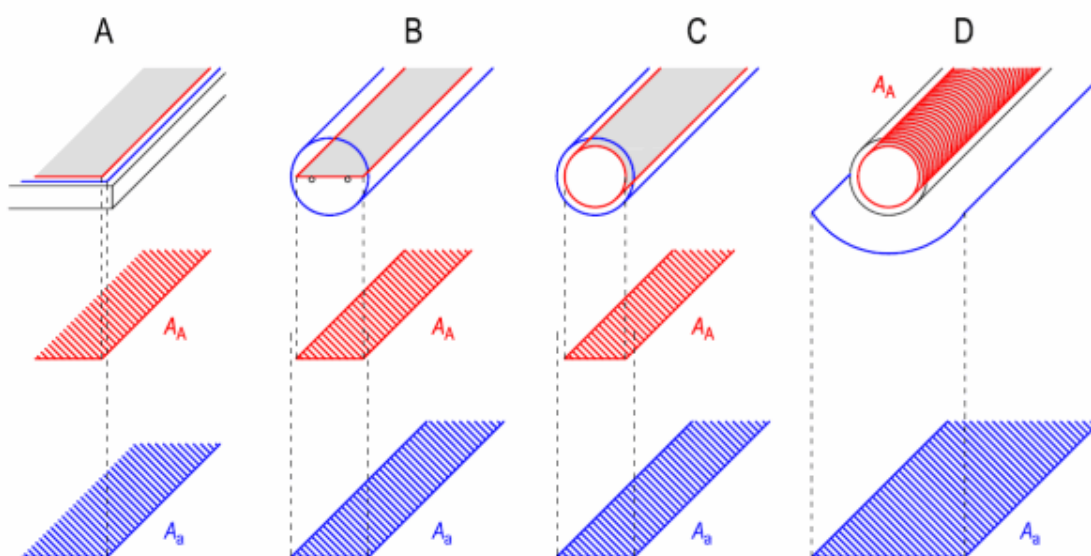
V našich klimatických podmínkách je celková doba slunečního svitu 1700 až 2200 h/rok, směrem k východu se doba slunečního svitu prodlužuje. Tato doba je však na jednotlivé měsíce rozdělena nerovnoměrně. V zimních měsících je skutečná doba slunečního svitu velmi krátká. To souvisí nejen se zkrácenou teoreticky možnou dobou slunečního svitu, ale také s oblačností, která je v zimě velká. V letních měsících se prodlužuje teoreticky možná doba slunečního svitu a současně se zmenšuje oblačnost. Skutečná doba slunečního svitu je proto poměrně dlouhá. [2]

## 2 PARAMETRY SOLÁRNÍHO KOLEKTORU

### 2.1 Vztažná plocha

U solárních kolektorů se rozlišují tři plochy, ke kterým se vztahují parametry, především účinnost kolektoru:

- Plocha absorberu  $A_A$ - plocha, na které dochází k přeměně slunečního záření v teplo
- Plocha apertury  $A_a$ - plocha průmětu otvoru, kterým vstupuje do kolektoru nesoustředěné sluneční záření, zpravidla plocha průmětu zasklení nebo reflektoru
- Celková obrysová (hrubá) plocha  $A_G$ - plocha průmětu celkového obrysu solárního kolektoru



Obr. 6: Definice plochy apertury a absorberu: A) plochý B) trubkový s plochým absorbérem C) trubkový s válcovým absorbérem D) trubkový s válcovým absorbérem a reflektorem [4]

Evropské normy a certifikační systémy používají jako vztažnou plochu solárních kolektorů zásadně plochu apertury. Vztažení křivky účinnosti k ploše apertury je vhodné z hlediska porovnání vlastností dvou kolektorů, konstrukce a kvality provedení, ale je nevhodné z hlediska rozhodování o potenciálu kolektoru pro danou aplikaci či pro porovnání kolektorů s různými účinnými plochami. [3]

### 2.2 Výkon a účinnost

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

$$\dot{Q}_k = \dot{M} \cdot c \cdot (t_{k2} - t_{k1}) \quad (3)$$

Kde

$\dot{M}$  - 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 v °C

$t_{k2}$  – teplota na výstupu ze solárního kolektoru v °C

Účinnost solárního kolektoru je za normálních podmínek definována jako poměr tepelného výkonu odváděného teplotonosnou kapalinou z kolektoru  $\dot{Q}_k$  a slunečního záření dopadajícího na kolektor.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_k}{G \cdot A_k} \quad (4)$$

Kde

$G$  – sluneční ozáření v  $\text{W/m}^2$  (totéž co intenzita slunečního záření  $I$ )

$A_k$  – vztažná plocha kolektoru v  $\text{m}^2$

Účinnost solárního kolektoru je závislá na venkovních klimatických podmínkách (sluneční ozáření  $G$ , venkovní teplota  $t_e$ ) a provozních podmínkách (střední teplota teplotonosné kapaliny<sup>1</sup>  $t_m$ ). Vyhodnocuje se experimentálně zkouškou v souladu s ČSN EN 12975 jako křivka 2. řádu ve tvaru

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_e}{G} - a_2 \frac{(t_m - t_e)^2}{G} \quad (5)$$

Kde

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

$a_1$  – lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru (analogie součinitele prostupu tepla) ve  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$a_2$  – kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru (vyjadřuje zvýšení tepelných ztrát vlivem sálání) ve  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^2)$

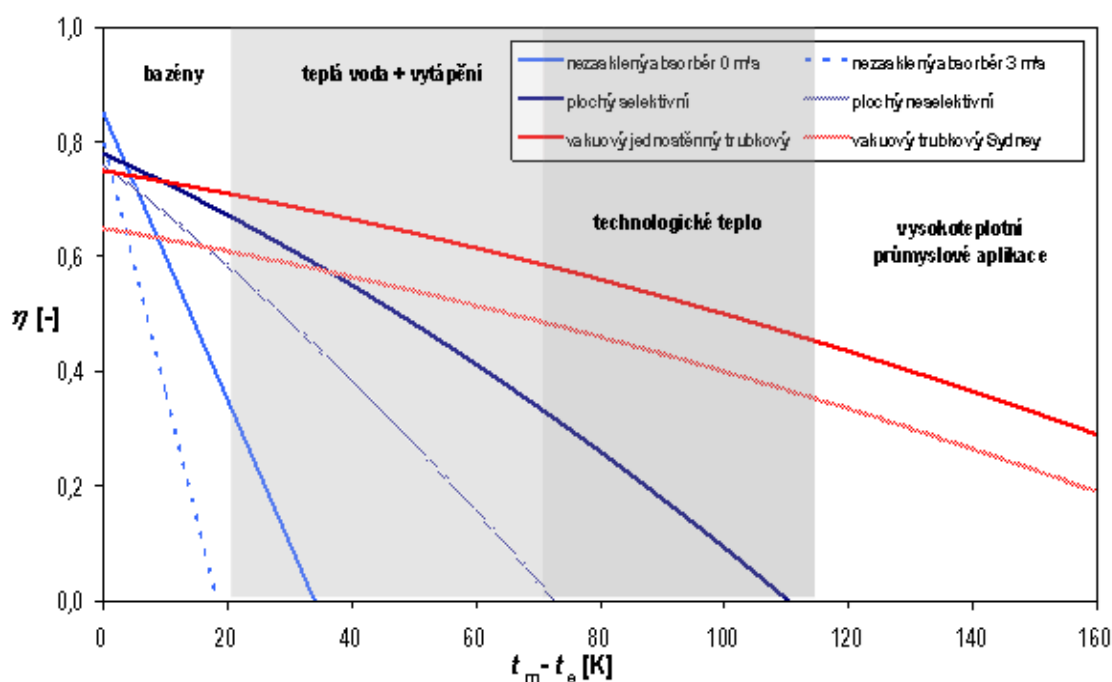
Graficky se křivka zobrazuje v obecné závislosti na středním redukovaném teplotním spádu  $(t_m - t_e)/G$ . Účinnost, resp. křivka účinnosti (konstanty  $\eta_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ) solárního kolektoru musí být vždy uváděna společně se vztažnou plochou kolektoru  $A_k$ , ke které byla vztažena. Člen  $\eta_0$  je účinnost kolektoru při nulovém teplotním rozdílu mezi kapalinou a okolím, tedy při maximálním omezení tepelných ztrát. Vyjadřuje optickou kvalitu kolektoru (propustnost zasklení, pohltivost absorberu) a zároveň schopnost kolektoru odvést teplo z povrchu absorberu do teplotonosné kapaliny. Často se označuje jako optická účinnost kolektoru. Členy  $a_1$  a  $a_2$  pak vyjadřují tepelné ztráty kolektoru, tedy sklon a zakřivení křivky účinnosti (lineární a kvadratický charakter).

