



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

**FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE**

# **SOLÁRNÍ KOLEKTORY S VAKUOVÝMI TRUBICEMI**

SOLAR COLLECTORS WITH VACUUM TUBES

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BOHUMIL PETRUŠKA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. MICHAL JAROŠ, Dr.**

BRNO 2010



## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá solárními kolektory s vakuovými trubicemi. V první části popisuje funkci kolektorů, dále jsou porovnávány s jinými druhy solárních kolektorů, u kterých je uvedena vhodnost jejich použití. Je zde popsáno i teplotnosné médium, protože slouží k přenosu tepla a je tedy důležitým prvkem při chodu solárních kolektorů.

Poslední část práce se zabývá návrhem aplikace využití solárního kolektoru s vakuovými trubicemi včetně základní energetické a ekonomické kalkulace.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with solar collectors with vacuum tubes. The first part is focused on describing the function of the collectors, comparing with other types of solar collectors followed by specifications of their usage. Another topic is the heat transfer fluid that is used for transmission of heat, and therefore it is an important component of a collector.

The last part deals with an application concept of use of a vacuum tube solar collector, including basic energetic and economic calculation.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Fototermitické systémy, solární kolektory, vakuové trubice, absorbér, teplotnosné médium, tepelná trubice

## **KEYWORDS**

Photothermic systems, solar collectors, vacuum tubes, absorber, heat transfer fluid, heatpipe

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

PETRUŠKA, B. *Solární kolektory s vakuovými trubicemi*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 31 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Solární kolektory s vakuovými trubicemi vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

20. května 2010

.....  
Bohumil Petruška

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto doc. Ing. Michalu Jarošovi, Dr. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále chci tímto poděkovat svým rodičům za vytrvalou podporu během mého celého studia.

## OBSAH

<b>ÚVOD</b>	<b>8</b>
<b>1 SOLÁRNÍ ENERGIE</b>	<b>9</b>
1.1 Geometrie slunečního záření	9
1.2 Solární energie v ČR	9
<b>2 SOLÁRNÍ KOLEKTORY A JEJICH KOMPONENTY</b>	<b>10</b>
2.1 Absorbér	11
2.1 Kryty solárních kolektorů	13
2.3 Izolace	14
2.4 Teplonosné médium	14
<b>3 TYPY KOLEKTORŮ</b>	<b>15</b>
3.1 Kapalinové kolektory	15
3.1.1 Ploché nekryté kolektory	15
3.1.2 Ploché neselektivní kolektory	16
3.1.3 Ploché selektivní kolektory	16
3.1.4 Ploché vakuové kolektory	16
3.1.5 Kolektory s vakuovými trubicemi	17
3.1.6 Koncentrující kolektory	20
3.2 Vzduchové kolektory	20
<b>4 NÁVRH SOLÁRNÍHO KOLEKTORU</b>	<b>20</b>
<b>ZÁVĚR</b>	<b>28</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>29</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN</b>	<b>31</b>

## ÚVOD

V dnešní době je vysoká spotřeba neobnovitelných zdrojů surovin, jako je uhlí, ropa, zemní plyn. Tuto spotřebu lze snížit větším využíváním alternativních zdrojů energie, mezi které patří energie vody, geotermální energie, spalování biomasy, energie větru, tepelná čerpadla, energie příboje, přílivu oceánu a solární energie.

Solární energii lze využít dvojnásobem: pomocí fotovoltaických systémů můžeme vyrábět elektrickou energii nebo pomocí fototermických systémů energii tepelnou.

Fototermický systém zahrnuje velké množství součástí tvořících solární okruh. Nejdůležitější součástí solárního okruhu je solární kolektor.

Ve fototermických systémech dochází při pomalém průtoku kapaliny skrz solární kolektor k jejímu ohřevu a následnému přenosu tepelné energie do zásobníku teplé vody. Tuto akumulovanou tepelnou energii je možno využít na vytápění, pro ohřev užitkové vody nebo vody v bazénu.

Fototermické systémy pracují s několikanásobně vyšší účinností přeměny energie než kolektory fotovoltaické. Nejúčinnějšími fototermickými systémy jsou právě ty, které využívají solární kolektory s vakuovými trubicemi.

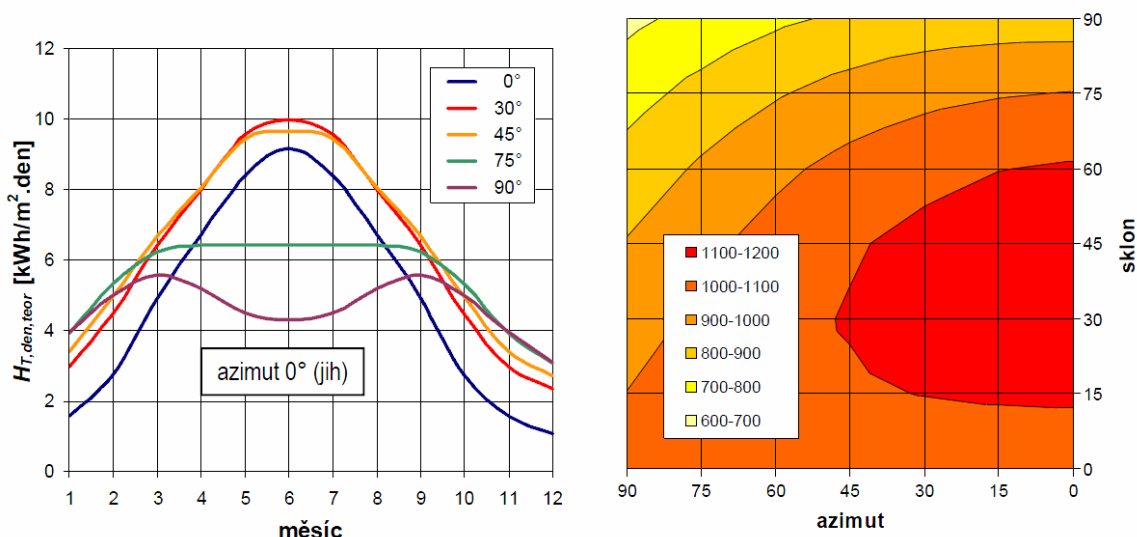


# 1 SOLÁRNÍ ENERGIE

Zdrojem solární energie je Slunce. Při termonukleární reakci v centrálních oblastech Slunce dochází k přeměně vodíku na helium. Čtyři protony vodíku se spojí a vytvoří jedno jádro hélia. Hmotnost vzniklého jádra je menší než hmotnost čtyř protonů vodíku. Rozdíl hmoty se při reakci vyzáří. Sluneční záření není cestou k Zemi ničím pohlcováno, dokud nevstoupí do atmosféry. V atmosféře se část záření pohltí, část se odrazí od mraků, částíček prachu a zemského povrchu a zbytek je pohlcen zemským povrchem (asi 47%). [4]

## 1.1 Geometrie slunečního záření

Množství solární energie dopadající na plochu kolektoru lze ovlivnit některými faktory, mezi které patří zeměpisná šířka instalace, orientace plochy (azimutu plochy) a úhel sklonu plochy. Vliv sklonu a azimutu plochy je vidět na obr. 1.1. Některé faktory ovlivnit nemůžeme, mezi ně patří: pohyb Země vzhledem ke Slunci a tím změnu úhlu dopadu slunečních paprsků během roku nebo dobu, kterou Slunce svítí. [4]



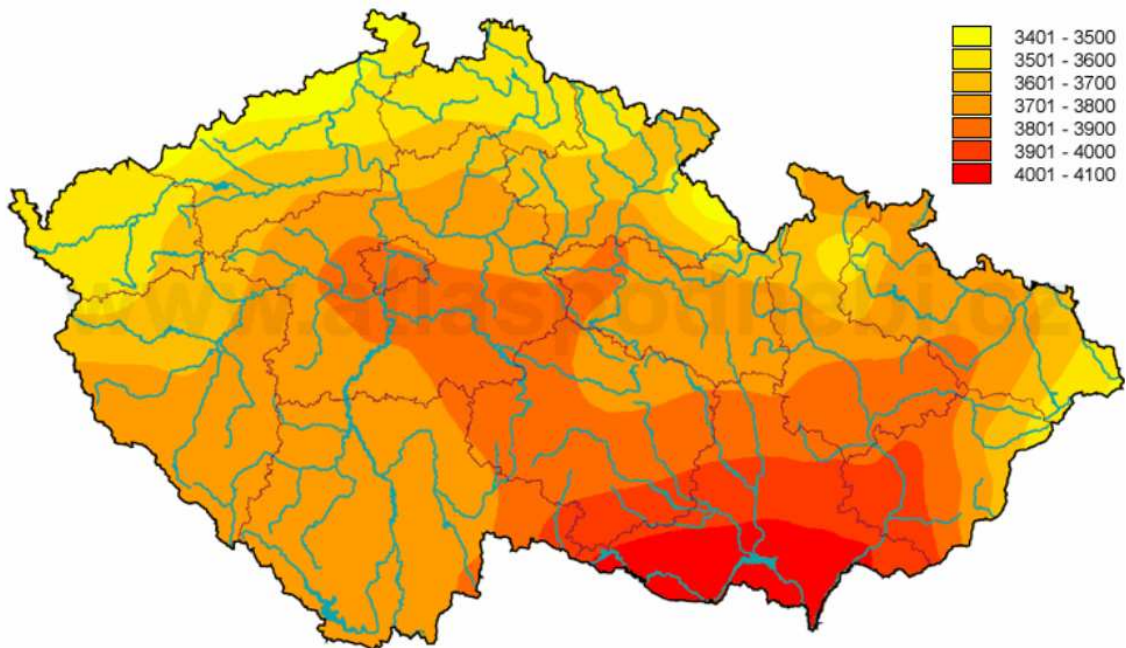
Obr. 1.1 Vliv sklonu a orientace plochy na teoretickou a skutečnou denní dávku slunečního ozáření [4]

## 1.2 Solární energie v ČR

V tabulce 1.1 [4] jsou uvedeny maximální hodnoty denních dávek slunečního ozáření v různých ročních obdobích v ČR při zcela jasném dni. Rozdíly v ozáření jsou dány různou dobou slunečního svitu v daných obdobích. Na obr. 1.2 [13] je znázorněno rozložení dopadající solární energie za celý rok v ČR.

