

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



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

# **VYUŽITÍ TEPELNÝCH SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ PRO OHŘEV BAZÉNU – NÁVRH APLIKACE**

USE OF THERMAL SOLAR COLLECTORS FOR POOL HEATING – DESIGN OF APPLICATION

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ANETA ZATOČILOVÁ**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. MICHAL JAROŠ, Dr.**

BRNO 2007



## **Abstrakt**

Cílem bakalářské práce je zhodnocení možností vyhřívání plaveckých bazénů pomocí solárních kolektorů. Ohřev bazénu se často kombinuje s ohřevem TUV. Práce posuzuje technické parametry, účinnost a pořizovací náklady solárních termických systémů vhodných pro obě zmíněné aplikace. První část práce je zaměřena na obecný popis slunečního záření, jeho dostupnosti a využití. Následující část se zabývá energetickou bilancí kolektorů, stanovením jejich účinnosti a možnostmi jejich izolace. Dále jsou popsány v současnosti nejpoužívanější typy solárních termických kolektorů a různá provedení solárních termických systémů. Poslední část je věnována konkrétnímu návrhu solárního systému pro ohřev bazénu a cenové bilanci tohoto řešení.

## **Abstract**

The objective of this bachelor's thesis is to evaluate the possibilities of using solar collectors for swimming pool heating. The solar pool heating is often combined with solar water heating. The thesis examine technical parameters, effectivity and purchase cost of the thermal solar systems for both mentioned applications. The first part of the study is focused on general description of the solar radiation, its availability and potential of usage. The next part is dealing with collectors' energy budget, their efficiency and means of their insulation. Further, there are described the most used types of the thermal solar collectors and various constructions of the thermal solar systems of nowadays. The last part is dedicated to specific project of thermal solar system for pool heating and its price budget.

## **Klíčová Slova**

Obnovitelný zdroj energie, solární energie, termický solární kolektor, plastový absorbér, termický solární systém, solární ohřev bazénu, návrh solárního systému, účinnost solárního kolektoru, izolace solárního kolektoru.

## **Key words**

Renewable resource of energy, solar energy, thermal solar collector, plastic absorber, thermal solar system, solar pool heating, project of solar system, effectivity of solar collector, insulation of collector.

## **Bibliografická citace dle normy ČSN ISO 690**

ZATOČILOVÁ, A. *Využití tepelných solárních kolektorů pro ohřev bazénu – návrh aplikace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 60 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Jaroš, Dr.



### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně bez cizí pomoci. Vycházela jsem při tom ze svých znalostí, odborných konzultací a doporučené literatury, uvedené v seznamu.

V Brně dne: .....

.....

podpis



## Poděkování

Děluji vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Jarošovi, Dr. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářce práce.

V Brně dne .....





## OBSAH

1. ÚVOD .....	11
2. SLUNCE A DALŠÍ ZDROJE ENERGIE .....	11
2.1 Slunce .....	11
2.2 Vývoj celosvětové spotřeby energie .....	12
3. VLASTNOSTI A VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE .....	12
3.1 Výhody a nevýhody solární energie .....	12
3.2 Dostupnost solární energie .....	12
3.3 Měření a zaznamenávání solárního záření .....	14
3.4 Využití solární energie .....	15
4. VLASTNOSTI SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ .....	16
4.1 Mechanismy přenosu tepla .....	16
4.2 Energetická bilance kolektoru .....	18
4.2.1 Vnější energetická bilance .....	19
4.2.2 Vnitřní energetická bilance .....	20
4.3 Izolace solárních kolektorů .....	22
5. DRUHY SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ A JEJICH ROZDĚLENÍ .....	23
5.1 Plastové absorbéry .....	23
5.2 Ploché kolektory s neselektivní vrstvou .....	25
5.3 Ploché kolektory se selektivní vrstvou .....	25
5.4 Vakuové kolektory .....	27
5.4.1 Deskové vakuové kolektory .....	27
5.4.2 Trubicové vakuové kolektory .....	28
6. SOLÁRNÍ TERMICKÉ SYSTÉMY .....	30
6.1 Princip činnosti solárních systémů a jejich základní části .....	30
6.2 Rozdělení termických solárních systémů .....	30
6.3 Systémy pro ohřev bazénové vody .....	31
6.3.1 Ohřev pomocí solárních plastových absorbérů .....	31
6.3.2 Přímý ohřev pomocí solárních kolektorů .....	32
6.4 Systémy pro ohřev TUV v kombinaci s ohřevem bazénové vody .....	33
6.4.1 Nepřímý ohřev pomocí solárních kolektorů .....	33
6.4.2 Solární samotížný systém .....	34
5. REALIZACE SOLÁRNÍHO SYSTÉMU PRO SEZÓNÍ OHŘEV BEZÉNU .....	35
5.1 Výpočet potřebné plochy solárního absorberu .....	35
5.2 Pořizovací cena plastového absorberu .....	41
7. ZÁVĚR .....	42
8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	43
9. SEZNAM PŘÍLOH .....	46



# 1. ÚVOD

První pokusy o vývoj alternativních zdrojů energie jsou datovány do 70. let 19. století. Důvodem byly zejména obavy o přílišnou závislost země na dodávkách uhlí a ropy, tyto obavy souvisely s prudkou expanzí ekonomiky v Evropě v době průmyslové revoluce. Jedním z hlavních uvažovaných zdrojů tepla se stala sluneční energie. V počátcích byla pozornost věnována zejména přeměně solární energie na energii páry, která následně poháněla malý parní stroj. V roce 1861 byl udělen první patent za motor poháněný sluneční energií. Během následujících let se však ukázalo, že takovéto parní stroje dokáží vyvinout pouze velmi malý výkon. Přesto byl v roce 1903 v Los Angeles prodán první sluneční motor, který měl sloužit k čerpání vody ze studně. Jeho mohutná, avšak chatrná konstrukce, nevydržela povětrnostní podmínky déle jak 14 dní. I přes mnoho nezdarů během vývoje těchto strojů je dnes solární energie využívána běžně, a to zejména její přeměna na teplo pomocí solárních kolektorů. Původní vize - nahradit energii získávanou z fosilních paliv energií ze zdrojů alternativních - byla dosud splněna jen ve velmi malé míře.

## 2. SLUNCE A DALŠÍ ZDROJE ENERGIE

### 2.1 Slunce

Slunce je 150 milionů km od Země vzdálená hvězda, koule žhavých plynů, která neustále produkuje ohromné množství energie. Její výkon je asi  $4 \times 10^{26}$  W. Povrch Slunce se chová jako tzv. absolutně černé těleso, ideální zářič, který vysílá paprsky v celém rozsahu vlnových délek. Pro přenos energie jsou významné paprsky o vlnové délce 0,2 až 3,0  $\mu\text{m}$ , tj. zejména viditelné a infračervené záření. Na viditelné světlo totiž připadá největší podíl vyzářené energie (asi 60 %), podíl dlouhovlnného záření činí asi 30 %. Sluneční záření představuje energetický tok, který je ze Slunce vysílán rovnoměrně všemi směry. Na cestě k Zemi není záření ničím pohlcováno, na hranici atmosféry tak přichází v původní podobě, avšak při zmenšené intenzitě, neboť je rozptýleno do větší plochy. Na naši zemskou atmosféru tak neustále dopadá sluneční záření s intenzitou 1,36  $\text{kW/m}^2$ . Tato hodnota se označuje jako solární konstanta. Ve vyšších vrstvách atmosféry dochází k pohlcování záření nebezpečného pro život na Zemi (záření gama, rentgenového, zčásti ultrafialového). Kromě toho je značná část slunečního záření odražena od mraků a částíček prachu. Na zemský povrch tedy projde v největší míře záření viditelného a infračerveného spektra, přitom je část tohoto záření ještě odražena od povrchu Země zpět do atmosféry. Z celkového množství záření dopadajícího na hranici atmosféry je pouze cca 51 % pohlceno zemským povrchem.

Energie ze Slunce je nejvýznamnějším zdrojem energie pro veškerý život na Zemi. Existence převážné většiny v praxi využívaných energetických zdrojů je podmíněna energií sluneční. Energie vody je důsledkem jejího vypařování hlavně z povrchu oceánů a následné kondenzace na výše položených místech na pevnině, kde má vyšší potenciální energii. Vítr získává kinetickou energii nerovnoměrným zahříváním zemského povrchu. Fosilní palivo nebo biomasa není nic jiného než sluneční energie akumulovaná po fotosyntetické přeměně anorganických látek na organické v zelených rostlinách. Kromě této po mnoho let efektivně uložené energie v podobě dřeva, hnědého uhlí, kamenného uhlí, ropy nebo zemního plynu neexistují v dnešní době žádné použitelné možnosti, jak sluneční energii uložit v dostatečném množství. Zásoby fosilních paliv jsme schopni v několika desetiletích vyčerpat a neexistuje možnost, jak tak velké množství biologické hmoty v krátké době doplnit. Z toho vyplývá také trvalé zvyšování cen energie. Přitom poměr nabídky sluneční energie k celkové světové spotřebě energie činí 5000 : 1. Jediné významnější zdroje energie, které nesouvisí se Sluncem, jsou energie jaderná, geotermální a energie mořského přílivu.

## 2.2 Vývoj celosvětové spotřeby energie

Podíl jaderných elektráren na celosvětové výrobě energie činil v roce 2005 asi 15 %. V dnešní době je stále nejvyužívanějším zdrojem energie fosilní palivo. Jeho spalováním však vznikají škodlivé emise. Podle všeobecně uznávané prognózy IEA World Energy Outlook [41] má do roku 2030 dojít ke zvýšení celkové spotřeby energie na světě o polovinu, s největším přičiněním Číny a Indie. Pokud by pokračoval dosavadní trend vzrůstu energie, vzrostly by do roku 2030 také emise kysličníku uhličitého 57 %. O to naléhavější bude nutnost celosvětově realizovat politiku, která omezí vzrůst spotřeby energie z fosilních paliv a s tím související emise. Je nezbytně nutné stále zvyšovat využití obnovitelných zdrojů energie. Každý nový alternativní zdroj je přínosem pro udržení ekologické i ekonomické stability celé Země.

## 3. VLASTNOSTI A VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE

### 3.1 Výhody a nevýhody solární energie

#### Výhody :

- solární energie je nevyčerpatelná, neustále k dispozici,
- je zadarmo, nezávislá na ekonomické situaci, nehrozí zvyšování cen
- je ekologicky zcela bezpečná.
- Solární systémy se dají instalovat i v husté zástavbě, obvykle stačí pouze ohláška,
- jsou to technicky jednoduchá zařízení, s dlouhou životností a min. provozními náklady,
- v současné době jsou státem podporované.

#### Nevýhody :

- omezená dostupnost solární energie (kap. 3.2),
- nutnost náhradního zdroje energie při nedostatku slunečního svitu,
- malá plošná hustota, z toho plynoucí potřeba větší rozlohy absorpční plochy kolektoru.

### 3.2 Dostupnost solární energie

Množství solární energie, které lze ze slunečního záření získat, závisí na následujících faktorech :

**Zeměpisná šířka.** Největší množství solární energie dopadá na Zemi v oblastech okolo rovníku, nejméně u pólů.

**Roční doba.** Množství slunečního záření dopadajícího na konkrétní lokalitu na Zemi se v průběhu roku mění. Je to způsobeno změnami povětrnostních podmínek a změnou délky dne a noci. V [1] se uvádí, že v letním období za jasného dne dopadne na 1 m<sup>2</sup> plochy orientované na jih 7 až 8 kWh, při oblačném počasí jen přibližně 2 kWh. V zimě za slunečního počasí jsou to jen 3 kWh a při oblačném počasí méně než 0,3 kWh.

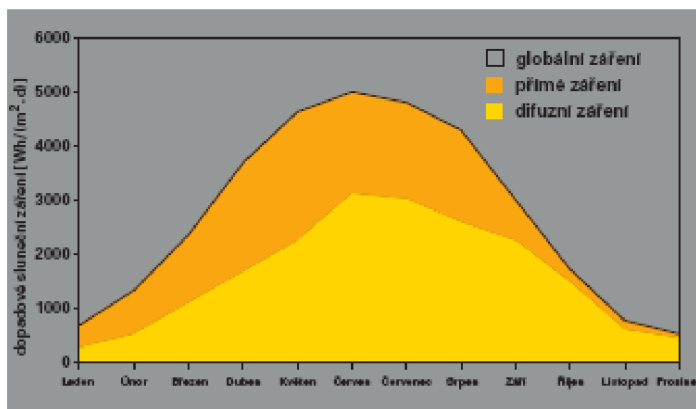
Tab. 1: Energie slunečního záření dopadající v Brně a Seville v průběhu roku na vodorovnou plochu (podle [1] a [7])

Měsíc	Záření na vodorovnou plochu [kWh/(m <sup>2</sup> den)]	
	Brno	Sevilla
Leden	0,78	2,4
Únor	1,44	3,1
Březen	2,50	4,61
Duben	3,85	5,29
Květen	4,97	6,78
Červen	5,16	7,3
Červenec	5,37	7,11
Srpen	4,49	6,45
Září	3,04	5,13
Říjen	2,00	3,87
Listopad	0,88	2,51
Prosinec	0,56	2,09
<b>Roční průměr</b>	<b>2,93</b>	<b>4,73</b>

**Místní klima, oblačnost.** Při průchodu záření zemskou atmosférou probíhá řada komplikovaných dějů. Značný vliv na průchod sluneční energie přes atmosféru mají mraky, ale také znečištění atmosféry a přízemní mlhy. Sluneční záření dopadající na plochu pod vrstvou atmosféry se skládá ze záření:

- přímého, tj. záření, které projde atmosférou beze změny směru,
- difúzního, tj. záření rozptýleného odrazem např. od molekul plynů, částic prachu a mraků. Na osluněnou plochu dopadá také záření odražené od okolních ploch, toto záření bereme rovněž jako difúzní.

Intenzita celkového (globálního) záření je dána algebraickým součtem obou složek. Při jasné, bezmračné obloze dopadá na Zemi největší část přímého záření. Při zamračené obloze dochází k vyššímu rozptýlení přímého záření v mracích a na částicích v atmosféře a na zemský povrch pak dopadá větší množství difúzního záření. Jak je vidět z obr.1, v létě tvoří difúzní záření přibližně polovinu globálního, v zimě je díky častému oblačnému počasí tento podíl podstatně vyšší. Vzhledem k tomu, že solární systémy pracují převážně s přímým slunečním zářením, není v našich podmínkách možné pokrýt spotřebu tepla po celý rok. Proto je nutné, aby spolu se solárním systémem dodávku tepla zabezpečoval i trvalý zdroj.



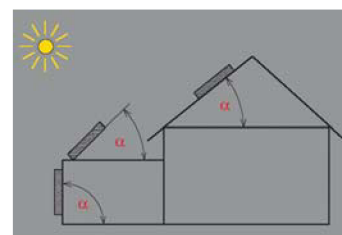
Obr. 1: Energie přímého a difúzního záření v průběhu roku [5]

Tab. 2: Intenzita přímého a difúzního záření při různých podmínkách [6]

	Intenzita globálního záření (W/m <sup>2</sup> )	Podíl difúzního záření v %
Modré nebe	800 - 1000	10
Zamžené nebe	600 - 900	až 50
Mlhavý podzimní den	100 - 300	100
Zamračený zimní den	50	100
<b>Celoroční průměr</b>	<b>600</b>	<b>50 - 60</b>

### Sklon a orientace plochy, na níž sluneční záření dopadá.

• **Úhel sklonu  $\alpha$ :** Maximálního výkonu solárního systému dosáhneme při kolmé orientaci absorpční plochy k dopadajícím paprskům. Optimální je natáčet solární panel za sluncem tak, aby paprsky dopadaly vždy kolmo. Tohoto řešení se však běžně nevyužívá, protože je drahé. Tabulka 3 na následující straně uvádí závislost množství záření na sklonu úhlu  $\alpha$  a ročním období, při úhlu azimutu  $0^\circ$ .

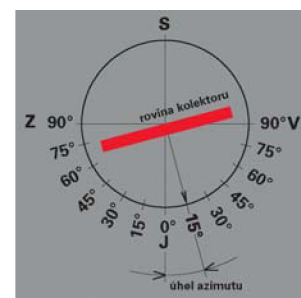


Obr. 2: Úhel sklonu kolektoru  $\alpha$  [5]

• **Úhel azimutu:** Udává odchylku kolektorové roviny od jižního směru. Nevýhodnější je nasměrování kolektoru k jihu tj.  $0^\circ$ .

Z tabulky na následující straně můžeme posoudit nejvýhodnější úhly sklonu kolektoru :

- dobrý celoroční zisk : 30 až 45° k jihu,
- zvýšený zisk v zimním období : 60° k jihu,
- zvýšený zisk v letním období : 30° k jihu.



Obr. 3: Odchylka roviny kolektoru od jižního směru [5]

Tab. 3: Energie slunečního záření dopadající v Brně v průběhu roku na jižně orientovanou plochu různého sklonu (podle [7])

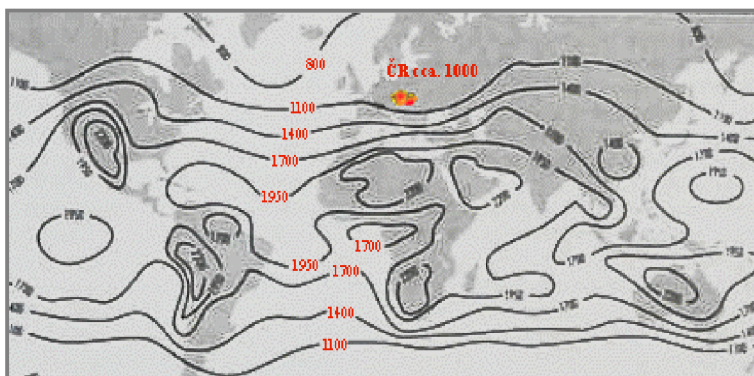
Měsíc	Suma záření na nakloněnou plochu [kWh/m <sup>2</sup> /měsíc] Úhel sklonu plochy ve stupních o vodorovné roviny						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Leden	24,2	30,8	36,3	39,7	41,2	40,6	37,8
Únor	43,2	53,1	60,3	64,8	65,7	63,3	61,8
Březen	77,5	88,7	95,8	98,3	95,79	88,7	97,0
Duben	115,5	125,1	129,0	126,6	117,9	103,5	129,0
Květen	154,1	159,7	158,4	150,0	134,5	112,5	156,9
Červen	155,8	157,2	153,0	142,5	125,4	102,9	150,9
Červenec	166,5	170,8	168,0	157,5	139,8	115,6	165,9
Srpen	139,2	148,2	150,7	146,0	133,9	115,3	150,0
Září	91,2	102,6	109,5	111,0	106,8	96,9	110,4
Říjen	62,0	76,0	86,2	92,1	93,0	89,0	88,4
Listopad	26,4	32,7	37,2	40,2	41,4	40,2	38,4
Prosinec	17,4	21,8	25,3	27,6	28,6	28,1	26,1
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	0,0
Průměr za topnou sezónu (X-III)	250,6	303,0	341,1	362,6	365,7	349,9	315,4
Průměr za letní období (IV-IX)	821,2	863,5	868,6	833,6	758,4	649,8	506,8
<b>Roční průměr</b>	<b>1072</b>	<b>1167</b>	<b>1208</b>	<b>1196</b>	<b>1124</b>	<b>997</b>	<b>822</b>

### 3.3 Měření a zaznamenávání solárního záření

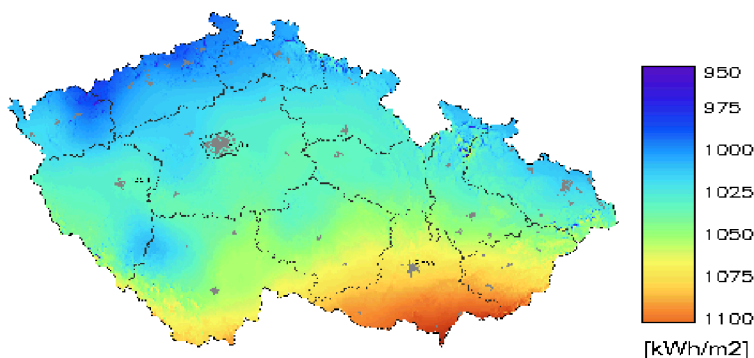
Počasi je měřeno mnoha meteorologickými stanicemi na celém světě. V rámci toho jsou také systematicky monitorovány hodnoty slunečního záření, a to zejména :

- **délka slunečního svitu** měřená v hodinách za měsíc, rok nebo den (h/měsíc, h/rok, h/den)
- **zářivá energie na vodorovnou plochu**, tj. měsíční sumy globálního záření na vodorovnou plochu, měřené ve watthodinách na m<sup>2</sup> (Wh/m<sup>2</sup>, resp. kWh/m<sup>2</sup>).

