

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ  
ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO  
PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY  
INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

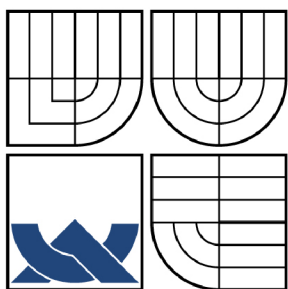
ZPRACOVÁNÍ PROJEKTU TEPELNÉHO SOLÁRNÍHO SYSTÉMU

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

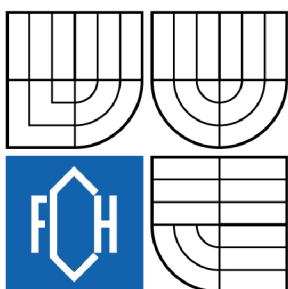
JAROMÍR POŘÍZKA

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY  
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF  
ENVIRONMENTAL PROTECTION

## ZPRACOVÁNÍ PROJEKTU TEPELNÉHO SOLÁRNÍHO SYSTÉMU

PROJECT OF THE SOLAR HEATING SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

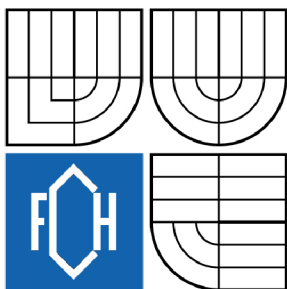
JAROMÍR POŘÍZKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JOSEF KOTLÍK, CSc.

BRNO 2008



Vysoké učení technické v Brně  
**Fakulta chemická**  
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

## Zadání diplomové práce

Číslo diplomové práce

**FCH-DIP0276/2007**

Akademický rok: **2007/2008**

Ústav

Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí

Student(ka)

**Požízka Jaromír**

Studijní program

Chemie a technologie ochrany životního prostředí (M2805)

Studijní obor

Chemie a technologie ochrany životního prostředí (2805T002)

Vedoucí diplomové práce

**Ing. Josef Kotlík, CSc.**

Konzultanti diplomové práce

### Název diplomové práce:

Zpracování projektu tepelného solárního systému

### Zadání diplomové práce:

Zpracovat projekt termického solárního systému s využitím integrované řídicí jednotky.

Navrhnout systém měření uzlových parametrů. Spočítat ekonomické přínosy systému a optimalizovat regulaci.

### Termín odevzdání diplomové práce: 16.5.2008

Diplomová práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu diplomové práce. Toto zadání je přílohou diplomové práce.

---

Jaromír Požízka  
student(ka)

---

Ing. Josef Kotlík, CSc.  
Vedoucí práce

---

Ředitel ústavu

V Brně, dne 1.9.2007

---

doc. Ing. Jaromír Havlica, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá zpracováním projektu termického solárního systému pro celoroční provoz. Systém je využíván k ohřevu venkovního bazénu a v zimním období pro vytápění přilehlé garáže v obci Lipůvka. Cílem práce bylo provést dimenzování, návrh jednotlivých komponent a propočítat ekonomickou a ekologickou bilanci.

## **ABSTRACT**

The diploma thesis studies the elaboration of project about thermal solar system for all-season service. System is used for heating of outdoor pool and in the winter season for the heating of nearby garage in the village Lipůvka. The aim of the work was to make a proportioning, choosing the right parts and calculating the economic and ecologic balance.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Solární systém, solární kolektory, energie, regulace, dimenzování, bilancování

## **KEYWORDS**

Solar system, solar collectors, energy, regulation, proportioning, balance



POŘÍZKA, J. *Zpracování projektu tepelného solárního systému*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2008. 66 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Kotlík, CSc.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomového práce a děkana FCH VUT.

.....

podpis studenta

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ing. Josefu Kotlíkovi, CSc. za vedení při diplomové práci, Ing. Jiřímu Boudnému za odbornou pomoc při kreslení projektu, Petře Holasové a celé své rodině za podporu po celou dobu studia.

# OBSAH

1	Úvod.....	7
	<b>Teoretická část</b> .....	8
2	Solární energie – energie slunečního záření.....	8
2.1	Slunce jako obnovitelný zdroj energie.....	8
2.2	Průchod slunečního záření atmosférou .....	9
2.3	Formy slunečního záření.....	9
2.4	Globální záření a jeho složky.....	9
2.5	Nabídka solární energie .....	11
2.6	Předpoklady pro využití solární energie v ČR.....	12
3	Využití sluneční energie v termických solárních zařízeních.....	15
3.1	Možnosti využití termických solárních zařízení .....	15
3.1.1	Ohřev vody v bazénech .....	16
4	Komponenty termických solárních zařízení.....	19
4.1	Sluneční kolektory .....	19
4.1.1	Typy kolektorů .....	21
4.1.2	Řazení a propojení kolektorů.....	27
4.2	Tepelný zásobník .....	28
4.3	Solární okruh.....	29
4.3.1	Tepelný výměník .....	29
4.3.2	Teplonosná média.....	30
	<b>Praktická část</b> .....	33
5	Charakteristika projektu .....	33
5.1	Pozemek a umístění důležitých součástí.....	33
5.1.1	Půdorys pozemku .....	35
5.2	Bazén.....	35
5.3	Garáž .....	36
5.4	Technický popis zařízení .....	36
6	Dimenzování solární soustavy .....	38
6.1	Podmínky pro využití solární energie v naší lokalitě.....	38
6.1.1	Teoretické a skutečné množství energie.....	38
6.1.2	Stanovení potřeby tepla pro ohřev vody v bazénu .....	42
6.1.3	Volba vhodného kolektoru a výpočet potřebné plochy pro ohřev bazénu .....	47
6.1.4	Výkon a výtěžky zvolené kolektorové plochy .....	51
6.1.5	Bazénový tepelný výměník .....	55
6.1.6	Regulace – Mozek solárních systémů .....	55
6.1.7	Čerpadlo.....	56
6.1.8	Temperace garáže .....	57
7	Vyhodnocení přínosů .....	57
7.1	Ekologické aspekty .....	57
7.1.1	Porovnání s konvenčními zdroji energie .....	57
7.2	Ekonomické aspekty .....	58
7.2.1	Porovnání s konvenčními zdroji energie .....	59
8	Závěr.....	61

9	Seznam použitých zdrojů .....	62
10	Seznam použitých symbolů a zkratk .....	64
11	Seznam příloh.....	66

# 1 ÚVOD

Žijeme na prahu třetího tisíciletí, v době, kdy se zásobování energií, díky rostoucí životní úrovni, konzumnímu stylu života a rozvinuté industriální výrobě, stalo velice diskutovanou otázkou. Pokud se máme držet cílů trvale udržitelného rozvoje, je nutné nezaměřovat se pouze na zdroje energie z neobnovitelných zdrojů (fosilní paliva, jaderná paliva apod.). Ty se totiž nejen postupně vyčerpávají, ale také neúměrně zatěžují naše životní prostředí. Jednou z možností jak tento problém řešit je využití obnovitelných zdrojů energie, které jsou podle lidských hledisek nevyčerpatelné. Pro Českou republiku se nabízí několik možností. Voda, biomasa, vítr a solární energie, kterou se budeme dále zabývat. Cílem této publikace je přiblížit zpracování konkrétního projektu termického solárního systému pro ohřev venkovního bazénu s použitím přebytečného tepla na temperaci přilehlé garáže v obci Lipůvka. Provedeme dimenzování, na jehož základě zvolíme vhodné komponenty. Spočítáme výkony a zhodnotíme přínosy ekonomické i ekologické a porovnáme tento alternativní zdroj s konvenčními.