Maximální dávka ozáření v létě	8 kWh/m <sup>2</sup> .den
Maximální dávka ozáření v zimě	3 kWh/m <sup>2</sup> .den
Maximální dávka ozáření v přechodovém období	5 kWh/m <sup>2</sup> .den

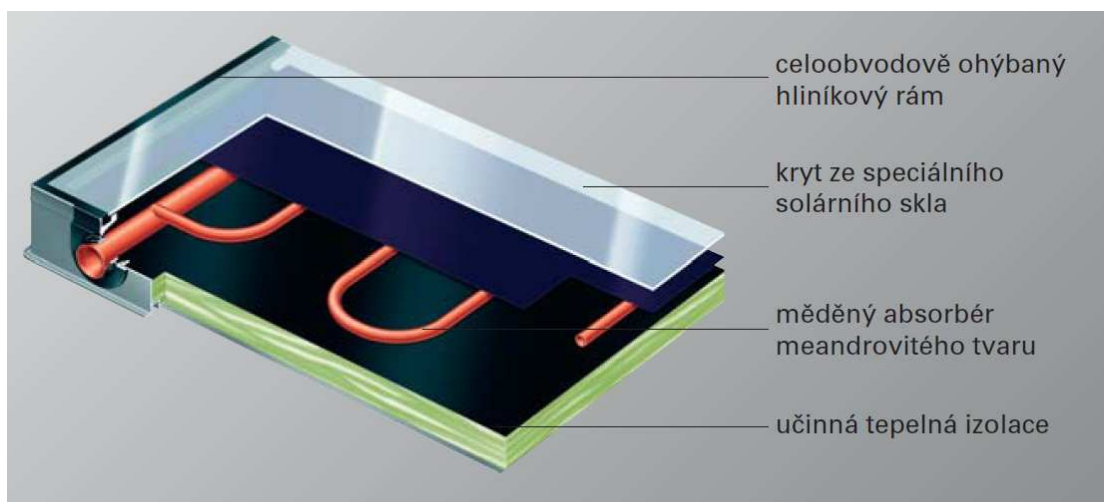
Tab. 1.1 Sluneční energie dopadající během roku [4]



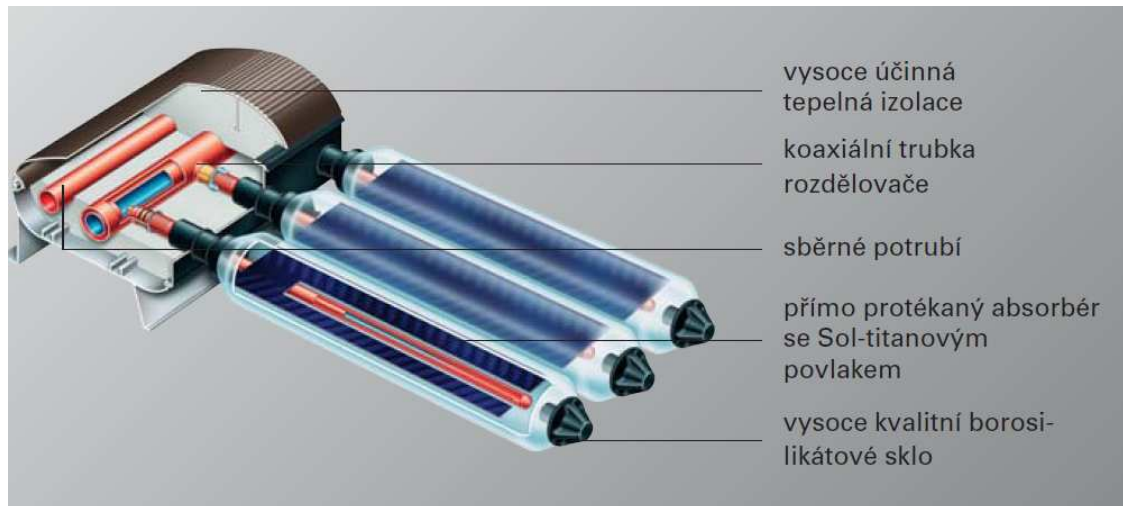
Obr.1.2 – Roční dávky slunečního záření na vodorovnou plochu v ČR [MJ/m<sup>2</sup>]. [13]

## 2 SOLÁRNÍ KOLEKTORY A JEJICH KOMPONENTY

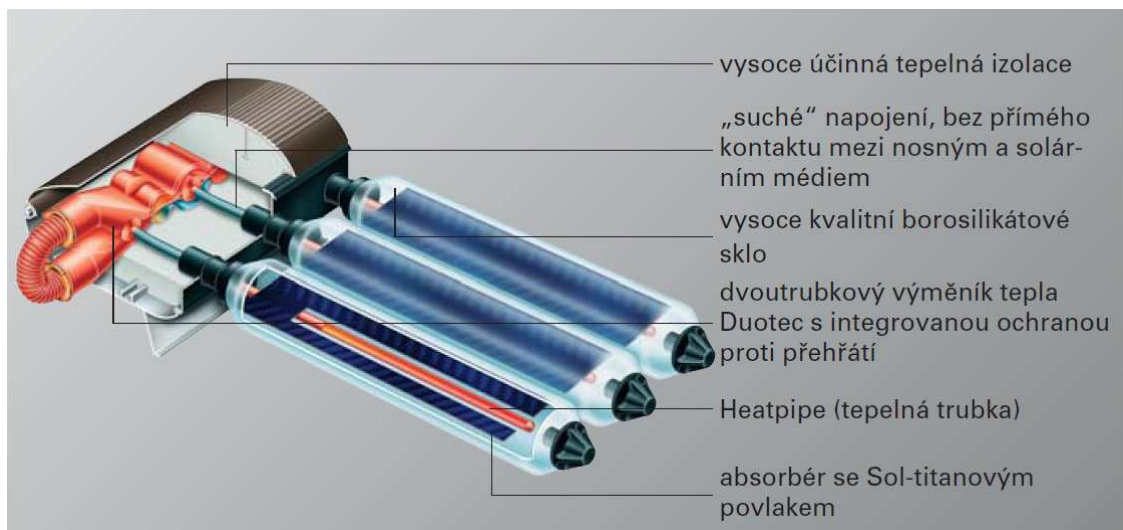
Nejdůležitější součástí fototermického systému je kolektor. Kolektor je ta část solárního okruhu, která slouží k ohřevu teplonosného média. Bývá umístěn na střeše, na stěně domu nebo na zemi. Kolektor je buď v podobě plochého panelu, nebo skupiny trubíc spojených sběracími trubkami. Většina solárních kolektorů se skládá z absorberu, transparentního krytu a izolace. Příklad složení plochého kolektoru je na obr. 2.1 a příklady složení trubcového kolektoru jsou na obrázcích 2.2 a 2.3. Tyto kolektory jsou rozebírány v další části práce. [1]



Obr. 2.1 Složení plochého kolektoru [6]



Obr. 2.2 Vakuové trubice s přímo protékaným absorbérem. [6]



Obr. 2.3 Vakuové trubice s absorbérem Heatpipe (tepelná trubka). [6]

## 2.1 Absorbér

Je obecně známo, že voda v hadici se na slunci ohřeje a že voda v černé hadici se ohřeje rychleji. Místo černé hadice lze použít černě nabarvenou kovovou desku. Černá deska uvnitř kolektoru pohlcuje záření a zahřívá se. Kromě toho, že dobře teplo absorbuje, stejně dobře ho i vyzařuje. Snažíme se tedy, aby absorbér co nejvíce záření pohltil a nejméně vyzářil a aby co nejlépe vedl teplo. Absorbér bývá z mědi nebo z hliníku. [2]

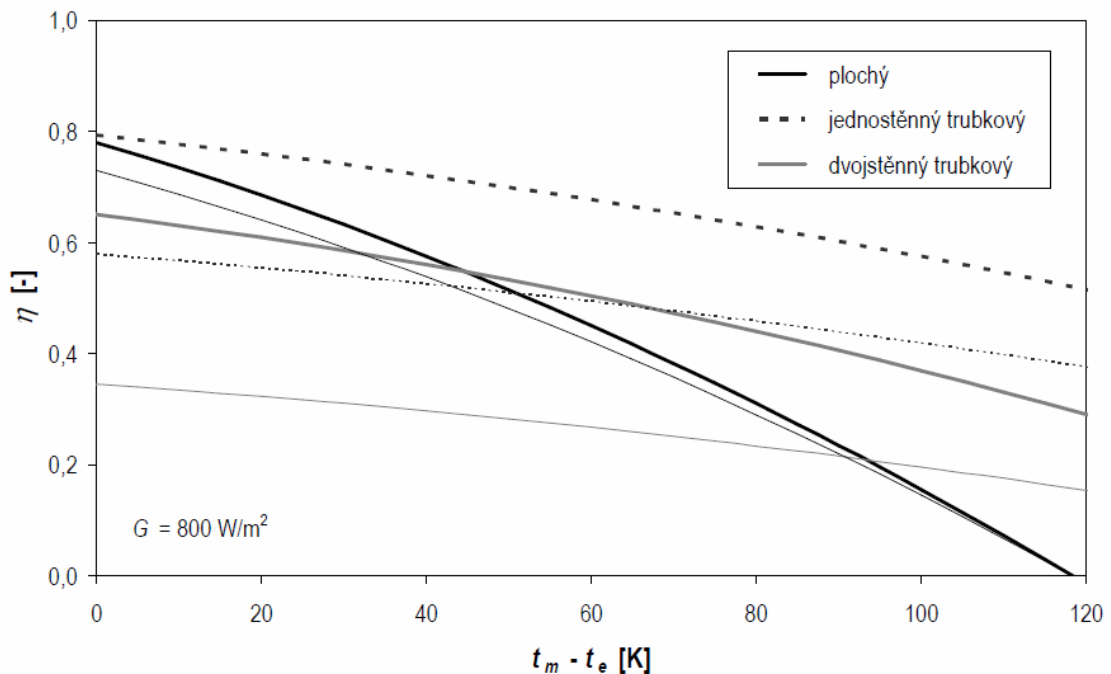
Absorbéry dělíme na ty, kterými přímo protéká médium, a na absorbéry s tepelnými trubkami. V tepelných trubkách je snadno se vypařující látka, například voda za sníženého tlaku nebo alkohol, která se vypaří. Pára stoupá do kondenzátoru, kde zkondenzuje a odevzdá teplo. Zkondenzovaná kapalina steče zpět do tepelné trubice a opět se ohřívá. U kolektoru s tepelnou trubicí dochází k tepelné výměně v místě uchycení vakuové trubice do sběrné trubky. V tomto místě je tedy potřeba, aby docházelo co nejlépe k přestupu tepla. Teplo je z kondenzátoru odváděno teplonosným

médiem, které dále pokračuje okruhem. Pro zaručení cirkulace odpařující se látky je podle zdroje [5] nutný minimální úhel sklonu kolektoru alespoň 25°. [5]