Průběžně získávané hodnoty slunečního záření jsou vyhodnocovány v časovém intervalu několika let, aby byly vlivy krátkodobých výkyvů počasí zanedbatelné. Tímto způsobem vznikla mapa zobrazující střední globální záření na vodorovné plochy v kWh/(m<sup>2</sup>·rok). Obrázek 5 ukazuje průměrné hodnoty solární energie dopadající v České republice na vodorovnou plochu za rok. Z obrázku je vidět, že rozdíly na tak malém území jsou již poměrně nevýznamné.



Obr. 4: Mapa zobrazující energii středního globálního záření v kWh/m<sup>2</sup>·rok [6]



Obr. 5: Mapa zobrazující energii středního globálního záření v ČR v kWh/m<sup>2</sup>·rok [8]

Přesné údaje o množství slunečního záření pro regiony a města v ČR můžete najít na webových stránkách společnosti SOLAR NET s.r.o. [6]. Dostupnost solární energie na území Evropy a Afriky je také velmi podrobně zpracována na webových stránkách EU Joint Research Centre [7].

### 3.4 Využití solární energie

V průběhu rozvoje využití solární energie bylo vytvořeno mnoho způsobů, jak tuto energii zužít, ale jen málo z nich přešlo do praxe. Obvyklým problémem byly velké pořizovací náklady a malá účinnost, tudíž malá návratnost investic. Dnešní solární systémy dokáží pracovat díky vyspělým technologiím s účinností až 80 % a s životností základních komponentů v horizontu 30 let.

Podle způsobu přeměny energie můžeme aktivní využití solární energie rozdělit do následujících skupin:

#### a) Přeměna solární energie na teplo – termické (fototermické) systémy

Vždy, když povrch tělesa absorbuje záření, akumuluje se v tělese energie. Běžným jevem je, že jakýkoli předmět se na slunci zahřívá. Teplo může být tělesem vyzářeno zpět do okolí v podobě IR záření, nebo může být účelně odvedeno. Tohoto jevu využívají solární kolektory, které jsou zkonstruovány tak, aby absorpce záření a následný přenos a odvod tepla byl co nejvýhodnější. Získat teplo ze slunečního záření můžeme tedy poměrně jednoduše. Proto se této přeměny využívá nejčastěji, k mnoha různým účelům:

- ohřev vody pro bazén,
- ohřev užitkové vody,
- ohřev vzduchu a vytápění,
- destilace vody,
- dezinfekce vody,
- sušení,
- solární chlazení a klimatizace.

#### b) Přeměna na elektrickou energii - fotovoltaické systémy

K přímé přeměně na el. energii dochází na rozhraní dvou materiálů. V dnešní době se k přenosu energie z fotonů na elektrony využívá dvou vrstev křemíku s různými příměsemi (tzv. p–n přechod). Křemík je pevná krystalická se strukturou podobnou diamantu. Výroba křemíku s požadovanou strukturou je však poměrně nákladná, což se také odráží na ceně fotovoltaických kolektorů.

#### c) Přeměna na mechanickou nebo chemickou energii

Přeměnu na mechanickou energii umožňuje například Stirlingův motor, který však z důvodu své nízké účinnosti nenašel praktické využití.

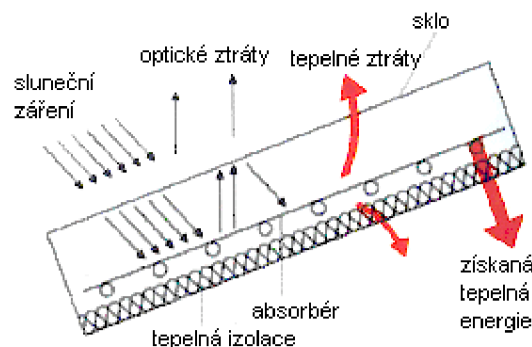
#### d) Využití fotochemických účinků solární energie

Fotochemických reakcí (tj. štěpení vazeb chemických sloučenin) využíváme např. při odbourávání pesticidů v odpadních vodách nebo na výrobu vodíku.

Přeměna sluneční energie na „ušlechtilé“ formy energie (elektrická, mechanická nebo chemická energie) je podstatně složitější než přeměna na teplo, této přeměně bude věnována další pozornost.

## 4. VLASTNOSTI SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

Bez ohledu na konstrukční řešení plní všechny druhy kolektorů svou základní funkci, tj. zachytit dopadající záření a přeměnit jej na teplo, zhruba stejně dobře. Zásadní rozdíly jsou však v tom, jak dokáží zabránit tepelným ztrátám, tedy jaký je užitečný výkon, respektive účinnost kolektoru. Další kapitoly budou tedy věnovány tepelné bilanci kolektorů a jejich účinnosti. Nejdříve je však třeba objasnit mechanismy přenosu tepla které v kolektoru probíhají.



Obr. 6: Schéma plochého solárního kolektoru a jeho ztráty

### 4.1 Mechanismy přenosu tepla

K přenosu tepla a ztrátám v kolektoru dochází:

- **konvekcí**, (prouděním a vedením),
- **radiací** (zářením).

**Proudění.** Uplatňuje se pouze u tekutin, tedy kapalin a plynů. K přenosu tepla dochází mezi proudící látkou a nějakým omezujícím povrchem, mají-li různou teplotu. Pro případ solárního kolektoru můžeme uvést dva typy proudění:

- a) nucené – kolektor je ofukován větrem,
- b) přirozené – proudění uvnitř kolektoru, v důsledku různé teploty (a hustoty) tekutiny.

Bez ohledu na povahu proudění platí pro přenášený měrný tepelný tok vztah nazývaný Newtonův ochlazovací zákon :

$$\dot{q}_p = \alpha_p \cdot (T_w - T_\infty) \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (2)$$

$\alpha_p$  součinitel přestupu tepla prouděním  $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$

$T_w$  teplota povrchu obtékaného tělesa  $[\text{K}]$

$T_\infty$  teplota látky v dostatečné vzdálenosti od obtékaného povrchu  $[\text{K}]$

**Vedení.** Uplatňuje se především v tuhých tělesech (případně v nepohybujících se tekutinách), jejichž části mají různou teplotu. Přenos tepla se uskutečňuje ve směru klesající teploty. Je to důsledek neuspořádaného pohybu částic, přičemž dochází k předávání jejich vnitřní energie tak dlouho, dokud nedojde k vyrovnání teplot. Při vedení tepla hraje důležitou roli tepelná vodivost  $\lambda$  materiálu, tj. je schopnost látky vést teplo. Pro měrný tepelný tok přenášený ve stěně o tloušťce  $\delta$  platí Fourierův zákon ve tvaru:

$$\dot{q}_x = \lambda \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{\delta} \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (3)$$

$\lambda$  tepelná vodivost látky  $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$

$\delta$  tloušťka ve směru tepelného toku  $[\text{mm}]$

$T_1, T_2$  teplota na jedné a druhé straně stěny  $[\text{K}]$



Ve vztahu (3) se předpokládá, že další dva rozměry jsou nekonečně dlouhé a vedení se v jejich směru nešíří.

**Tepelné záření** je elektromagnetické vlnění emitované v důsledku tepelného pohybu částic hmoty. Tepelná energie je přenášena především ve formě záření viditelného a infračerveného. K přenosu tepla zářením dochází mezi tělesy s rozdílnými teplotami, a to i ve vakuu, tzn. není potřeba hmotného prostředí. Všechna tělesa (jejichž teplota je vyšší než absolutní nula) na sebe vzájemně vyzařují energii (sálají), rozdíl je však v tom kolik záření a jaké vlnové délky povrch tělesa odrazí, pohltí nebo zda jím projde. Podle toho jaké vlnové délky povrch pohltí, se nám jeví jeho barva. Reálné těleso černé barvy se vyznačuje pohlcováním paprsků ve velkém rozsahu vlnových délek, proto dosahují černá tělesa na slunci vysokých teplot. Faktory, které ovlivňují absorpci a emisivitu, budou dále uvedeny.

Kolik energie ve formě záření bude povrchem pohlceno závisí zejména na :

- **vlastnostech povrchu (mikroskopické i makroskopické vlastnosti),**
- **velikosti plochy.**

Množství energie, která je tělesem emitována, závisí zejména na :

- **teplotě povrchu,**
- **vlastnostech povrchu,**
- **velikosti plochy.**

Vztah pro měrnou tepelnou energii vyměněnou mezi povrchy zářením ( $T_1 > T_2$ ) :

$$\dot{q}_s = \alpha_z \cdot (T_1 - T_2) = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (4)$$

$T_1$             teplota 1. tělesa [K]

$T_2$             teplota 2. tělesa [K]

$\alpha_z$             součinitel přestupu tepla zářením [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ]

$\sigma$             Stephan – Boltzmanova konstanta,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}]$

$\varepsilon$             emisivita, neboli poměrná zářivost – podíl energie emitované z daného povrchu k energii emitované tímto povrchem, kdyby byl absolutně černý, ( $0 \leq \varepsilon \leq 1$ , absolutně černé těleso má  $\varepsilon = 1$ ) [-]

Vztah (4) platí pouze pro případ malého povrchu zcela obklopeného povrchem velkým. Tento případ se v přírodě vyskytuje poměrně často, například představíme-li si výměnu energie zářením mezi plochu solárního kolektoru a oblohou.

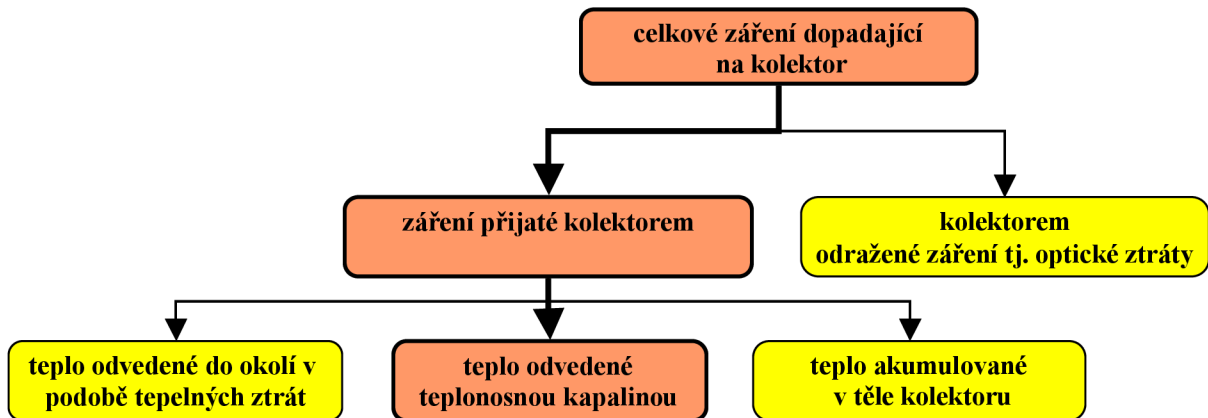
Na přestup tepla mezi okolním prostředím a absorbérem mají vliv všechny zmíněné děje. Například zaměříme – li se na přední stranou kolektoru, probíhá zde přestup tepla:

- sáláním mezi vnějším povrchem zasklení a oblohou,
- volným a nuceným prouděním okolo vnějšího povrchu zasklení,
- vedením tepla zasklením,
- sáláním mezi vnitřním povrchem zasklení a absorbérem,
- a volným prouděním mezi vnitřním povrchem zasklení a absorbérem.

Obdobně je tomu u bočních a zadní strany kolektoru.

## 4.2 Energetická bilance kolektoru

Při odvozování účinnosti plochého kolektoru budeme vycházet z obecné energetické rovnováhy kolektoru, která je ilustrována následujícím diagramem.



Je-li kontrolním povrchem povrch kolektoru, zapíšeme bilanci tepelných toků následující diferenciální rovnicí:

$$\frac{dQ_{ak}}{dt} = \dot{Q}_S - \dot{Q}_{z,o} - \dot{Q}_{z,T} - \dot{Q}_U \quad [\text{W}] \quad (5)$$

$\frac{dQ_{ak}}{dt}$  časová změna tepelného obsahu kolektoru [W]

$\dot{Q}_S$  tepelný tok záření dopadajícího na jímací plochu kolektoru [W]

$\dot{Q}_{z,o}$  optické ztráty [W]

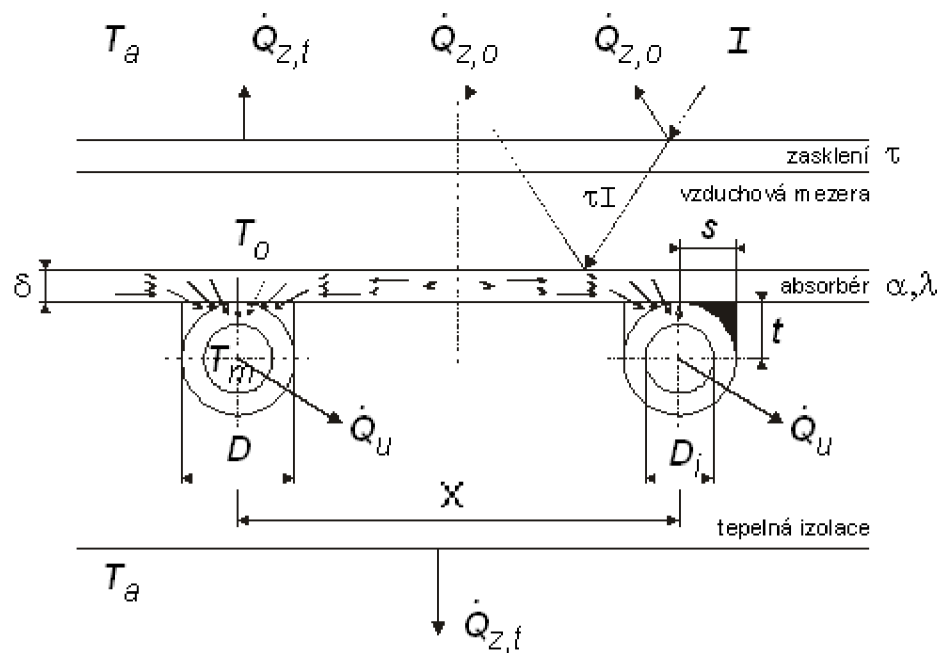
$\dot{Q}_{z,T}$  tepelné ztráty [W]

$\dot{Q}_U$  užitečný tepelný tok odvedený z kolektoru pomocí teplotnosné kapaliny [W]

*Optické ztráty* závisí pouze na vlastnostech absorberu (jeho pohltivosti  $\alpha$ ) a zasklení (jeho propustnosti  $\tau$ ). *Tepelné ztráty* závisí především na tom, jak dobře je absorber izolován od okolí (součinitel prostupu  $k$ ) a jaký je rozdíl mezi střední teplotou absorberu  $T_{abs}$  a okolním prostředím  $T_a$ .

**Energetickou bilanci je možné rozdělit na:**

- vnější – přenos tepla z povrchu absorberu do okolního prostředí,
- vnitřní – přenos z povrchu absorberu do teplotnosné kapaliny.



Obr. 7 : Znárodnění tepelné bilance kolektoru [10]

#### 4.2.1 Vnější energetická bilance

Za předpokladu stacionárního stavu  $dQ/dt = 0$  můžeme z diferenciální rovnice (5) přejít k rovnici vnější energetické bilance a vyjádřit užitečný výkon solárního kolektoru:

$$\dot{Q}_U = I \cdot S_c \cdot \alpha \cdot \tau - k_p \cdot S_c \cdot (T_{abs} - T_a) - k_z \cdot S_c \cdot (T_{abs} - T_a) - k_b \cdot S_b \cdot (T_{abs} - T_a) \quad [W] \quad (6)$$

$I$	intenzita slunečního záření dopadajícího na kolektor [ $W/m^2$ ]
$T_{abs}$	střední teplota absorptoru [K]
$T_a$	teplota okolního vzduchu [K]
$S_c$	jímací plocha kolektoru [ $m^2$ ]
$S_b$	celková plocha bočních stěn kolektoru [ $m^2$ ]
$\tau$	koeficient propustnosti zasklení; udává jaký podíl záření projde na absorptor [-]
$\alpha$	koeficient absorpce slunečního záření; udává podíl záření pohlceného absorptorem [-]
$k_p$	koeficient prostupu tepla přední stranou kolektoru [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]
$k_z$	koeficient prostupu tepla zadní stranou kolektoru [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]
$k_b$	koeficient prostupu tepla bočními stranami kolektoru [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

Pro zjednodušení byla ve vztahu (6) brána jímací plocha kolektoru totožná s velikostí plochy absorptoru, s velikostí plochy apertury a velikostí obrysové plochy.

Celkový součinitel prostupu tepla  $k$  můžeme vyjádřit jako součet součinitelů přední, zadní a boční strany vztahených na referenční plochu kolektoru  $S_c$ :

$$k = k_p + k_z + k_b \cdot \frac{S_b}{S_c} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (7)$$

Účinnost kolektoru je dána poměrem energie odvedené teplotonosnou látkou z kolektoru  $Q_U$  [kWh] za určitý časový úsek  $\Delta t$  [h] a energie dopadající na kolektor ve stejném časovém úseku. Z vnější energetické bilance lze stanovit účinnost v závislosti na teplotě absorbéru následovně:

$$\eta = \frac{Q_U}{I \cdot S_c \cdot \Delta t} = \alpha \cdot \tau - \frac{k \cdot (T_{abs} - T_a)}{I} = \eta_0 - \frac{k \cdot (T_{abs} - T_a)}{I} \quad [-] \quad (8)$$

$\Delta t$  časový úsek [-]

$\eta_0 = \alpha \cdot \tau$  optická účinnost [-]

$k$  celkový součinitel prostupu tepla [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

Podíl  $(T_{abs} - T_a)/I$  se nazývá **redukováná teplota** a charakterizuje vnější podmínky, v nichž kolektor pracuje. Závislost účinnosti na redukováné teplotě se vyjadřuje graficky ve formě účinnostní křivky (str. 21).

#### 4.2.2 Vnitřní energetická bilance

Vnitřní bilance kolektoru zohledňuje konstrukční provedení absorbéru, vlastnosti teplotonosné kapaliny a rychlost průtoku.

Absorbér je zpravidla tvořen potrubím, které je protékáno teplotonosnou kapalinou. K potrubí jsou připevněny lamely, které tvoří plochu pro absorpci slunečního záření (obr. 7,8). Užitečný tepelný tok musí být efektivně přenesen z povrchu lamely do potrubí a z něj následně do teplotonosné látky. Vliv geometrie absorbéru, tepelné propustnosti spojení trubka-lamela a přestup tepla z vnitřního povrchu trubky do teplotonosného média může být podle [4] vyjádřen pomocí tzv. účinnostního součinitele  $F'$ . Zde bude uveden pouze základní vztah:

$$F' = \frac{1/k}{1/k_0} \quad [-] \quad (9)$$

$1/k$  odpor proti přenosu tepla z absorbéru do okolí [ $1/(W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$ ]

$1/k_0$  odpor proti přenosu tepla z kapaliny do okolí [ $1/(W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$ ]

Účinnostní součinitel  $F'$  závisí na:

##### geometrických vlastnostech absorbéru:

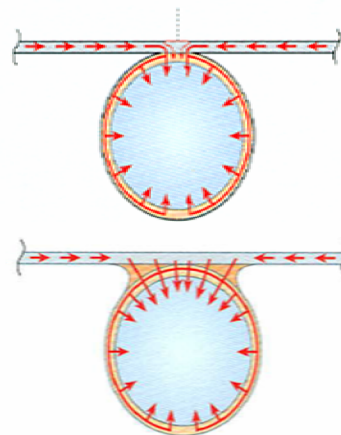
- rozteč trubek
- průměr trubek
- tloušťka spoje trubka-absorbér
- tloušťka absorbéru

##### fyzikálních vlastnostech absorbéru:

- tepelná vodivost absorbéru
- tepelná vodivost spoje trubka – absorbér

##### proudění uvnitř trubek:

- přestup tepla ze stěny trubky do kapaliny



Obr. 8: Různá provedení spoje lamela – trubka [11]

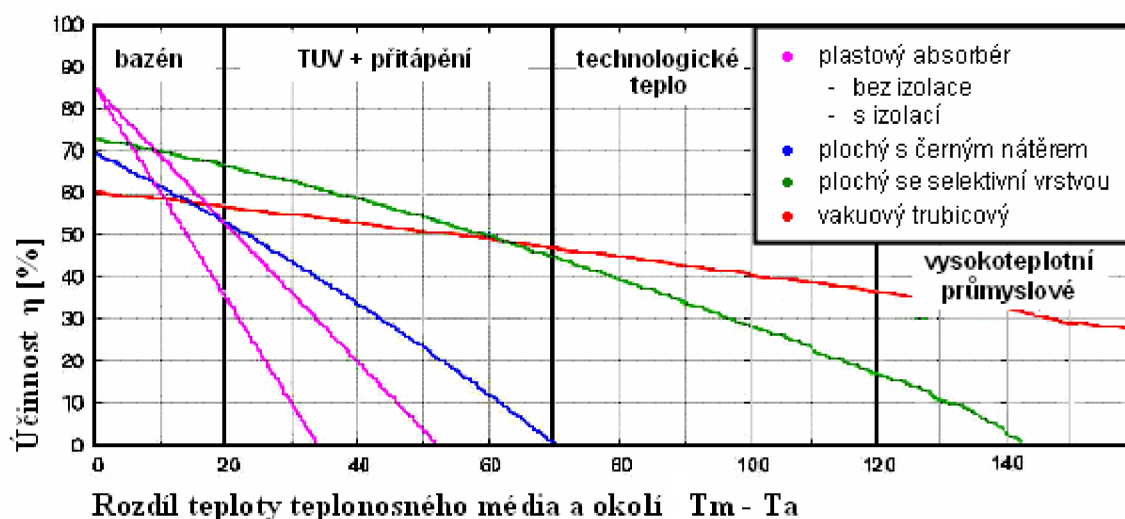
Například se zmenšující se roztečí trubek X (obr.7), tedy se zmenšováním šířky lamely se účinnostní součinitel zvyšuje, stejně se projeví zvětšení tloušťky lamely  $\delta$  nebo zvýšení tepelné vodivosti materiálu. Jak je vidět ze vztahu (9), účinnostní součinitel se bude zvyšovat také se snižujícím se celkovým součinitelem prostupu tepla v kolektoru  $k$  a zvyšujícím se součinitelem přestupu tepla z povrchu trubky do teplotnosné látky. Účinnost solárního kolektoru v závislosti na střední teplotě teplotnosného média  $T_m$  můžeme vyjádřit:

$$\eta = F' \cdot \left[ \tau \cdot \alpha - \frac{k \cdot (T_m - T_a)}{I} \right] \quad [-] \quad (10)$$

$$T_m = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad \text{střední teplota teplotnosného média [K]} \quad (11)$$

$T_{in}$  teplota látky na vstupu do kolektoru [K]

$T_{out}$  teplota látky na výstupu z kolektoru [K]



Obr. 9: Účinnostní křivky různých typů kolektorů při oslunění  $800 \text{ W/m}^2$  (podle [12])

Na závěr této kapitoly je třeba poukázat na to, jaký vliv mají okolní podmínky na účinnost kolektoru.