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. V grafu na obr. 7 jsou znázorněny typické křivky účinnosti základních druhů solárních kolektorů, vyjádřené v závislosti na teplotním spádu pro hodnotu slunečního ozáření  $800 \text{ W/m}^2$ . Nezasklené kolektory se vyznačují vysokou optickou účinností, na druhé straně vysokými tepelnými ztrátami, výrazně ovlivněnými rychlostí proudění okolního vzduchu (větru). Naproti tomu u kvalitních

<sup>1</sup> Průměrná teplota teplotonosné kapaliny v kolektoru během provozu solárního systému

solárních kolektorů s nízkými tepelnými ztrátami (selektivní absorber, vakuový kolektor) klesá účinnost s rostoucím teplotním spádem výrazně méně. V grafu jsou vyznačeny typické rozsahy provozních teplotních rozdílů mezi teplotou kapaliny a okolním vzduchem v základních aplikacích.

Z jednoduchého porovnání křivek vyplývá použití jednotlivých druhů solárních kolektorů v daných aplikacích. Pro sezónní ohřev bazénové vody nemá smysl používat drahé trubkové vakuové Sydney kolektory vykazující v nízkoteplotních hladinách dokonce nižší účinnost než levné nezasklené kolektory. V oblasti přípravy teplé vody a vytápění jsou trubkové vakuové kolektory a atmosférické ploché kolektory z hlediska účinnosti vztažené k ploše apertury srovnatelné. Pro průmyslové aplikace s vysokými provozními teplotami jsou nutné kolektory s velmi nízkou tepelnou ztrátou (trubkové vakuové, případně kvalitní koncentrační kolektory). [4]



Obr. 7: Typické křivky účinnosti různých druhů solárních kolektorů [4]



### 3 TYPY SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

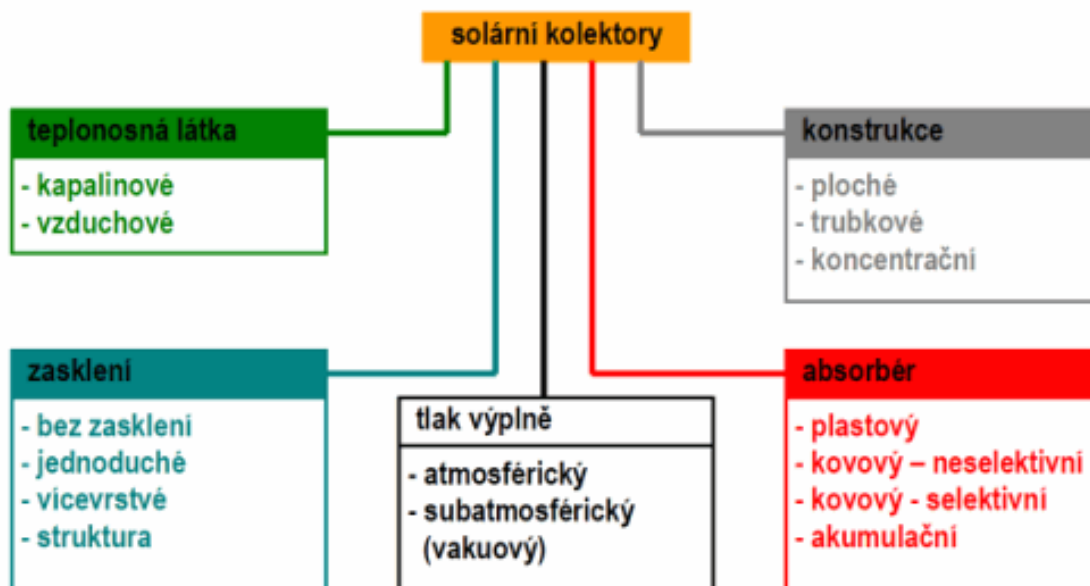
Základní částí každého kolektoru je absorbér. To je těleso z materiálu s dobrou tepelnou vodivostí, na svrchní straně opatřené tenkou vrstvou, která minimalizuje vyzařování a maximalizuje absorpci slunečního záření a proměňuje je na teplo. Uvnitř nebo na spodní straně absorbérů je soustava kanálků protékaných teplotním médiem, které odvádí získané teplo.

#### 3.1 Plochý solární kolektor

Plochý solární kolektor je v podstatě zdokonalený absorbér, který umožňuje celoroční provoz. K lepší funkci a účinnosti velkou měrou přispívá tepelná izolace. Na vrchní straně je transparentní kryt (sklo, polykarbonát), který propouští krátkovlnné sluneční záření a zabraňuje zpětnému vyzařování dlouhovlnného záření (skleníkový efekt). Na spodní straně a bocích je absorbér izolován běžnými izolačními materiály (minerální vlna, pěnový polyuretan apod.). Izolační materiál musí bez problémů odolávat teplotám okolo 200 °C a nesmí uvolňovat plyny a uchovávat vlhkost. Celý systém je zapouzdřen v tuhém rámu nebo vaně chránícím absorbér proti mechanickým a vlhkostním vlivům. Teplo je z kolektoru odváděno prostřednictvím teplotního média (voda, nemrznoucí směs na bázi propylenglykolu, vzduch apod.) izolovaným potrubím na místo spotřeby nebo dočasného uskladnění, např. do solárního zásobníku.[5]

Solární kolektory, které jako teplotní medium používají kapalinu, se využívají pro naprostou většinu aplikací v budovách. Solární vzduchové kolektory jsou v ČR využívány pouze okrajově pro předehřev čerstvého vzduchu pro větrání nebo oběhového vzduchu pro cirkulační vytápění (teplotovzdušné, sálové – hypokaustické).

Solární kapalinové kolektory jsou děleny podle mnoha hledisek uvedených na obr. 8.



Obr. 8: Rozdělení solárních kolektorů [6]

#### Výhody plochých kolektorů:

- Jednoduchá, robustní konstrukce
- Technická vytrvalost
- Velmi dobrý poměr ceny k výkonu

### 3.1.1 Plochý nekrytý kolektor

– zpravidla plastová rohož bez zasklení s vysokými tepelnými ztrátami závislými na venkovních podmínkách, hlavně na rychlosti proudění vzduchu. Nekryté kolektory jsou určeny zejména pro sezónní ohřev bazénů o nízké teplotní úrovni



Obr. 9: Nekrytý plochý solární kolektor [7]

### 3.1.2 Plochý neselektivní kolektor

– zasklený deskový kolektor s kovovým absorbérem se spektrálně neselektivním povlakem (např. černým pohltivým nátěrem). Neselektivní kolektory mohou být vzhledem k velkým tepelným ztrátám vlivem sálání absorbéru využity pouze v pro sezónní přehřev vody při nízké teplotní úrovni.

### 3.1.3 Plochý selektivní kolektor

– zasklený deskový kolektor s kovovým absorbérem se spektrálně selektivním povlakem a s tepelnou izolací na zadní a boční straně skříně. Výhoda kolektoru spočívá ve vysoké hodnotě absorpce  $\alpha=0,94-0,96$  a velmi nízké hodnotě emisivity záření. U galvanicky nanášených vrstev (černý chrom, černý nikl) dosahuje emisivita hodnot  $\varepsilon = 0,12-0,15$ , u vrstev nanášených vakuovým napařováním dosahuje emisivita hodnot  $\varepsilon = 0,04-0,06$ . Vzhledem k výrazně sníženým tepelným ztrátám sáláním absorbéru se ploché selektivní kolektory využívají celoročně pro ohřev vody a pro přitápění.

### 3.1.4 Plochý vakuový kolektor

– zasklený deskový kolektor v těsném provedení s kovovým absorbérem se spektrálně selektivním povlakem a tlakem uvnitř kolektoru nižším než je atmosférický tlak v okolí kolektoru (absolutní tlak cca 1-10 kPa) pro snížení tepelné ztráty na minimum. Ploché vakuové kolektory jsou určeny pro celoroční ohřev vody a přitápění, případně pro průmyslové aplikace s provozními teplotami okolo 100 °C.



Obr. 10: Selektivní a neselektivní plochý solární kolektor [8]



Obr. 11: Plochý vakuový solární kolektor [6]

## 3.2 Vakuové trubkové kolektory

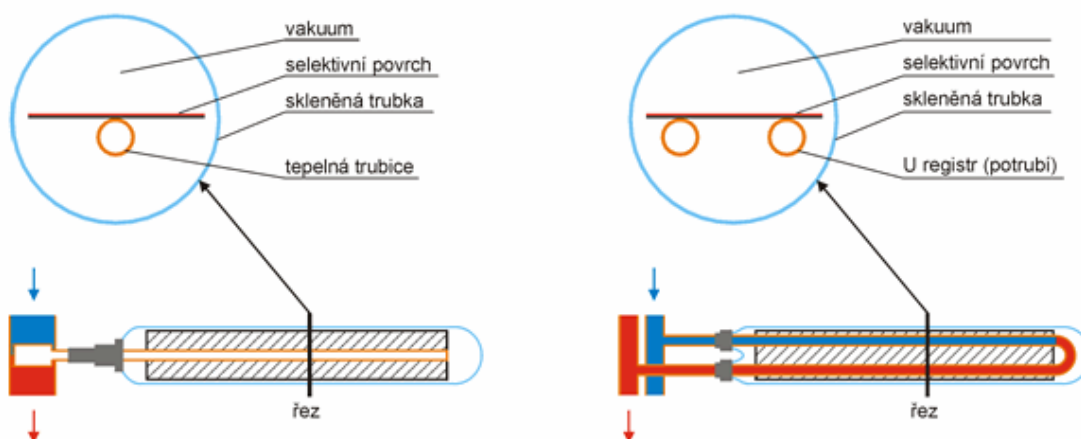
Pod pojmem vakuový trubkový kolektor se skrývá relativně rozsáhlá škála konstrukčních řešení s více či méně kvalitním provedením a tomu odpovídajícími výkonovými charakteristikami. V této oblasti se vyskytují především dva hlavní typy trubkových kolektorů: trubkové jednostěnné vakuové kolektory a trubkové dvoustěnné vakuové kolektory. [11]