Ztráty vznikající zpětným vyzařováním tepla z absorberu lze snížit pokrytím absorberu selektivním nátěrem, který dobře pohlcuje záření v oblasti viditelného světla a má nízkou emisivitu v oblasti infračerveného záření. Jako selektivní nátěr se užívá černý chrom nebo pigmentovaný hliník. [2]

Teplota absorberu závisí na rychlosti chlazení teplotným médiem, které odvádí teplo ven z kolektoru. Proudící médium má při vstupu do kolektoru nejnižší teplotu a postupně se ohřívá. Při opuštění kolektoru je médium nejvíce ohřáté a proto nemá nikdy absorber po celé délce stejnou teplotu. [2]

Má-li absorber stejnou teplotu jako okolí, nemá žádné ztráty a má tedy maximální účinnost. Tepelné ztráty rostou s rozdílem teplot mezi absorberem a okolím, to je vidět na obrázcích 2.4, 2.5, 2.6.

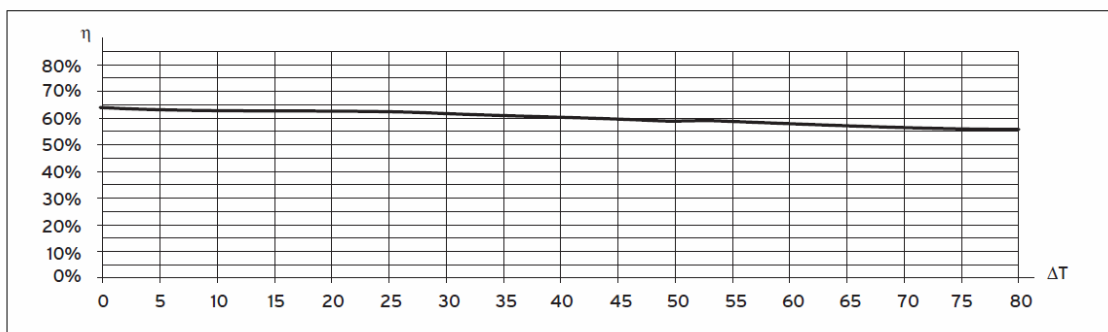


Obr. 2.4 Příklad křivek účinnosti jednotlivých typů kolektorů při ozáření 800  $\text{W/m}^2$ . [4]

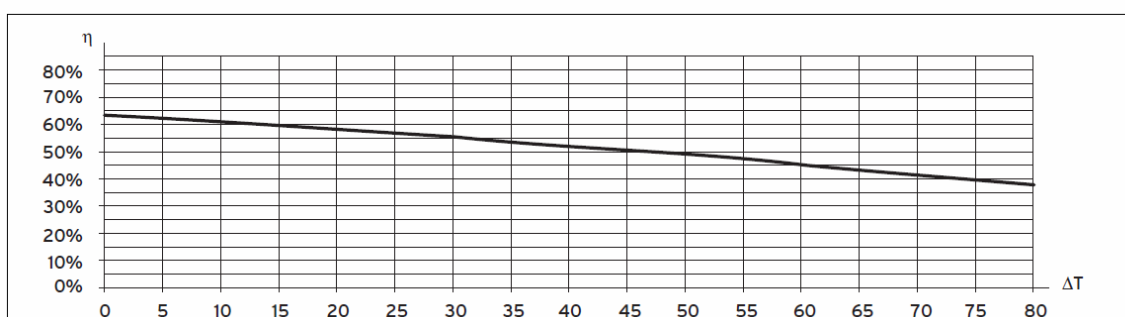
$\eta$  účinnost kolektoru

$t_m - t_e$  rozdíl mezi teplotou teplotného média kolektoru a teplotou okolí

$G$  ozáření kolektoru



Obr. 2.5 Příklad průběhu účinnosti solárních kolektorů s vakuovými trubicemi při ozáření  $800 \text{ W/m}^2$  [9]



Obr. 2.6 Příklad průběhu účinnosti solárních kolektorů s vakuovými trubicemi při ozáření  $300 \text{ W/m}^2$  [9]

$\eta$  účinnost kolektoru

$\Delta T$  rozdíl mezi teplotou teplonosného media kolektoru a teplotou okolí

Z grafů na obrázcích 2.5 a 2.6 je také vidět, že účinnost kolektorů nezávisí pouze na rozdílu teploty okolí a požadované teploty vody, ale i na míře ozáření kolektorů. Při menším ozáření ztrácí kolektory svoji účinnost rychleji. Dále lze usoudit, že trubicové kolektory jsou vhodné zejména do chladnějších oblastí, kde není mnoho slunečních dnů, protože se zde využije jejich vysoká účinnost.[4]

Je zřejmé, že pro vytápění se více hodí trubicové kolektory, protože plochý kolektor má při velkém rozdílu teplot v zimním období malou účinnost. [4]

## 2.2 Kryty solárních kolektorů

Některé kolektory mají z čelní strany kryt. Kryt by měl sluneční záření co nejméně pohlcovat a odrážet, to znamená, že by ho měl co nejvíce propouštět. K lomu světla a odrazu dochází na obou rozhraních krytu. Kryt by měl také zadržovat zpětné záření absorberu a tím snižovat ztráty. [2]

Sluneční záření dopadající na průhledný kryt kolektoru se na obou rozhraních odrazí a část je pohlcena skleněným krytem. Velikost ztrát odrazem závisí na úhlu

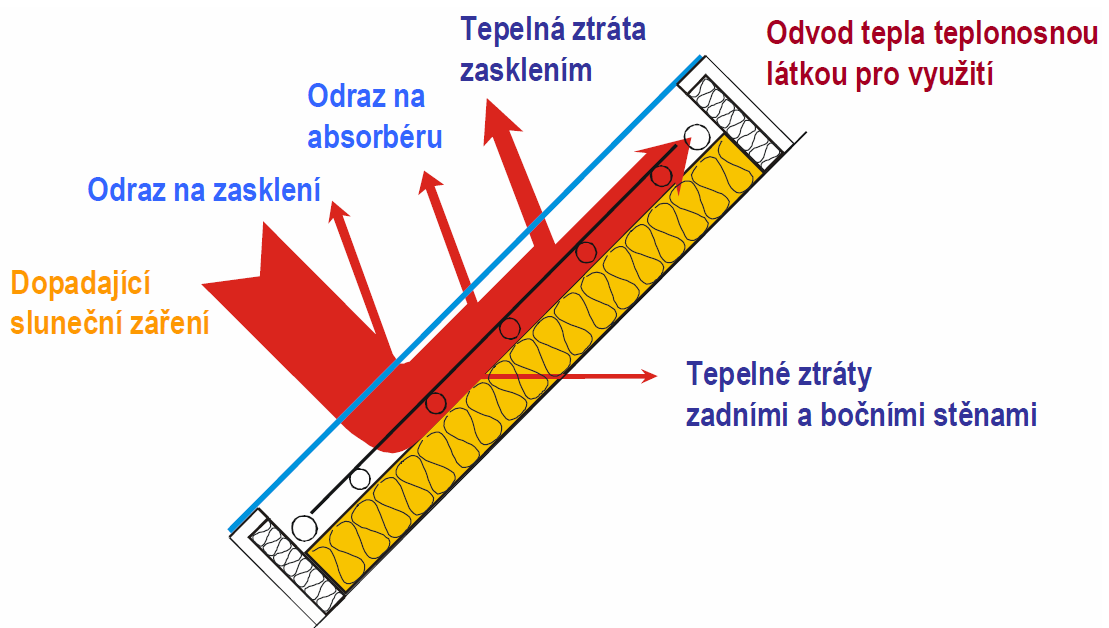
dopadu a na počtu vrstev krytu. Ztráty jsou tím větší, čím menší je propustnost daného materiálu. [2]

Plastové materiály nejsou příliš vhodné, postupem času stárnou vlivem působení UV-záření a pohlcují více světla, proto se více užívají trvanlivější skleněné kryty. Neužívá se však běžné sklo, protože běžná skla obsahují železo, které pohlcuje část záření. Minimální obsah železa poznáme tak, že sklo se z žádného úhlu nejeví jako zelenavé. Použité sklo bývá i mírně hrbolaté, aby se nelesklo. [2]

Také kryt má vliv na účinnost. Na obr. 2.4 jsme mohli vidět porovnání účinností jednotlivých provedení trubkových kolektorů a plochého kolektoru. Nejvyšší účinnost má jednostěnný trubkový vakuový kolektor, hůře je na tom dvojtěnný trubkový kolektor, protože ztráty vzniklé v důsledku pohlcení záření krytem a odrazem záření od dvojnásobného počtu rozhraní je větší než u jednostěnných trubek. [4]