Tam, kde kolektor pracuje jen s malým teplotním rozdílem, je třeba, aby byl absorbér co nejvíce pohltivý („černý“) a případné zasklení co nejvíce propustné. V tomto případě jsou vhodné plastové absorbéry bez zasklení s neselektivním, matně černým povrchem, které mají vysokou optickou účinnost.

Pokud má kolektor pracovat s velkým teplotním rozdílem (například ohřívání vody v zimě na horské chatě) nebo pokud je k dispozici jen malá intenzita slunečního záření (častá oblačnost), je naopak důležité, aby tepelné ztráty kolektoru byly co nejmenší. Jak je vidět ze vztahu (4), tepelné ztráty sáláním rostou se 4. mocninou rozdílu teplot, proto je zde kvalita izolační vrstvy velmi podstatná. V tomto případě jsou vhodné vakuové kolektory se selektivní vrstvou na absorbéru.

#### Komentář k obr. 9

Při nulovém rozdílu teplot je možné posuzovat optické ztráty. Je-li střední teplota teplotnosného média rovna teplotě okolí, nemá kolektor žádné tepelné ztráty a tím dosahuje své maximální účinnosti  $\eta_0$ . S rostoucí teplotou se zvětšují i tepelné ztráty, tím více, čím je účinnostní křivka strmější.

### 4.3 Izolace solárních kolektorů

Pro zvýšení účinnosti a výsledné teploty teplonosného média je nutné absorbér vhodným způsobem izolovat. Izolaci zadní strany absorbéru lze realizovat snadno, jediným požadavkem je odolnost proti vysoké teplotě. Používá se například několikacentimetrová vrstva minerální vaty se speciálním pojivem (tloušťka 3 až 4 cm). Mnohem obtížnější je izolovat přední stranu absorbéru, kam dopadá sluneční záření. Izolace zde musí být transparentní, její výroba je však poměrně finančně nákladná.

#### Možnosti snížení tepelných ztrát :

**Sklo.** Na zasklení jsou kladeny dva požadavky - vysoká propustnost slunečního záření a nízká tepelná ztráta. Zasklením oddělíme absorbér od okolního prostředí a zabráníme tak přímému vlivu povětrnostních podmínek. Snižují se ztráty konvekcí, ale také radiační ztráty. Ve většině solárních kolektorů se používá jednoduché zasklení, které se sice vyznačuje vysokou propustností slunečního záření, nicméně velmi nízkým tepelným odporem. Sklo je běžně průchodné slunečním krátkovlnným zářením (95 % energie ze slunečního záření je dáno vlnovými délkami 0,3 až 3  $\mu\text{m}$ ), nepropouští však dlouhovlnné záření (IR záření větších délek), které je zejména důsledkem sálání absorbéru. Dochází tak k žádoucímu skleníkovému efektu. Tepelná ztráta zasklením však tvoří cca 75–85 % celkových ztrát. Ve snaze zvýšit tepelný odpor vzduchové mezery mezi absorbérem a zasklením či zasklení samotného se využívá uzavření vzduchu do komůrek a vrstev (struktur), čímž se potlačí přenos tepla vlivem jeho proudění. Paralelním vrstvením zasklení a vzduchových mezer (dvojitá, trojitá, násobná zasklení) je možné zvyšovat tepelný odpor, na druhou stranu se také snižuje celkové množství slunečního záření, které projde na absorbér. S každým vloženým fázovým rozhraním (vzduch - zasklení) klesá propustnost vlivem optických ztrát odrazem cca o 5 %. Novější typy kolektorů bývají osazeny jednoduchými tzv. solárními skly, která jsou potažena antireflexní fólií. Často bývá také uváděno sklo s bezpečnostní fólií, odolné proti UV záření, emisím, vysoké vlhkosti, teplotám a kondenzaci. Základním předpokladem je také odolnost skla proti poškození větrem, sněhem či kroupami, proto se používají skla tvrzená.

**Vakuum.** Podstatou je odstranění vzduchu z okolí absorbéru. Nikdy však nedosáhneme naprostého vakua. Přesto dojde k významnému omezení ztrát konvekcí. Ještě výraznějšího snížení ztrát dosáhneme, nahradíme-li zbylý vzduch méně tepelně vodivými plyny, jako je argon nebo krypton.

**Neselektivní povrchy.** Matně černé nátěry dobře absorbují záření (až 95 %), ale vzhledem k tomu, že jejich struktura není účelně upravena, nezabraňují následnému vyzařování absorbovaného tepla. Přesto se s výhodou využívají u jednoduchých nízkoteplotních nebo svépomocně vyráběných kolektorů. Předností je nízká cena a to, že se snadno nanášejí.

**Selektivní povrchy.** Jsou obvykle tvořeny velmi tenkou vrstvičkou se směsí kovu a Cermetu, která má vysokou pohltivost dopadajícího slunečního záření zároveň malou schopnost vyzařování (např. vrstva černého chromu nebo niklu pigmentovaného hliníkem). Tyto vrstvy se vyrábí různými technologiemi podle druhu povrchu absorbéru, například *galvanickým pokovením*, nebo *anodickou oxidací*. Tyto metody však následně ekologicky zatěžují prostředí odpadními vodami, jejichž likvidace je náročná a nákladná. Poměrně novou metodou je *vakuumé (magnetronové) napařování*. Velkou výhodou této metody je možnost vytvářet vícevrstvé struktury. Při optimální kombinaci vrstev tak dosáhneme vysoké pohltivosti slunečního záření, až 96,5 % ( $\alpha = 0,965$ ) a zároveň nízkého vyzařování ( $\epsilon = 0,05$ ).

Tab. 4: Optické vlastnosti různých typů povrchů [14]

Povrch	$\alpha$	$\epsilon$
Selektivní vícevrstvý povrch	0,965	0,05
Selektivní povrch	0,95	0,05
Selektivní lak (barva kaštanová)	0,75	0,37
Selektivní lak (barva zelená)	0,85	0,5
Solární lak (černý)	0,95	0,85

## 5. DRUHY SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ A JEJICH ROZDĚLENÍ

### Podle typu absorbéru:

- plastové (nezasklené),
- kovové s neselektivním povrchem,
- kovové se selektivním povrchem.

### Podle konstrukce:

- vakuové,
- trubicové,
- koncentrační.

### Podle druhu teplotnosného média:

- kapalinové,
- vzduchové.

### Podle tlaku uvnitř kolektoru:

- atmosferické,
- vakuové.

Dále bude pozornost zaměřena zejména na kolektory vhodné k ohřevu bazénové vody a TUV.

### 5.1 Plastové absorbéry

Přihřívání vody pro bazén nevyžaduje ohřev na tak vysoké teploty jako ohřev TUV pro domácnost. Teplotní rozdíl absorbéru a okolního vzduchu bývá od 0 do 30 °C. V závěru kapitoly 4.2.2 bylo uvedeno, že v takovém případě je důležité, aby optická účinnost byla co největší, tzn. materiál absorbéru musí být co nejvíce pohltivý a propustný. Z toho důvodu se pro ohřev bazénové vody používají absorbéry bez zasklení, které se vyrábí z plastových materiálů, vhodných umělých hmot (např. polypropylenu – PP), nebo speciální gumy (např. EPDM tj. etylenpropylen-dien-monomer). Tyto materiály jsou mrazuvzdorné, ale zvláště PP při teplotách pod bodem mrazu křehne. Při dobrém zacházení vydrží více než 10 let. Nevýhodou plastových absorbérů je značná závislost jejich účinnosti na povětrnostních podmínkách.

Absorbéry jsou tvořeny systémem kanálků, do kterých je potrubím přiváděna voda přímo z bazénu. V ploše je ohřívána dopadajícím slunečním zářením a horním sběrným potrubím odváděna zpět do bazénu. Na našem trhu je k dispozici množství plastových absorbérů. Nejběžnější typy, se kterými se můžete setkat na českém trhu, budou dále popsány:

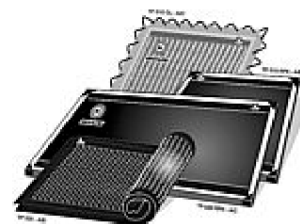
#### Textilně-plastový absorber TPA

Textilně plastový absorber patří mezi nejstarší výrobky na českém trhu. Síť navzájem propojených kanálků tvoří absorpční plochu, která je opatřena poloselektivní vrstvou PVC umožňující ohřev i při difúzním záření. Výhodou je jeho lehkost, malá tloušťka a nízká cena.

Tab. 5: Parametry absorbéru TPA [17]

Typ absorbéru	TPA 10	TPA 20
délka [mm]	1400	1400
šířka [mm]	1000	2000
tloušťka [mm]	5	
plocha [m <sup>2</sup> ]	1,3	2,6
váha bez náplně [kg]	2,7	5,3
váha s náplní [kg]	cca 6	cca 11
max. provozní tlak [kPa]	160	
teplota média [°C]	0 až 90	
tepelná odolnost materiálu [°C]	-30 až 110	
<b>orientační cena [Kč]</b>	<b>2490,-</b>	<b>2880,-</b>
<b>životnost</b>	<b>10 let</b>	

Obr. 10: Základní provedení absorbéru TPA [15]



Obr. 11: Různá provedení absorbéru TPA [16]

V dnešní době jsou kromě základního provedení vyráběny také:

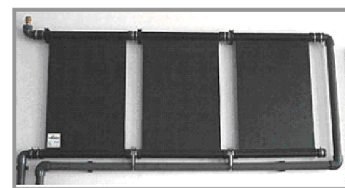
- TPA ... GL - textilně plastový absorbér s gumovým lanem,
- TPA ... RPK - textilně plastový absorbér na dřevěném rámu,
- TPA ... KR - textilně plastový absorbér na kovovém rámu.

### **Plastový absorber Soladur S**

Tyto solární panely s UV filtrem se vyznačují moderním plošným absorbérem z materiálu EPDM. Účelně vyrobený systém hladkých potrubních kanálů slouží také jako nosná konstrukce (obr. 27 na str. 31). Malý objem těchto kanálků zajišťuje dobrý odvod tepla z absorberu. Panel má také dobrou odolnost proti vnějším podmínkám. Výhodou je snadná montáž absorbérů. Velikost celkové absorpční plochy je variabilní, jednotlivé panely se dají spojit paralelně vedle sebe. Solární panely Soladur S jsou v prodeji v několika typech podle velikosti.

Tab. 6: Parametry absorbérů Soladur[18]

Typ kolektoru Soladur	S2	S3	S4	S5
délka [mm]	2 000	3000	4000	5000
šířka [mm]	1200			
tloušťka [mm]	5			
plocha [m <sup>2</sup> ]	2,4	3,6	4,8	6
váha bez náplně [kg]	8	10,5	13	15,5
váha s náplní [kg]	17	22	27	32
teplota média [°C]	0 až 80			
průtok [l/(m <sup>2</sup> ·hodina)]	100			
provozní tlak [kPa]	100			
tlaková ztráta při průtoku 100l/ (m <sup>2</sup> ·h)	10	15	25	40
<b>orientační cena [Kč] s DPH</b>	<b>4651,-</b>	<b>5798,-</b>	<b>7428,-</b>	<b>8843,-</b>
<b>životnost</b>	<b>5 let</b>			



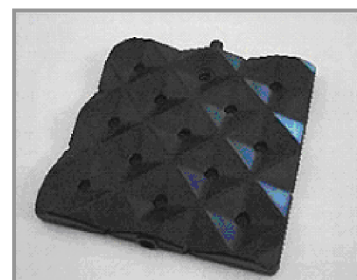
Obr. 12: Absorbér Soladur S [19,20]

### **Plastové kazety KM Solar**

Absorbér je vyroben z polyetylénu vysoké hustoty. Tvarově členitý povrch absorpční plochy pohlcuje dopadající světlo s minimální ztrátou (koeficient absorpce  $\alpha \approx 0,93$ ). System je variabilní, vzájemným vertikálním sesunutím kazet do sebe se vytvoří sloupce, které se pak spojují potrubím z PVC. Celé kolektorové pole se následně upevňuje na dřevěný nebo žáruvzdorný pozinkovaný rošt.

Tab. 7: Parametry kazet KM Solar [22]

<b>Kazety KM Solar Plast</b>	
délka x šířka x tloušťka [mm]	295x295x30
plocha [m <sup>2</sup> ]	0,087
počet kazet na m <sup>2</sup>	12
hmotnost bez náplně [kg/1ks];[kg/m <sup>2</sup> ]	0,7 ; 8,4
hmotnost s náplní [kg/1ks];[kg/m <sup>2</sup> ]	cca 1,6 ; cca 19
maximální provozní tlak [kPa]	120
průtok [l/m <sup>2</sup> /h]	100 až 400
rozsah pracovních teplot [°C]	-5 až 70°
maximální účinnost [%]	94,5
tepelná odolnost materiálu [°C]	-126
<b>orientační cena jedné kazety [Kč]</b>	<b>161,-</b>
<b>cena za 1 m<sup>2</sup> absorpční plochy [Kč]</b>	<b>1932,-</b>
<b>životnost</b>	<b>min. 10 let</b>



Obr. 13: Kazeta KM Solar [15]



Obr. 14: Absorbér složený z kazet KM Solar[23]



Velikost absorpční plochy by měla být volena s ohledem na účinnost celého solárního systému. Pro venkovní bazény se doporučuje 60 až 100 % plochy vodní hladiny bazénu, podle venkovních podmínek a typu absorbéru.

Na závěr této kapitoly je třeba říci, že ochlazování vody, zejména u bazénů na volném prostranství, se velmi výrazně zmenší, zakryje-li se vodní hladina bazénu v době kdy ho nevyužíváme, nesajícím a neprodyšným povlakem. Pokud bude bazén přes noc zakryt 8 až 10 hodin, výrazně se sníží potřebná rozloha absorpční plochy. Nejčastěji se pro tento účel používají bublinkové folie (obr. 15).



Obr. 15:  
Bublinková fólie  
[24]

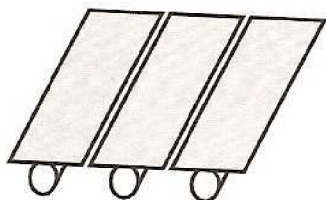
## 5.2 Ploché kolektory s neselektivní vrstvou

V dnešní době se již téměř nevyrábí kolektory s neselektivní vrstvou. Na českém trhu byl v prodeji kolektor tohoto typu Ekotermal, jeho povrch byl upraven speciálním, blíže nespecifikovaným nátěrem "Black painted". Neselektivní vrstvy se používají převážně u svépomocně vyrobených kolektorů.

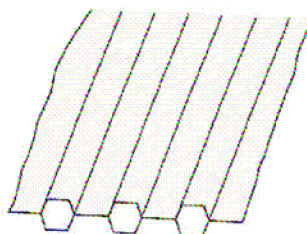
## 5.3 Ploché kolektory se selektivní vrstvou

Tyto kolektory jsou vhodné pro práci s vyššími teplotami, velmi důležitá je pro ně tepelná izolace. Vanová skříň se vyrábí z koroziivzdorných materiálů, nejčastěji z hliníku, který je dobře tvárný a vyhovuje také požadavkům na nízkou hmotnost. Zadní strana kolektoru je izolována obvykle vrstvou minerální vaty. Přední strana je zakrytá sklem (kap. 4.3). Uvnitř kolektoru je absorbér se selektivní vrstvou, na něj je zespodu připevněn trubkový registr z dobře vodivého materiálu (nejčastěji z hliníku, mědi nebo chromniklové oceli). Absorbéry se liší svou konstrukcí a technologií výroby (obr. 16). Celý kolektor musí být dobře utěsněn. V případě, že by se do vnitřního prostoru dostal vzduch z okolního prostředí, došlo by ke kondenzaci páry na vnitřní straně zasklení, což by znemožnilo průchod slunečního záření. Utěsnění se obvykle řeší pomocí silikonových gelů.

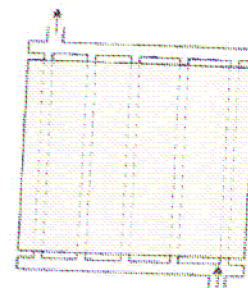
Ploché kolektory se selektivní vrstvou mají na trhu největší zastoupení. Je to dáno širokým spektrem jejich využití, a to zejména na ohřev užitkové vody, často v kombinaci s přitápěním nebo ohřevem bazénu. Díky selektivní vrstvě jsou tyto kolektory vhodné pro celoroční užití (teplonosným médiem musí být nemrzoucí směs), nutností je však doplňkový zdroj energie. Dlouholetou tradici mají na českém trhu kolektory Heliostar s galvanicky vytvořenou selektivní vrstvou, které se vyrábí v několika typech podle použití.



lamelový absorbér



válcovaný absorbér



deskový absorbér

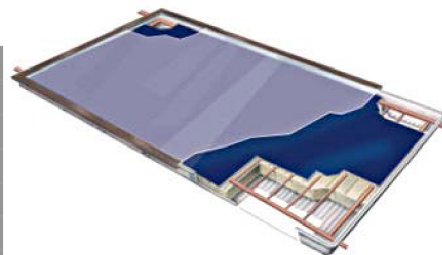
Obr. 16 : Konstrukční řešení absorbéru [3]

## Ploché kolektory Heliostar

- HELIOSTAR 300 - pro vertikální montáž s oběhovým čerpadlem – nejprodávanější.  
 HELIOSTAR 330 - pro horizontální montáž s oběhovým čerpadlem.  
 HELIOSTAR 390 - pro vertikální montáž se samotížnou cirkulací (mají potrubí absorberu uspořádáno ve tvaru lyry).