### 3.2.1 Trubkový jednostěnný vakuový kolektor

– kolektor s plochým spektrálně selektivním absorbérem umístěným ve vakuované skleněné trubce (absolutní tlak  $<10^{-3}$  Pa). Na absorbér je přivařeno měděné potrubí (přímo protékaná U-smyčka) nebo výparník tepelné trubice zajišťující odvod tepla. Výrazné omezení tepelných ztrát a vysoký přenos tepla z absorbéru do teplotnosné kapaliny svařovaným spojem poskytuje vysokou účinnost kolektoru v celém teplotním rozsahu. Prostup potrubí skleněnou vakuovanou trubkou je řešen speciálním těsněním sklo-kov, které zajistí dlouhodobé udržení vakua ve skleněné trubce. Tyto kolektory jsou v současné době na vysoké technické úrovni, ale vzhledem k relativně vysoké ceně je výhodný především pro kombinované soustavy pro vytápění a pro průmyslové vysokoteplotní aplikace (provozní teploty nad 100 °C).



Obr. 12: Trubkový jednostěnný vakuový kolektor [6]



Obr. 13: Trubicový jednostěnný vakuový kolektor, vlevo s tepelnou trubicí, vpravo s přímo protékanou U-smyčkou [11]

### 3.2.2 Trubkový dvoustěnný (Sydney) vakuový kolektor

Základní součástí je tzv. Sydney trubka, válcová dvojitěnná trubka. Mezi prostor mezi vnější krycí trubicí (ve funkci zasklení) a vnitřní trubicí absorpční trubicí (ve funkci absorberu válcového tvaru) je vakuován. Vnější povrch vnitřní absorpční skleněné trubky je opatřen selektivním absorpčním povlakem, nejčastěji napařovaným nitridem hliníku. Vakuum zajišťuje nízké tepelné ztráty z absorberu do okolí (konvekci, vedením), selektivní povrch zajišťuje vysokou pohltivost slunečního záření a nízkou emisivitu absorpční plochy a tedy nízké tepelné ztráty zářením z absorberu. Je třeba odlišit dva kvalitativně odlišné typy Sydney trubek z hlediska absorpčního povrchu. Sydney trubky mohou být opatřeny standardními povlaky, které vykazují pohltivost v oblasti 0,86 až 0,92 a emisivitu asi 0,08 (stagnační teploty<sup>2</sup> okolo 200 °C) nebo vysoce kvalitní povlaky s hodnotami pohltivosti až 0,96 emisivity okolo 0,04 (stagnační teploty 300 až 350 °C).

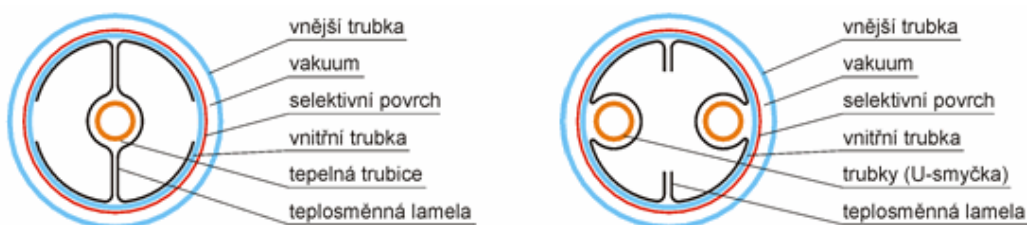
Podobně jako jednostěnné trubkové kolektory, tak i trubkové dvoustěnné kolektory jsou konstrukčně řešeny s přímo protékaným trubkovým registrem (U-smyčka) nebo s tepelnou trubicí. Kritickým místem Sydney kolektoru je však přenos tepla z vnitřního povrchu vnitřní absorpční trubky do teplotnosného média, tedy hlavně

<sup>2</sup> Stagnační teplota je teplota, kterou kolektor dosáhne při plném nabití solárního zásobníku a jeho neschopnosti dále odebrat teplo z kolektoru. Obdobná situace může nastat při odstavení oběhového čerpadla za slunečného dne.

na povrch přímo protékané U-smyčky z měděného potrubí nebo na povrch výparníku tepelné trubice. K tomu slouží teplosměnné vodivá lamela (nejčastěji z hliníku), která by měla vykazovat co nejlepší (nejvodivější) kontakt jak s vnitřním povrchem absorpční trubky, tak s povrchem potrubí pro odvod tepla (U-smyčka, tepelná trubice). Oproti konstrukčnímu uspořádání trubkovým solárních kolektorů s jednostennými vakuovanými skleněnými trubkami s absorberem ve tvaru plochých lamel mají kolektory se Sydney trubkou (válcovým absorberem) své výhody (snadná vyměnitelnost Sydney trubek při poruše, odstranění problému utěsnění vakua a prostupů potrubí, nízká cena) ale i nevýhody (nižší účinnost přenosu tepla z absorpčního povrchu do teplonosné látky). [11] Tyto kolektory se používají hlavně v kombinovaných soustavách pro vytápění a v soustavách pro průmyslové vysokoteplotní aplikace (provozní teploty nad 100 °C).



Obr. 14: Trubkový dvoustěnný (Sydney) vakuový kolektor [6]

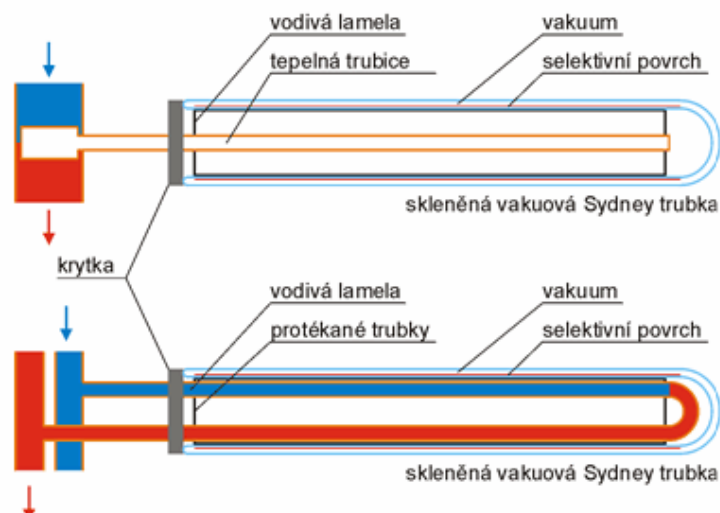


Obr. 15: Příčný řez vakuovanou Sydney trubkou, vlevo s tepelnou trubicí, vpravo s přímo protékanou U-smyčkou[11]

### Výhody vakuovaných trubkových kolektorů

- Dosažitelnost vyšších provozních teplot než u plochých kolektorů, čehož lze využít i pro výrobu procesního tepla
- Vyšší energetický zisk při stejné absorpční ploše, což se nabízí pro malé střešní plochy jako výhoda

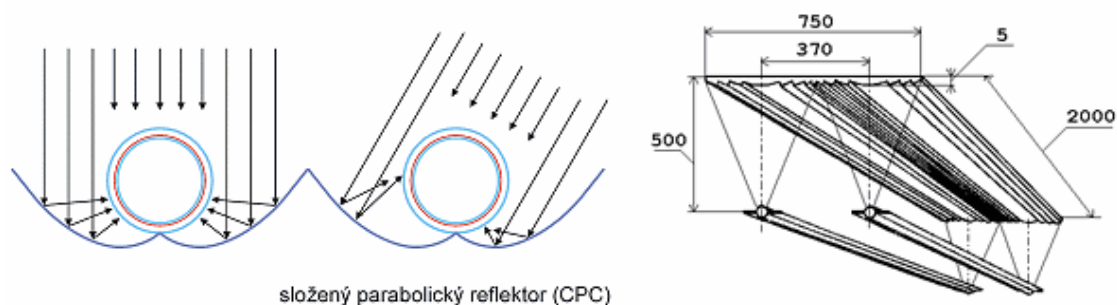




Obr. 16: Podélný řez vakuovanou Sydney trubkou, nahoře s tepelnou trubicí, dole s přímo protékanou U-smyčkou [11]

### 3.3 Koncentrační kolektor

– obecně to je kolektor, ve kterém jsou použita zrcadla, čočky nebo další optické prvky k usměrnění a soustředění přímého slunečního záření, procházejícího aperturou kolektoru, do ohniska (absorbéru) o výrazně menší ploše než je vlastní plocha apertury. Ploché kolektory vybavené vnějším zrcadlem nebo kolektory s vakuovanými Sydney trubicemi opatřené reflektorem jsou také považovány za koncentrační kolektory. Pro účinné použití koncentračních kolektorů je základním požadavkem dostatek přímého slunečního záření během roku. [6]



složený parabolický reflektor (CPC)