## 2.3 Izolace

Neméně důležitou součástí kolektorů je izolace. Je možné použít minerální vlnu na izolaci odvrácené strany kolektoru, aby nebyl ochlazován vzduchem ze zadní strany. Chceme-li zamezit unikání tepla z přední strany kolektoru, musíme užít vakuum. Izolací redukuje ztráty tepla vedením (kondukcí) nebo prouděním (konvekcí) do okolí.[2]



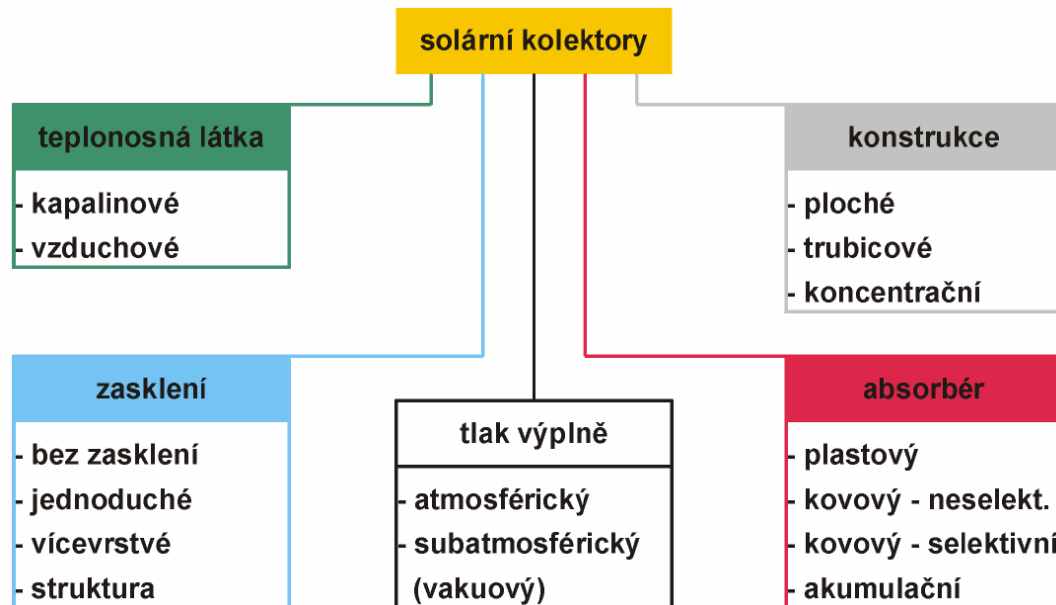
Obr. 2.7 Schéma energetické bilance kolektoru [4]

## 2.4 Teplonosné médium

Úkolem teplonosného média je transportovat teplo z kolektoru do zásobníku nebo rovnou k uživateli. Na teplonosné médium máme tyto požadavky: v oblasti provozních teplot nesmí docházet k varu, mělo by mít velkou měrnou tepelnou kapacitu, nemělo by v zimě zamrzat a nemělo by mít korozivní účinky. Z požadavků vyplývá, že samotná voda není příliš vhodným médiem, proto se do ní přidávají inhibitory a nemrzoucí kapaliny, nejčastěji etylenglykol a propylenglykol.[2]

### 3 TYPY KOLEKTORŮ

Solární kolektor slouží k pohlcování slunečního záření a jeho přeměňování na tepelnou energii. Tato energie je předávána teplotněmu médiu. Solární kolektory lze rozdělit podle různých hledisek, jak je uvedeno na obr. 3.1.[4]



Obr. 3.1 Rozdělení solárních kolektorů [4]

#### 3.1 Kapalinové kolektory

Z obr. 3.1 vyplývá, že existuje mnoho kombinací solárních kolektorů. V praxi se můžeme setkat s těmito konstrukčními kombinacemi kapalinových kolektorů:

- ploché nekryté kolektory
- ploché neselektivní kolektory
- ploché selektivní kolektory
- ploché vakuové kolektory
- trubicové vakuové kolektory
- koncentrační kolektory

S těmi to kolektory se blíže seznámíme v další části práce

##### 3.1.1 Ploché nekryté kolektory

Nejjednodušší konstrukcí kapalinových kolektorů jsou kolektory tvořené pouze absorberem v podobě rohože s kanálky. Tyto kolektory mají malou účinnost, která je výrazně ovlivňovaná okolním prostředím (teplotou okolí, rychlostí větru). Hodí se spíše pro sezónní ohřev vody v bazénech než k vytápění nebo k celoročnímu ohřevu teplé užitkové vody. [2]

Na druhou stranu mají lepší optické vlastnosti, protože záření není pohlcováno skleněným krytem a ani se od něj neodráží. [4]

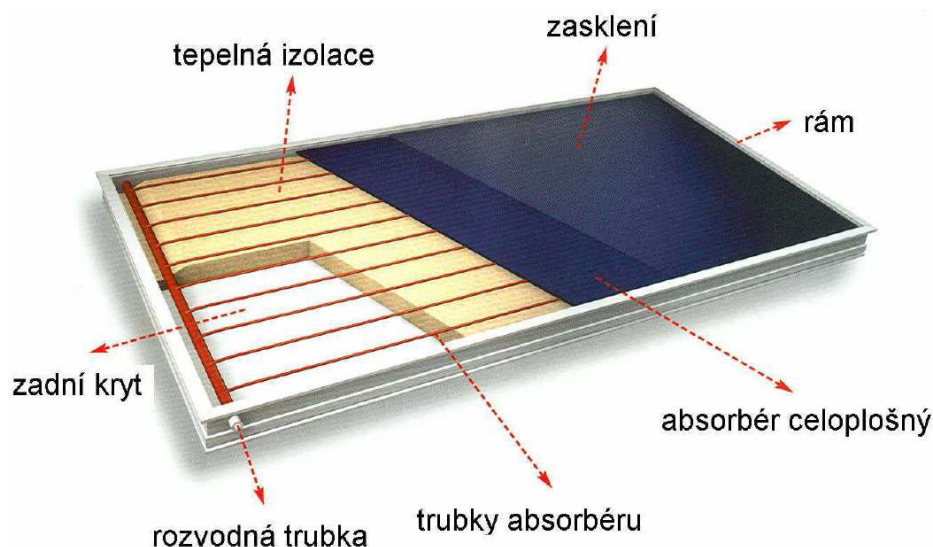
### 3.1.2 Ploché neselektivní kolektory

Plochý neselektivní kolektor bývá pevné konstrukce, zasklený a s kovovým absorberem s neselektivním černým nátěrem. Není vakuovaný. Opět se hodí jen k sezónnímu ohřevu, protože v zimě hrozí zamrzání kolektoru. Výhodou všech plochých zasklených kolektorů je možnost jejich zabudování přímo do střechy nebo fasády budovy. [4]

### 3.1.3 Ploché selektivní kolektory

Tento kolektor je stejné konstrukce jako plochý neselektivní kolektor. Jediným rozdílem je to, že absorber je opatřen selektivním nátěrem, který zvyšuje účinnost kolektoru. [4]

### 3.1.4 Ploché vakuové kolektory



Obr. 3.2 Řez plochým solárním kolektorem [4]

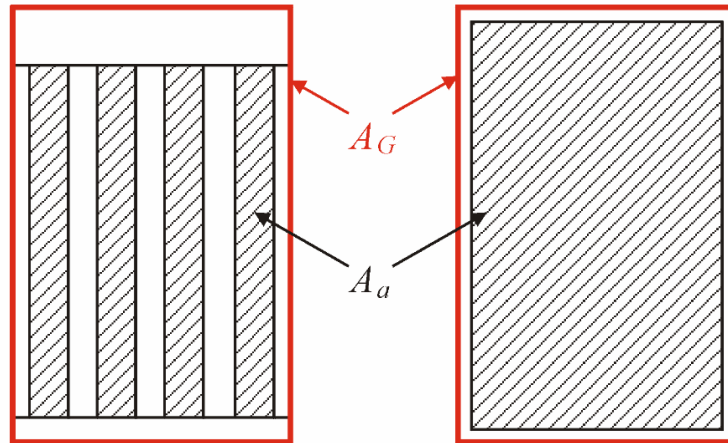
Společným znakem všech vakuových kolektorů je zabránění konvekce (nemá co proudit) a kondukce (nemá co vést tepelnou energii). Mají vysokou účinnost a mohou pracovat i za zamračených dnů a za chladnějšího počasí. Další výhodou těchto systémů je, že vakuum zabraňuje kondenzaci na vnitřní straně skleněného krytu. Nestane se tedy, že by se kolektor z vnitřní strany skleněného krytu orosil, což se může stát u některých typech nevakuových kolektorů. [2]

Ploché vakuové kolektory jsou obdobou trubicových vakuových kolektorů, které budou představeny v další kapitole. Nevýhodou plochých vakuových kolektorů je nedokonalé vakuum. Tyto kolektory by měly být vybaveny ventilem na dodatečné vyčerpání vzduchu. Základem kolektoru je bezešvá vana, svrchu je skleněná tabule a uvnitř je absorber. Celá konstrukce je utěsněna rámem kolektoru. Absorbér je obdobný



těm u solárních kolektorů s vakuovými trubicemi. Příklad plochého vakuového kolektoru je na obr.2.1. [2,4]

Další rozdíl mezi plochými a trubicovými kolektory je ve velikosti plochy apertury. Apertura je plocha, kterou prochází světlo skrz skleněný kryt. U trubicového kolektoru je to plocha průmětu vnější krycí trubky. O něco menší než plocha apertury bývá plocha absorberu. Zbytek plochy kolektoru (bez plochy absorberu) je neúčinná plocha. Trubicové kolektory vykazují větší podíl této neúčinné plochy na celkové zastavěné ploše na střeše než ploché kolektory. [4]



Obr.3.3 Srovnání plochy apertury u trubicového kolektoru a kolektoru plochého [4]

$A_G$  Průmět obrysu kolektoru (obrysová plocha)  
 $A_a$  Plocha otvoru, kterým vstupuje záření do kolektoru (plocha apertury)