Tab. 8: Parametry plochých kolektorů Heliostar [25,26]

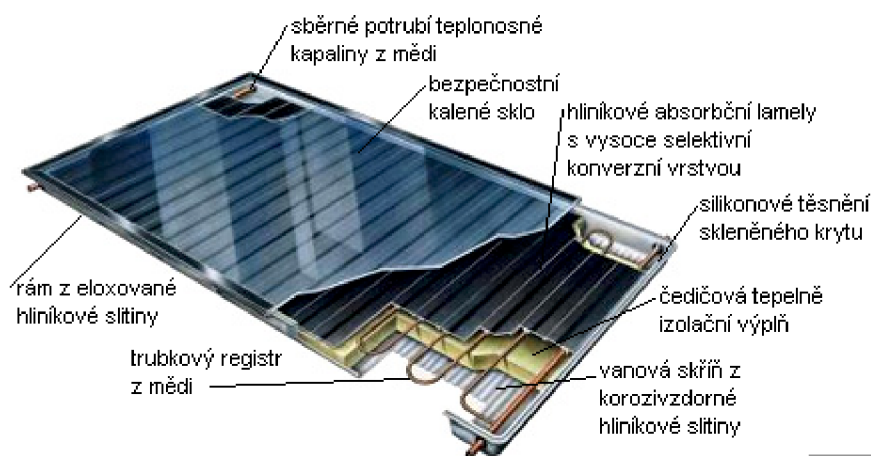
Heliostar – typ	TS 300; TS 330; TS 390
rozměry [mm]	75 x 1008 x 2008
absorbční plocha [m <sup>2</sup> ]	1,78
celková hmotnost [kg]	cca 37; 35; 46
celkový kapalinový obsah [l]	1,6; 1,7; 1,5
krycí sklo	bezpečnostní, tl. 4 mm
tepelná izolace	minerální plst'
konverzní vysokoselektivní vrstva	na bázi oxidu hlinitého pigmentovaného koloidním Ni
skříň kolektoru	výlisek z antikorozního Al-Mg plechu
max. přetlak [kPa]	600
klidová tepl. při 1000 W/m <sup>2</sup> při teplotě okolí 30 °C [° C]	178
průtok teponosné kap. [l/hod]	30 až 100
energetický zisk [kWh/rok]	do 1000
orientační cena [Kč]	cca 10 254; 11 177; 10 234
životnost	35 let



Obr. 17: Plochý kolektor Heliostat 330 [26]

- optická účinnost 80 %
- sluneční absorptance min 0,95
- tepelná emisivita při 82 °C max. 0,17

Pro ohřev TUV pro 4člennou rodinu při objemu zásobníku 300 litrů je třeba 3 ks slunečních kolektorů Heliostar 300.



Obr. 18: Plochý kolektor Heliostar 300 [26]

Poměrně nový je na trhu kolektor Heliostar typu TS 310, jehož selektivní vrstva MIROTHERM dosahuje maximální emisivity 0,05 při minimální absorbivitě 0,95.

Jedním z výrobců kolektorů se selektivním povrchem vytvořeným vakuovým napařováním je u nás firma T.W.I. spol s r.o. [42]. Základem plochých solárních kolektorů Sun Wing T2 této firmy jsou však v Německu komerčně vyráběné absorberové měděné lamely opatřené selektivním povrchem Tinox.



Obr. 19: Absorbérové lamely TiNox [11]

## 5.4 Vakuové kolektory

Na obrázku 9 je vidět, že účinnostní křivka těchto kolektorů klesá s rostoucím rozdílem teplot mírně. I při velkém rozdílu teplot mezi okolním prostředím a teplotným médiem jsou tepelné ztráty poměrně nízké. Z toho také plyne jejich využití. Vakuové kolektory jsou zvláště vhodné tam, kde je třeba maximálních zisků zejména v zimním období a kde je možno využít zejména přímou složku slunečního záření (horské oblasti s vysokým počtem slunečných dnů). Využívají se především na ohřev TUV v kombinaci s vytápěním domu, nebo ohřevem bazénu. Podstata vakuové izolace již byla popsána v kap. 4.3. U tohoto typu kolektorů se obecně nedoporučuje úhel sklonu  $\alpha$  menší jak  $45^\circ$ . V případě menšího sklonu může zůstat na skle napadaný sníh. Protože povrch vakuových kolektorů zůstává poměrně chladný nedošlo by k jeho roztátí, což by znemožnilo přístup slunečních paprsků.

### Výhody vakuových kolektorů:

- obecně vyšší účinnost
- fungují i v chladnějších obdobích
- získávají teplo i při zatažené obloze

### Nevýhody vakuových kolektorů:

- podstatně vyšší cena
- vyšší hmotnost
- některé typy jsou mechanicky zranitelné
- vyšší nároky na odbornou instalaci
- některé typy mají nižší účinnost v létě

Existují dva typy solárních vakuových kolektorů:

### 5.4.1 Deskové vakuové kolektory

Jejich konstrukce je velmi podobná konstrukci plochých kolektorů se selektivní vrstvou. Liší se samozřejmě v tom, že mají z okolí absorberu odčerpaný vzduch (tlak nižší jak 100 Pa). Vytvořením podtlaku dochází k namáhání skla, z toho důvodu se mezi vanu a krycí sklo umísťují rozpěrky. Nevýhodou těchto kolektorů je nutnost obnovování vakua (v praxi zhruba po 2 letech). V současnosti je však tato kategorie poněkud na ústupu.

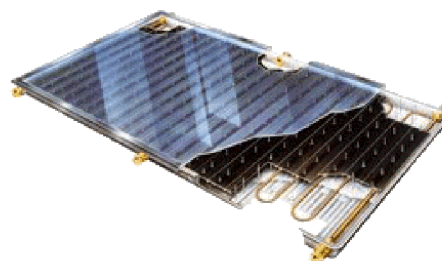
### Deskové vakuvé kolektory Heliostat

Tab. 9: Parametry vakuového deskového kolektoru Heliostat [25,26]

Heliostar	TS 400
rozměry [mm]	75 x 1040 x 2040
absorbční plocha [m <sup>2</sup> ]	1,78
celková hmotnost [kg]	49
celkový kapalinový obsah [l]	1,8
krycí sklo	bezpečnostní, solární, tl. 4 mm
tepelná izolace zadní strany	minerální plst'
konverzní vysokoselektivní vrstva	na bázi oxidu hlinitého pigmentovaného koloidním Ni
skříň kolektoru	výlisek z antikorozního Al-Mg plechu
tepelná izolace	Vakuum 100 kPa
max. přetlak [kPa]	600
klidová tepl. při 1000 W/m <sup>2</sup>	224
průtok teplotnosné kap. [l/hod]	30 až 100
energetický zisk [kWh/rok]	do 800 až 1200
<b>orientační cena [Kč]</b>	<b>18 945,-</b>
<b>životnost</b>	<b>35 let</b>

Součástí systému je ukazatel úrovně vakua. Když vakuum klesne pod určitou úroveň, je nutné ho servisním zásahem obnovit.

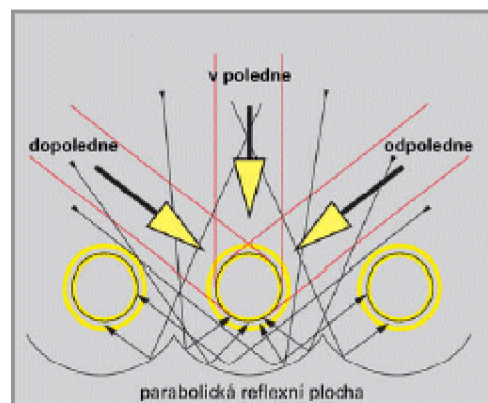
- optická účinnost 81 %
- sluneční absorptance min. 0,94
- tepelná emisivita při 82 °C max. 0,16



Obr. 20: Deskový vakuový kolektor Heliostat TS 400 [25,26]

## 5.4.2 Trubicové vakuové kolektory

Jak je již patrné z názvu, základem těchto kolektorů jsou dvoustěnné trubice ze speciálního skla. Jejich tvar dobře odolává vysokému rozdílu tlaků uvnitř a vně trubice (vnitřní tlak dosahuje až 0,001 Pa), zároveň díky vypouklému povrchu dochází k přijímání záření z velkého rozsahu úhlů. Proto pracují tyto kolektory mnohem lépe i při zatažené obloze. Za jasného slunečního dne dokáží akumulovat energii až do teploty 30 °C. Vakuum je uvnitř trubek stálejší a jeho životnost při zachování vysoké účinnosti je mnohem vyšší než u plochých vakuových typů (až 20 let). Pod skleněným povrchem bývá signální terčík s chemikálií reagující na přítomnost vzduchu. Tak lze snadno zjistit porušení vakua. Trubice jsou uloženy paralelně vedle sebe nad parabolickou reflexní plochou. Optimalizovaný parabolický reflektor zajišťuje osvit zadní strany absorpční trubice přímým i nepřímým solárním zářením. Správné nastavení geometrie kolektoru – seřízení vzdálenosti mezi trubkami a reflektorem – zajišťuje využívání solární energie po maximální dobu. Při poškození jedné trubice (například krupobitím) není nutné vyměňovat celý kolektor. Výměna je obvykle velmi jednoduchá, spočívá v zasunutí trubice do těsněné objímky. Lze ji tedy provádět bez demontáže kolektoru. Vyrábí se dva druhy trubicových vakuových kolektorů, které se liší mechanismem přenosu tepla.



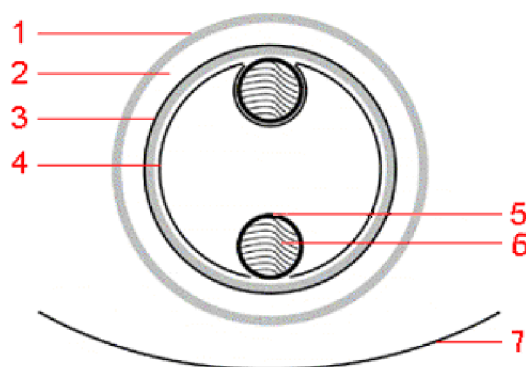
Obr. 21: Funkce reflektoru [28]

### • Trubicové vakuové kolektory protékané přímo

Jedná se o technologii podobnou, jako se používá například pro výrobu termosek. Uvnitř dvoustěnných trubek ze speciálního skla jsou zatavené kovové trubky, kterými protéká teplotná kapalina. Nevýhodou je, že tento typ trpí v létě přehříváním, při kterém může dojít k varu teplotné kapaliny.

#### Popis k obrázku 28

- 1) vnější skleněná trubice
- 2) vakuum
- 3) vysoce kvalitní černá absorpční vrstva na vnější straně skleněné trubice
- 4) těsně přiléhající aluminiový potah na vnitřní straně trubice
- 5) měděné potrubní vedení
- 6) teplotná kapalina
- 7) reflektor



Obr. 22: Trubicový absorbér [28]

## Vakuové kolektory OPC

Tab. 10: Parametry vakuových trubkových kolektorů OPC 10 a 15 [28]

OPC	10	15
délka x šířka x výška [mm]	1700 x 850 x 97	1700 x 1250 x 97
účinná absorpční plocha [m <sup>2</sup> ]	1,67	2,13
jímací plocha [m <sup>2</sup> ]	1,15	1,72
celková hmotnost [kg]	32	45
celkový kapalinový obsah [l]	2,1	3,1
krycí sklo	borosilikátové potažené nitridem mědi, tl. 3,3 mm	
selektivní vrstva vnitřní trubice	9 vrstev mědi / hliník / ocel	
rám kolektoru	hliník	
maximální pracovní tlak [MPa]	1	
průtok teplotnosné kap. [l/hod]	cca 48	cca 66
<b>orientační cena</b>	<b>24 900,-</b>	<b>34 900,-</b>
<b>životnost</b>	<b>min. 30 let</b>	



Obr. 23: Horní část vakuových trubic [29]

### Trubicové vakuové kondenzační

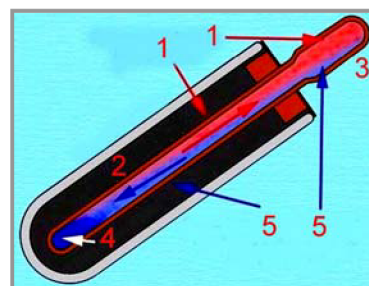
Tento systém bývá označován také jako „heat pipe“. Na první pohled se podobá předchozímu, ve skutečnosti však pracuje na velmi odlišném principu. Kovové trubky zatavené do skleněných nejsou průtočné, ale slepé s uzavřenými konci. Horní konce jsou „ponořeny“ do sběrné trubky s teplotnosnou kapalinou, která prochází vrchní stranou kolektoru. Uvnitř je látka s nízkým bodem varu, například etylalkohol, glykol a podobně. Vlivem slunečního záření se médium odpařuje (při cca 25 °C) a stoupá k hornímu konci, kde kondenzuje a předává své teplo teplotnosné kapalině. Poté stéká dolů a koloběh se opakuje.



Obr. 24: Trubicový vakuový kolektor OPC [28]

### Popis k obrázku 29:

- 1) Horká pára stoupá vzhůru
- 2) vakuum
- 3) hlava trubice se ochlazuje ve styku s pracovní kapalinou
- 4) kapalina s nízkým bodem varu
- 5) páry v hlavici kondenzují a stékají zpět dolů



Obr. 25: Princip kondenzační trubice [29]

## 6. SOLÁRNÍ TERMICKÉ SYSTÉMY

### 6.1 Princip činnosti solárních systémů a jejich základní části

V kapitole 5 byly popsány druhy kolektorů, které se u nás běžně používají. Pro celý proces přenosu tepla a odvodu ke spotřebiteli jsou však podstatné, kromě solárního kolektoru, i další části systému. Pohyb teplotnosného média je zajištěn pomocí transportního systému, ten médium odvádí buď přímo ke spotřebičům nebo do zásobníku, kde se energie skladuje pro dobu nedostatku slunečního svitu. Všechny části takového systému pak nazýváme solární okruh.

#### Základní části solárního okruhu:

- kolektor – zajišťuje absorpci záření a přeměnu v teplo,
- zásobník tepla – slouží k uložení tepla pro pozdější potřebu,
- výměníky – slouží k přenosu tepla z jednoho okruhu do jiného,
- transportní systém – tj. oběhové čerpadlo nebo ventilátor pro dopravu teplotnosné látky, spojovací potrubí, armatury atd.,
- řídicí a regulační zařízení – zajišťují správnou činnost systému.

Použití jednotlivých částí solárního okruhu závisí na účelu jeho využití.

### 6.2 Rozdělení termických solárních systémů

#### Podle způsobu zajištění přenosu tepla:

- **Systémy pasivní** – teplo je přenášeno bez použití technického zařízení, bez přívodu elektřiny. Princip pasivního systému ohřev vody bude popsán v kapitole 6.4.2,
- **Systémy aktivní** – aktivní systémy potřebují ke svému chodu přívod el. energie pro pohyb transportních, řídicích, regulačních a dalších členů.

#### Podle teplotnosného média:

- **Systémy využívající k odvodu tepla z kolektoru vodu nebo nemrznoucí směs** – nejvíce využívané systémy, neboť v případě ohřevu TUV nebo bazénové vody je s výhodou využito spotřební médium i jako teplotnosné. Navíc voda má poměrně velkou tepelnou kapacitu, tzn. stačí pouze malé průměry rozvodových trubek.
- **Systémy využívající k odvodu tepla vzduch** – využívají se zejména při větrání s rekuperací a přehříváním vzduchu. Nevýhodou je zejména nutnost velkého průměru rozváděcího potrubí.

#### Podle typu solárního okruhu:

- **Přímý** – teplotnosné médium procházející absorberem přímo využívá spotřebitel.
- **Nepřímý** – teplotnosné médium procházející přes absorber předává teplo pomocí tepelného výměníku médiu, které využívá spotřebitel (solární systémy dvouokruhové, víceokruhové).

Dále se budeme přednostně věnovat pasivním a aktivním termickým systémům pro ohřev bazénové vody a TUV.

## 6.3 Systémy pro ohřev bazénové vody

### 6.3.1 Ohřev pomocí solárních plastových absorbérů

Tyto systémy jsou zpravidla řešeny jako aktivní, s přímým oběhem vody. Přes absorbéry prochází voda čerpaná přímo z bazénu. Funkce solárních absorbérů již byla popsána v kapitole 5.1, proto se zaměříme na ostatní části systému.

Systémy se mohou lišit v tom, zda je pro oběh vody použito čerpadlo bazénové filtrace, nebo čerpadlo samostatné. Příkon bazénového čerpadla se obvykle pohybuje mezi 500 až 800 W, jeho průtok je několikanásobně vyšší, než je průtok vhodný pro zajištění dostatečného ohřátí vody při průchodu kolektorem. V tomto případě je tedy nutné, aby součástí solárního okruhu byl přepouštěcí uzel (obr. 26–5), který rozděluje průtok podle potřeby do dvou samostatných větví. Spínání čerpadla bazénové filtrace je řešeno časovacími hodinami. Čerpadlo může být například sepnuto kolem 9. hodiny ráno a vypnuto kolem 5. hodiny odpoledne, to znamená 8 hodin chodu čerpadla. Menší nevýhoda tohoto řešení spočívá v tom, že k filtraci bazénové vody postačí pouze 5 až 6 hodin (podle velikosti bazénu), v případě špatného počasí tak pojedou čerpadlo zbývající čas zbytečně.

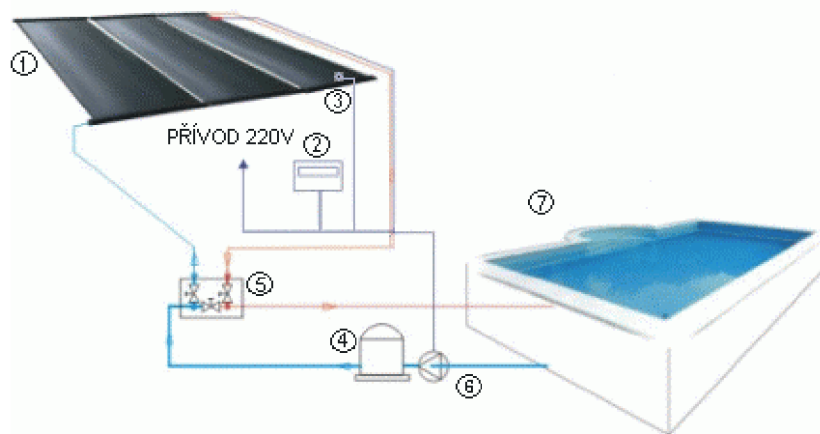
Pokud je solární okruh řešen jako samostatný, zcela oddělený od okruhu filtračního, osazuje se samonasávacím čerpadlem s vhodným průtokem. V tomto případě bude spínání čerpadla řešeno teplotním čidlem. Čidlo měří teplotu absorpční plochy, ve chvíli, kdy dosáhne požadované teploty, dojde k sepnutí čerpadla. V případě nedostatečného slunečního svitu tak nedojde k jeho sepnutí vůbec.

Při použití samostatného čerpadla solárního okruhu jsou obě čerpadla (filtrační i bazénové) sice využita pouze po dobu nutnou, na druhou stranu musíme dodávat el. energii do dvou čerpadel.

Kontrolou teploty vody před vstupem a za výstupem z kolektoru pak můžeme zjistit teplotní rozdíl při průchodu vody přes kolektor, na základě toho můžeme následně upravit průtočnou rychlost.

#### Popis k obrázku 26:

- 1) Solární absorber
- 2) Časovací hodiny
- 3) Teplotní čidlo
- 4) Bazénová filtrace
- 5) Regulační uzel
- 6) Bazénové čerpadlo
- 7) Bazén



Obr. 27: Solární systém s absorbéry Soladur [31]

Obr. 26: Solární systém s přímým ohřevem bazénové vody pomocí solárních plastových absorbérů [30]

**Užití:**

Především k sezónnímu ohřevu rodinných bazénů přímým ohřevem bazénové vody.

**Výhody:**

- jednoduchost a cenová dostupnost,
- nízká hmotnost,
- absorbéry nekorodují,
- při nevýrazných teplotních rozdílech mezi absorbérem a okolím je stupeň účinnosti, v porovnání s kapalinovým i vakuovým kolektorem, dokonce vyšší,
- jednoduchá instalace systému, kterou lze provést i svépomocně.

**Nevýhody:**

- nižší životnost, většinou 5 až 20 let podle typu,
- pro dostatečný výhřevný efekt je třeba, aby byla velikost absorpční plochy byla cca 60 až 100 % plochy venkovního bazénu, 40 až 50% vnitřního,
- nutnost důkladného vypuštění systému před zimou.

**6.3.2 Přímý ohřev pomocí solárních kolektorů**

Přihřívání bazénové vody může být řešeno také pomocí plochých kolektorů. Tato možnost se využívá v případě celoročního ohřevu vnitřního bazénu nebo je-li požadavek na co nejmenší absorpční plochu. Kapalinové kolektory mají oproti plastovým absorbérům účinnost rovnoměrnější. Je to dáno tím že jsou izolované a díky tomu nemají okolní podmínky tak výrazný vliv jejich ztráty ve srovnání s plastovými absorbéry. Výhody jsou však vykoupeny vysokou pořizovací cenou kolektoru. Solární okruh je pak řešen obdobně jako při využití absorbérů.