Obr. 17: Koncentrační kolektor [6]

## 4 VÝPOČET A ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Postup výpočtu je převzat z tzb-info.cz [9]. Postup se zabývá určením skutečných využitelných zisků kolektoru na základě porovnání teoreticky využitelných zisků kolektoru a celkové potřeby tepla. Pro naše potřeby porovnání vlivu orientace a sklonu na výkonnost solárního kolektoru bude stačit určit teoreticky využitelné zisky pro daný typ kolektoru. Při výpočtu budeme vycházet ze vztahu

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \left[ \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_m - t_e}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_m - t_e)^2}{G_{T,m}} \right] \cdot H_{T,den} \cdot n \cdot A_a \cdot (1 - p) \quad (6)$$

Kde

$Q_{k,u}$  – teoreticky využitelné zisky pro daný typ kolektoru [kWh]

$\eta_0$  – optická účinnost kolektoru [-];

$a_1$  – lineární součinitel tepelné ztráty [ $W/m^2 \cdot K$ ];

$a_2$  – kvadratický součinitel tepelné ztráty [ $W/m^2 \cdot K^2$ ];

$t_m$  – střední denní teplota teplonosné kapaliny v solárním kolektoru [ $^{\circ}C$ ];

$t_e$  – střední venkovní teplota v době slunečního svitu [ $^{\circ}C$ ];

$G_{T,m}$  – střední denní sluneční ozáření pro daný sklon a orientaci [ $W/m^2$ ];

$H_{T,den}$  – skutečná denní dávka slunečního ozáření [ $kWh/(m^2 \cdot den)$ ];

$n$  – počet dní v měsíci;

$A_a$  – plocha apertury solárních kolektorů [ $m^2$ ];

$p$  – hodnota srážky z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát solární soustavy

Klimatická data použitá při výpočtu jsou převzata z <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> [10] pro polohu 49°11'19" severně a 16°36'21" východně.

### 4.1 Vliv sklonu na výkonnost kolektoru

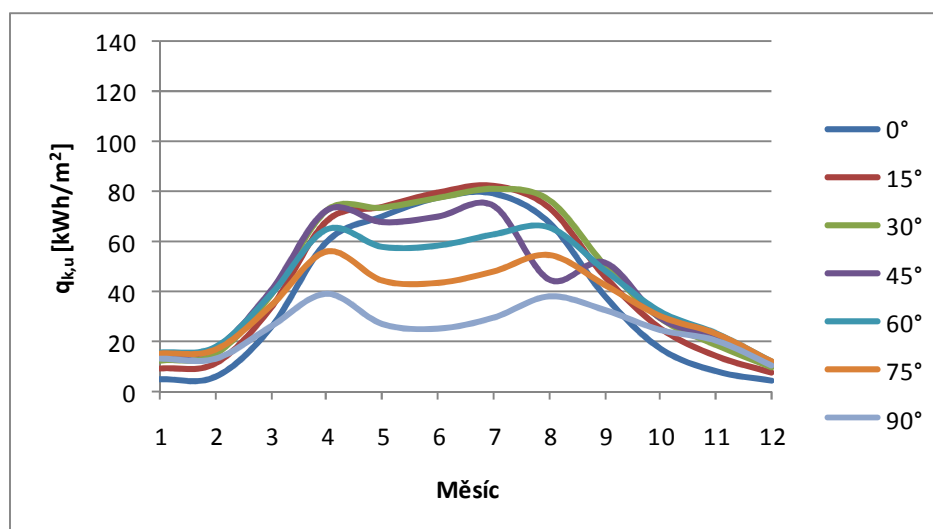
V následujících tabulkách jsou uvedena data solárních zisků tří různých typů kolektorů v následujícím pořadí: plochý neselektivní kolektor Baxi SB 21, plochý selektivní kolektor Cosmosol SFK 21 a vakuový trubicový kolektor (přímo protékaný s plochým absorbérem) Regulus KTK 14.

Tendence solárních zisků je u všech kolektorů velmi podobná, to znamená, že největších ročních zisků dosahují všechny kolektory při sklonu 30°. Z výpočtu je patrné, že dobrých zisků lze dosáhnout v rozmezí sklonu 15° až 60°. Při sklonech mimo uvedené rozmezí dosahují všechny kolektory snížených hodnot zisků, a proto nelze tyto krajní úhly sklonu doporučit.

U neselektivního kolektoru jsou celkové nízké zisky způsobeny především vlivem sálání absorbéru. Úprava absorbéru selektivní vrstvou ztráty sáláním redukuje, díky čemuž je u tohoto typu kolektoru dosahováno větších zisků. Vakuové kolektory jsou díky vakuu okolo absorbéru nejlépe chráněny proti tepleným ztrátám a dosahují proto nejlepších solárních zisků. Dalším důvodem lepších zisků u vakuových trubicových je dobrá schopnost absorbovat i difúzní záření.

**Tab. 2: Hodnoty solárních zisků plochého neselektivního kolektoru Baxi SB 21 s orientací na jih vztahované na plochy apertury kolektoru (0° odpovídá vodorovné ploše)**

| měsíc | Sklon                 |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|       | 0°                    | 15°                   | 30°                   | 45°                   | 60°                   | 75°                   | 90°                   |
|       | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             |
|       | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] |
| I.    | 5,11                  | 9,20                  | 12,63                 | 14,74                 | 15,69                 | 15,12                 | 13,40                 |
| II.   | 6,10                  | 11,28                 | 15,25                 | 17,66                 | 18,01                 | 16,63                 | 13,35                 |
| III.  | 25,94                 | 33,58                 | 38,74                 | 40,65                 | 39,12                 | 34,15                 | 26,13                 |
| IV.   | 60,22                 | 68,36                 | 72,24                 | 72,49                 | 65,03                 | 55,67                 | 39,04                 |
| V.    | 70,48                 | 74,11                 | 73,35                 | 67,81                 | 58,06                 | 44,11                 | 27,11                 |
| VI.   | 77,97                 | 79,81                 | 77,23                 | 70,01                 | 58,55                 | 43,20                 | 25,26                 |
| VII.  | 79,66                 | 82,53                 | 80,81                 | 74,31                 | 63,04                 | 47,75                 | 29,60                 |
| VIII. | 68,00                 | 73,73                 | 76,41                 | 44,91                 | 65,90                 | 54,30                 | 38,00                 |
| IX.   | 38,54                 | 46,13                 | 50,56                 | 51,67                 | 48,71                 | 42,43                 | 32,63                 |
| X.    | 17,47                 | 25,37                 | 29,51                 | 29,56                 | 32,18                 | 29,98                 | 24,73                 |
| XI.   | 8,33                  | 14,25                 | 18,87                 | 22,02                 | 23,49                 | 22,94                 | 20,54                 |
| XII.  | 4,55                  | 7,55                  | 9,94                  | 11,52                 | 12,21                 | 11,94                 | 10,70                 |
| Σ     | 462,36                | 525,89                | 555,53                | 517,36                | 500,00                | 418,21                | 300,46                |

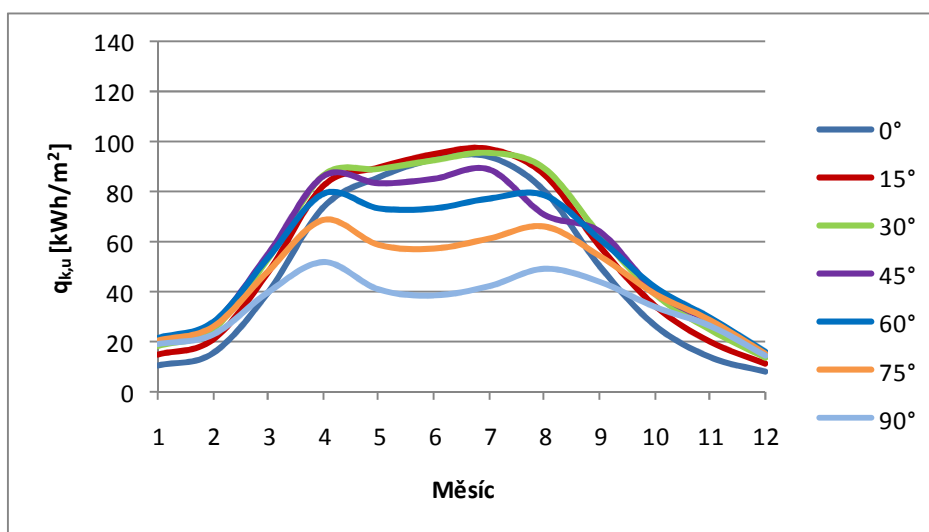


**Obr. 18: Vliv sklonu na výkonnost plochého neselektivního kolektoru Baxi SB 21**



**Tab. 3: Hodnoty solárních zisků plochého selektivního kolektoru Cosmosol SFK 21 s orientací na jih vztažené na plochy apertury kolektoru (0° odpovídá vodorovné ploše)**