# TEORETICKÁ ČÁST

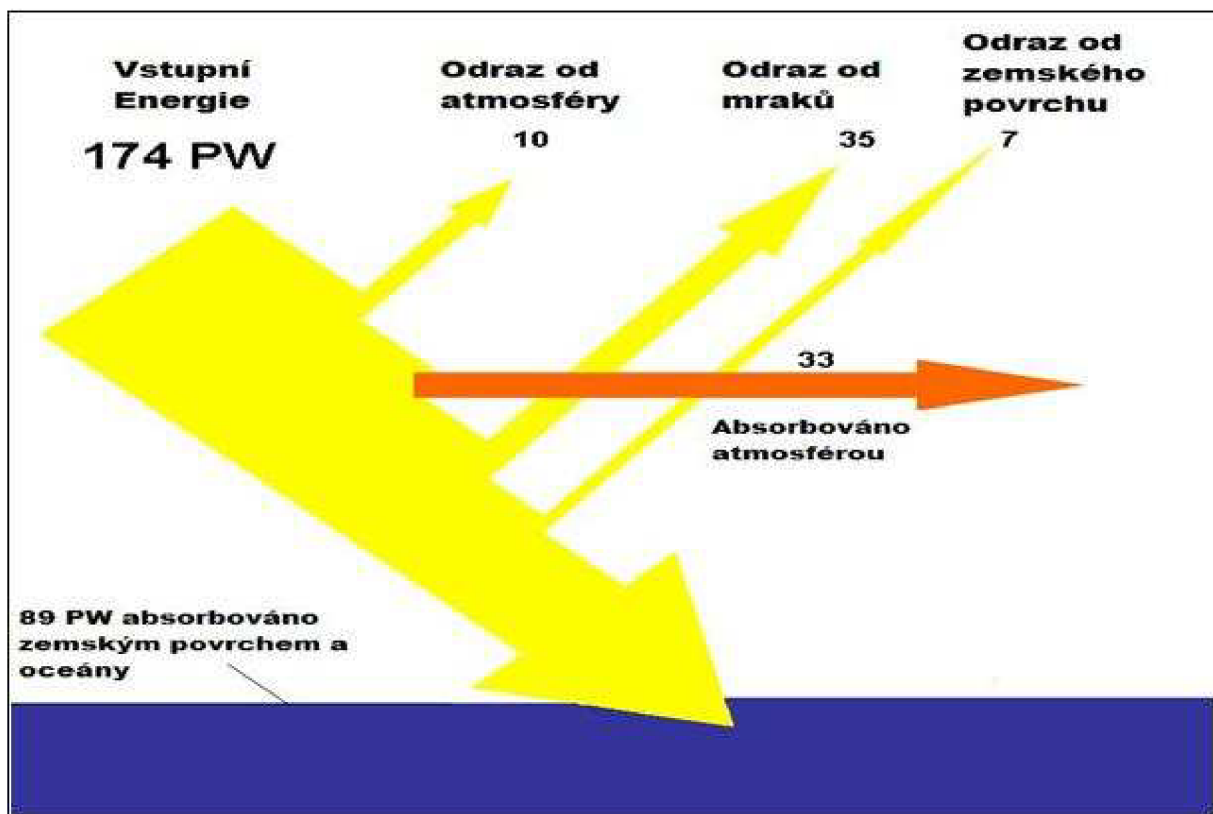
## 2 SOLÁRNÍ ENERGIE – ENERGIE SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ

### 2.1 Slunce jako obnovitelný zdroj energie

Sluneční záření je energie emitovaná, jako důsledek termonukleárních reakcí na slunci. Přeměnou atomů vodíku na hélium se uvolňuje obrovské množství energie ve formě elektromagnetického záření.

Vzhledem k tomu, že vyčerpání zásob vodíku na Slunci je očekáváno až v řádu miliard let, je tento zdroj energie označován jako obnovitelný.

Intenzita záření na povrchu slunce je asi  $63\,000\text{ kW/m}^2$ . Z tohoto množství energie obdrží země malou, ale přesto velmi značnou část. Samotná energie záření dopadajícího na zemský povrch činí  $219\,000\,000$  miliard kWh ročně, což odpovídá 2 000násobku současných světových energetických potřeb. Na vnějším okraji atmosféry představuje průměrná intenzita záření  $1\,360\text{ W/m}^2$  (tzv. sluneční konstanta). Ve skutečnosti není konstantní, neboť oběžná dráha Země kolem Slunce je eliptická, a to způsobuje kolísání ve velikosti solární konstanty přibližně 3% (asi  $40\text{ W/m}^2$ ). Malé změny solární konstanty jsou též spjaty s cykly sluneční aktivity, ty ale dosahují maximálně desetin procenta. [1, 2]



Obr.2.1: Rozložení solárního výkonu dopadajícího na povrch země

## 2.2 Průchod slunečního záření atmosférou

Při průchodu záření atmosférou dochází k absorpci, rozptylu, odrazu a emisi. Tím se zmenšuje intenzita slunečního záření. Mírou tohoto zmenšení intenzity je *součinitel znečištění Z* (je definován pomocí Linkeho vztahu), který závisí na obsahu příměsí ve vzduchu a na nadmořské výšce.

Linkeho vztah: [8]

$$Z = \frac{\ln I_0 - \ln I_n}{\ln I_0 - \ln I_\xi}$$

kde

$I_0$  ... sluneční konstanta (1,36 kW/m<sup>2</sup>)

$I_n$  ... intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění

$I_\xi$  ... intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při dokonale čistém ovzduší

## 2.3 Formy slunečního záření

Podle zákona zachování energie se sluneční energie, dopadající na planetu Zemi, přeměňuje beze zbytku v jiné formy:

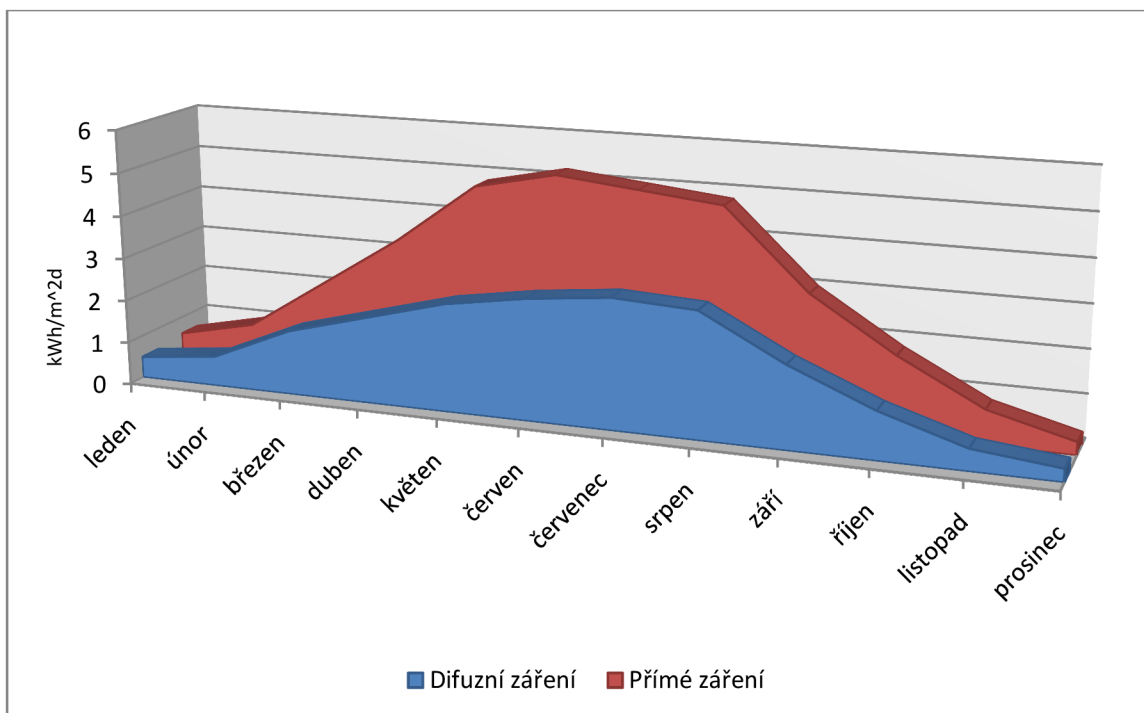
- *Energie fosilních paliv*, která vznikla v dávné minulosti z rostlinné nebo živočišné biomasy.
- *Energie větru* - lišící se intenzita ohřevu jednotlivých částí planety vyvolává větrné proudění. Vítr může navíc vyvolávat na vodní hladině vznik vln.
- *Energie biomasy* vzniklá přeměnou sluneční energie na energii chemických vazeb v organických sloučeninách fotosyntézou. Sem patří nejen energetické využití biomasy při spalování, ale i potravní využití živočichy (konzumenty).
- *Vodní energie*, kde sluneční energie představuje hybnou sílu pro koloběh vody.
- *Teplo*, které je většinou projevem ztrát při energetických přeměnách.
- Vlastní nepřeměněná sluneční energie. [2]

## 2.4 Globální záření a jeho složky

Jasná a bezmračná obloha umožňuje záření dopadat přímo na povrch Země bez toho, aby měnilo směr. Toto *přímé záření*  $I_p$  lze *koncentrovat* (čočky, zrcadla). Rozptylem toho záření v mracích a částicích v atmosféře vzniká *difúzní záření*  $I_d$  (záření oblohy), které nelze koncentrovat. Souhrn těchto záření se označuje jako *globální záření*.

$$I = I_D + I_P \quad [8]$$

kde  $I$  je globální záření,  $I_D$  je difúzní záření a  $I_P$  je přímé záření, vše v jednotkách [W/m<sup>2</sup>]



Obr. 2.2: Podíl difuzního záření na globálním je v naší oblasti podle ročního období 50-70% [3]

Čím více vodní páry obsahuje atmosféra a čím je tedy vyšší podíl difuzního záření, tím je energie globálního záření menší. V letním období je podíl difuzního záření asi 50% z globálního, v zimě až 70%.

#### Intenzita záření v poledne

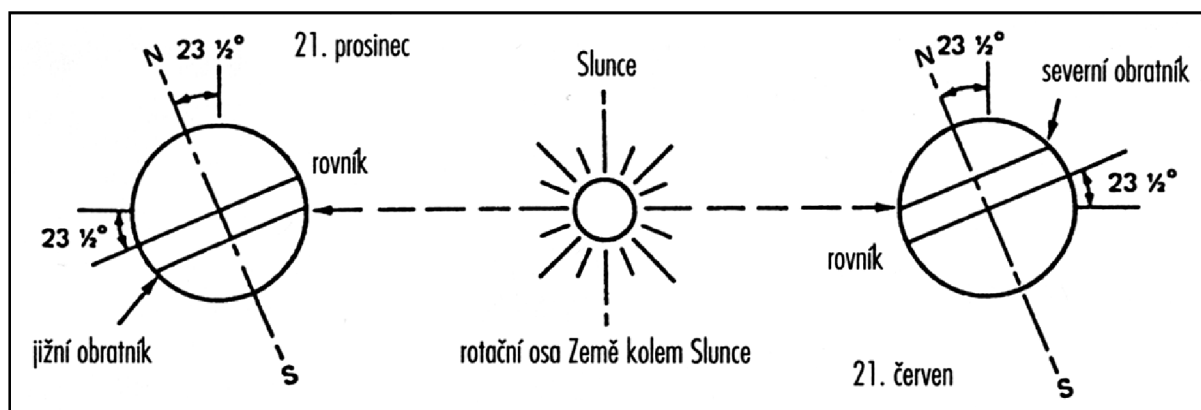
- Zamračené dny – 40–200 W/m<sup>2</sup>
- Jasně dny – 600–1 000 W/m<sup>2</sup>

Tabulka 2.1: Výkony solární energie a difuzní podíl záření při různých podmínkách [3]

	Záření (W/m <sup>2</sup> )	Difuzní podíl (%)
Modré nebe	800-1 000	10
Zamlžené nebe	600-900	50
Mlhavý podzimní den	100-300	100
Zamračený zimní den	50	100
Celoroční průměr	600	50-60

## 2.5 Nabídka solární energie

Nabídka záření se mění v průběhu dne s ohledem na roční období. V zimě je nabídka na severní polokouli menší v důsledku kratších dnů a nižší polohy Slunce na nebi. Na jižní polokouli je to samozřejmě opačně. [3] Z toho jasně vyplývá, že solární energie není dodávána kontinuálně a tyto výkyvy musíme řešit zahrnutím zásobníků nebo přídavných zařízení do solárních systémů.



Obr. 2.3: Díky sklonu zemské osy zachytí v zimě jižní a v létě severní polokoule více sluneční energie

Pro vyjádření nabídky solárního záření využíváme hlavně tyto dvě veličiny:

- Délka slunečního svitu (měřeno v hodinách, měsících nebo rocích)
- Zářivá energie (denní nebo měsíční součty globálního záření na vodorovnou plochu v kW.h/m<sup>2</sup>) [3]

Tabulka 2.2: Typická **denní** zářivá energie dopadající na jižně orientované kolektory [3]

	Zářivá energie (kW.h/m <sup>2</sup> )	
	Jasno	Oblačno
Léto	7-8	2
Předjaří/podzim	5	1,2
Zima	3	0,3