Vhodné je, pokud při instalaci takového systému zákazník plánuje do budoucna. Není totiž problém připravit systém na budoucí rozšíření o ohřev TUV či přitápění. Toto řešení se jeví výhodné z finančního hlediska, zákazník může investice rozložit, ve vhodnou dobu pak investovat do rozšíření systému. Přidáním příslušného počtu solárních panelů a instalováním nutných komponentů vznikne dvoukruhový solární systém, který je popsán v kapitole 6.4.1. Tímto rozšířením bude také splněna podmínka pro získání státní dotace a v konečném součtu tedy vyjde celá investice levněji.

**Užití:**

Pro celoroční ohřev bazénové vody nebo je-li požadavek na co nejmenší absorpční plochu.

**Výhody:**

- Postačí menší plocha kolektoru.
- Ploché kolektory mají vysokou životnost oproti solárním absorbérům.
- Mají schopnost využít i difúzní záření, vyšší účinnost, rovnoměrněji rozloženou během roku.

**Nevýhody:**

- Vyšší pořizovací cena.



Obr. 28: Bazén vyhříváný plochými solárními kolektory [ 31]



## 6.4 Systémy pro ohřev TUV v kombinaci s ohřevem bazénové vody

### 6.4.1 Nepřímý ohřev pomocí solárních kolektorů

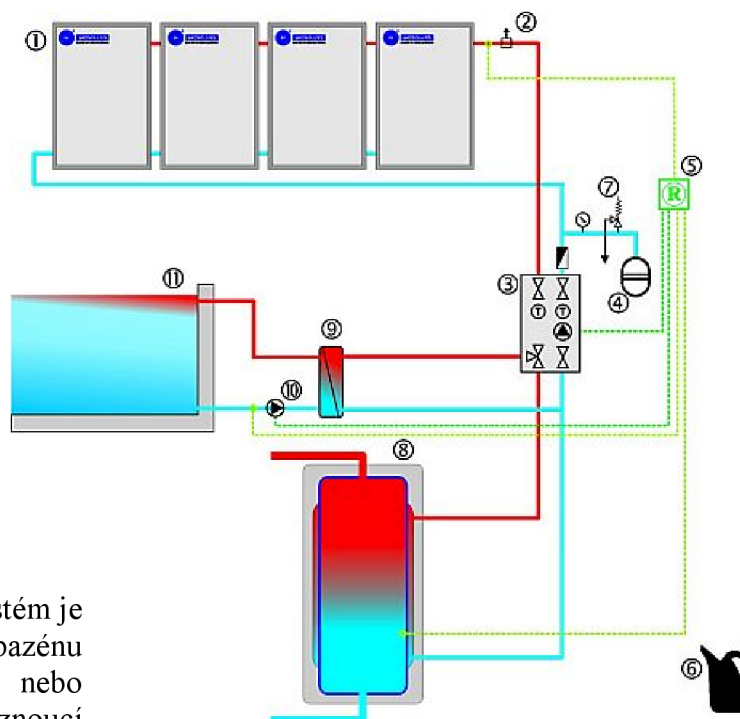
Tento typ ohřevu bazénu je založen na principu dvou okruhů, primárního – *solární panely* a sekundárního – *bazén*. Teplo získané kolektory je v podobě ohřáté vody přivedeno do regulačního uzlu. Zde je část vody odváděna do tepelného výměníku, ve kterém dochází k předání tepla bazénové vodě, část jde do zásobníku TUV.

Primární okruh je osazen kvalitními, nejčastěji vysoce selektivními plochými kolektory nebo kolektory vakuovými, hnací jednotkou s oběhovým čerpadlem, spojovacím potrubím, tepelným výměníkem a elektronickou regulací. Oběh teplotnosné kapaliny v primárním okruhu zajišťuje solární oběhové čerpadlo hnací jednotky. To se uvede do chodu v okamžiku, kdy teplota v kolektorech dosáhne žádané hodnoty. Souběžně s tím dojde k sepnutí bazénového čerpadla sekundárního okruhu, který je součástí technologie bazénové filtrace.

Sekundární okruh je klasický bazénový okruh, pouze s tím rozdílem, že do tryskové větve za pískovým filtrem je vřazen tepelný výměník vhodné konstrukce a výkonu. Jeho umístění je voleno většinou v těsné blízkosti bazénové technologie.

#### Popis k obrázku 29:

- 1) Solární kolektory
- 2) Automatický odvzdušňovací ventil
- 3) Regulační uzel
- 4) Expanzní nádoba
- 5) Regulace
- 6) Nemrznoucí směs
- 7) Pojistňovací ventil
- 8) Zásobník TUV
- 9) Tepelný výměník bazénový
- 10) Bazénové čerpadlo
- 11) Bazén



Obr. 29: Solární systém dvouokruhový pro ohřev TUV a bazénové vody [32]

#### Užití:

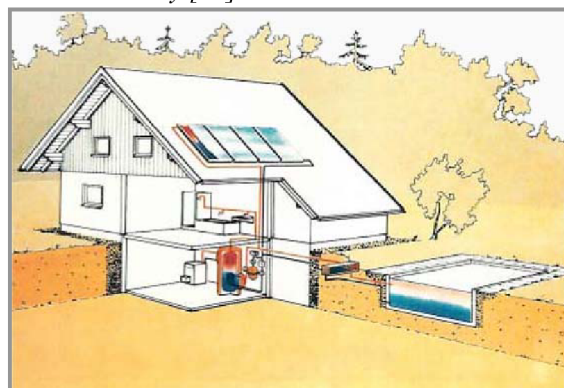
Oddělený, dvouokruhový solární systém je nutností, pokud chceme ohřev bazénu kombinovat s ohřevem TUV nebo přitápěním. Díky teplotnosné nemrznoucí náplni systému jde o zařízení s celoročním využitím a bezpečným provozem.

#### Výhody:

- výhodné celoroční využití systému – letními přebytky tepla ze slunečních kolektorů se vyhřívá bazén.
- Krátká doba návratnosti investice.

#### Nevýhody:

- Je investičně náročnější.



Obr. 30: Solární systém dvouokruhový se zásobníkem umístěným ve sklepních prostorách [33]

### 6.4.2 Solární samotížný systém

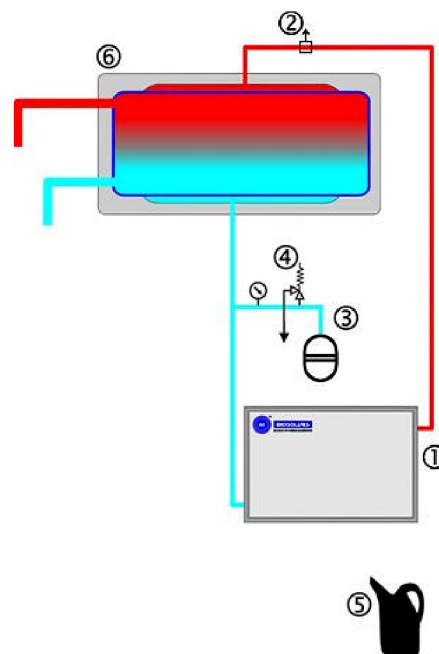
Tento systém pracuje na základě tzv. termosifonového efektu. Teplonosná směs se v kolektoru vlivem dopadajících slunečních paprsků ohřívá a roztahuje. Samovolně stoupá v trubkovém rozvodu vzhůru k zásobníku s užitkovou vodou, které předává teplo přes výměník. Teplonosné médium se ve výměníku ochlazuje a následně klesá zpět dolů do kolektoru. Není tedy potřeba čerpadla a regulace, také montáž je jednodušší. Tento solární systém je možno užívat celý rok, podmínkou je, aby teplonosným médiem byla nemrznoucí směs. Voda v zásobníku může být proti zamrznutí chráněna například elektrickou topnou vložkou s termostatem, kterou je možné využít také jako dohřev ve dnech se slabším slunečním svitem.

#### Popis obrázku 31:

- 1) Solární kolektor
- 2) Automatický odvzdušňovací ventil
- 3) Expanzní nádoba
- 4) Pojistňovací ventil
- 5) Nemrznoucí směs
- 6) Zásobník TUV s tepelným výměníkem

#### Užití:

Samotížné solární systémy jsou vhodnější pro sezónní užití, neboť nehrozí nebezpečí zamrznutí vody v přívodních trubkách. Při celoročním využití je nutné zabezpečit rozvody TUV proti zamrznutí a to buď elektricky vyhřívanými kabely s termostatem (PG nebo SR kabely) [37] nebo instalací zásobníku uvnitř domu.



Obr. 31: Solární samotížný systém dvoukruhový [34]

#### Výhody:

- Provozní spolehlivost a dlouhá životnost,
- minimální údržba (maximálně jednou ročně doplnění nemrznoucí kapaliny),
- téměř nulové provozní náklady,
- velmi jednoduchá a časově nenáročná montáž,
- díky univerzální konstrukci možné uplatnění na sedlových i plochých střechách a terénu,
- není potřeba čerpadla, tak jako u nucených systémů.

#### Nevýhody:

- nemožnost regulace teplot,
- nižší účinnost.



Obr. 32: Solární samotížný systém značky Megason [35]

## 5. REALIZACE SOLÁRNÍHO SYSTÉMU PRO SEZÓNÍ OHŘEV BEZÉNU

Solární systém bude navržen pro nezakrytý bazén ve tvaru oválu o rozměrech 6,5 x 3,5 x 1,5 m. Bazén bude využíván pouze v letním období, v noci a dopoledne je bazén vždy zakryt folií průměrně na 16 hodin, přes den není zastíněn stromy.

**Požadavky investora:** Úhel azimutu  $0^\circ$ , sklon absorpční plochy  $\alpha = 45^\circ$ . Požadovaná teplota vody v květnu a červnu  $26^\circ\text{C}$ , v červenci a srpnu  $28^\circ\text{C}$  a v září  $24^\circ\text{C}$ .

### Potřebné údaje:

- lokalita: Brno
- provoz: od května do září
- objem vody v bazénu:  $V = 28 \text{ m}^3$
- hloubka vody:  $H = 1,5 \text{ m}$
- plocha hladiny:  $S = 18,62 \text{ m}^2$
- teplota vody v květnu a červnu:  $26^\circ\text{C}$
- teplota vody červenci a srpnu:  $28^\circ\text{C}$
- teplota vody v září:  $24^\circ\text{C}$
- úhel azimutu:  $0^\circ$
- úhel sklonu kolektoru  $\alpha$ :  $45^\circ$



Obr. 33: Plavecký bazén 6,5 x 3,5 x 1,5 m

### 5.1 Výpočet potřebné plochy solárního absorberu

Při ohřívání vody v bazénu je třeba dodávat teplo :

- a) Pro úhradu tepelné ztráty prostupem stěnami bazénu pod úrovní vodní hladiny.
- b) Pro úhradu tepelné ztráty přestupem z vodní hladiny

Vzhledem k tomu že stěny bazénu jsou velmi dobře izolovány, jsou ztráty prostupem zanedbatelné oproti ztrátám přestupem z vodní hladiny. Součinitel přestupu tepla z vodní hladiny  $\alpha_{celk}$  se skládá z přestupu tepla:

- sáláním,
- konvekcí,
- vypařováním vody.

## 1. Součinitel přestupu tepla vypařováním z vodní hladiny :

$$\alpha_{vyp} = \frac{\alpha_k}{c_v} \cdot \frac{x_w'' - x_v}{t_w - t_v} \cdot r \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (12)$$

$\alpha_k$  ... součinitel přestupu tepla konvekcí, pro bazény ve volném prostřanství se volí mezi 10 až 15  $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$ . Bazén je situován v údolí kde je povětrnost nižší, proto můžeme v našich podmínkách uvažovat  $\alpha_k = 10 [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$ .

$c_v$  ... měrná kapacita vzduchu ( $c = 1010 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$x_w''$  ... měrná vlhkost nasyceného vzduchu při teplotě  $t_w$   $[\text{kg}/\text{kg s.v.}]$

$x_v$  ... měrná vlhkost okolního vzduchu při teplotě  $t_v$  a relativní vlhkosti  $\varphi$   $[\text{kg}/\text{kg s.v.}]$

$t_w$  ... teplota vody v bazénu  $[\text{°C}]$

$t_v$  ... průměrná denní teplota okolního vzduchu  $[\text{°C}]$

$r$  ... výparné teplo vody ( $r = 2,4 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Hodnoty měrné vlhkosti okolního vzduchu je možné vyčíst z i-x diagramu vlhkého vzduchu, nebo vypočítat pomocí následujícího vstahu:

$$x_v = 0,662 \cdot \frac{\varphi \cdot pp''}{p - \varphi \cdot pp''} \quad [\text{kg}/\text{kg s.v.}] \quad (13)$$

$p$  ... atmosferický tlak v dané nadmořské výšce  $[\text{Pa}]$

$pp''$  ... tlak nasycených par při teplotě okolního vzduchu  $t_v$   $[\text{Pa}]$

$\varphi$  ... průměrná relativní vlhkost vzduchu  $\varphi$  pro jednotlivé měsíce [-]

Tab. 11: Měrná vlhkost okolního vzduchu

Brno $p = 100$ kPa	$t_v^{1)}$ [°C]	$pp''^{2)}$ [Pa]	$\varphi^{3)}$ [-]	$x_v \cdot 10^3$ [kg/kg s.v.]
květen	15,3	1 745	0,63	<b>7,35</b>
červen	17,9	2 058	0,64	<b>8,83</b>
červenec	19,5	2 274	0,66	<b>10,08</b>
srpen	19,8	2 317	0,69	<b>10,75</b>
září	14,4	1 646	0,72	<b>7,93</b>

1) podle přílohy 1

2) Hodnoty byly převzaty z [4]

3) Hodnoty byly převzaty z [39]

Tab. 12: Součinitel přestupu tepla vypařováním z vodní hladiny

Brno	$t_w$ [°C]	$t_v$ [°C]	$t_w - t_v$ [°C]	$x_w^{(1)} \cdot 10^3$ [kg/kg s.v.]	$x_v \cdot 10^3$ [kg/kg s.v.]	$x_w'' - x_v$ [kg/kg s.v.]	$\alpha_{vyp}$ [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
květen	26	15,3	8,7	22,06	7,35	12,452	<b>40,18</b>
červen	26	17,9	8,1	22,06	8,83	13,53	<b>38,81</b>
červenec	28	19,5	8,5	24,92	10,08	15,19	<b>41,49</b>
srpen	28	19,8	8,2	24,92	10,75	14,62	<b>41,06</b>
září	24	14,4	9,6	19,50	7,93	11,84	<b>28,64</b>

1) Hodnoty byly převzaty z [4]

### Celkový součinitel přestupu tepla z vodní hladiny $\alpha_{celk}$ :

Při výpočtu se předpokládá, že v době provozní přestávky (tj. od 20 do 16 h) se vodní hladina zakryje fólií. To umožní zanedbat tepelnou ztrátu přestupem při vypařování z hladiny v této době. Výpočet se řeší zvlášť pro dobu zakryté a odkryté hladiny.

**V době nezakryté vodní hladiny:**

$$\alpha_{celk} = \alpha_s + \alpha_k + \alpha_{vyp} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

**V době zakryté vodní hladiny:**

$$\alpha_{celk} = \alpha_s + \alpha_k \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (14)$$

$\alpha_s$  ... součinitel přestupu tepla sáláním, podle [2] se volí  $\alpha_s = 5 \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$

### Ztráty tepelné energie přestupem z vodní hladiny a spotřeba tepla pro úhradu těchto tepelných ztrát:

$$Q_{ztr} = \alpha_{celk} \cdot S \cdot (t_w - t_v) \quad [W] \quad (15)$$

$t_v$  ... teplota okolního vzduchu, v době nezakrytého bazénu se počítá s průměrnou teplotou v době slunečního svitu, v době kdy je bazén zakrytý počítáme s průměrnou denní teplotou (pro 24 hodin).

$$Q_{spotř} = h \cdot n \cdot Q_{ztr} \cdot 10^{-3} \quad [kW \cdot h] \quad (16)$$

$n$  ... počet dnů v měsíci

$h$  ... počet hodin při zakrytém či nezakrytém stavu bazénu v průběhu jednoho dne

$Q_{ztr}$  ... ztráty tepelné energie přestupem z vodní hladiny

Tab. 13: Ztráty tepelné energie přestupem z vodní hladiny a spotřeba tepla k úhradě těchto ztrát

Brno	$t_w$ [°C]	$t_v^{1)}$ [°C]	$t_w - t_v$ [°C]	$\alpha_{celk}$ [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	$Q_{ztr}$ [W]	$n$ [dnů]	Spotřeba tepla za měsíc [kW·h]
Nezakrytá vodní hladina v době od 16 do 20 h $\alpha_{celk} = \alpha_k + \alpha_s + \alpha_{vyp}$							$Q_{spotř} = 4 \cdot n \cdot Q_{ztr} \cdot 10^{-3}$
květen	26	16,8	8,06	55,18	9 452	31	<b>1 172</b>
červen	26	19,2	5,16	53,81	6 813	30	<b>818</b>
červenec	28	20,6	5,84	56,49	7 783	31	<b>965</b>
srpen	28	21,3	5,43	56,06	6 994	31	<b>867</b>
září	24	15,7	8,20	43,64	6 744	30	<b>809</b>
Zakrytá vodní hladina v době od 20 do 16 h $\alpha_{celk} = \alpha_k + \alpha_s$							$Q_{spotř} = 20 \cdot n \cdot Q_{ztr} \cdot 10^{-3}$
květen	26	15,3	10,7	15	2 430	31	<b>1 853</b>
červen	26	17,9	8,1	15	2 262	30	<b>1 357</b>
červenec	28	19,5	8,5	15	2 374	31	<b>1 472</b>
srpen	28	19,8	8,2	15	2 290	31	<b>1 420</b>
září	24	14,4	9,6	15	2 681	30	<b>1 609</b>

1) Hodnoty podle přílohy 1

## 2. Tepelná energie získaná absorpcí na vodní hladině:

Při výpočtu tepla získaného absorpcí slunečního záření vycházíme z hodnot měrné energie slunečního záření dopadající v Brně na vodorovnou plochu v jednotlivých měsících (tab. 3, str. 14). Výsledné teplo získané absorpcí slunečního záření hladinou bazénu se vypočítá následovně:

$$Q_{abs} = S \cdot \eta_A \cdot Q_{S\text{ měs}} \quad [\text{kW}\cdot\text{h}] \quad (17)$$

$\eta_A$  ... účinnost pohlcování energie ze slunečního záření vodní hladinou [-]. Vodní hladina se považuje za vodorovný sběrač energie, který je schopen zachytit přímé i difúzní záření, jeho účinnost je neproměnná, podle [2] se uvažuje **85 %** (předpokládá se, že vodní hladina odráží 15 % záření zpět do okolí).

$Q_{S\text{ měs}}$  ... průměrná energie dopadající na vodorovnou plochu za měsíc [ $\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

Tab. 14: Tepelná energie získaná absorpcí slunečního záření vodní hladinou

Brno	$\eta_A$ [-]	$Q_{S\text{ měs}} (0^\circ)^1)$ [ $\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$ ]	$Q_{abs}$ [ $\text{kW}\cdot\text{h}$ ]
květen	0,85	154,1	<b>2 438</b>
červen	0,85	155,8	<b>2 466</b>
červenec	0,85	166,5	<b>2 635</b>
srpen	0,85	139,2	<b>2 203</b>
září	0,85	91,2	<b>1 443</b>
celkem			10 602

1) podle tabulky 3 na str. 14

### Výsledná spotřeba tepla pro jednotlivé měsíce:

$$Q_V = Q_{spotř} - Q_{abs} \quad [\text{kW}\cdot\text{h}] \quad (18)$$

$$\text{Květen:} \quad Q_V = (1\,172 + 1\,853) - 2\,438 = 587 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

$$\text{Červen:} \quad Q_V = (818 + 1\,357) - 2\,465 = -290 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

$$\text{Červenec:} \quad Q_V = (965 + 1\,472) - 2\,635 = -401 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

$$\text{Srpen:} \quad Q_V = (867 + 1\,944) - 2\,203 = 608 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

$$\text{Září:} \quad Q_V = (809 + 1\,609) - 1\,443 = 975 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

Z výsledků je patrné, že pouze v měsíci květnu, srpnu a září, je nedostatek energie, který je nutno hradit slunečními kolektory. V ostatních měsících je energie zachycené osluněnou hladinou přebytek.

## 3. Energie zachycená plastovým absorbérem:

Nejdříve je třeba stanovit účinnost absorbéru. Vztah je obdobný jako pro ploché kolektory :

$$\eta = \alpha \cdot \tau - \frac{k \cdot (T_{abs} - T_a)}{I_{Gpr}} = \eta_0 - \frac{k \cdot (T_{abs} - T_a)}{I_{Gpr}} \quad [-] \quad (19)$$

$I_{Gpr}$  ... průměrná intenzita slunečního záření, se kterou absorbér skutečně pracuje [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ],

tj. průměrná intenzitou slunečního záření, která dopadá na absorbér v době jeho chodu. V květnu a srpnu je předpokládáný chod absorbérů od 8 do 16.30 hodin, v září od 9 do 16 hodin (intenzita globálního záření dosahuje v ČR v tomto časovém rozmezí hodnot větších jak  $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ).