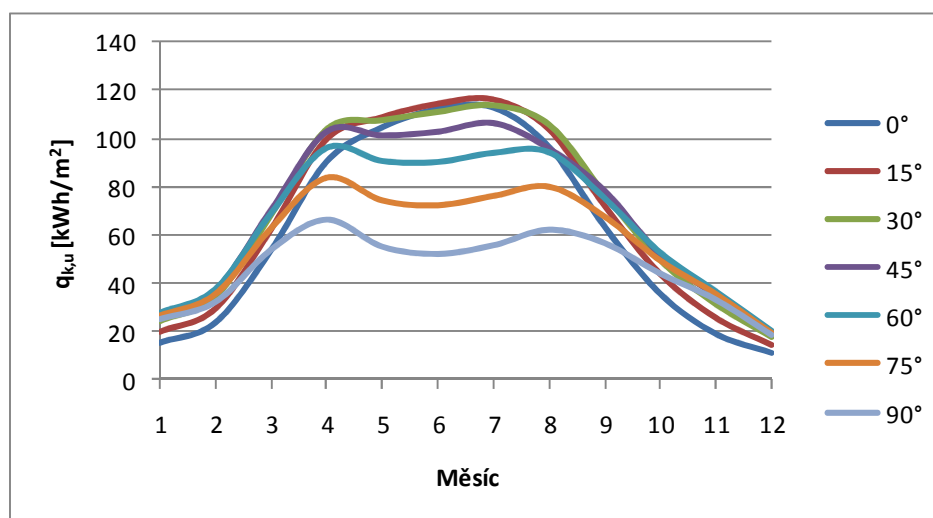
|       | Sklon                 |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|       | 0°                    | 15°                   | 30°                   | 45°                   | 60°                   | 75°                   | 90°                   |
|       | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             |
| měsíc | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] |
| I.    | 10,45                 | 14,67                 | 18,22                 | 20,39                 | 21,38                 | 20,79                 | 19,01                 |
| II.   | 15,37                 | 20,72                 | 24,82                 | 27,32                 | 27,67                 | 26,25                 | 22,86                 |
| III.  | 39,83                 | 47,72                 | 53,05                 | 55,03                 | 53,45                 | 48,31                 | 40,03                 |
| IV.   | 73,99                 | 82,39                 | 86,40                 | 86,00                 | 78,95                 | 68,62                 | 52,24                 |
| V.    | 85,93                 | 89,68                 | 88,90                 | 83,17                 | 73,11                 | 58,70                 | 41,13                 |
| VI.   | 93,15                 | 95,06                 | 92,39                 | 84,94                 | 73,10                 | 57,25                 | 38,72                 |
| VII.  | 94,19                 | 97,15                 | 95,37                 | 88,66                 | 77,02                 | 61,23                 | 42,48                 |
| VIII. | 80,50                 | 86,79                 | 89,18                 | 70,61                 | 78,33                 | 66,04                 | 49,51                 |
| IX.   | 50,34                 | 58,17                 | 62,76                 | 63,90                 | 60,85                 | 54,35                 | 44,23                 |
| X.    | 26,56                 | 34,32                 | 39,00                 | 40,33                 | 41,76                 | 39,35                 | 34,06                 |
| XI.   | 13,78                 | 19,89                 | 24,67                 | 27,92                 | 29,44                 | 28,87                 | 26,39                 |
| XII.  | 7,96                  | 11,06                 | 13,53                 | 15,17                 | 15,88                 | 15,60                 | 14,32                 |
| Σ     | 592,06                | 657,64                | 688,29                | 663,44                | 630,93                | 545,36                | 424,99                |



**Obr. 19: Vliv sklonu na výkonnost plochého selektivního kolektoru Cosmosol SFK 21**

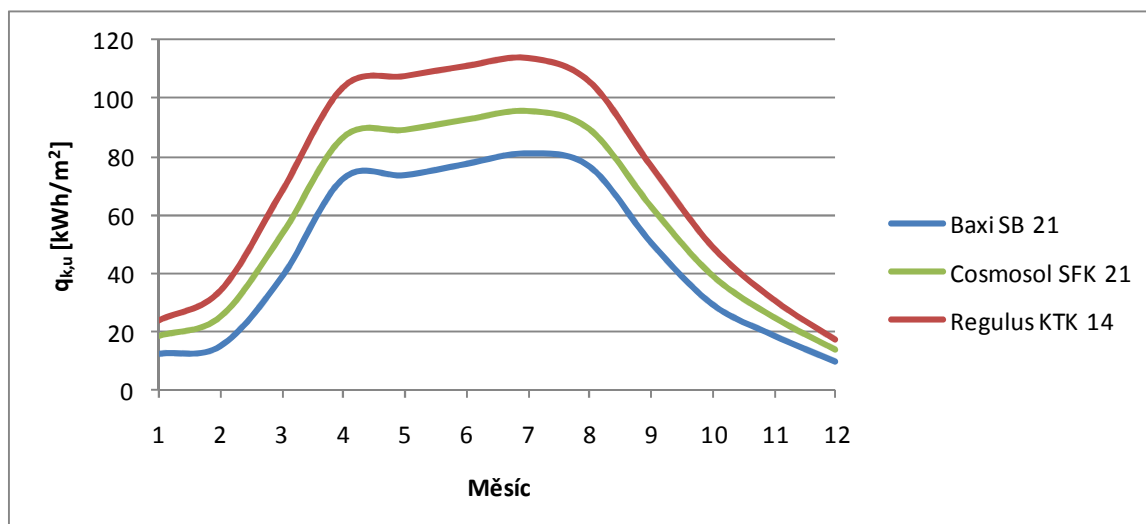
**Tab. 4: Hodnoty solárních zisků vakuového trubkového kolektoru Regulus KTK 14 s orientací na jih vztážené na plochy apertury kolektoru (0° odpovídá vodorovné ploše)**

|       | Sklon                 |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|       | 0°                    | 15°                   | 30°                   | 45°                   | 60°                   | 75°                   | 90°                   |
|       | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             |
| měsíc | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] |
| I.    | 15,42                 | 20,07                 | 23,99                 | 26,38                 | 27,47                 | 26,81                 | 24,86                 |
| II.   | 23,80                 | 29,69                 | 34,21                 | 36,96                 | 37,35                 | 35,78                 | 32,05                 |
| III.  | 53,74                 | 62,44                 | 68,31                 | 70,48                 | 68,74                 | 63,09                 | 53,95                 |
| IV.   | 90,42                 | 99,68                 | 104,10                | 103,16                | 95,89                 | 84,01                 | 66,58                 |
| V.    | 104,61                | 108,74                | 107,87                | 101,56                | 90,47                 | 74,60                 | 55,25                 |
| VI.   | 112,18                | 114,28                | 111,33                | 103,13                | 90,08                 | 72,61                 | 52,20                 |
| VII.  | 112,78                | 116,04                | 114,08                | 106,69                | 93,86                 | 76,46                 | 55,80                 |
| VIII. | 96,45                 | 103,66                | 106,02                | 96,11                 | 94,06                 | 80,29                 | 62,31                 |
| IX.   | 63,43                 | 72,06                 | 77,11                 | 78,37                 | 75,00                 | 67,85                 | 56,69                 |
| X.    | 35,71                 | 43,95                 | 49,41                 | 51,85                 | 52,45                 | 49,69                 | 43,97                 |
| XI.   | 19,10                 | 25,83                 | 31,09                 | 34,67                 | 36,35                 | 35,72                 | 32,99                 |
| XII.  | 11,24                 | 14,66                 | 17,37                 | 19,18                 | 19,96                 | 19,66                 | 18,24                 |
| Σ     | 738,86                | 811,09                | 844,88                | 828,53                | 781,69                | 686,57                | 554,89                |



**Obr. 20: Vliv sklonu na výkonnost vakuového trubkového kolektoru Regulus KTK 14**

Na následujícím obrázku je zobrazen graf závislosti měrných solárních zisků na roční době pro sklon 30° s orientací na jih. Modrou je zobrazen plochý neselektivní kolektor, zelenou plochý selektivní kolektor a červenou vakuový trubkový kolektor. Zde je jasně vidět výhoda vakuových kolektorů, které ze stejné plochy absorbéru dokážou získat mnohem více energie.