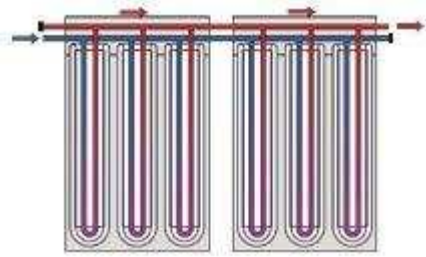
### 3.1.5 Kolektory s vakuovými trubicemi



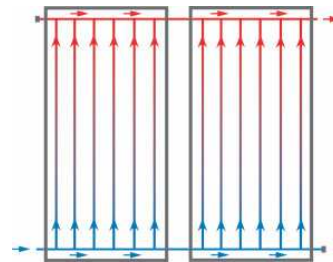
Obr. 3.4 Kolektory s vakuovými trubicemi [17]

Kolektory s vakuovými trubicemi bývají tvořeny obvykle svisle uspořádanou řadou trubic. Trubice jsou připojeny na sběrné potrubí. To může být připojeno buď jenom z vrchní strany, nebo z obou stran (zespodu a svrchu). Častěji se setkáváme

s prvním případem, protože je konstrukčně jednodušší vést dvě trubky vedle sebe než každou trubku zvlášť. [2]



Obr. 3.5 Schéma zapojení kolektoru se sběrným potrubím v horní části [12]

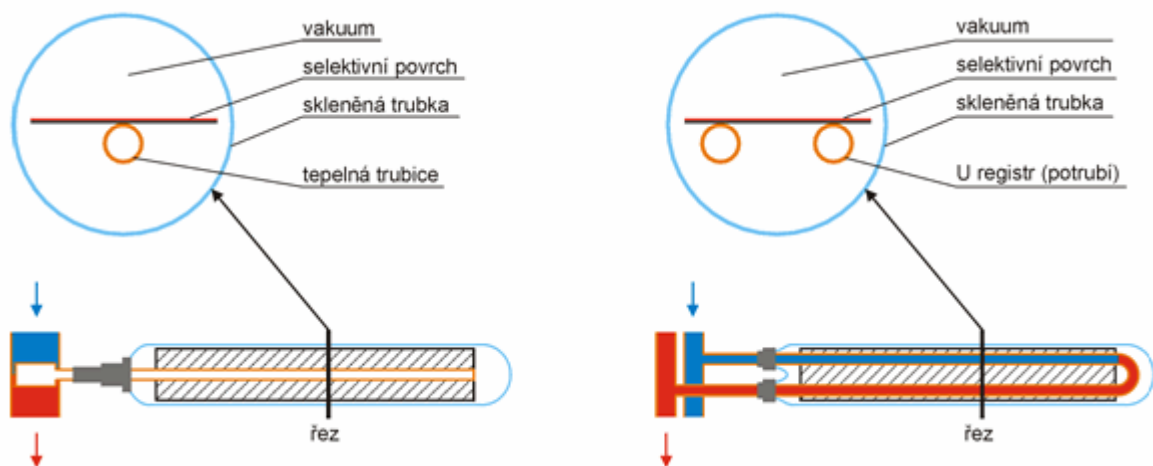


Obr. 3.6 Schéma zapojení kolektoru se sběrným potrubím v horní i spodní části [11]

Dále se budeme zabývat kolektory se způsobem zapojení sběrné trubice pouze z vrchní části, protože je praktičtější a více používané. V současnosti existuje mnoho druhů solárních kolektorů s vakuovými trubicemi s tímto způsobem zapojení. Tyto typy kolektorů se liší konstrukcí nebo způsobem provedení absorbéru a lze je rozdělit na dva základní: kolektory s jednotěnnou vakuovou trubicí a kolektory s dvoustěnnou vakuovou trubicí. [3]

### Jednotěnné vakuové trubice

Hlavními součástmi jednotěnných vakuových trubic jsou jednoduchá skleněná trubice a absorbér tvořený plochou lamelou, ke které je připevněna měděná trubka. Vakuum je zde vytvořeno mezi skleněnou trubicí a absorbérem. Tyto kolektory lze dále rozdělit podle typu absorbéru na: vakuové kolektory s tepelnou trubicí a vakuové kolektory s přímo protékajícím absorbérem ve tvaru U. [4]



Obr. 3.7 Jednotěnný trubkový vakuový kolektor s tepelnou trubicí (vlevo) a přímo protékající U-smyčkou (vpravo). [3]

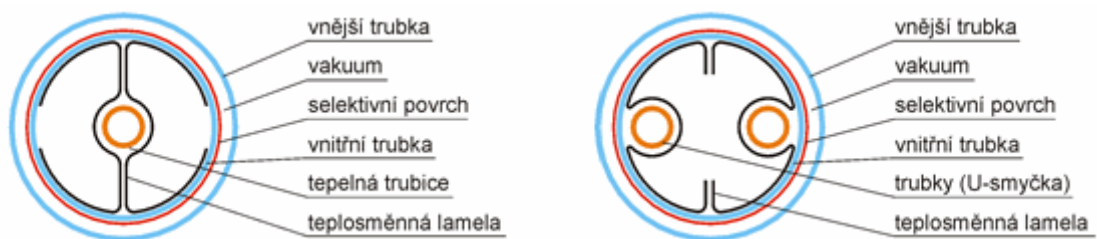
Napojení trubic je možné realizovat bez přímého kontaktu teplotně nosného média solárního okruhu a solárního kolektoru, tzv. suché napojení. Pokud solárním okruhem i

solárním kolektorem protéká totéž médium, pak nazýváme toto napojení mokré. Suché napojení trubic umožňuje výměnu jednotlivých trubic i za provozu. [6]

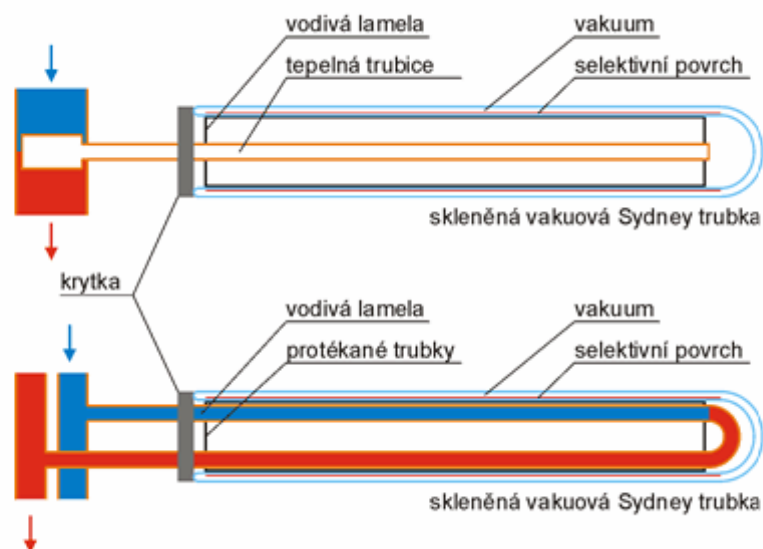
### Dvoustěnné vakuové trubice

Základem tohoto typu kolektoru je dvojstěnná tzv. Sydney trubka tvořená dvěma sousými skleněnými trubicemi, mezi kterými je vakuum. Dalším rozdílem oproti kolektorům tvořeným jednostěnnými trubkami je, že absorbér umístěný do vnitřní trubky bývá válcového tvaru. [4]

Obdobně jako u jednostěnných trubkových kolektorů dělíme dvoustěnné trubkové kolektory podle konstrukčního provedení absorbéru na: vakuové kolektory s tepelnou trubicí a vakuové kolektory s přímo protékaným absorbérem ve tvaru U. [4]



Obr. 3.8 Řez vakuovou trubicí s tepelnou trubicí (vlevo) a přímo protékanou U-trubicí (vpravo) [3]



Obr. 3.9 Podélný řez vakuovou trubicí s tepelnou trubicí (nahore) a přímo protékanou U-trubicí (dole). [3]

### 3.1.6 Koncentrující kolektory



Obr. 3.10 Koncentrující kolektory s bodový ohniskem (vlevo) s lineárním ohniskem (vpravo) [4]

Koncentrující kolektory fungují na principu soustředění záření do jednoho bodu (ohniska), ve kterém je umístěn přijímač například v podobě přímo protékaného měděného absorbéru. [2]

Pomocí koncentrace slunečního záření do ohniska dosahujeme vysokých teplot. Lze soustředit pouze přímé záření, a proto je jejich nevýhodou to, že mimo slunečné období je jejich účinnost nízká. Další nevýhodou je nutnost použití složitých mechanismů k naklápění zrcadel tak, aby se absorbér nacházel stále v ohnisku. Kromě parabolických zrcadel lze použít zrcadlové žlaby otočné kolem jedné osy, či pevných zrcadel a pohybujícího se přijímače.[2]

## 3.2 Vzduchové kolektory

Vzduchové kolektory jsou konstrukcí podobné kolektorům plochým, až na rozdíl, že absorbérem proudí vzduch. Pro přenos srovnatelného množství tepla jako u kapalinových kolektorů musí být kolektory většího průřezu, protože vzduch má mnohem menší tepelnou kapacitu než voda, a proto přeneše také méně tepla. U těchto kolektorů je potřeba ventilátorů, které ženou okruhem ohřátý vzduch. Na pohon ventilátorů je potřeba více energie než na pohon čerpadel u kapalinových kolektorů, z toho vyplývá, že vzduchové kolektory jsou méně hospodárné. Na druhou stranu mají i některé výhody. V zimě nemohou zamrznout, materiály ve styku se vzduchem tolik nekorodují jako ve styku s vodou a tak lze použít levnější materiály. [2]

Vzduchové kolektory mohou být přimontovány na zeď domu, zde se ohřívá vzduch vlivem záření a zároveň se může odvádět teplo unikající z domu prostupem tepla přes zeď zpět do domu. Používají se hlavně tam, kde je vzduchové vytápění: v tělocvičnách nebo halách. [2]