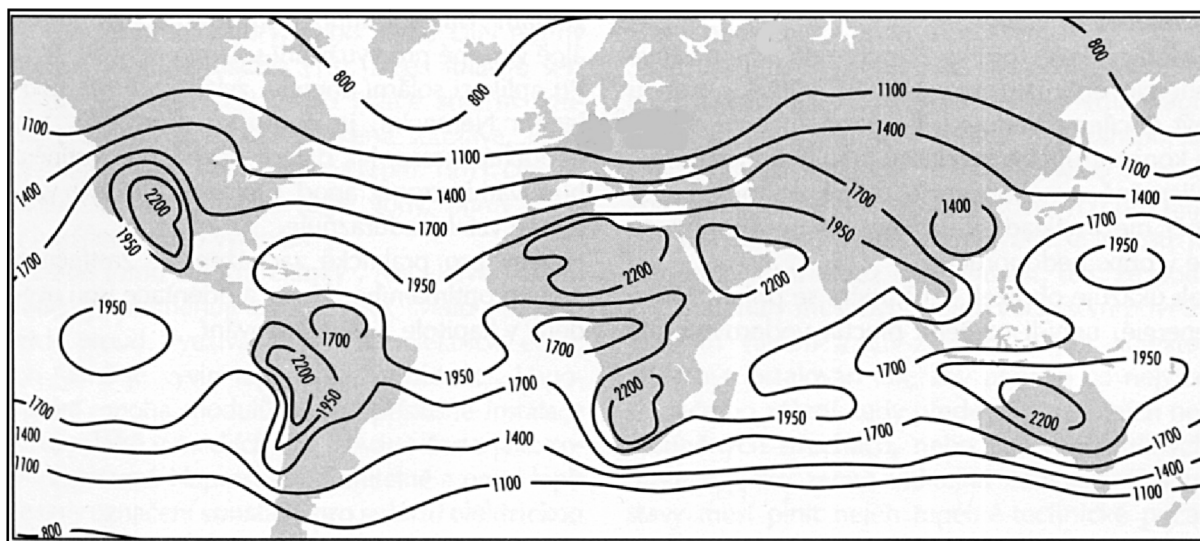
### Orientace ke slunci

Největších výtěžků solárními kolektory bychom dosáhli, kdyby kolektor sledoval sluneční dráhu. Taková zařízení jsou velice nákladná a tudíž v praxi téměř nevyužitelná. Optimální sklon kolektorů pro celoroční využití je 30–60°. Optimální orientací pro skloněné kolektory je **jih**.

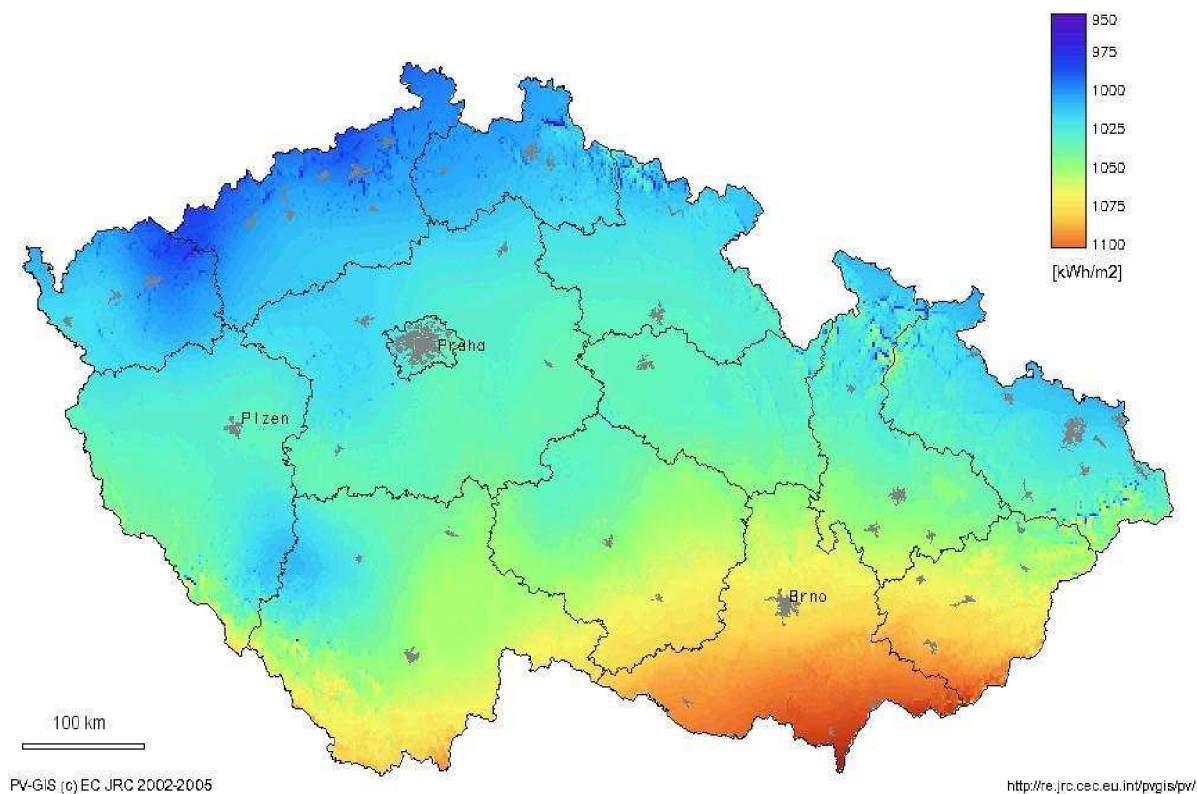


## 2.6 Předpoklady pro využití solární energie v ČR

Délka slunečního svitu a zářivá energie je závislá na zeměpisné poloze, ročním období a na povětrnostních podmínkách. V nejslunečnějších oblastech Země dosahuje zářivá energie hodnot přes 2 200 kWh/m<sup>2</sup>. V České republice je to v některých oblastech hodnota 1 100 kWh/m<sup>2</sup>, jak je patrné z obrázku 1.4.



Obr. 2.4: Střední roční globální záření na vodorovné plochy [kW.h/m<sup>2</sup>.r] [3]



*Obr. 2.5: Průměrný roční úhrn globálního záření v ČR*

Roční množství slunečního záření kolísá mezi 1 000 a 1 250 kW.h/m<sup>2</sup>. Průměrná doba svitu činí v České republice asi 2 000 hodin. [1]

V letní polovině roku dopadnou na zemský povrch tři čtvrtiny slunečního záření, zatímco v zimních měsících, kdy jsou nároky na spotřebu tepla mnohem vyšší, dopadne na povrch pouze šestina slunečního záření. To je jedno z hlavních kritérií, se kterými se musí při dimenzování těchto zařízení počítat.

V celoročním průměru je v České republice podíl difuzního záření z globálního asi 60 %. Proto je nutné využívat a vyvíjet technologie, které jsou schopné využívat i difuzního záření. S koncentrujícími systémy nelze v ČR, ani v Evropě obecně počítat.

Tabulka 2.3: Měsíční dávky zářivé energie v kW.h/m<sup>2</sup> v různých lokalitách ČR a v Rakousku

[2]

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ročně
Hradec Králové	22,1	39,8	76,2	115,7	160,8	163,8	162,7	142,2	92,9	57	23,8	17,1	1074
Praha	21,8	38,3	69,6	109,5	150,9	146,2	153,8	136	84,8	54,5	22,6	16,1	1004
Ostrava	24,9	40,7	69,9	101,8	145,6	140,3	146,2	122,7	79,9	56,8	25,6	18,1	972
Vídeň	25,2	43	84,4	118,9	149,8	160,7	164,9	139,7	100,6	59,8	26,3	19,9	1090

### 3 VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE V TERMICKÝCH SOLÁRNÍCH ZAŘÍZENÍCH

*Termická solární zařízení* jsou systémy, které prostřednictvím tzv. solárních kolektorů (sběračů) využívají energii ze slunečního záření a přeměňují ji na energii tepelnou tak, že teplo je kolektorem předáváno kapalině solárního okruhu, která proudí potrubím do zásobníku, a tam je teplo díky výměníku dále využíváno.

Základní soustava se skládá ze slunečního kolektoru, tepelného zásobníku a solárního okruhu. Ukážeme si základní solární soustavu a její další modifikace. Jednotlivé komponenty a princip jejich funkce si více přiblížíme v kapitole 3.

Při stavbě těchto soustav je nutné jednotlivé komponenty optimalizovat a sladit tak, aby bylo co nejlépe využito střídavé a u nás nepříliš vydatné nabídky slunečního záření.