- $\alpha$  ... koeficient absorpce závisí na kvalitě povrchové vrstvy absorbérů (tab. 4, str. 22). Například plastové absorbéry KM Solar mají koeficient absorpce  $\alpha = 0,93$  (kap. 5.1), tuto hodnotu budeme uvažovat při výpočtu.
- $\tau$  ... koeficient propustnosti zasklení, dále budeme uvažovat  $\tau = 1$ , neboť plastové absorbéry zasklení nemají, ztráty energie způsobené odrazem záření od krycího skla jsou tedy nulové.
- $k$  ... koeficient přestupu tepla. Okolní podmínky mají u plastových absorbérů zásadní vliv na tepelné ztráty, zejména rychlost proudění kolem povrchu absorbérů má značný vliv na ztráty konvekcí. V našich podmínkách můžeme podle [40] uvažovat  $k = 17,6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ .
- $t_{abs}$  ... průměrná teplota absorbérů, v případě absorbérů plastových můžeme uvažovat, že průměrná teplota absorbérů je rovna střední teplotě teplotnosného média, která již byla definována vztahem (11):

$$t_m = \frac{t_{in} + t_{out}}{2} = \frac{2 \cdot t_{in} + \Delta t}{2} = t_{abs} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (20)$$

$t_{in}$  ... teplota na vstupu do absorbérů  $[^{\circ}\text{C}]$ . Dále budeme uvažovat, že teplota vody vstupující do absorbérů je rovna ustálené teplotě vody v bazéně v daném měsíci ( $t_{in} = t_w$ ).

$t_{out}$  ... teplota na výstupu z absorbérů  $[^{\circ}\text{C}]$

$\Delta t$  ... rozdíl teplot na vstupu a výstupu z absorbérů  $[^{\circ}\text{C}]$

**Rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou vypočítáme ze vztahu:**

$$\Delta t = \frac{I_{Gpr} \cdot \eta}{Q \cdot c_w} \cdot 3600 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (21)$$

$c_w$  ... měrná kapacita vody ( $c_w = 4187 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )

$Q$  ... průtok vody přes absorbér  $[\text{l}/(\text{m}^2\cdot\text{h})]$ . Doporučený průtok je 100 až 400  $\text{l}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ , zvolíme-li průtok vyšší, dosáhneme tím nižšího rozdílu teplot na vstupu a výstupu z absorbérů, tím budou i jeho ztráty nižší a účinnost vyšší. Nejdříve provedeme výpočet účinnosti pro průtok  $Q = 100 \text{ l}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ . Na závěr bude uvedena účinnost absorbérů a velikost potřebné absorpční plochy, při průtoku 400  $\text{l}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ . Konstanta 3600 ve vztahu (21) zohledňuje jednotku průtoku teplotnosného média přes absorbér, kterou výrobci běžně uvádějí v  $\text{l}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ .

Můžeme si všimnout že ve vztahu (20) se opět vyskytuje účinnost absorbérů, ta je však na rozdíl teploty vody na vstupu a výstupu z absorbérů závislá, proto bude výpočet účinnosti a řešení iterací.

**Postup iterace:** Jako výchozí hodnotu teploty absorbérů budeme uvažovat teplotu  $t_{in}$ , pro tuto teplotu vypočítáme účinnost. Dále vypočteme rozdíl teploty na vstupu a výstupu z absorbérů podle vztahu (21), a následně podle vztahu (20) spočteme novou teplotu absorbérů. Výpočty opakujeme až do ustáleného stavu kdy se teplota absorpční plochy téměř nemění. Z následujících tabulek je vidět že postačí 4 iterace.

Tab. 16: Účinnost absorberu v květnu při průtoku 100 l/(m<sup>2</sup>·h)

Květen	t <sub>in</sub> [°C]	t <sub>abs</sub> [°C]	t <sub>a</sub> [°C]	t <sub>abs</sub> -t <sub>a</sub> [°C]	I <sub>Gpr</sub> <sup>1)</sup> [W·m <sup>-2</sup> ]	η [-]	Δt [°C]	t <sub>out</sub> [°C]
Vstupní hodnoty	26	26	16,7	9,300	487,5	0,588	2,417	28,417
Iterace č. 1	26	27,209	16,7	10,509	487,5	0,543	2,234	28,234
Iterace č. 2	26	27,117	16,7	10,417	487,5	0,547	2,248	28,248
Iterace č. 3	26	27,124	16,7	10,424	487,5	0,546	2,247	28,247
<b>Iterace č. 4</b>	<b>26</b>	<b>27,124</b>	<b>16,7</b>	<b>10,424</b>	<b>487,5</b>	<b>0,546</b>		

1) Pro stanovení hodnot byla použita příloha 2

Tab. 16: Účinnost absorberu v srpnu při průtoku 100 l/(m<sup>2</sup>·h)

Srpen	t <sub>in</sub> [°C]	t <sub>abs</sub> [°C]	t <sub>a</sub> [°C]	t <sub>abs</sub> -t <sub>a</sub> [°C]	I <sub>Gpr</sub> <sup>1)</sup> [W·m <sup>-2</sup> ]	η [-]	Δt [°C]	t <sub>out</sub> [°C]
Vstupní hodnoty	28	28	21,3	6,700	490,0	0,689	2,904	30,904
Iterace č. 1	28	29,452	21,3	8,152	490,0	0,637	2,685	30,685
Iterace č. 2	28	29,342	21,3	8,042	490,0	0,641	2,701	30,701
Iterace č. 3	28	29,351	21,3	8,051	490,0	0,641	2,700	30,700
<b>Iterace č. 4</b>	<b>28</b>	<b>29,350</b>	<b>21,3</b>	<b>8,050</b>	<b>490,0</b>	<b>0,641</b>		

1) Pro stanovení hodnot byla použita příloha 3

Tab. 18: Účinnost absorberu v září při průtoku 100 l/(m<sup>2</sup>·h)

Září	t <sub>in</sub> [°C]	t <sub>abs</sub> [°C]	t <sub>a</sub> [°C]	t <sub>abs</sub> -t <sub>a</sub> [°C]	I <sub>Gpr</sub> <sup>1)</sup> [W·m <sup>-2</sup> ]	η [-]	Δt [°C]	t <sub>out</sub> [°C]
Vstupní hodnoty	24	24	15,6	8,400	450,4	0,621	2,554	26,554
Iterace č. 1	24	25,277	15,6	9,677	450,4	0,574	2,360	26,360
Iterace č. 2	24	25,180	15,6	9,580	450,4	0,577	2,375	26,375
Iterace č. 3	24	25,187	15,6	9,587	450,4	0,577	2,374	26,374
<b>Iterace č. 4</b>	<b>24</b>	<b>25,187</b>	<b>15,6</b>	<b>9,587</b>	<b>450,4</b>	<b>0,577</b>		

1) Pro stanovení hodnot byla použita příloha 4

Energii zachycenou plastovým absorberem vypočítáme podle vztahu :

$$Q_{A \text{ měs}} = Q_{S \text{ měs}} (45^\circ) \cdot \eta \quad [\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (22)$$

$Q_{S \text{ měs}} (45^\circ)$  ... průměrná energie dopadající za měsíc na plochu skloněnou pod úhlem 45° [kW·h·m<sup>-2</sup>], viz tab. 3 na str. 14

Tab. 19: Užitečná energie zachycená absorberem při průtoku 100 l/(m<sup>2</sup>·h)

Brno	Q <sub>S měs</sub> (45°) <sup>1)</sup> [kW·h·m <sup>-2</sup> ]	η [-]	Q <sub>A měs</sub> [kW·h·m <sup>-2</sup> ]
květen	150,0	0,546	<b>81,90</b>
srpen	145,7	0,641	<b>93,39</b>
září	110,7	0,577	<b>63,87</b>

1) podle tabulky 3 na str. 14

Tab. 20: Užitečná energie zachycená absorberem při průtoku 400 l/(m<sup>2</sup>·h)

Brno	Q <sub>S měs</sub> (45°) <sup>1)</sup> [kW·h·m <sup>-2</sup> ]	η [-]	Q <sub>A měs</sub> [kW·h·m <sup>-2</sup> ]
Květen	150,0	0,593	<b>88,95</b>
Srpen	145,7	0,677	<b>98,63</b>
Září	110,7	0,609	<b>67,41</b>

1) podle tabulky 3 na str. 14



#### 4. Výpočet plochy absorberu potřebné k pokrytí nedostatků energie :

$$S_A = \frac{Q_V}{Q_{A \text{ mes}}} \quad [\text{m}^2] \quad (23)$$

**Při průtoku 100 l/(m<sup>2</sup>·h):**

**Květen :**

$$S_A = \frac{687}{81,90} = 8,39 \text{ m}^2$$

**Srpen :**

$$S_A = \frac{608}{93,39} = 6,51 \text{ m}^2$$

**Září :**

$$S_A = \frac{975}{63,87} = 15,27 \text{ m}^2$$

**Při průtoku 400 l/(m<sup>2</sup>·h):**

**Květen :**

$$S_A = \frac{687}{88,95} = 6,97 \text{ m}^2$$

**Srpen :**

$$S_A = \frac{608}{98,63} = 6,16 \text{ m}^2$$

**Září :**

$$S_A = \frac{975}{67,41} = 14,46 \text{ m}^2$$

Jak je vidět z výpočtů, zvětšením průtoku vody přes absorber dosáhneme zmenšení potřebné absorpční plochy. V našem případě je pro dosažení požadované teploty v září třeba, aby měla absorpční plocha rozlohu cca 77 až 82 % rozlohy bazénu.

## 5.2 Pořizovací cena plastového absorberu

Tab. 18: Pořizovací cena absorberu pro daný případ

	rozměr [m]	počet kusů [-]	celková plocha [m <sup>2</sup> ]	Cena s DPH [Kč]
TPA 20	1,4x2	5	14	14 480,-
Soladur S4	4x1,2	3	14,4	22 284,-
KM Solar	0,295x0,295	167	14,53	26 887,-

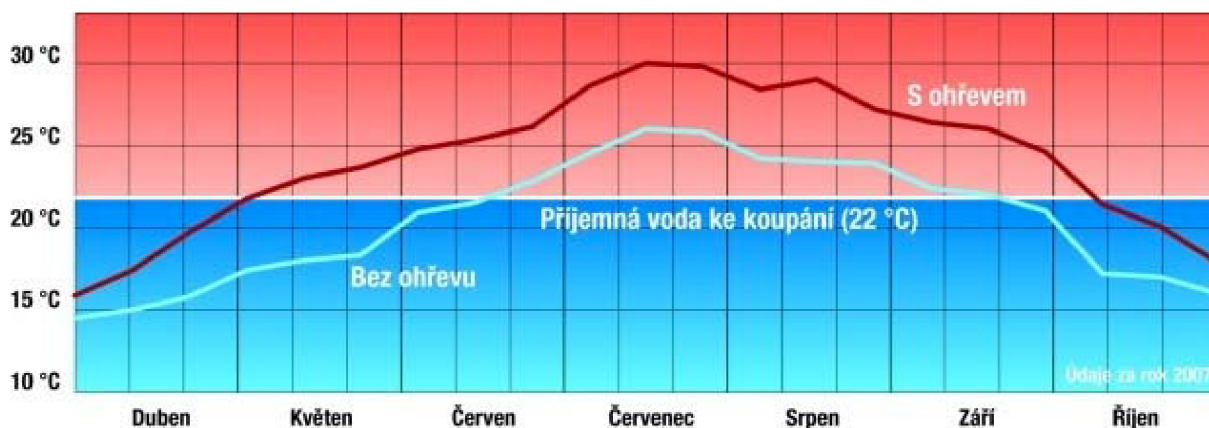
Z tabulky je zřejmé, že pořizovací ceny různých typů plastových absorberů se mohou značně lišit. Rozhodujícím faktorem při výběru by měla být životnost a záruka poskytovaná prodejcem, nikoli účinnost která se v případě plastových absorberů liší minimálně.

## 7. ZÁVĚR

Obrázek 34 zobrazuje průběh teploty vody v bazéně se ohřevem a bez ohřevu. Z grafu je patrné, že při použití vhodného solárního systému prodloužíme koupací sezónu zhruba o dva měsíce. Zejména v měsíci červenci je energie zachycené absorberem značný přebytek. Teplota v bazéně může v tomto období při stálém chodu systému dosahovat i více jak 30 °C. V tomto případě je vhodné solární systém dočasně vyřadit z provozu, protože se zvyšující se teplotou vzrůstají také nároky na údržbu bazénu, neboť dochází ke zvýšenému množení řas a bakterií.

K ohřevu bazénu se používají nejčastěji plastové absorbery nezasklené, jejichž výhodou je zejména poměrně nízká pořizovací cena, a to že při nevýrazných teplotních rozdílech mezi absorberem a okolím je stupeň účinnosti, v porovnání s kapalinovými i vakuovými kolektory, vyšší. V okrajových měsících koupací sezóny jejich účinnost prudce klesá s klesající teplotou okolí, proto není možné je využívat po celý rok, navíc jejich materiál není proti nízkým teplotám odolný. V případě kombinovaného ohřevu bazénu s ohřevem TUV se používají kolektory zasklené, jejichž účinnost je rovnoměrnější v průběhu roku a teplotné médium dosahuje vyšších teplot. Nabídka plochých kolektorů na českém trhu mnohonásobně převyšuje nabídku plastových absorberů.

Z vlastní zkušenosti mohu říci, že i poměrně malý svépomocně vyrobený zasklený kolektor (obr. 33 str. 35) dokáže v okrajových měsících podstatně urychlit ohřev bazénové vody a při stálém chodu dosahuje teplota vody i více jak 30 °C v červenci. Svépomocně vyrobený kolektor je levnou možností jak zajistit solární ohřev, vyžaduje však technickou zručnost a základní znalosti problematiky.



Obr. 34: Průběh teploty vody v bazéně se solárním ohřevem a bez ohřevu [38]

## 8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MURTINGER, K., TRUXA, J. *Solární energie pro váš dům*. 2. vyd. Brno : ERA group spol. s r. o., 2006. 92 s. ISBN 80-73366-076-8.
- [2] CIHELKA, J. *Solární tepelná technika*. Praha : T. Malina, 1994. 203 s. ISBN 80-900759-5-9.
- [3] LADENER, K., SPATE, F. *Solární zařízení*. Praha : Grada Publ, 2003. 267 s. ISBN 80-247-0362-9
- [4] PAVELEK, M. *Termomechanika*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2003. 284 s. ISBN 80-214-2409-5.
- [5] *Viessmann : Solární technika* [online]. c2006 [cit. 2008-03-14]. Dostupný z WWW: <[www.viessmann.cz/cs/products/Solar-Systeme.html](http://www.viessmann.cz/cs/products/Solar-Systeme.html)>.
- [6] *Solarnet s.r.o. : Seriál o solární energii a zařízeních* [online]. c2004-2007 [cit. 2008-03-17]. Dostupný z WWW: <[http://www.solarnet.cz/Solarni\\_serial.htm](http://www.solarnet.cz/Solarni_serial.htm)>.
- [7] *EU Joint Research Centre: Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)* [online]. c2001-2008 [cit. 2008-03-18]. Dostupný z WWW: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>>.
- [8] *EU Joint Research Centre: Solar radiation and PV maps - Europe (Africa)* [online]. c2001-2008 [cit. 2008-03-18]. Dostupný z WWW: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe.htm>>.
- [9] MATUŠKA, T. Stanovení účinnosti plochého solárního kolektoru (I). *Tzbinfo* [online]. 2005 [cit. 2008-04-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2524>>.
- [10] MATUŠKA, T. Stanovení účinnosti plochého solárního kolektoru (II). *Tzbinfo* [online]. 2005 [cit. 2008-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2544>>.
- [11] MATUŠKA, T. *Solární kolektory* [201-?]. 33 s. ČVUT v Praze. Prezentace. Dostupný z WWW: <[http://solab.fs.cvut.cz/Podklady/solarni\\_kolektory.pdf](http://solab.fs.cvut.cz/Podklady/solarni_kolektory.pdf)>.
- [12] HOLLAN, J. *Jaké sluneční kolektory použít?* [online]. c2008 [cit. 2008-04-15]. Dostupný z WWW: <[http://www.veronica.cz/ekoporadna/casop\\_veron/03\\_5\\_kolektory.html](http://www.veronica.cz/ekoporadna/casop_veron/03_5_kolektory.html)>.
- [13] MATUŠKA, T. Trendy v solární tepelné technice (II) - Solární kolektory. *Tzbinfo* [online]. 2005 [cit. 2008-04-16]. Dostupný z WWW: <<http://elektro.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2702>>.
- [14] MATUŠKA, T. Trendy v solární tepelné technice (III) - Solární kolektory. *Tzbinfo* [online]. 2005 [cit. 2008-04-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2711>>.
- [15] MURTINGER, K. Solární systémy pro ohřev vody v bazénech. *SOLÁRKO* [online]. 2005, č. 2 [cit. 2008-04-18].
- [16] *Textilně plastový absorbér* [online]. [cit. 2008-04-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.mujiweb.cz/obchod/stanislav.nozicka/Plastovyk.htm>>.
- [17] *Solární systémy* [online]. [cit. 2008-04-24]. Dostupný z WWW: <[http://www.solarni-systemy.wz.cz/pages/Hlavni\\_stranka.php](http://www.solarni-systemy.wz.cz/pages/Hlavni_stranka.php)>.
- [18] *Solartop: Absorbéry* [online]. 2000 [cit. 2008-04-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.solartop.cz/absorber.htm>>.

- [19] *Instalsolar-energie ze slunce: Absorbéry Soladur S* [online]. [cit. 2008-04-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.instalsolar.cz/19,0,Absorbery-SOLADUR-S.html>>.
- [20] *Konex : Ceník solární a doplňkové techniky-absorbéry* [online]. 2001-2007 [cit. 2008-05-05]. Dostupný z WWW: <[http://www.solarobchod.cz/cenik/sol\\_absorb.html](http://www.solarobchod.cz/cenik/sol_absorb.html)>.
- [21] *Solar Systems : Plastové kazety KM Solar Plast* [online]. c2007 [cit. 2008-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.solarsystems.cz/ohrev-bazenu-km.php>>.
- [22] *KM Solar plast* [online]. 2000 [cit. 2008-04-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.energie.cz/2.html>>.
- [23] *T+T news* [online]. c2000-2008 [cit. 2008-05-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.technikaatrh.cz/news/2004/TechnikaNews20040326.htm>>.
- [24] *Folie: velko-maloobchod* [online]. [cit. 2008-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.folie-plachty.cz/>>.
- [25] *Solartop: Sluneční kolektory* [online]. 2000 [cit. 2008-04-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.solartop.cz>>.
- [26] *JH Solar* [online]. 2007 [cit. 2008-05-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.jhsolar.cz/index.php?page=TS-300>>.
- [27] *Sany s.r.o.* [online]. c2008 [cit. 2008-04-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.sany.cz/kolektory.htm>>.
- [28] *Konex: Ceník solární a doplňkové techniky-kol. ploché* [online]. 2001-2007 [cit. 2008-05-05]. Dostupný z WWW: <[http://www.solarobchod.cz/cenik/sol\\_kol\\_pl.html](http://www.solarobchod.cz/cenik/sol_kol_pl.html)>.
- [28] *Solární Systémy s.r.o.* [online]. [cit. 2008-05-07]. Dostupný z WWW: <<http://www.solarnisystemy.com/opc10a15.html>>.
- [29] NOVÁK, Jan. Vakuové kolektory. *Extra bydlení.cz* [online]. 2008 [cit. 2008-05-07].
- [30] *Konex: Solární ohřev bazénů* [online]. 2001-2007 [cit. 2008-05-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.solarobchod.cz/solarni-ohrev-bazenu.php>>.
- [31] *ITEST: Solární systémy, tepelná čerpadla* [online]. 2000-2007, 11.6.2007 [cit. 2008-03-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.itest.cz/solar/solar2007.htm>>.
- [33] *Ekosolaris: Hnané solární systémy* [online]. c2006-2007 [cit. 2008-04-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.ekosolaris.cz/solarni-page.php?id=21>>.
- [34] *Globaltherm: Solární systémy-ohřev teplé užitkové vody a bazénů* [online]. 2005-2007 [cit. 2008-05-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.sweb.cz/globaltherm/sol.energie-tuv.baz.html>>.
- [35] *Ekosolaris: Samotížné solární systémy* [online]. c2006-2007 [cit. 2008-04-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.ekosolaris.cz/solarni-page.php?id=20>>.
- [36] *Solární energie: Solární samotížné systémy Megasun* [online]. c2008 [cit. 2008-05-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.solarnienergie.cz/solarni-ohrev-tuv-samotizny-system/>>.
- [37] *Topné kabely* [online]. 2007 [cit. 2008-05-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.remaxcz.com/katalog/elektrov/topkabel.html>>.
- [38] *Profizahrada.cz : Bazény - ohřev vody* [online]. 2008 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.profizahrada.cz/a/cz/3670-bazeny-solarni-ohrev-vody/>>.