## 4 NÁVRH SOLÁRNÍHO KOLEKTORU

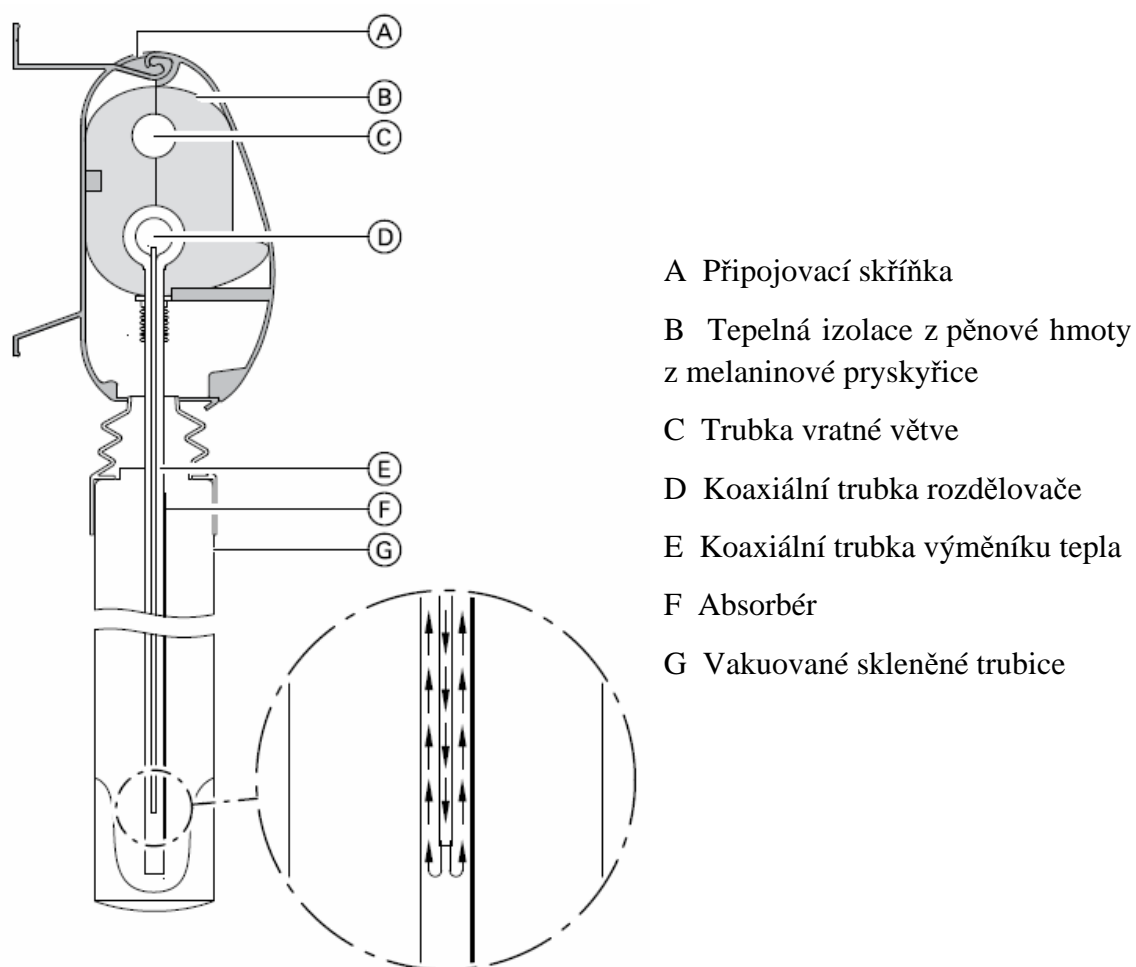
Při návrhu solárního kolektoru bylo použito výpočtového postupu a vzorců uvedených ve zdroji [8]. Veškeré výpočty byly provedeny v programu Excel. Tyto výpočty jsou provedeny jako podklad pro energetické a ekonomické zhodnocení kolektoru. Podobné hodnocení by mělo předcházet jakékoliv instalaci solárního

systemu. Výpočty uvedené v této práci jsou zjednodušené. Výpočet nezahrnuje velikost akumulčního zásobníku a uvažuje konstantní teplotu vody v zásobníku. Ve výpočtu jsou zahrnuty také ztráty systému v podobě korekční konstanty. Uvažování ztrát v podobě pouze jednoho čísla vede k nepřesnostem. Přesnější výsledky by bylo možné získat podrobnější výpočtovou metodikou nebo pomocí simulačních softwarů, které jsou schopny zohlednit dynamiku solárních soustav s krokem kratším než jedna hodina. [8]

V této části práce je návrh kolektoru pro ohřev teplé vody pro šestičlennou domácnost. Prvním krokem je výběr typu kolektoru. V této práci byl zvolen kolektor s označením Vitosol 200-T od firmy Viessmann.

### Kolektor Vitosol 200-T od firmy Viessmann

Představíme si tento kolektor, protože byl vybrán při návrhu solárního kolektoru a v další části je pro něj provedena energetická a ekonomická kalkulace.



Obr. 4.1 Schéma vakuových trubec s přímo protékajícím absorptérem a nástrčným systémem upevnění trubec [7]

Tento kolektor má přímo protékající absorptér. Budeme uvažovat, že kolektor bude umístěn pod úhlem  $45^\circ$  a bude natočen na jih. Nejdůležitější je určit velikost a počet kolektorů v soustavě na základě výpočtů, kterým se budeme dále věnovat.

Trubice těchto kolektorů se dají jednoduše a rychle montovat bez potřeby použití nářadí. Trubice se zasune do trubky rozdělovače a zajistí. Jednotlivými trubicemi se dá otáčet a nasměrovat je tak optimálně ke slunci. Kolektory jsou mezi sebou spojeny pomocí nástrčných konektorových vlnitých trubek z ušlechtilé oceli. Na obr. 4.2 je vidět tento nástrčný systém.

Tyto kolektory se odlišují od ostatních přímo protékaných kolektorů v tom, že neužívají absorbér s měděnou trubicí ve tvaru U, ale koaxiální trubici. Na obrázku 4.1 je vidět, že vnitřní trubicí voda přitéká a vnější trubicí voda odtéká.



Obr. 4.2 Nástrčný systém vakuových trubic s přímo protékaným absorbérem [6]

Výhodou přímo protékaných kolektorů je možnost instalace i na vodorovné plochy. Další výhodou tohoto provedení je možnost optimálního natočení trubic ke Slunci.

VITOSOL 200-T vakuový trubicový přímo protékaný kolektor		
<b>Počet trubic</b>	20	30
<b>Celková plocha m<sup>2</sup></b>	2,88	4,32
<b>Plocha absorbéru m<sup>2</sup></b>	2,01	3,02
<b>Plocha apertury m<sup>2</sup></b>	2,14	3,23
<b>Rozměry (celkem) šířka [mm]</b>	1418	2127
výška [mm]	2031	2031
hloubka [mm]	143	143
<b>Hmotnost (s tepelnou izolací) kg</b>	51	76
<b>Optická účinnost <math>\eta_0</math> [%]</b>	78,9	79,1
<b>Lineární souč. tepelných ztrát <math>a_1</math> [W/m<sup>2</sup>K]</b>	1,36	1,10
<b>Kvadratický souč. t. ztrát <math>a_2</math> [W/m<sup>2</sup>K<sup>2</sup>]</b>	0,0075	0,0076
<b>Cena</b>	47 129,28 Kč [10]	70 519,68 Kč [10]

Tab. 4.1 Parametry kolektorů Vitosol 200-T. [7]

### Stanovení potřeby tepla

Nejprve musíme stanovit, celkové množství tepla na přípravu teplé vody  $Q_{p,TV}$  [kWh/měs]. Budeme vycházet z průměrných hodnot v jednotlivých měsících, protože každý den dopadá sluneční záření pod jiným úhlem a po jinou dobu. [8]

měsíc	n	$\tau_s$ [h/den]	$t_{ep}$ [°C]	$t_{es}$ [°C]	$t_{en}$ [°C]	$H_{T,den}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	$G_{T,m}$ [W/m <sup>2</sup> ]
1	31	8	-1,5	2,2	-3,5	1,10	418
2	28	10	0,0	3,4	-2,3	1,97	489
3	31	12	3,2	6,5	0,1	3,20	535
4	30	14	8,8	12,1	4,5	3,96	527
5	31	15	13,6	16,6	8,4	4,84	521
6	30	16	17,3	20,6	10,5	5,29	517
7	31	16	19,2	22,5	12,9	5,19	512
8	31	14	18,6	22,6	12,7	4,71	515
9	30	12	14,9	19,4	10,0	3,95	516
10	31	11	9,4	13,8	5,9	2,40	488
11	30	9	3,2	7,3	0,8	1,21	427
12	31	8	-0,2	3,5	-2,0	0,77	387

Tab. 4.2 Potřebné hodnoty pro výpočet potřeby tepla a tepla vyrobeného kolektorem (veškeré hodnoty jsou získány ze zdroje [8])

n	počet dní v daném měsíci
$\tau_s$	teoretická doba slunečního svitu
$t_{ep}$	střední měsíční venkovní teplota
$t_{es}$	střední teplota v době slunečního svitu
$t_{en}$	střední teplota v noci
$H_{T,den}$	skutečná denní dávka slunečního ozáření (pro úhel sklonu kolektoru 45° a orientaci na jih), v kWh/m <sup>2</sup> den;
$G_{T,m}$	střední denní sluneční ozáření uvažované plochy solárních kolektorů (pro úhel sklonu kolektoru 45° a orientace na jih), ve W/m <sup>2</sup> ;

Nejprve vypočítáme hodnoty potřeb tepla v jednotlivých měsících podle vzorce (1). Jejich součtem dostaneme energii potřebnou pro celoroční ohřev teplé vody. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 4.4 a 4.5.

$$Q_{p,TV} = (1+z) \frac{nV_{TV,den} \rho c (t_{TV} - t_{SV})}{3,6 \cdot 10^6} \quad (1)$$

$n$	je počet dní v daném měsíci
$V_{TV,den}$	průměrná denní potřeba teplé vody (při teplotním spádu 60 / 15 °C) v m <sup>3</sup> /den, ze zdroje [8] byla stanovena průměrná denní spotřeba teplé vody na 30 l/os.den = 0,03m <sup>3</sup> /os.den. Pro šest osob platí: $V_{TV,den}=0,03*6=0,18m^3/den$
$\rho$	hustota vody, v kg/m <sup>3</sup> ( $\rho = 1000kg/m^3$ );
$c$	měrná tepelná kapacita vody, v J/kgK (pro vodu $c = 4200 J/kgK$ );
$t_{SV}$	teplota studené vody, uvažována 15 °C;
$t_{TV}$	teplota teplé vody, uvažována 60 °C;
$z$	přírážka na tepelné ztráty související s přípravou teplé vody ze zdroje [8] $z=0,15$

### Stanovení využitelných tepelných zisků solární soustavy

Podle vzorce (2) vypočteme množství tepla, které kolektor vyrobí v daném měsíci. Neznáme hodnotu průměrné denní účinnosti  $\eta_k$  v určitém měsíci, tu vypočítáme pomocí vzorce (3) a sestavíme tabulku 4.3. Potom můžeme dopočítat množství tepla  $Q_{k,u}$  vyrobené v daném měsíci, výsledné hodnoty jsou zapsány v tabulkách 4.4 a 4.5.