#### Rozlišování solárních soustav

*Podle plochy kolektoru*

- maloplošné
- velkoplošné

*Podle provozních podmínek*

- s nízkým průtokem
- s vysokým průtokem
- s proměnlivým průtokem

*Podle typu oběhu teplotosné látky*

- uzavřené s nuceným oběhem
- uzavřené s gravitačním oběhem (samotížné)
- soustavy s vyprazdňováním

#### 3.1 Možnosti využití termických solárních zařízení

Solární termická zařízení mohou přinést velký užitek, zvýšit komfort, ušetřit životní prostředí a časem ulehčit po finanční stránce. Ne vždy však dokáže solární soustava překonat nedokonalé vstupní podmínky. Nejpříznivější podmínky jsou pro solární zařízení v té situaci, kdy se nabídka sluneční energie a poptávka po teple shodují. Je jasné, že je mnohem jednodušší ohřát v létě bazén na 25 °C, než v zimě zajistit ohřev TUV či vytápnout celý dům.

Vhodné využití termických solárních zařízení je v těchto oblastech:

- **Ohřev vody v bazénech**
- Ohřev užitkové vody v letním a přechodném období
- Předehřívání užitkové vody v zimě
- **Vytápění**

- Temperování výrobních a skladových hal vzduchovými kolektory
- Výroba procesního tepla pro průmyslové využití
- Vaření
- Sušení
- Destilace

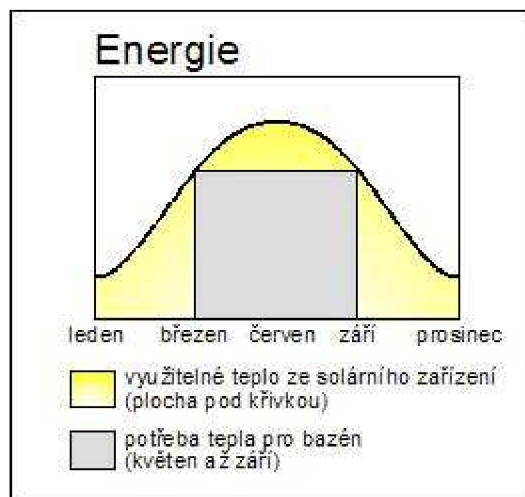
Tabulka 3.1: Charakteristiky některých druhů solárních zařízení pro různá využití

	Ohřev vody v bazénu	Ohřev teplé vody	Ohřev teplé vody a vytápění
Typ kolektoru	absorbér, plochý kolektor	plochý kolektor, vakuový kolektor	plochý kolektor, vakuový kolektor
Typický rozdíl mezi užitkovou a okolní teplotou	0-10 °C	40-70 °C	30-70 °C
Velikost kolektorové plochy	(0,5-0,8)x plocha bazénu (m <sup>2</sup> )	0,8-1,5 m <sup>2</sup> na osobu	podle situace
Specifický systémový výnos na m <sup>2</sup> kolektorové plochy	200-300 kW.h/m <sup>2</sup>	250-600 kWh/m <sup>2</sup>	150-500 kWh/m <sup>2</sup>
Typický stupeň pokrytí potřeby	≤ 100 %	40-60 % v létě 70-95%	20-30 %, extrém. Až 100 %
Zásobník	voda v bazénu	70-100 l na osobu	kombinovaný, systém s více zásobníky

V kapitole 3.1.1 si již budeme zabývat jen systémy pro ohřev vody v bazénech. Ostatní informace pro realizaci našeho projektu nepotřebujeme. Podrobnější informace o dalších možnostech využití najdete v literatuře [3].

### 3.1.1 Ohřev vody v bazénech

Při ohřevu vody v bazénech se přesně shoduje nabídka sluneční energie s poptávkou, díky tomu, že jsou tato zařízení používána převážně v letním, na sluneční záření bohatém, období. Požadované teploty se pohybují kolem 20-25 °C a malé kolísání teplot je neznatelné či přijatelné. V našich zeměpisných šířkách lze ovšem těchto teplot trvaleji dosahovat pouze vytápěním.

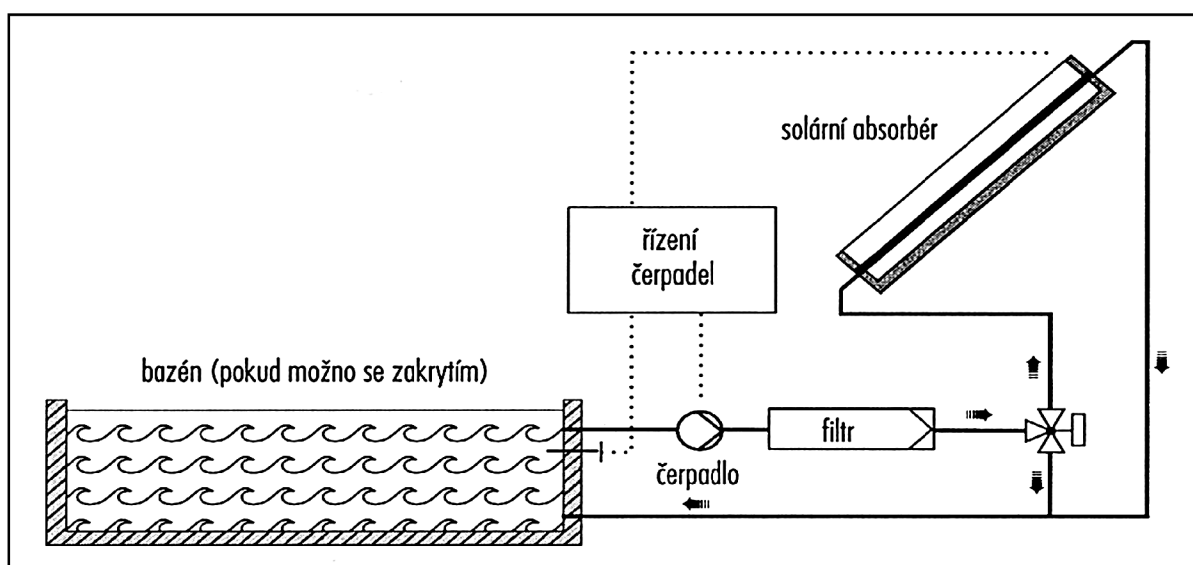


Obr. 3.1 Nabídka a potřeba energie pro ohřev vody v bazénech

Pokud budeme chtít pouze jednoduchý, nekombinovaný systém (kde ohříváme pouze vodu v bazénu a to jen v letním období), lze použít kolektory nejjednodušší konstrukce- *absorbéry*. Tyto kolektory jsou složeny z paralelně vedených hadic, rohoží s vodními kanálky aj., položených na střeše či jiné konstrukci orientované na jih. Není potřebná izolace ani překrytí sklem nebo fólií, tyto černé kolektory se pro tyto požadavky dostatečně ohřívají.

Akumulační schopnosti velkého množství vody nám ušetří starosti s výběrem tepelného zásobníku. Teplota vody klesá v noci a ve dnech chudých na záření jen pomalu a samotný bazén takto slouží jako tepelný zásobník.

Bazén bývá většinou v provozu jen v letním období, nemusí se počítat se zamrznutím a dalšími problémy a tak je celé zařízení poměrně jednoduché. Náš projekt *Ohřev bazénu s temperací garáže*, kterým se budeme zabývat v experimentální části, však bude celoroční a budeme muset vyřešit, co s přebytečným teplem.