Obrázek 21: Porovnání měrných zisků různých typů solárních kolektorů

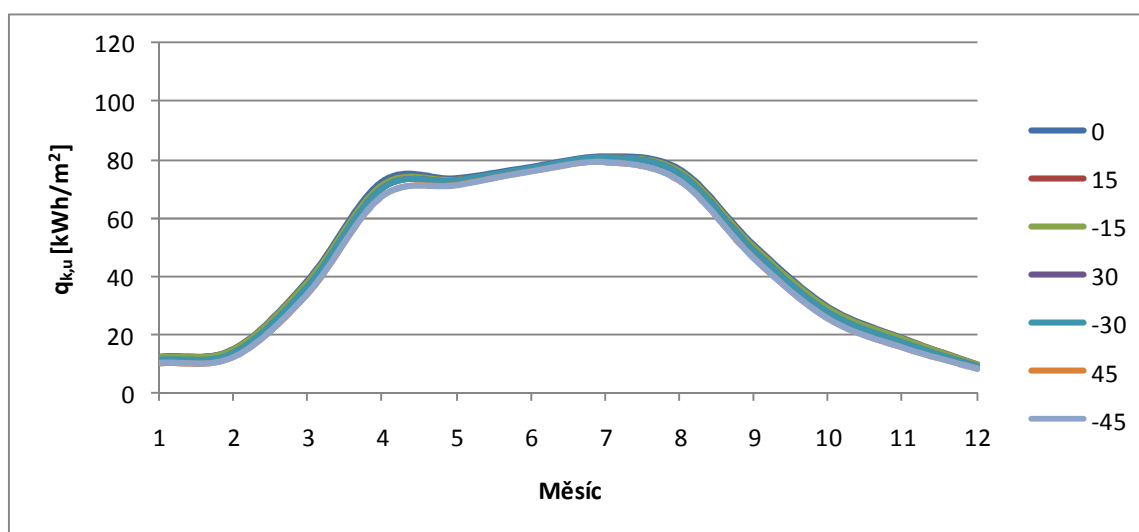
## 4.2 Porovnání vlivu orientace kolektoru vzhledem ke světovým stranám

Použitý výpočtový postup dovoluje výpočet solárních zisků pro směry s odklonem  $45^\circ$  od jihu. V tabulkách jsou uvedeny hodnoty solárních zisků vztažených na plochu apertury jednotlivých kolektorů. Jako nejlepší u všech typů kolektorů vychází orientace na jih. Odchyly v mezi  $15^\circ$  od jižního směru na obě strany představují rozdíl v energetických ziscích jen asi 1 %. Další zvětšování odchylky od jihu znamená další pokles energetických zisků, v krajním případě je tento pokles asi 7 % na rok. Ve výsledku to znamená, že i při velkém odklonu od jihu jsou kolektory schopny získat velké množství energie.

Zajímavým zjištěním je to, že při odchýlení na jakoukoli stranu od jihu o stejný úhel je kolektor schopen získat stejné množství energie.

**Tab. 5: Hodnoty solárních zisků vztahované na plochy apertury kolektoru při sklonu 30° (-45° odpovídá jihovýchodu) – plochý neselektivní kolektor**

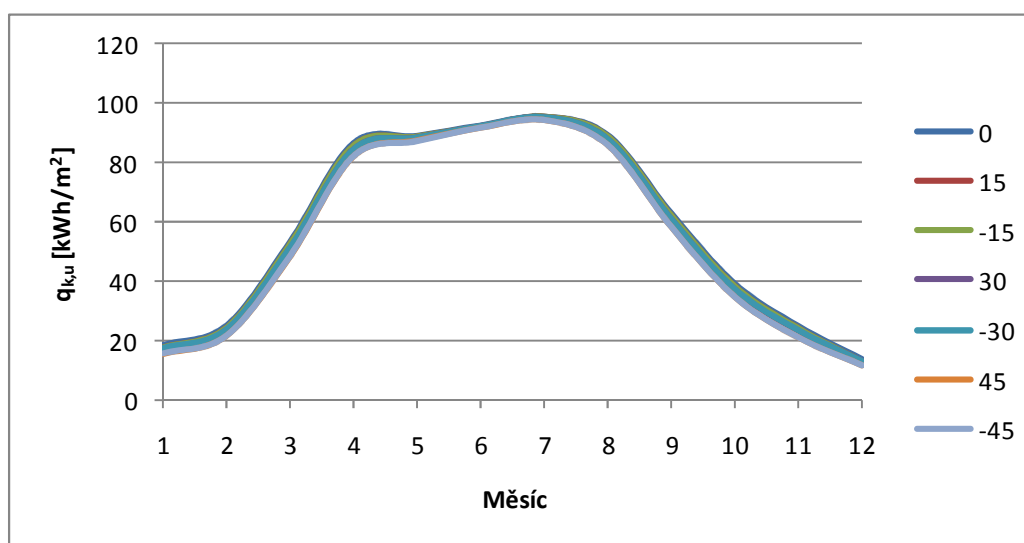
| měsíc | orientace             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|       | -45°                  | -30°                  | -15°                  | 0°                    | 15°                   | 30°                   | 45°                   |
|       | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             |
|       | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] |
| I.    | 10,15                 | 11,49                 | 12,25                 | 12,63                 | 12,25                 | 11,30                 | 9,96                  |
| II.   | 12,14                 | 13,87                 | 14,90                 | 15,25                 | 14,90                 | 13,69                 | 12,14                 |
| III.  | 34,15                 | 36,64                 | 38,17                 | 38,74                 | 38,17                 | 36,45                 | 33,96                 |
| IV.   | 67,70                 | 69,92                 | 71,40                 | 72,24                 | 71,40                 | 69,92                 | 67,70                 |
| V.    | 71,44                 | 72,59                 | 73,16                 | 73,35                 | 73,16                 | 72,59                 | 71,63                 |
| VI.   | 76,30                 | 76,86                 | 77,04                 | 77,23                 | 77,04                 | 76,86                 | 76,30                 |
| VII.  | 79,47                 | 80,43                 | 80,81                 | 80,81                 | 80,81                 | 80,43                 | 79,47                 |
| VIII. | 72,97                 | 74,88                 | 76,02                 | 76,41                 | 76,02                 | 74,88                 | 72,97                 |
| IX.   | 46,13                 | 48,53                 | 50,01                 | 50,56                 | 50,01                 | 48,53                 | 46,13                 |
| X.    | 25,30                 | 27,59                 | 28,93                 | 29,51                 | 28,93                 | 27,40                 | 25,30                 |
| XI.   | 15,36                 | 17,39                 | 18,50                 | 18,87                 | 18,50                 | 17,21                 | 15,36                 |
| XII.  | 8,16                  | 9,11                  | 9,69                  | 9,94                  | 9,69                  | 9,11                  | 8,16                  |
| Σ     | 519,26                | 539,28                | 550,88                | 555,53                | 550,88                | 538,35                | 519,07                |



**Obr. 22: Vliv orientace na výkonnost plochého neselektivního kolektoru Baxi SB 21 při sklonu 30°**

**Tab. 6: Hodnoty solárních zisků vztahované na plochy apertury kolektoru při sklonu 30° (-45° odpovídá jihovýchodu) – plochý selektivní kolektor**

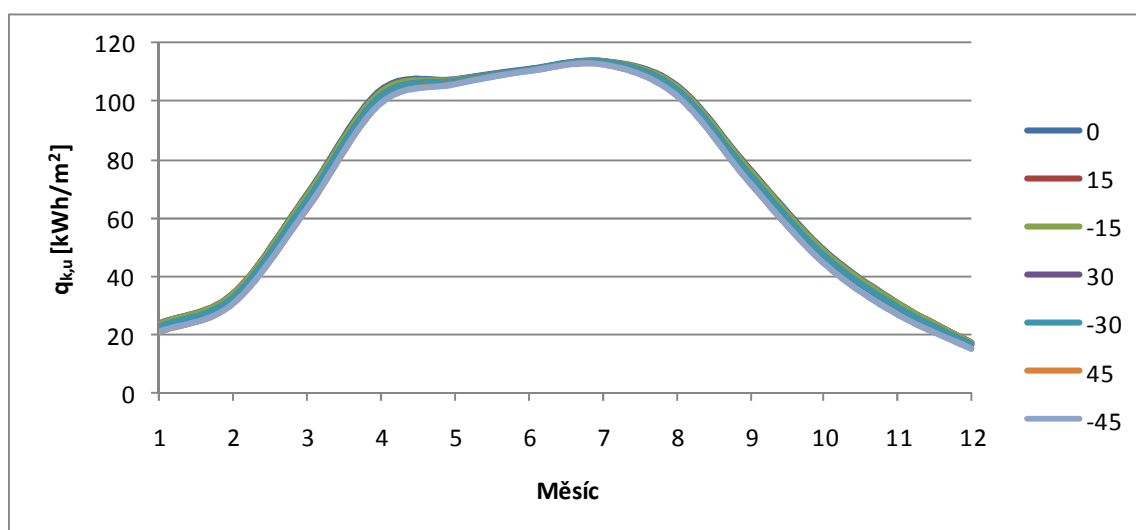
| měsíc | Orientace             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|       | -45°                  | -30°                  | -15°                  | 0°                    | 15°                   | 30°                   | 45°                   |
|       | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             |
|       | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] |
| I.    | 15,66                 | 17,04                 | 17,83                 | 18,22                 | 17,83                 | 16,84                 | 15,46                 |
| II.   | 21,61                 | 23,39                 | 24,46                 | 24,82                 | 24,46                 | 23,22                 | 21,61                 |
| III.  | 48,31                 | 50,88                 | 52,46                 | 53,05                 | 52,46                 | 50,68                 | 48,12                 |
| IV.   | 81,85                 | 84,14                 | 85,67                 | 86,40                 | 85,67                 | 84,14                 | 81,85                 |
| V.    | 86,92                 | 88,11                 | 88,70                 | 88,90                 | 88,70                 | 88,11                 | 87,12                 |
| VI.   | 91,43                 | 92,01                 | 92,20                 | 92,39                 | 92,20                 | 92,01                 | 91,43                 |
| VII.  | 93,99                 | 94,98                 | 95,37                 | 95,37                 | 95,37                 | 94,98                 | 93,99                 |
| VIII. | 85,63                 | 87,60                 | 88,79                 | 89,18                 | 88,79                 | 87,60                 | 85,63                 |
| IX.   | 58,17                 | 60,66                 | 62,19                 | 62,76                 | 62,19                 | 60,66                 | 58,17                 |
| X.    | 34,65                 | 37,02                 | 38,40                 | 39,00                 | 38,40                 | 36,83                 | 34,65                 |
| XI.   | 21,04                 | 23,14                 | 24,29                 | 24,67                 | 24,29                 | 22,95                 | 21,04                 |
| XII.  | 11,69                 | 12,68                 | 13,27                 | 13,53                 | 13,27                 | 12,68                 | 11,69                 |
| Σ     | 650,97                | 671,65                | 683,63                | 688,29                | 683,63                | 670,69                | 650,77                |