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot n \cdot H_{T,den} \cdot A_k \cdot (1 - p) \quad (2)$$

$\eta_k$	je průměrná denní (měsíční) účinnost solárního kolektoru
$n$	počet dnů v měsíci
$H_{T,den}$	skutečná denní dávka slunečního ozáření (v tabulce 4.2) v kWh/m <sup>2</sup> .den;
$A_k$	plocha apertury solárního kolektoru (v tabulce 4.1) v m <sup>2</sup> ;
$p$	hodnota srážky tepelných zisků z kolektoru vlivem tepelných ztrát solární soustavy (rozvody, solární zásobník), (ze zdroje [8] $p=0,2$ )

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \left( \frac{t_{k,m} - t_{es}}{G_{T,m}} \right) - a_2 \frac{(t_{k,m} - t_{es})^2}{G_{T,m}} \quad (3)$$

$\eta_k$	průměrná denní účinnost
$\eta_0$	optická účinnost
$G_{T,m}$	je střední denní sluneční ozáření uvažované plochy solárních kolektorů (hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.2), ve W/m <sup>2</sup>
$t_{k,m}$	průměrná teplota teplotonosné kapaliny v solárních kolektorech v průběhu dne, v °C, zdroj [8] udává hodnotu teploty teplotonosné kapaliny 40°C
$t_{es}$	průměrná venkovní teplota v době slunečního svitu, v °C (hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.2).
$a_1$	lineární součinitel tepelných ztrát (hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.1) ve W/m <sup>2</sup> K
$a_2$	kvadratický součinitel tepelných ztrát (hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.1) ve W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>



měsíc	$\eta_k$ (pro 20 trubic)	$\eta_k$ (pro 30 trubic)
1	0,664	0,666
2	0,686	0,688
3	0,704	0,706
4	0,720	0,722
5	0,732	0,734
6	0,742	0,744
7	0,747	0,749
8	0,747	0,749
9	0,739	0,741
10	0,719	0,721
11	0,686	0,688
12	0,659	0,661

Tab. 4.3 Průměrná denní účinnost  $\eta_k$  (u kolektoru s 20/30 trubicemi)

měsíc	$Q_{p,TV}$ [kWh/měs]	$Q_{k,u}$ [kWh/měs]	Chybějící teplo [kWh/měs]
1	336,9	65,69	271,20
2	304,3	109,82	194,47
3	336,9	202,76	134,13
4	326,0	248,10	77,92
5	336,9	318,59	18,30
6	326,0	341,84	-15,81
7	336,9	348,73	-11,83
8	336,9	316,69	20,20
9	326,0	254,10	71,93
10	336,9	155,32	181,58
11	326,0	72,26	253,77
12	336,9	45,67	291,22
Celkem za rok	3966,6 kWh/rok	2472,76 kWh/rok	1493,88 kWh/rok

Tab. 4.4 Vypočtené hodnoty pro 2 kolektory Vitosol 200-T po 20 trubicích

$Q_{p,TV}$  množství tepla potřebné pro ohřev teplé vody  
 $Q_{k,u}$  množství tepla vyrobené kolektorem

měsíc	$Q_{p,TV}$ [kWh/měs]	$Q_{k,u}$ [kWh/měs]	Chybějící teplo [kWh/měs]
1	336,9	49,35	287,54
2	304,3	82,50	221,79
3	336,9	152,32	184,57
4	326,0	186,39	139,64
5	336,9	239,34	97,56
6	326,0	256,80	69,22
7	336,9	261,98	74,91
8	336,9	237,91	98,98
9	326,0	190,89	135,14
10	336,9	116,68	220,21
11	326,0	54,28	271,74
12	336,9	34,31	302,58
Celkem za rok	3966,6 kWh/rok	1857,64 kWh/rok	2109,00 kWh/rok

Tab. 4.5 Vypočtené hodnoty pro 1 kolektor Vitosol 200-T po 30 trubicích

$Q_{p,TV}$  množství tepla potřebné pro ohřev teplé vody  
 $Q_{k,u}$  množství tepla vyrobené kolektorem

Je možné použít oba systémy, buď se dvěma kolektory po 20 trubicích, nebo jeden kolektor po 30 trubicích. V prvním případě vyrobí kolektory v létě více tepla, než bude potřeba. V důsledku toho je nutné provést opatření, aby nedošlo k přehřátí systému. Pokud bychom tak neučinili, voda by se mohla začít vypařovat a napáchat škody na zařízení. Možná opatření proti přehřátí systému podle zdroje [2] jsou: chlazení zásobníku systémem pro vytápění (do zásobníku teplé vody je instalován tepelný výměník, který odvádí teplo do systému na vytápění), odvod přebytečného tepla do bazénu, chlazení systému provozem v noci.

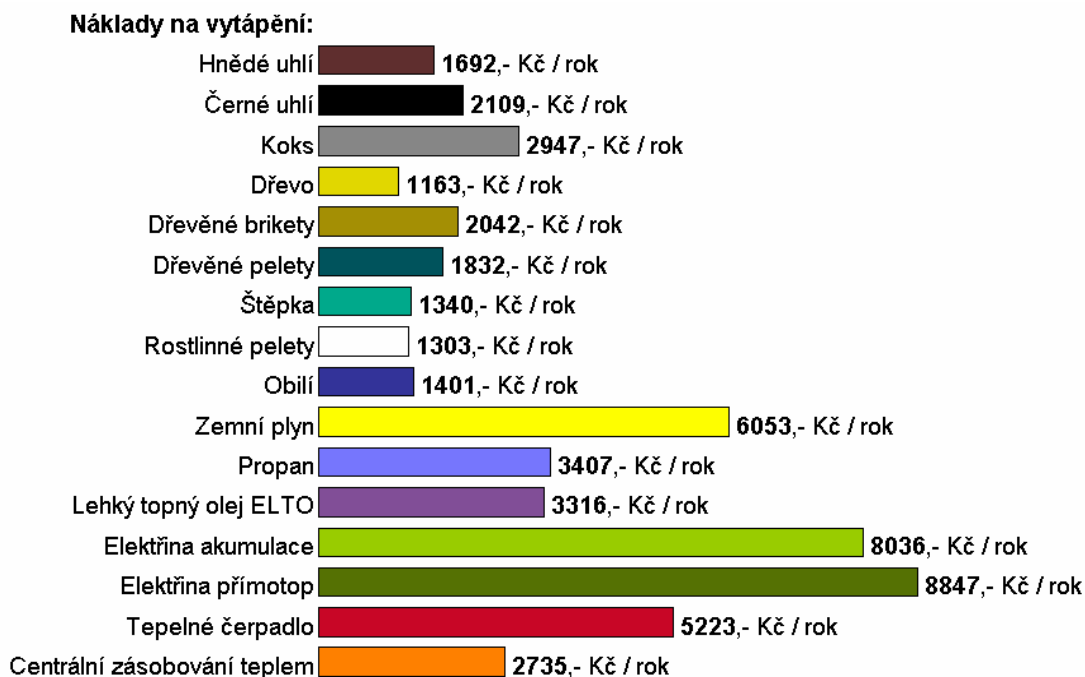
Nebo je možné přehřívání systému předcházet zmenšením plochy kolektoru. V druhém případě přehřívání nehrozí, ale tepelné zisky jsou menší.

### Návratnost

Důležitým kritériem při hodnocení solárních soustav je návratnost. Návratnost je doba, za kterou se nám vrátí investované peníze. Doba návratnosti u fototermických systému lze určit z množství energie, které nám kolektor vyrobí. Kolektor vyrobí tepelnou energii a sníží nám množství energie, kterou budeme muset vyrobit jinými prostředky (ohřevem zemním plynem, koksem, dřevem, elektřinou, atd.). Doba návratnosti tedy počítáme z ceny ušetřené množství energie. Cena ušetřené energie a tedy i doba návratnosti závisí na způsobu ohřevu, který využíváme. Pokud bychom ohřívali užitkovou vodu spalováním dřeva, budou naše náklady na ohřev výrazně nižší než při ohřevu pomocí zemního plynu nebo elektřiny a doba návratnosti by byla výrazně delší.

Budeme počítat dobu návratnosti pro systém se 30 trubicemi, protože u něho nevznikne nebezpečí přebytku tepla. Cena solárního systému s tímto kolektorem je 284 196 Kč s DPH podle zdroje [15].

Návratnost systému vypočítáme podle způsobu ohřevu teplé vody ve zvolené domácnosti. V naší domácnosti je ohřev vody pomocí elektricky ohřívaného akumulčního zásobníku teplé vody. Vycházíme z obr. 4.3, který byl vygenerován na stránkách [14] pro energii vyrobenou kolektorem za rok: 1,85764 MWh. Za jeden rok bude ušetřeno 8036 Kč.