Obr. 3.2: Schéma zapojení solárního zařízení pro ohřev bazénové vody [3]



Obr. 3.3: Princip funkce solárního zařízení pro ohřev bazénové vody

1. Na regulátoru se nastaví požadovaná teplota vody
2. Teplotní senzor v kolektoru sleduje stav využitelného tepla
3. Čerpadlo vytlačí vodu z bazénu do solárního kolektoru
4. Kolektory ohřejí vodu
5. Ohřátá voda proudí do bazénu

Na 1 m<sup>2</sup> vodní hladiny je potřeba 0,5 - 0,8 m<sup>2</sup> kolektorové plochy. Předpokládá se, že bazény jsou ode dna a po stranách tepelně izolovány. Největší ztráty tepla vznikají odpařováním. Známe-li plochu hladiny bazénu, musí účinná plocha kolektorů odpovídat 50% plochy hladiny u nekrytých bazénů a 25% plochy hladiny u krytých bazénů. Kolektor musí být stejnoměrně a intenzivně protékán (filtrační čerpadlo, oběhové čerpadlo) tak, aby bylo dosaženo ohřevu vody přibližně o 8°C. Za těchto podmínek dosahují bazénové kolektory roční energetický zisk asi 200–300 kW.h/m<sup>2</sup>. Využijí tedy z roční sluneční nabídky 1 000 kW.h/m<sup>2</sup> asi 20-30% energie. Tím solární soustava **odlehčí životnímu prostředí** přibližně o 70 kg emisí CO<sub>2</sub> na 1 m<sup>2</sup> kolektorové plochy za sezonu. [3]

Využití solárních systémů pro ohřev bazénů je velice vhodné. Tato technika je pro tuto oblast optimální, náklady nejsou nijak závratné a i bez dotací jsou absolutně hospodárné a ve srovnání s konvenčními energetickými systémy, použitelnými v této oblasti, se můžeme dostat až na polovinu ceny 1 kW.h.



## 4 KOMPONENTY TERMICKÝCH SOLÁRNÍCH ZAŘÍZENÍ

V této kapitole si přiblížíme jednotlivé komponenty, ze kterých se skládají solární termické soustavy.

### 4.1 Sluneční kolektory

Sluneční kolektory využívají energii ze slunečního záření a přeměňují ji na energii tepelnou.

Základní charakteristika, která ukazuje kvalitu kolektoru je **účinnost**. Tu lze definovat jako poměr výkonu a příkon kolektoru, což pro střední teplotu teplonosného média  $T_m$  vede ke vztahu, který vychází z tzv. kolektorové rovnice:

$$\eta = \frac{W_N}{E} = \alpha \cdot \tau - k \cdot \frac{(T_m - T_a)}{E} \quad [3]$$

kde:

$\eta$ ... účinnost kolektoru

$W_N$ ... tepelný výkon kolektoru [ $W/m^2$ ], někdy též užitečný tepelný výkon

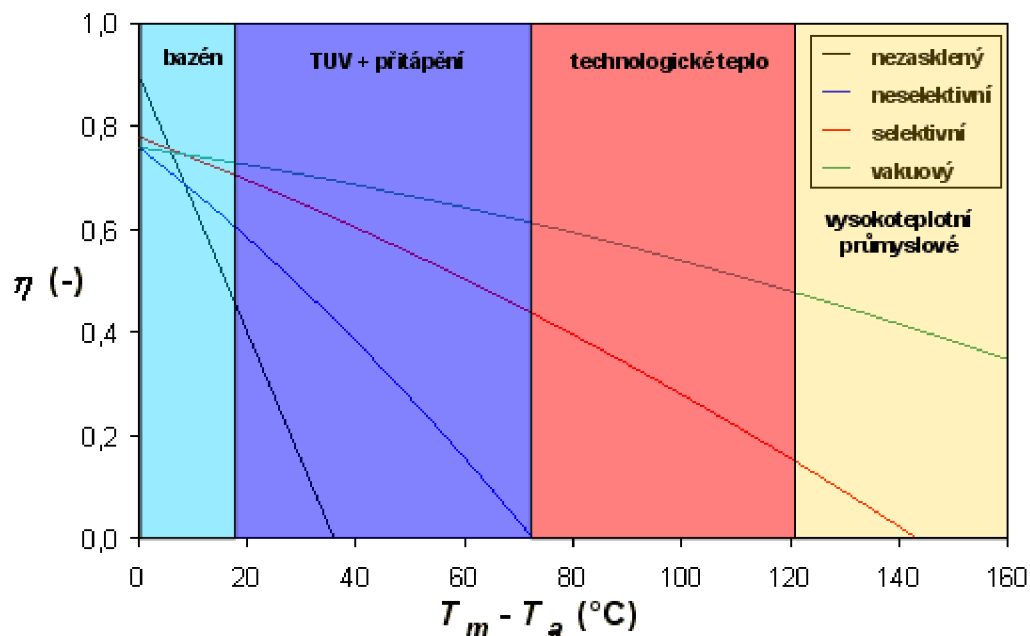
$E$ ... sluneční záření [ $W/m^2$ ]

$\alpha$ ... součinitel absorpce absorbéru

$\tau$ ... součinitel transmise transparentního krytu

$k$ ... součinitel měrné tepelné ztráty kolektoru [ $W/m^2$ ]

$T_m, T_a$  průměrná teplota v solární soustavě, resp. střední teplota vzduchu v okolí kolektoru [ $^{\circ}C$ ]



Obr.4.1: Křivky účinnosti různých typů solárních kolektorů [11]



Tento graf ukazuje rozdíly v účinnosti jednotlivých druhů kolektorů. Účinnost závisí na tom, v jakém teplotním režimu pracuje – to je na rozdílu teploty mezi solární soustavou a okolním vzduchem. Čím vyšší je teplotní rozdíl, tím vyšší jsou teplotní ztráty a tím i nižší účinnost. Nejjednodušší nezasklené kolektory mají sice vynikající optickou účinnost na druhé straně vysoké tepelné ztráty při velkých rozdílech teplot. Při výběru kolektoru je nutné vědět, v jakém teplotním režimu budeme pracovat. Je totiž zbytečné kupovat drahý vakuový kolektor na ohřev bazénu, když v tomto režimu má stejnou účinnost selektivní plochý kolektor.

Solární kolektory lze rozdělit podle různých kritérií, obdobně jako solární soustavy lze rozlišit podle:

#### **teplonosné látky:**

- Kapalinové
- Vzduchové

#### **konstrukce:**

- Bazénové kolektory – absorbéry
- **Ploché kolektory**
- **Podtlakové ploché kolektory**
- **Vakuované trubicové kolektory**
- Vzduchové kolektory
- Koncentrační kolektory
- Zásobníkové kolektory

Tučně označené kolektory jsou v současné praxi nejpoužívanější.

#### **Velikosti:**

Běžné solární kapalinové kolektory, tzv. *maloplošné kolektory*, se vyrábí s účinnou plochou od 1,5 m<sup>2</sup> do 2,5 m<sup>2</sup>. Jsou vhodné pro instalace do rodinných domů, kde celková plocha solárních kolektorů zpravidla nepřekročí hranici 15 m<sup>2</sup>. Pro větší instalované plochy jsou vhodné *kolektory velkoplošné* tvořené moduly o plochách 10 až 20 m<sup>2</sup>. Výhodou je výrazně nižší pracnost montáže, zvláště při spojování kolektorových polí o plochách nad 100 m<sup>2</sup>.