**Obr. 23: Vliv orientace na výkonnost plochého selektivního kolektoru Cosmosol SFK 21 při sklonu 30°**

**Tab. 7: Hodnoty solárních zisků vztahované na plochy apertury kolektoru při sklonu 30° (-45° odpovídá jihovýchodu) – vakuový trubcový kolektor**

|       | orientace             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|       | -45°                  | -30°                  | -15°                  | 0°                    | 15°                   | 30°                   | 45°                   |
|       | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             | $q_{k,u}$             |
| měsíc | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] | [kWh/m <sup>2</sup> ] |
| I.    | 21,16                 | 22,68                 | 23,55                 | 23,99                 | 23,55                 | 22,47                 | 20,94                 |
| II.   | 30,67                 | 32,64                 | 33,81                 | 34,21                 | 33,81                 | 32,44                 | 30,67                 |
| III.  | 63,09                 | 65,91                 | 67,65                 | 68,31                 | 67,65                 | 65,70                 | 62,87                 |
| IV.   | 99,19                 | 101,72                | 103,40                | 104,10                | 103,40                | 101,72                | 99,19                 |
| V.    | 105,69                | 107,00                | 107,65                | 107,87                | 107,65                | 107,00                | 105,91                |
| VI.   | 110,28                | 110,91                | 111,12                | 111,33                | 111,12                | 110,91                | 110,28                |
| VII.  | 112,56                | 113,65                | 114,08                | 114,08                | 114,08                | 113,65                | 112,56                |
| VIII. | 102,11                | 104,28                | 105,58                | 106,02                | 105,58                | 104,28                | 102,11                |
| IX.   | 72,06                 | 74,79                 | 76,48                 | 77,11                 | 76,48                 | 74,79                 | 72,06                 |
| X.    | 44,62                 | 47,23                 | 48,75                 | 49,41                 | 48,75                 | 47,01                 | 44,62                 |
| XI.   | 27,09                 | 29,41                 | 30,67                 | 31,09                 | 30,67                 | 29,20                 | 27,09                 |
| XII.  | 15,35                 | 16,44                 | 17,09                 | 17,37                 | 17,09                 | 16,44                 | 15,35                 |
| Σ     | 803,88                | 826,66                | 839,86                | 844,88                | 839,86                | 825,60                | 803,66                |



**Obr. 24: Vliv orientace na výkonnost vakuového trubcového kolektoru Regulus KTK 14 při sklonu 30°**

## ZÁVĚR

Orientace a sklon jsou důležité parametry při výpočtu energetických zisků solárních kolektorů. Hledisko sklonu má při výpočtu velkou váhu už proto, že nejmenší roční zisky plochého selektivního kolektoru Cosmosol při sklonu  $90^\circ$  představují pouze 62 % ročních zisků při sklonu  $30^\circ$ . Sклон kolektoru ovlivňuje solární zisky tak, že téměř v každém měsíci je možné dosáhnout maximálních zisků při jiném sklonu kolektoru. Toho by se dalo využít při maximální optimalizaci zisků prostřednictvím změny sklonu kolektoru v závislosti na měsíci v roce. Bohužel zisky u takto řešených systémů by byly jen o 3,5 % větší, než jsou celkové roční zisky z kolektoru při sklonu  $30^\circ$  a orientací na jih.

Vliv orientace ke světovým stranám je o poznání menší, protože rozdíl mezi orientací na jih a orientací na jihovýchod je asi 6 % při sklonu  $30^\circ$  pro plochý selektivní kolektor Cosmosol. Příznivé pro návrh solárního systému je i to, že zisky na jihovýchod nebo jihozápad jsou prakticky stejné, a proto není důležité, na kterou stranu od jihu se kolektory orientují. Z praktického hlediska je výhodnější orientovat kolektory směrem na jihozápad než jihovýchod, protože energie získaná během odpoledne je použita na večerní hygienu a není příliš dlouho uchovávána v solárním zásobníku, kde dochází k jejím ztrátám.

Dalším významným vliv na výkonnost kolektoru má jeho vlastní konstrukce. V současné době se vyrábí několik různých typů kapalinových kolektorů. Nejlepších výsledků je dosahováno při použití vakuových trubicových kolektorů, které se vyznačují nízkými tepelnými ztrátami. Nejrozšířenějším typem jsou ploché selektivní kolektory, které jsou dnes na velmi vysoké technologické úrovni. Jejich hlavní předností je dobrá cena a velmi dobré energetické zisky. Dalším typem jsou ploché neselektivní kolektory, které jsou vhodné pro sezónní ohřev TUV nebo bazénové vody. Tyto kolektory se vyznačují nízkými pořizovacími náklady.

Dalšími významnými vlivy na výkonnost kolektoru jsou povětrnostní podmínky, zeměpisná poloha a úroveň znečištění ovzduší.



## Seznam použitých zdrojů

- [1] LADENER, Heinz; SPÄTE, Frank. Solární zařízení. vyd.1. Praha: Grada, 2003. 267 s. ISBN 80-247-0362-9.
- [2] CIHELKA, Jaromír. Sluneční vytápěcí systémy. vyd.1. Praha: SNTL, 1984. 206 s. 04-236-84
- [3] REMMERS, Karl-Heinz; Velká solární zařízení. vyd. 1. Brno: ERA group spol. s r.o. 2007. 315s. ISBN 978-80-7366-110-6
- [4] MATUŠKA, Tomáš. Tzbinfo [online], [cit. 2011-02-20]. Parametry solárních kolektorů. Dostupné z WWW: <http://energie.tzb-info.cz/solarni-kolektory/parametry-solarnich-kolektoru>
- [5] Tzbinfo [online], [cit. 2011-04-15]. Sluneční kolektory – přehled trhu. Dostupné z WWW: <http://www.tzb-info.cz/1862-slunecni-kolektory-prehled-trhu>
- [6] MATUŠKA, Tomáš. Tzbinfo [online], [cit. 2011-04-16]. Typy solárních kolektorů. Dostupné z WWW: <http://energie.tzb-info.cz/solarni-kolektory/typy-solarnich-kolektoru>
- [7] Solární systémy [online], [cit. 2011-04-16]. Dostupné z WWW: [http://www.solarnisystemy.cz/data/editor/68cs\\_4\\_big.jpg](http://www.solarnisystemy.cz/data/editor/68cs_4_big.jpg)
- [8] Solární energie [online], [cit. 2011-04-16]. Dostupné z WWW: <http://www.solarnienergie.cz/img/slunecni-kolektory.jpg>
- [9] Tzbinfo [online]. Zjednodušená bilance solárního kolektoru. Dostupné z WWW: <http://energie.tzb-info.cz/solarni-kolektory/7115-zjednodusena-bilance-solarniho-kolektoru>
- [10] Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps, Dostupné z WWW: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>
- [11] MATUŠKA, Tomáš. Tzbinfo [online], [cit. 2011-04-28]. Dostupné z WWW: <http://www.tzb-info.cz/4903-ucinnost-vakuovych-trubkovych-solarnich-kolektoru-i>