Obr. 4.3 Náklady na ohřev pro 1,85764 MWh [14]

Návratnost v letech dostaneme jako podíl ceny systému a ušetřených peněz za jeden rok.

$$\frac{284196}{8036} = 35,6let$$

Na solární systémy je možnost získání dotace. Při využívání solárního systému pouze k přípravě teplé vody je dotace 55 000Kč podle [16]. Při odečtení dotace od pořizovací ceny, bude návratnost:

$$\frac{284196 - 55000}{8036} = 28,5let$$

Pomocí tohoto zjednodušeného výpočtu jsme došli k závěru, že doba návratnosti bude 28,5let. Uvažovali jsme stále stejné ceny surovin, ve skutečnosti lze předpokládat, že ceny surovin porostou. Jak budou růst ceny surovin, tak se bude zlepšovat návratnost našeho systému.

## ZÁVĚR

V této práci jsme se nejprve dozvěděli, kde se bere solární energie, že je produktem termonukleární reakce. Tato energie putuje vesmírem do naší atmosféry, kde se část pohltí, odrazí a část dopadne na zemský povrch. Tu část energie, která dopadne na zemský povrch, můžeme využít jako alternativní zdroj energie pro ohřev vody v nejrůznějších typech solárních kolektorů. Jednou skupinou z těchto kolektorů jsou kolektory s vakuovými trubicemi. Tyto kolektory jsou vyráběny s jedностěnnou a dvoustěnnou skleněnou vakuovou trubicí.

Součástí každého kolektoru je absorbér, který slouží k získávání tepelné energie ze slunečního záření. Absorbér kolektorů s vakuovými trubicemi může být dvojího provedení. První typ je přímoprotékaný a druhý je s tepelnou trubicí.

Solární kolektory se hodí pro ohřev teplé vody a přitápění v zimě, protože jejich účinnost s rostoucím rozdílem teploty okolí a požadované teploty vody klesá pomaleji než u ostatních kolektorů.

V poslední části je uveden příklad energetické a ekonomické kalkulace. Dozvěděli jsme se, že návratnost se u fototermitických systémů počítá z hodnoty ušetřené energie.

V našem případě jsme uvažovali šestičlennou rodinu s denní spotřebou 180 l teplé vody o teplotě 60°C. Na jednoho člověka je tedy průměrná spotřeba 30 l teplé vody na den. Z výpočtu jsme usoudili, že pro náš případ bude nejvhodnější jeden kolektor se 30 trubicemi, u kterého nebudou vznikat přebytky tepelné energie. Kolektor zabírá plochu 4,32m<sup>2</sup>. Je možné se setkat s kolektory o mnohem větší rozloze.

Zvolený systém s tímto kolektorem stojí 284 196Kč s DPH. Návratnost je 35,6 let. Návratnost s využitím dotace 55 000Kč je 28,5 let. Za předpokladu rostoucích cen surovin pro ohřev bude doba návratnosti kratší.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] THEMEßL, Armin; WEIß, Werner. *Solární systémy : návrhy a stavba svépomocí*. vyd.1. Praha : Grada, 2005. 116 s. ISBN 80-247-0589-3.
- [2] LADENER, Heinz; SPÄTE, Frank. *Solární zařízení*. vyd.1. Praha : Grada, 2003. 267 s. ISBN 80-247-0362-9.
- [3] MATUŠKA, Tomáš. *Tzbinfo* [online]. 9.6.2008 [cit. 2010-04-26]. Účinnost vakuových trubkových solárních kolektorů (I). Dostupné z WWW: <<http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4903>>. ISSN 1801-4399.
- [4] MATUŠKA, Tomáš. *Stránky ČVUT* [online]. 2008 [cit. 2010-04-26]. Solární tepelné soustavy. Dostupné z WWW: <[http://www.fsid.cvut.cz/~matustom/SE\\_text\\_AZE\\_IB.pdf](http://www.fsid.cvut.cz/~matustom/SE_text_AZE_IB.pdf)>.
- [5] *VIESSMANN climate of innovation* [online]. 2009 [cit. 2010-04-26]. VITOSOL 300-T. Dostupné z WWW: <[http://www.viessmann.cz/etc/medialib/internet-cz/pdf/ltu/slune\\_ni\\_kolektory.Par.79932.File.File.tmp/LTU\\_Vitosol-300-T.pdf](http://www.viessmann.cz/etc/medialib/internet-cz/pdf/ltu/slune_ni_kolektory.Par.79932.File.File.tmp/LTU_Vitosol-300-T.pdf)>.
- [6] *VIESSMANN climate of innovation* [online]. 2009 [cit. 2010-04-26]. VITOSOL Solární systémy, Ploché a trubicové kolektory. Dostupné z WWW: <[http://www.viessmann.cz/etc/medialib/internet-cz/pdf/produktove\\_prospekty.Par.14722.File.File.tmp/Vitosol.pdf](http://www.viessmann.cz/etc/medialib/internet-cz/pdf/produktove_prospekty.Par.14722.File.File.tmp/Vitosol.pdf)>.
- [7] *VIESSMANN climate of innovation* [online]. 2009 [cit. 2010-04-26]. Vitosol 200-T, typ SD2A. Dostupné z WWW: <[http://www.viessmann.cz/etc/medialib/internet-cz/pdf/ltu/slune\\_ni\\_kolektory.Par.71751.File.File.tmp/LTU\\_Vitosol-200-T.pdf](http://www.viessmann.cz/etc/medialib/internet-cz/pdf/ltu/slune_ni_kolektory.Par.71751.File.File.tmp/LTU_Vitosol-200-T.pdf)>.
- [8] MATUŠKA, Tomáš. *Operační program životního prostředí* [online]. 2009 [cit. 2010-04-29]. Zjednodušený výpočtový postup energetického hodnocení solárních soustav. Dostupné z WWW: <[http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/14/4497-metodika\\_bilance\\_ss.pdf](http://www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/14/4497-metodika_bilance_ss.pdf)>.
- [9] *AXO EUROPE : klimatizace, vzduchotechnika, topení akoupeľny* [online]. 2008 [cit. 2010-04-29]. Návod k montáži aurotherm. Dostupné z WWW: <<http://www.axo.cz/upload/file/vaillant/solar/navod-k-montazi-aurotherm-vtk.pdf>>.
- [10] *AAA topení* [online]. 2010 [cit. 2010-04-29]. EShop. Dostupné z WWW: <[http://aaatopeni.cz/index.php?option=com\\_virtuemart&page=shop.browse&category\\_id=1015&Itemid=1](http://aaatopeni.cz/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=1015&Itemid=1)>.
- [11] *Cembrit : Solární kolektory* [online]. 2009 [cit. 2010-04-29]. Plochý solární kolektor. Dostupné z WWW: <<http://www.cembrit.cz/solarni-kolektory/>>.
- [12] *Regulus* [online]. 2008 [cit. 2010-04-29]. Tepelná čerpadla, solární panely a systémy Regulus. Dostupné z WWW: <<http://www.regulus.cz/vakuove-trubicove-kolektory-ktu.html>>.
- [13] *Český hydrometeorologický ústav : Odbor klimatologie* [online]. 2005 [cit. 2010-05-09]. Informace o klimatu. Dostupné z WWW: <<http://www.chmi.cz/meteo/ok/atlas/uvod.html>>.

- [14] *Tzbinfo* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Porovnávání nákladů na vytápění podle druhu paliva. Dostupné z WWW: <[http://www.tzbinfo.cz/t.py?t=16&i=269&energie\\_gj=13.7](http://www.tzbinfo.cz/t.py?t=16&i=269&energie_gj=13.7)>. ISSN 1801-4399.
- [15] *Jihočeské stavby* [online]. 2008, 27.3.2010 [cit. 2010-05-16]. Solární systémy Viessmann. Dostupné z WWW: <<http://jiho.ceskestavby.cz/prodej/koska-cz/viessmann/d01-solarni-systemy/solarni-system-vitosol-viessmann-200-t-typ-sds-3m2>>.
- [16] *Vermos s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2010-05-16]. Dotace pro solární systémy. Dostupné z WWW: <<http://www.vermos.cz/?q=node/140>>.
- [17] *Slovenská inzercia* [online]. 2010 [cit. 2010-05-18]. Trubicový kolektor. Dostupné z WWW: <<http://slovenskainzercia.sk/x-sk/inz/346/346167-trubicovy-kolektor-1.jpg>>.

## SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

Veličina	Symbol	Jednotka
plocha apertury solárního kolektoru	$A_k$	$m^2$
lineární součinitel tepelných ztrát	$a_1$	$W/m^2K$
kvadratický součinitel tepelných ztrát	$a_2$	$W/m^2K^2$
měrná tepelná kapacita vody	$c$	$J/kgK$
střední denní sluneční ozáření uvažované plochy solárních kolektorů	$G_{T,m}$	$W/m^2$
skutečná denní dávka slunečního ozáření	$H_{T,den}$	$kWh/m^2 \cdot den$
počet dní v daném měsíci	$n$	den
hodnota srážky tepelných zisků z kolektoru vlivem tepelných ztrát solární soustavy	$p$	-
střední měsíční venkovní teplota	$t_{ep}$	$^{\circ}C$
střední teplota v době slunečního svitu	$t_{es}$	$^{\circ}C$
střední teplota v noci	$t_{en}$	$^{\circ}C$
průměrná teplota teplotonosné kapaliny v solárních kolektorech v průběhu dne	$t_{k,m}$	$^{\circ}C$
teplota studené vody	$t_{sv}$	$^{\circ}C$
teplota teplé vody	$t_{TV}$	$^{\circ}C$
průměrná denní potřeba teplé vody	$V_{TV,den}$	$m^3/den$
přirážka na tepelné ztráty související s přípravou teplé vody	$z$	-
průměrná měsíční účinnost solárního kolektoru	$\eta_k$	%
optická účinnost	$\eta_0$	%
hustota vody	$\rho$	$kg/m^3$
teoretická doba slunečního svitu	$\tau_s$	hod