Tabulka 4.1 Vlastnosti běžných slunečních kolektorů při  $E = 1\,000\text{ W/m}^2$  a venkovní teplotě  $20\text{ °C}$  [3]

Typ kolektoru	Teplotní oblast [°C]	Použití	Teplota chodu naprázdno [°C]	Výnos energie [kW.h/m <sup>2</sup> .r]
Absorbér	0 - 30	ohřev bazenů	70-90	200-300
Ploché kolektor - černý	20 - 80	ohřev TUV, vytop	120-140	250-400
Ploché kolektor - selektivní	20 - 80	ohřev TUV, vytop	120-240	320-530
Vakuovaný kolektor	20 - 100	ohřev TUV, vytop, procesní teplo	150-300	400-890
Koncentrační kolektory s naváděním	80 - 800	výroba páry, procesní teplo, vytápění	více než 1 000	podle koncentrace

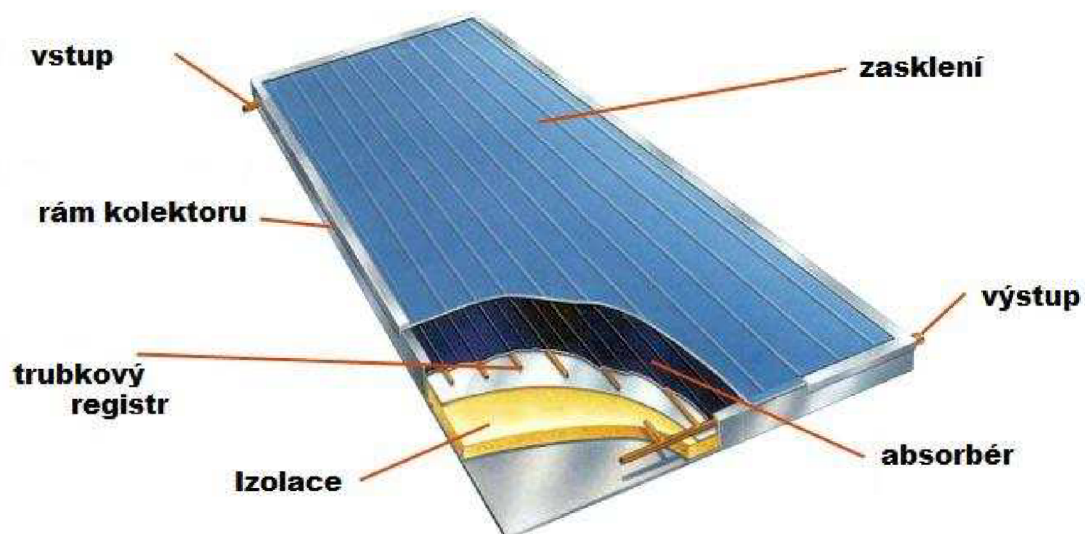
#### 4.1.1 Typy kolektorů

V této části si popíšeme nejpoužívanější typy kolektorů, použitelných pro náš projekt.

##### 4.1.1.1 Ploché kolektory

Ploché solární kolektory jsou nejpoužívanější a na trhu nejrozšířenější. Díky izolované skříni mají dobrou účinnost i při teplotách 40-60K nad teplotou okolí.

#### Konstrukce



Obr. 4.2: Řez plochým kolektorem

Skládá se z absorběru, trubkového registru, zasklení a rámu kolektoru nejčastěji vyplněným tepelnou izolací. **Absorbér** je tvořen absorpční pohltivou plochou (celoplošný, lamely) a trubkovým registrem, kterým se pohlcené teplo odvádí z kolektoru teplotonosnou látkou k dalšímu využití. Absorbér je opatřen speciálním povlakem s vysokou pohltivostí slunečního záření (běžné hodnoty 0,92 až 0,96). Absorbér selektivních kolektorů se vyznačuje navíc nízkou emisivitou s běžnými hodnotami 0,05 až 0,15 v oblasti infračerveného (tepelného) záření. Nízká emisivita znamená omezení tepelných ztrát zářením z absorběru do okolí, významných především v zimním období. Kolektory se spektrálně selektivními povrchy se uplatňují především u soustav s celoročním provozem, u sezónních soustav nemají opodstatnění a postačují neselektivní solární kolektory s hodnotami emisivity na úrovni 0,85 až 0,90.

Tabulka 4.2: Vlastnosti různých materiálů pro konstrukci absorběrů [3]

Materiál	Výhody	Nevýhody
Hliník	lehký, dobrá tepelná vodivost, příznivá cena	korozí, vysoké náklady na výrobní energii
Ocel	příznivá cena, dobře zpracovatelná, menší spotřeba výrobní energie	těžká, menší tepelná vodivost, korozí
Ušlechtilá ocel	nehrozí korozí ani u bazénové vody, vysoká životnost	drahá, těžká, menší tepelná vodivost, vysoká spotřeba výrobní energie
Měď	výborná tepelná vodivost, dobře zpracovatelná, odolná proti korozí, vysoká životnost	drahá

**Trubkový registr**, ve kterém proudí teplotonosná látka (voda, nemrzoucí směs), se vyrábí nejvíce ve dvou základních typech - lyrový nebo meandrový. Způsob spojení trubkového registru s absorběrem kolektoru je důležitý pro přenos pohlcené tepelné energie do teplotonosné kapaliny. Lamely bývají k trubce registru nalisovány, přitlačovány pružnými spojkami, přivařeny laserem či vysokofrekvenčně, případně může být trubka lamelou opláštěná. Celoplošné absorběry jsou k trubkám připájeny či lineárně přivařeny ultrazvukem. Lineární spoj o malé styčné ploše sice znamená horší přestup tepla z povrchu absorběru do teplotonosné látky, z hlediska výroby jde však o rychlou a levnou technologii.

Absorbér je zpravidla zakryt jednoduchým **zasklením (transparentní kryt)** s vysokou propustností slunečního záření. Kvalitní krycí skla kolektorů jsou vyrobena s minimálním obsahem oxidu železa, případně opatřena antireflexním povlakem nebo texturou (prizmatická skla) zvyšujícími propustnost vlastního zasklení (až 93 %). Na druhé straně je důležité, aby kryt zadržoval zpětné dlouhovlnné vyzařování kolektoru a tím redukoval tepelné ztráty do okolí. Pokud jsou použity absorběry se selektivním povrstvením, stačí pouze jeden transparentní kryt. Dvojitě krytí poskytuje výraznou redukci tepelných ztrát, současně ale klesá jeho propustnost, takže stoupají optické ztráty kolektoru. Tyto dvojitě zakryté kolektory jsou také mnohem těžší. Z důvodu bezpečnosti a pevnosti se používají skla kalená, která se v případě rozbití rozpadnou na malé neostře úlomky. Pevnost zasklení se zkouší, podléhá normalizované zkoušce odolnosti proti kroupám či proti plošnému zatížení.