## Seznam obrázků

|                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| OBR. 1: ZTRÁTY SOLÁRNÍHO ZÁŘENÍ PŘI PRŮCHODU ATMOSFÉROU [1]                                                                                                                    | 9  |
| OBR. 2: PODÍL DIFÚZNÍHO ZÁŘENÍ NA GLOBÁLNÍ NA NAŠEM                                                                                                                            | 10 |
| OBR. 3: STŘEDNÍ ROČNÍ GLOBÁLNÍ ZÁŘENÍ NA VODOROVNÉ PLOCHY V kWh/m <sup>2</sup> ROK [1]                                                                                         | 11 |
| OBR. 4: PRŮBĚH INTENZITY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ BĚHEM DNE [2]                                                                                                                       | 11 |
| OBR. 5: SKUTEČNÁ INTENZITA SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ [2]                                                                                                                               | 12 |
| OBR. 6: DEFINICE PLOCHY APERTURY A ABSORBÉRU: A) PLOCHÝ B) TRUBKOVÝ S PLOCHÝM ABSORBÉREM C) TRUBKOVÝ S VÁLCOVÝM ABSORBÉREM D) TRUBKOVÝ S VÁLCOVÝM ABSORBÉREM A REFLEKTOREM [4] | 13 |
| OBR. 7: TYPICKÉ KŘIVKY ÚČINNOSTI RŮZNÝCH DRUHŮ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ [4]                                                                                                         | 15 |
| OBR. 8: ROZDĚLENÍ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ [6]                                                                                                                                      | 16 |
| OBR. 9: NEKRYTÝ PLOCHÝ SOLÁRNÍ KOLEKTOR [7]                                                                                                                                    | 17 |
| OBR. 11: PLOCHÝ VAKUOVÝ SOLÁRNÍ KOLEKTOR [6]                                                                                                                                   | 18 |
| OBR. 10: SELEKTIVNÍ A NESELEKTIVNÍ PLOCHÝ SOLÁRNÍ KOLEKTOR [8]                                                                                                                 | 18 |
| OBR. 12: TRUBKOVÝ JEDNOSTĚNNÝ VAKUOVÝ KOLEKTOR [6]                                                                                                                             | 19 |
| OBR. 13: TRUBICOVÝ JEDNOSTĚNNÝ VAKUOVÝ KOLEKTOR, VLEVO S TEPELNOU TRUBICÍ, VPRAVO S PŘÍMO PROTÉKANOU U-SMYČKOU [11]                                                            | 19 |
| OBR. 14: TRUBKOVÝ DVOUSTĚNNÝ (SYDNEY) VAKUOVÝ KOLEKTOR [6]                                                                                                                     | 20 |
| OBR. 15: PŘÍČNÝ ŘEZ VAKUOVANOU SYDNEY TRUBKOU, VLEVO S TEPELNOU TRUBICÍ, VPRAVO S PŘÍMO PROTÉKANOU U-SMYČKOU [11]                                                              | 20 |
| OBR. 16: PODÉLNÝ ŘEZ VAKUOVANOU SYDNEY TRUBKOU, NAHOŘE S TEPELNOU TRUBICÍ, DOLE S PŘÍMO PROTÉKANOU U-SMYČKOU [11]                                                              | 21 |
| OBR. 17: KONCENTRAČNÍ KOLEKTOR [6]                                                                                                                                             | 21 |
| OBR. 18: VLIV SKLONU NA VÝKONNOST PLOCHÉHO NESELEKTIVNÍHO KOLEKTORU BAXI SB 21                                                                                                 | 23 |
| OBR. 19: VLIV SKLONU NA VÝKONNOST PLOCHÉHO SELEKTIVNÍHO KOLEKTORU COSMOSOL SFK 21                                                                                              | 24 |
| OBR. 20: VLIV SKLONU NA VÝKONNOST VAKUOVÉHO TRUBICOVÉHO KOLEKTORU REGULUS KTK 14                                                                                               | 25 |
| OBRÁZEK 21: POROVNÁNÍ MĚRNÝCH ZISKŮ RŮZNÝCH TYPŮ SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ                                                                                                           | 26 |
| OBR. 22: VLIV ORIENTACE NA VÝKONNOST PLOCHÉHO NESELEKTIVNÍHO KOLEKTORU BAXI SB 21 PŘI SKLONU 30°                                                                               | 27 |
| OBR. 23: VLIV ORIENTACE NA VÝKONNOST PLOCHÉHO SELEKTIVNÍHO KOLEKTORU COSMOSOL SFK 21 PŘI SKLONU                                                                                | 28 |
| OBR. 24: VLIV ORIENTACE NA VÝKONNOST VAKUOVÉHO TRUBICOVÉHO KOLEKTORU REGULUS KTK 14 PŘI SKLONU 30°                                                                             | 29 |

## Seznam tabulek

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TAB. 1: VÝKONY ZÁŘIVÉ ENERGIE A PODÍL DIFÚZNÍHO ZÁŘENÍ PŘI RŮZNÝCH                                                                                                     | 9  |
| TAB. 2: HODNOTY SOLÁRNÍCH ZISKŮ PLOCHÉHO NESELEKTIVNÍHO KOLEKTORU BAXI SB 21 S ORIENTACÍ NA JIH VZTAŽENÉ NA PLOCHY APERTURY KOLEKTORU (0° ODPOVÍDÁ VODOROVNÉ PLOŠE)    | 23 |
| TAB. 3: HODNOTY SOLÁRNÍCH ZISKŮ PLOCHÉHO SELEKTIVNÍHO KOLEKTORU COSMOSOL SFK 21 S ORIENTACÍ NA JIH VZTAŽENÉ NA PLOCHY APERTURY KOLEKTORU (0° ODPOVÍDÁ VODOROVNÉ PLOŠE) | 24 |
| TAB. 4: HODNOTY SOLÁRNÍCH ZISKŮ VAKUOVÉHO TRUBKOVÉHO KOLEKTORU REGULUS KTK 14 S ORIENTACÍ NA JIH VZTAŽENÉ NA PLOCHY APERTURY KOLEKTORU (0° ODPOVÍDÁ VODOROVNÉ PLOŠE)   | 25 |
| TAB. 5: HODNOTY SOLÁRNÍCH ZISKŮ VZTAŽENÉ NA PLOCHY APERTURY KOLEKTORU PŘI SKLONU 30° (-45° ODPOVÍDÁ JIHOVÝCHODU) – PLOCHÝ NESELEKTIVNÍ KOLEKTOR                        | 27 |
| TAB. 6: HODNOTY SOLÁRNÍCH ZISKŮ VZTAŽENÉ NA PLOCHY APERTURY KOLEKTORU PŘI SKLONU 30° (-45° ODPOVÍDÁ JIHOVÝCHODU) – PLOCHÝ SELEKTIVNÍ KOLEKTOR                          | 28 |
| TAB. 7: HODNOTY SOLÁRNÍCH ZISKŮ VZTAŽENÉ NA PLOCHY APERTURY KOLEKTORU PŘI SKLONU 30° (-45° ODPOVÍDÁ JIHOVÝCHODU) – VAKUOVÝ TRUBICOVÝ KOLEKTOR                          | 29 |

## Seznam použitých symbolů a značek

|                    |                                                                                              |                                       |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| $Q_{s, den, teor}$ | Teoretické množství energie dopadající na plochu na den                                      | [Wh.m <sup>-2</sup> ]                 |
| $I$                | Intenzita celkového slunečního záření                                                        | [W.m <sup>-2</sup> ]                  |
| $I_P$              | Intenzita přímého slunečního záření                                                          | [W.m <sup>-2</sup> ]                  |
| $I_D$              | Intenzita difúzního slunečního záření                                                        | [W.m <sup>-2</sup> ]                  |
| $I_{stř}$          | Střední intenzita slunečního záření                                                          | [W.m <sup>-2</sup> ]                  |
| $\tau_1, \tau_2$   | Doba východu a západu Slunce                                                                 | [h]                                   |
| $\tau_{skut}$      | Skutečná doba slunečního svitu                                                               | [h]                                   |
| $A_A$              | Plocha absorbéru                                                                             | [m <sup>2</sup> ]                     |
| $A_a$              | Plocha apertury                                                                              | [m <sup>2</sup> ]                     |
| $A_G$              | Celková obrysová plocha kolektoru                                                            | [m <sup>2</sup> ]                     |
| $\dot{Q}_k$        | Výkon kolektoru                                                                              | [W]                                   |
| $\dot{M}$          | Hmotnostní průtok teplotnosné kapaliny kolektorem                                            | [kg.s <sup>-1</sup> ]                 |
| $c$                | Měrná tepelná kapacita teplotnosné kapaliny                                                  | [J/(kg.K)]                            |
| $t_{k1}$           | Teplota na vstupu do solárního kolektoru                                                     | [°C]                                  |
| $t_{k2}$           | Teplota na výstupu ze solárního kolektoru                                                    | [°C]                                  |
| $\eta$             | Účinnost solárního kolektoru                                                                 | [%]                                   |
| $G$                | Sluneční ozáření                                                                             | [W.m <sup>-2</sup> ]                  |
| $A_k$              | Vztažná plocha kolektoru                                                                     | [m <sup>2</sup> ]                     |
| $\eta_0$           | Optická účinnost kolektoru                                                                   | [%]                                   |
| $\alpha_1$         | Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru                                                 | [W/(m <sup>2</sup> .K)]               |
| $\alpha_2$         | Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru                                              | [W/(m <sup>2</sup> .K <sup>2</sup> )] |
| $t_m$              | Střední teplota teplotnosné látky                                                            | [°C]                                  |
| $t_e$              | Teplota okolí                                                                                | [°C]                                  |
| $\alpha$           | Absorptivita kolektoru                                                                       | [-]                                   |
| $\varepsilon$      | Emisivita kolektoru                                                                          | [-]                                   |
| $Q_{k,u}$          | Teoreticky využitelné zisky pro daný typ kolektoru                                           | [kWh]                                 |
| $q_{k,u}$          | Měrné teoreticky využitelné zisky pro daný typ kolektoru                                     | [kWh]                                 |
| $G_{T,m}$          | Střední denní sluneční ozáření pro daný sklon a orientaci                                    | [W/m <sup>2</sup> ]                   |
| $H_{T,den}$        | skutečná denní dávka slunečního ozáření                                                      | [kWh/(m <sup>2</sup> .den)]           |
| $n$                | počet dní v měsíci                                                                           | [den]                                 |
| $p$                | hodnota srážky z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát solární soustavy | [-]                                   |