- [39] *BBC Weather : Everage Conditions* [online]. c2006 [cit. 2008-05-12]. Dostupný z WWW: <[http://www.bbc.co.uk/weather/world/city\\_guides/results.shtml?tt=TT003460](http://www.bbc.co.uk/weather/world/city_guides/results.shtml?tt=TT003460)>.
- [40] BROŽ, K. *Vytápění*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1995. 205 s. ISBN 80-0101313-8.
- [41] *World Energy Outlook* [online]. c2008 [cit. 2008-04-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.worldenergyoutlook.org/>>.
- [42] *Sun Wing T2* [online]. 2000 [cit. 2008-05-05]. Dostupný z WWW: <[http://www.twisro.cz/CZ\\_Solary/CZ\\_solarni\\_systemy\\_FF\\_1024.htm](http://www.twisro.cz/CZ_Solary/CZ_solarni_systemy_FF_1024.htm)>.

## 9. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Průměrná měsíční intenzita slunečního záření v průběhu roku .....	47
Příloha č. 2 – Průměrná denní intenzita slunečního záření v měsíci květnu .....	51
Příloha č. 3 – Průměrná denní intenzita slunečního záření v měsíci srpnu .....	54
Příloha č. 4 – Průměrná denní intenzita slunečního záření v měsíci září .....	57

# Příloha č. 1 – Průměrná měsíční intenzita slunečního záření v průběhu roku



## Incident global irradiation for the chosen location

Location: 49°12'18" North, 16°39'18" East, Elevation: 284 m a.s.l.,

Nearest city: Brno, Czech Republic (3 km away)

Optimal inclination angle is: 34 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %

Month	Gh	Gopt	G(45)	lopt	TL	D/G	TD	T24h	NDD
Jan	780	1200	1270	63	3.5	0.71	-0.9	-1.4	576
Feb	1440	2050	2150	57	3.8	0.63	2.3	1.4	459
Mar	2500	3120	3170	45	4.1	0.59	5.6	4.7	372
Apr	3850	4300	4220	32	3.9	0.53	11.1	9.7	155
May	4970	5060	4840	20	4.3	0.52	16.8	15.3	59
Jun	5160	5030	4750	13	4.8	0.54	19.2	17.9	22
Jul	5380	5350	5080	17	4.6	0.50	20.6	19.5	4
Aug	4480	4840	4710	28	4.7	0.51	21.3	19.8	31
Sep	3040	3680	3700	41	4.5	0.54	15.7	14.4	148
Oct	1990	2840	2960	55	4.0	0.55	10.9	9.9	324
Nov	879	1270	1340	59	3.6	0.71	5.1	4.3	493
Dec	560	827	874	62	3.0	0.77	-0.6	-1.1	620
Year	2930	3300	3260	34	4.1	0.54	10.8	9.5	3263

Gh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m<sup>2</sup>)

Gopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m<sup>2</sup>)

G(45): Irradiation on plane at angle: 45deg. (Wh/m<sup>2</sup>)

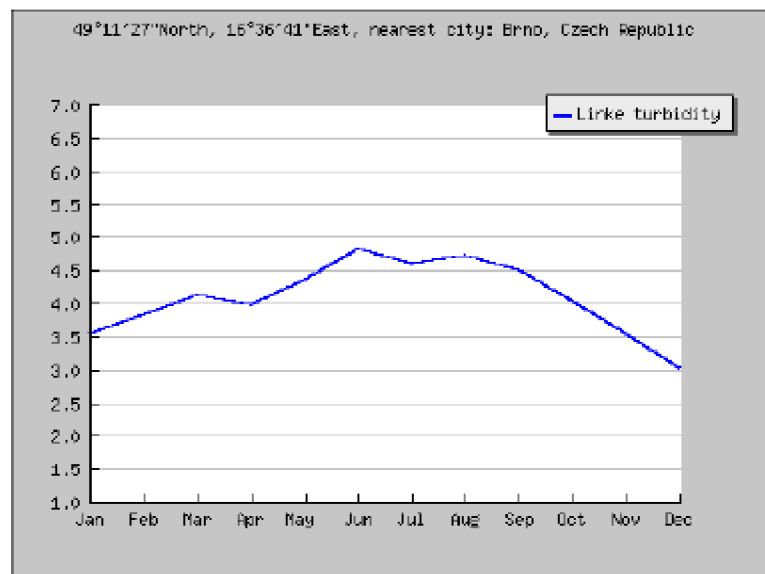
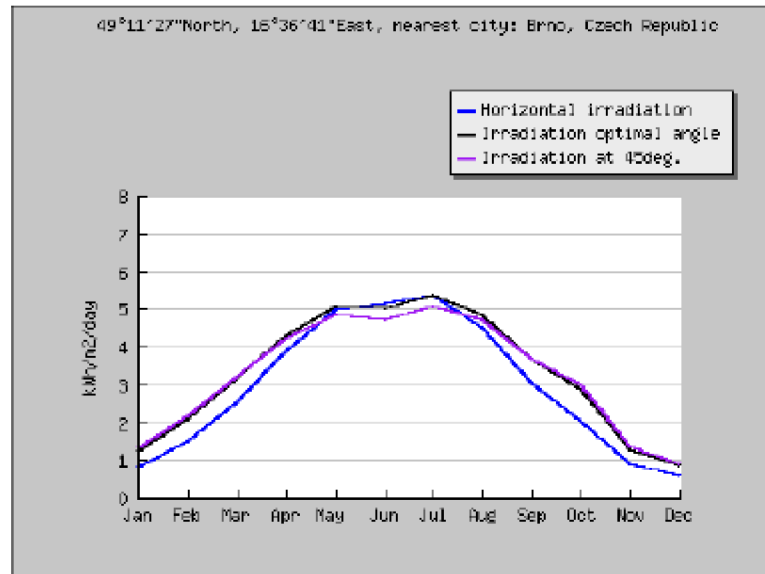
lopt: Optimal inclination (deg.)

TL: Linke turbidity (-)

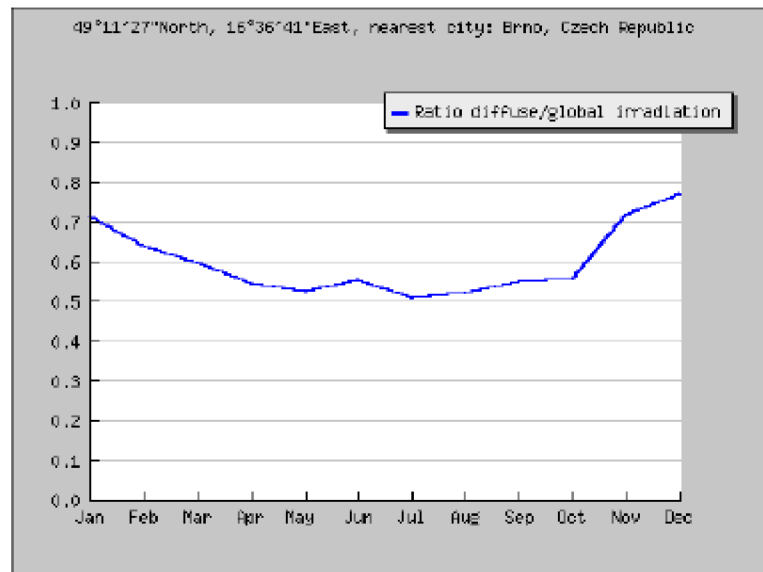
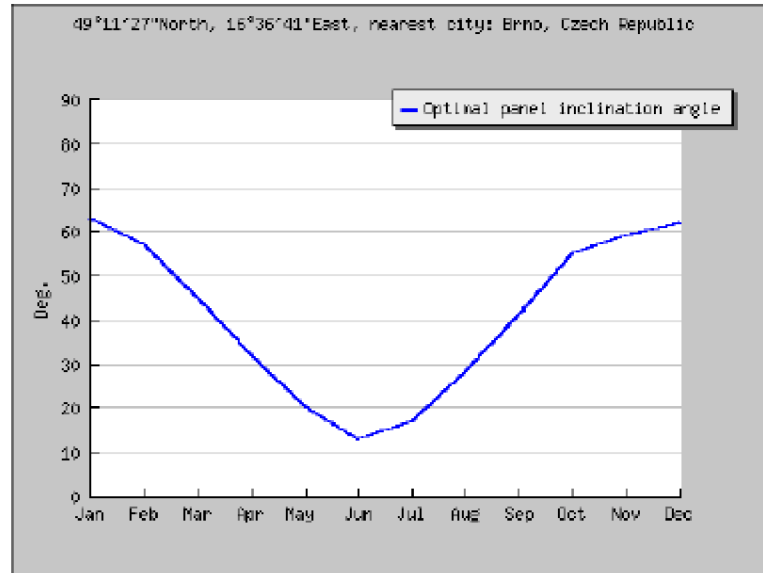
D/G: Ratio of diffuse to global irradiation (-)

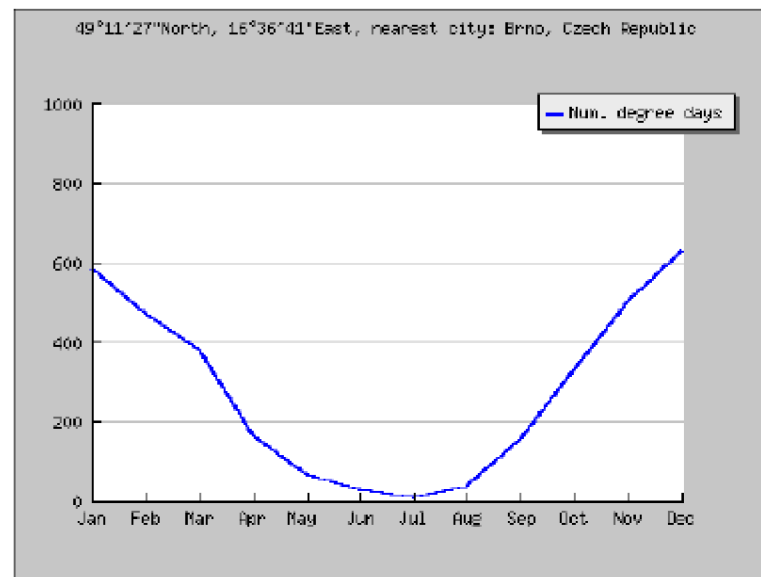
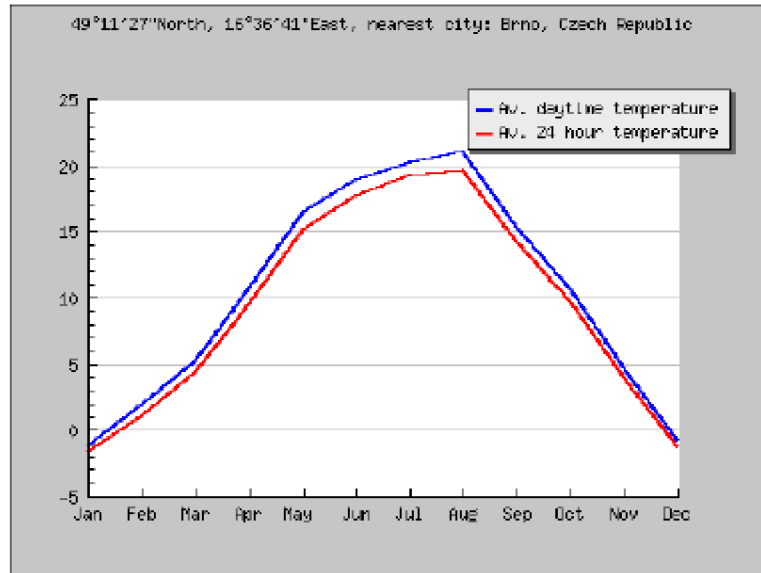
TD: Average daytime temperature (°C)

T24h: 24 hour average of temperature (°C)









PVGIS © European Communities, 2001-2007  
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

## Příloha č. 2 – Průměrná denní intenzita slunečního záření v měsíci květnu



### Average Daily Solar Irradiance

#### PVGIS Estimates of average daily profiles

No temperature data available for this location. Temperatures will not be shown.

Location: 49°12'18" North, 16°39'18" East, Elevation: 284 m a.s.l.,

Nearest city: Brno, Czech Republic (3 km away)

Inclination of plane: 45 deg.

Orientation (azimuth) of plane: 0 deg.

#### Radiation estimates

Time	G	Gd	Gc	A	Ad	Ac	Td
04:52	20	19	14	11	9	8	-
05:07	33	32	23	19	16	13	-
05:22	46	44	32	147	64	266	-
05:37	58	56	41	194	81	353	-
05:52	70	68	50	237	97	433	-
06:07	81	79	58	277	113	506	-
06:22	105	92	86	314	127	570	12.2
06:37	132	105	128	346	140	628	12.6
06:52	160	117	175	376	152	678	12.9
07:07	188	129	225	403	163	724	13.3
07:22	218	140	277	427	173	763	13.7
07:37	248	150	332	449	182	799	14.0
07:52	277	160	387	469	190	830	14.4
08:07	306	169	442	486	198	857	14.7
08:22	334	177	496	501	204	881	15.0
08:37	361	184	550	515	210	901	15.4
08:52	387	191	602	527	214	919	15.7
09:07	412	197	652	537	219	934	16.0
09:22	435	202	699	546	222	948	16.3
09:37	457	206	744	554	225	959	16.6
09:52	477	210	786	561	227	968	16.9
10:07	495	213	824	566	229	976	17.1
10:22	511	216	858	571	230	983	17.4
10:37	525	218	889	574	232	988	17.6
10:52	538	220	915	577	232	993	17.9
11:07	548	221	938	580	233	996	18.1
11:22	556	222	956	582	234	999	18.3
11:37	563	223	970	583	234	1000	18.5
11:52	567	224	979	584	234	1000	18.7
12:07	569	224	983	584	234	1000	18.9
12:22	569	224	983	584	234	1000	19.0
12:37	567	224	979	584	234	1000	19.2
12:52	563	223	970	583	234	1000	19.3
13:07	556	222	956	582	234	999	19.5
13:22	548	221	938	580	233	996	19.6
13:37	538	220	915	577	232	993	19.6
13:52	525	218	889	574	232	988	19.7
14:07	511	216	858	571	230	983	19.8
14:22	495	213	824	566	229	976	19.8
14:37	477	210	786	561	227	968	19.8
14:52	457	206	744	554	225	959	19.9
15:07	435	202	699	546	222	948	19.8
15:22	412	197	652	537	219	934	19.8

15:37	387	191	602	527	214	919	19.8
15:52	361	184	550	515	210	901	19.7
16:07	334	177	496	501	204	881	19.6
16:22	306	169	442	486	198	857	19.5
16:37	277	160	387	469	190	830	19.4
16:52	248	150	332	449	182	799	19.3
17:07	218	140	277	427	173	763	19.1
17:22	188	129	225	403	163	724	18.9
17:37	160	117	175	376	152	678	18.7
17:52	132	105	128	346	140	628	18.5
18:07	105	92	86	314	127	570	18.2
18:22	81	79	58	277	113	506	17.9
18:37	70	68	50	237	97	433	17.6
18:52	58	56	41	194	81	353	17.3
19:07	46	44	32	147	64	266	17.0
19:22	33	32	23	92	38	165	16.6
19:37	20	19	14	48	18	85	16.2
19:52	0	0	0	0	0	0	15.8
20:07	0	0	0	0	0	0	15.4

G: Global irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

Gd: Diffuse irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

Gc: Global clear-sky irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

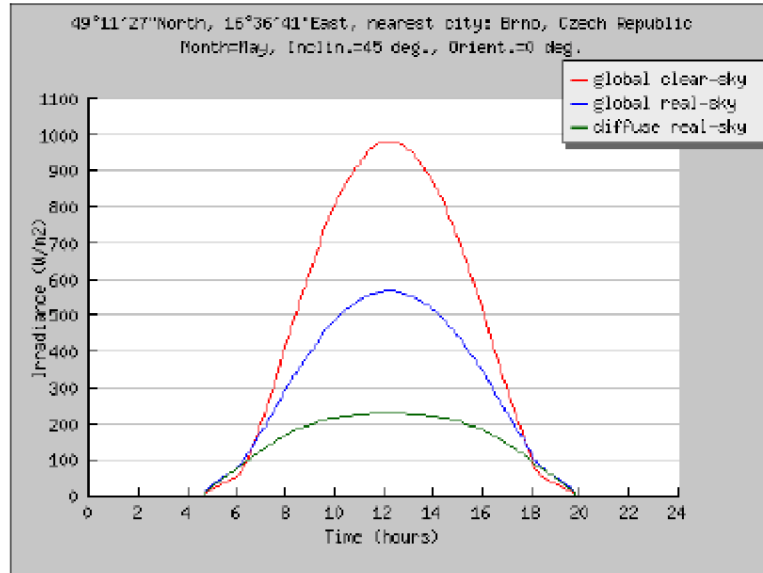
A: Global irradiance on 2-axis tracking plane (W/m<sup>2</sup>)

Ad: Diffuse irradiance on 2-axis tracking plane (W/m<sup>2</sup>)

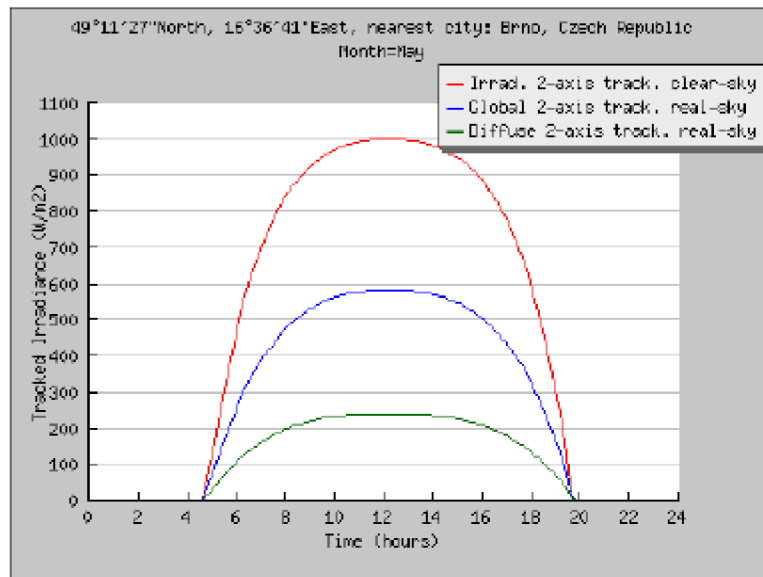
Ac: Global clear-sky irradiance on 2-axis tracking plane (W/m<sup>2</sup>)

Td: Average daytime temperature profile (deg. C)

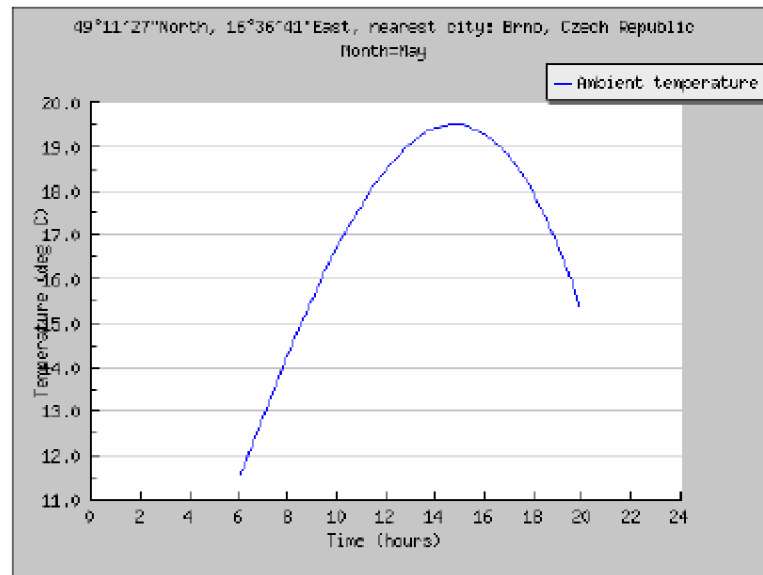
td: Average daytime temperature profile (deg. C)



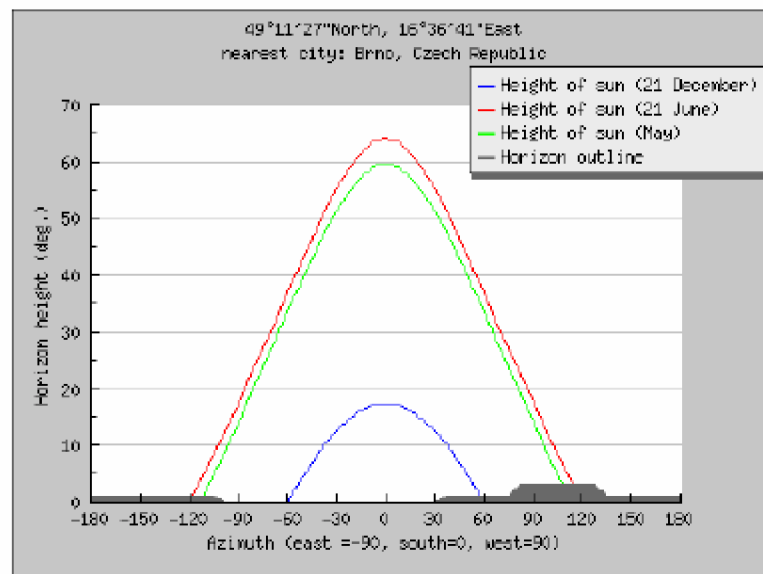
Daily Irradiance on a fixed plane



Daily Irradiance on a 2-axis tracking plane



Average daily temperature profile



Outline of horizon with sun path for winter and summer solstice

## Příloha č. 3 – Průměrná denní intenzita slunečního záření v měsíci srpnu



### Average Daily Solar Irradiance

#### PVGIS Estimates of average daily profiles

No temperature data available for this location. Temperatures will not be shown.

Location: 49°12'18" North, 16°39'18" East, Elevation: 284 m a.s.l.,

Nearest city: Brno, Czech Republic (3 km away)

Inclination of plane: 45 deg.

Orientation (azimuth) of plane: 0 deg.

#### Radiation estimates

Time	G	Gd	Gc	A	Ad	Ac	Td
05:22	20	20	16	11	9	9	-
05:37	33	33	26	19	17	15	-
05:52	46	45	36	151	63	259	-
06:07	59	57	46	200	81	345	14.9
06:22	81	72	71	245	98	424	15.4
06:37	107	85	108	286	113	494	15.9
06:52	135	99	151	324	127	557	16.4
07:07	165	111	199	357	141	613	16.8
07:22	196	124	250	388	152	663	17.3
07:37	227	135	303	415	163	707	17.7
07:52	259	146	357	440	173	746	18.2
08:07	290	156	412	462	182	780	18.6
08:22	321	165	467	481	189	810	19.0
08:37	351	174	521	499	196	836	19.4
08:52	379	182	574	514	202	859	19.8
09:07	407	188	624	527	207	879	20.2
09:22	433	194	673	539	211	896	20.6
09:37	457	200	718	549	215	910	20.9
09:52	479	204	761	558	218	923	21.3
10:07	500	208	800	565	221	933	21.6
10:22	518	212	835	571	223	942	21.9
10:37	534	215	866	576	225	949	22.2
10:52	548	217	894	581	226	955	22.5
11:07	560	219	916	584	227	960	22.7
11:22	569	220	935	587	228	964	23.0
11:37	576	221	949	588	228	966	23.2
11:52	581	222	958	590	228	968	23.5
12:07	583	222	963	590	229	969	23.7
12:22	583	222	963	590	229	969	23.9
12:37	581	222	958	590	228	968	24.0
12:52	576	221	949	588	228	966	24.2
13:07	569	220	935	587	228	964	24.3
13:22	560	219	916	584	227	960	24.4
13:37	548	217	894	581	226	955	24.5
13:52	534	215	866	576	225	949	24.6
14:07	518	212	835	571	223	942	24.7
14:22	500	208	800	565	221	933	24.7
14:37	479	204	761	558	218	923	24.7
14:52	457	200	718	549	215	910	24.7
15:07	433	194	673	539	211	896	24.7
15:22	407	188	624	527	207	879	24.7
15:37	379	182	574	514	202	859	24.6
15:52	351	174	521	499	196	836	24.5

16:07	321	165	467	481	189	810	24.4
16:22	290	156	412	462	182	780	24.3
16:37	259	146	357	440	173	746	24.1
16:52	227	135	303	415	163	707	24.0
17:07	196	124	250	388	152	663	23.7
17:22	165	111	199	357	141	613	23.5
17:37	135	99	151	324	127	557	23.3
17:52	107	85	108	286	113	494	23.0
18:07	81	72	71	245	98	424	22.7
18:22	59	57	46	200	81	345	22.4
18:37	46	45	36	151	63	259	22.0
18:52	33	33	26	96	39	163	21.6
19:07	20	20	16	49	18	82	21.2
19:22	0	0	0	0	0	0	20.8
19:37	0	0	0	0	0	0	20.3
19:52	0	0	0	0	0	0	19.8

G: Global irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

Gd: Diffuse irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

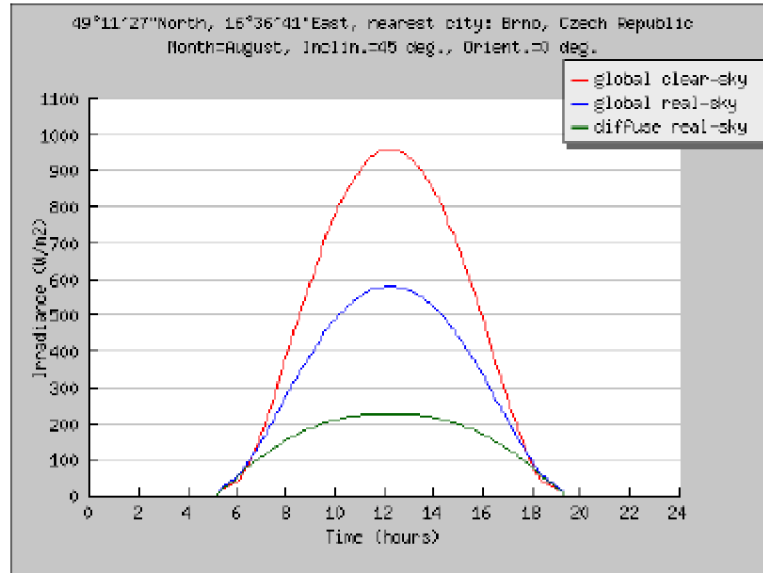
Gc: Global clear-sky irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

A: Global irradiance on 2-axis tracking plane (W/m<sup>2</sup>)

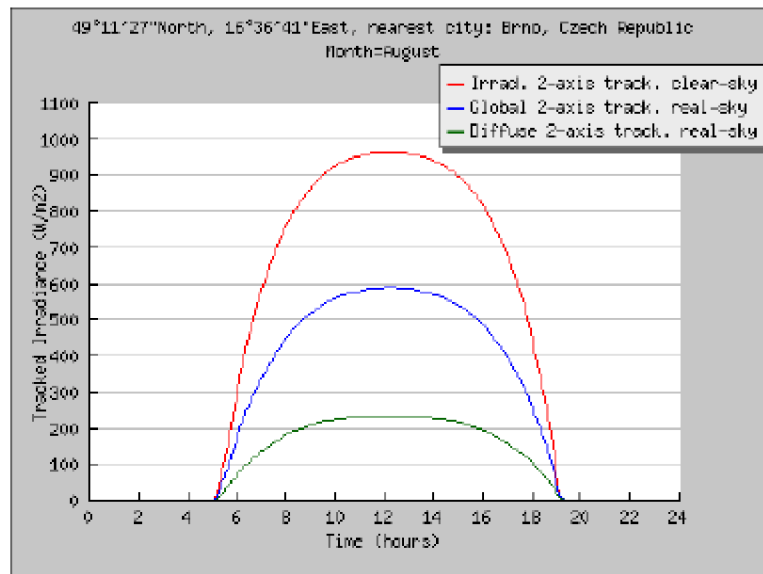
Ad: Diffuse irradiance on 2-axis tracking plane (W/m<sup>2</sup>)

Ac: Global clear-sky irradiance on 2-axis tracking plane (W/m<sup>2</sup>)

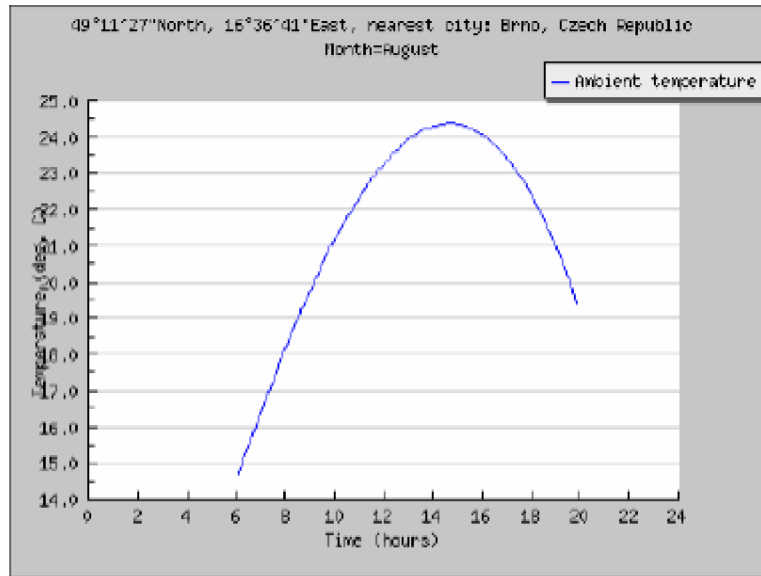
Td: Average daytime temperature profile (deg. C)



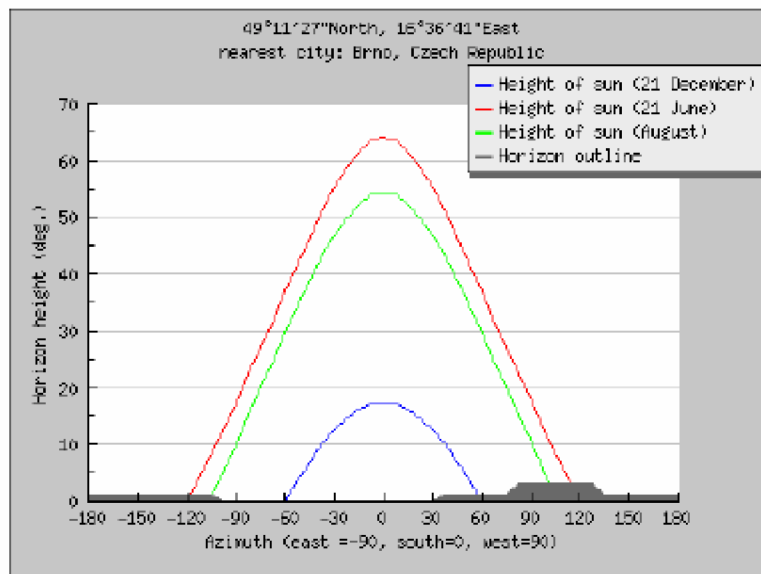
Daily Irradiance on a fixed plane



Daily Irradiance on a 2-axis tracking plane



Average daily temperature profile



Outline of horizon with sun path for winter and summer solstice



## Příloha č. 4 – Průměrná denní intenzita slunečního záření v měsíci září



### Average Daily Solar Irradiance

#### PVGIS Estimates of average daily profiles

No temperature data available for this location. Temperatures will not be shown.

Location: 49°12'18" North, 16°39'18" East, Elevation: 284 m a.s.l.,

Nearest city: Brno, Czech Republic (3 km away)

Inclination of plane: 45 deg.

Orientation (azimuth) of plane: 0 deg.

#### Radiation estimates

Time	G	Gd	Gc	A	Ad	Ac	Td
06:07	13	12	11	7	6	6	-
06:22	25	24	22	14	12	12	10.4
06:37	47	39	51	122	49	246	10.8
06:52	72	54	91	168	65	339	11.1
07:07	98	67	136	210	79	423	11.5
07:22	126	80	186	247	93	498	11.9
07:37	155	92	239	280	105	563	12.2
07:52	184	104	296	310	116	620	12.6
08:07	214	114	353	337	126	670	12.9
08:22	243	124	411	360	135	714	13.2
08:37	272	134	469	381	143	752	13.6
08:52	299	142	525	400	150	785	13.9
09:07	326	149	579	416	156	813	14.2
09:22	351	156	631	430	162	838	14.5
09:37	374	162	680	443	167	859	14.8
09:52	396	167	726	454	171	877	15.1
10:07	415	172	768	463	175	893	15.4
10:22	433	176	806	471	178	906	15.7
10:37	449	179	840	478	180	917	15.9
10:52	462	182	870	483	182	926	16.2
11:07	474	184	895	488	184	933	16.4
11:22	483	186	915	491	185	939	16.6
11:37	490	187	930	494	186	943	16.8
11:52	494	188	940	495	187	945	17.0
12:07	496	188	945	496	187	947	17.2
12:22	496	188	945	496	187	947	17.4
12:37	494	188	940	495	187	945	17.5
12:52	490	187	930	494	186	943	17.6
13:07	483	186	915	491	185	939	17.8
13:22	474	184	895	488	184	933	17.9
13:37	462	182	870	483	182	926	18.0
13:52	449	179	840	478	180	917	18.0
14:07	433	176	806	471	178	906	18.1
14:22	415	172	768	463	175	893	18.1
14:37	396	167	726	454	171	877	18.1
14:52	374	162	680	443	167	859	18.1
15:07	351	156	631	430	162	838	18.1
15:22	326	149	579	416	156	813	18.1
15:37	299	142	525	400	150	785	18.0
15:52	272	134	469	381	143	752	17.9
16:07	243	124	411	360	135	714	17.8
16:22	214	114	353	337	126	670	17.7
16:37	184	104	296	310	116	620	17.5

16:52	155	92	239	280	105	563	17.3
17:07	126	80	186	247	93	498	17.2
17:22	98	67	136	210	79	423	16.9
17:37	72	54	91	168	65	339	16.7
17:52	47	39	51	122	49	246	16.4
18:07	29	26	26	70	26	139	16.1
18:22	13	12	11	31	10	60	15.8
18:37	0	0	0	0	0	0	15.4
18:52	0	0	0	0	0	0	15.1
19:07	0	0	0	0	0	0	14.7
19:22	0	0	0	0	0	0	14.2
19:37	0	0	0	0	0	0	13.8
19:52	0	0	0	0	0	0	13.3
20:07	0	0	0	0	0	0	12.8

G: Global irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

Gd: Diffuse irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

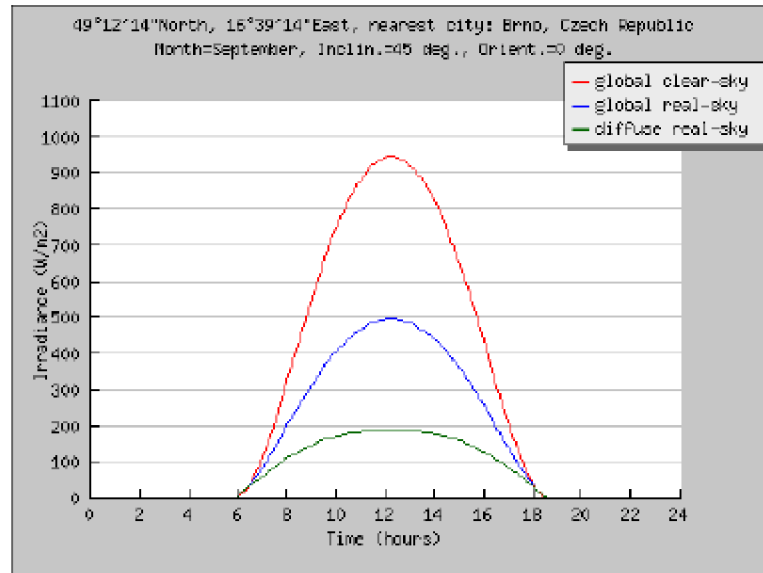
Gc: Global clear-sky irradiance on a fixed plane (W/m<sup>2</sup>)

A: Global irradiance on 2-axis tracking plane (W/m<sup>2</sup>)

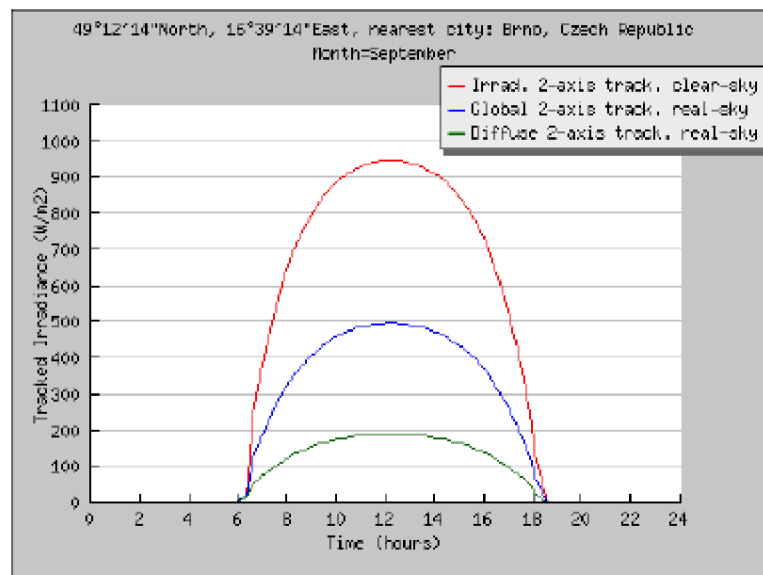
Ad: Diffuse irradiance on 2-axis tracking plane (W/m<sup>2</sup>)

Ac: Global clear-sky irradiance on 2-axis tracking plane (W/m<sup>2</sup>)

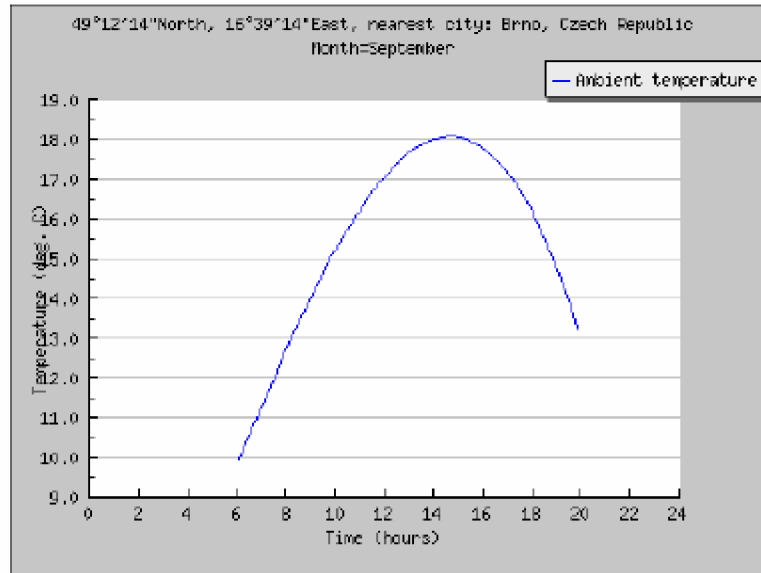
Td: Average daytime temperature profile (deg. C)



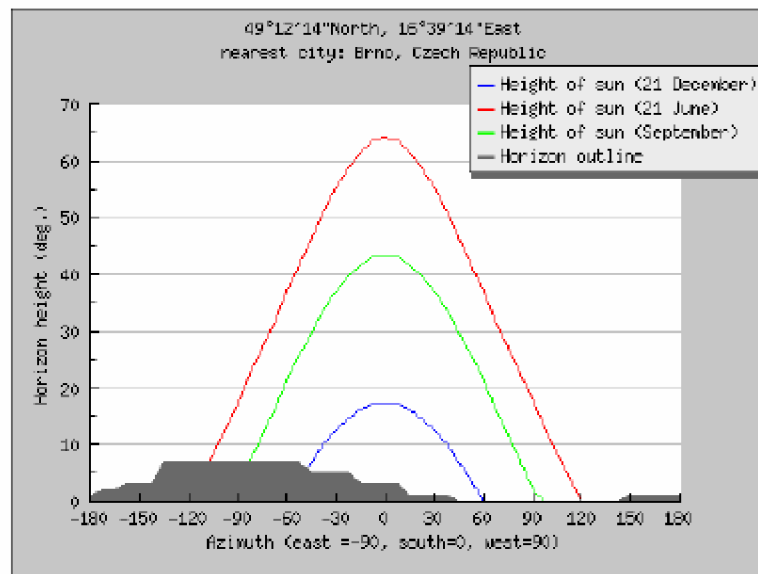
Daily Irradiance on a fixed plane



Daily Irradiance on a 2-axis tracking plane



Average daily temperature profile



Outline of horizon with sun path for winter and summer solstice