Tabulka 4.3: Vlastnosti několika transparentních materiálů vhodných pro konstrukci krytů [3]

Materiál	tloušťka (mm)	hmotnost (kg/m <sup>2</sup> )	přípustná teplota (°C)	solární transmise (%)
normální sklo	3	10	160	84
bezželeznaté sklo tvrzené (Solarglas)	4	10	>200	91
bezželeznaté sklo strukturované a tvrzené (Solarglas)	4	10	>200	91
polykarbonátové desky (Makrolon)	4	4,9	130	80
- dvoudutinová deska	8-16	12	130	80
- deska z kapilár, r = 3 mm, k = 0,92 W/m <sup>2</sup> k	100	0,14	130	69
- voštinová struktura, r = 4 mm. K = 1,07 W/m <sup>2</sup> k	100		130	75
akrylátové sklo (PMMA)	4	4,8	90	84
- dvoudutinová deska	16	5,0	90	77
- třídutinová deska	16	5,6	90	72
PTFE-fólie (Teflon)	0,05	0,12	>200	96
Hostatlon-fólie (PTFE)	0,125	0,27	>200	94
Tedlar-fólie (PVF)	0,1	0,14	120	90

Rám kolektoru sjednocuje všechny součásti kolektoru a je tvořen lisovanou vanou (hliník) nebo je složen z tvarovaných profilů (hliník, nerez, dřevo). Rám je vyplněn tepelnou izolací pro omezení tepelných ztrát kolektoru (zadní stranou, bočními stranami). Nicméně, jak vyplývá z výše uvedeného pro zasklení, nemá smysl výrazně zvyšovat tepelně-izolační schopnost rámu nad tepelný odpor  $R = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ , pokud má kolektor jednoduché zasklení a podíl tepelných ztrát rámem je nízký. Kolektory mohou být opatřeny větracími otvory v tělese rámu, které slouží pro větrání a odvádění přirozené vlhkosti z kolektoru (eliminace koroze ve vnitřním prostoru kolektoru). [3]

**Tepelná izolace** slouží v kolektoru k tepelné ochraně absorbéru. Teplota v kolektorech při běhu naprázdno může dosáhnout teploty přes 200 °C. Některé materiály jako např. polyuretan by nemusely těmito teplotám odolat. Proto musí být před vysokými teplotami chráněny ještě odolnou mezivrstvou, nebo je možné použít jiný, odolnější materiál.

Tabulka 4.4: Vlastnosti několika tepelně izolačních materiálů pro ploché kolektory [3]

Materiál	Maximálně přípustná teplota (°C)	Hustota (kg/m <sup>3</sup> )	Tepelná vodivost (W/m.K)
Minerální vlna	>200	60-200	0,040
Skelná vlna	>200	30-100	0,040
Pěnové sklo	>200	130-150	0,048
Polyuretanová pěna	<130	30-80	0,030
Polystyren	<80	30-50	0,034

#### 4.1.1.2 Podtlakové ploché kolektory

Jedná se o unikátní řešení plochého kolektoru, který využívá vysoký podtlak k minimalizaci tepelných ztrát. Vana kolektoru je vyrobena ze slitiny hořčíku a hliníku, která je odolná vůči korozi. Absorbér kolektoru je pokryt selektivním povrchem a v kombinaci s vakuovou izolací zaručuje přibližně o 20 až 30 % vyšší roční energetický zisk než nevakuované ploché kolektory. Další výhodou použití vysokého vakua je vyloučení případné degradace selektivní vrstvy korozí a také možnosti zaprášení a rosení vnitřního prostoru kolektoru. Vzhledem k uvedeným vlastnostem kolektoru jej lze s výhodou využít zejména pro kombinované solární soustavy.

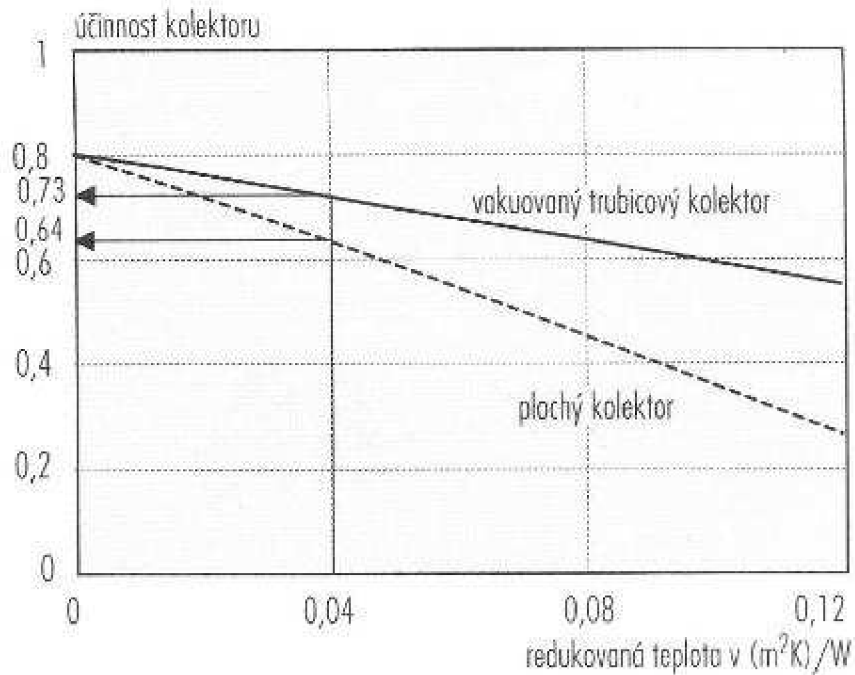


Obr. 4.3 Řez podtlakovým plochým kolektorem

#### 4.1.1.3 Vakuované trubicové kolektory

U plochých kolektorů se větší část tepla ztrácí konvekcí od absorbéru k vnějšímu plášti a další část tepla vedením tepla sklem a tepelnou izolací. Vakuované trubicové kolektory řeší tyto ztráty odstraněním vzduchu jako transportního média z kolektoru. Zatímco hodnota součinitele prostupu tepla  $k$  činí pro ploché kolektory 2,3–4,5 W/m<sup>2</sup>.K, u vakuovaných kolektorů je tato hodnota mezi 0,8–2 W/m<sup>2</sup>.K. Tím dosahujeme vyšší účinnosti (viz. 3.1), zejména při vyšších teplotách. [3]

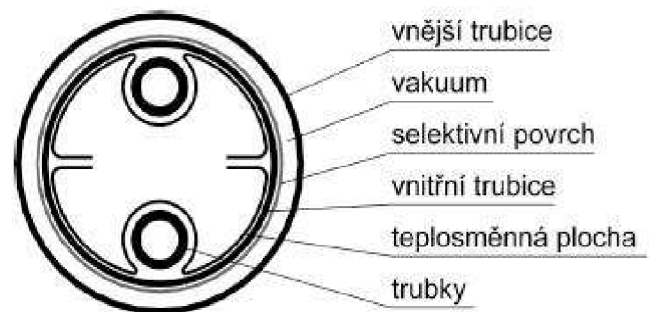
Převahu nad plochými kolektory získávají vakuované trubicové kolektory při režimech s velkým teplotním rozdílem absorbér – okolí. Díky své trubkové konstrukci má i lepší účinnost při menším záření (72 % oproti 64 % u plochého kolektoru).



Obr 4.4: Závislost účinnosti kolektoru na úměrně redukované teplotě. Porovnání plochého a vakuovaného kolektoru [3]

### Konstrukce

Trubicové kolektory jsou tvořeny skleněnou dvoustěnnou trubicí s vakuovaným meziprostorem a spektrálně selektivním absorpčním povlakem na vnějším povrchu vnitřní trubice. Uvnitř trubice se nachází teplosměnná plocha, která odvádí teplo z vnitřního povrchu. Velká výhoda tkví v konstrukčním válcovém tvaru, slunce tak může po celý den dopadat kolmo. Dostáváme vysoké tepelné zisky, i když není kolektor orientován přímo na jih

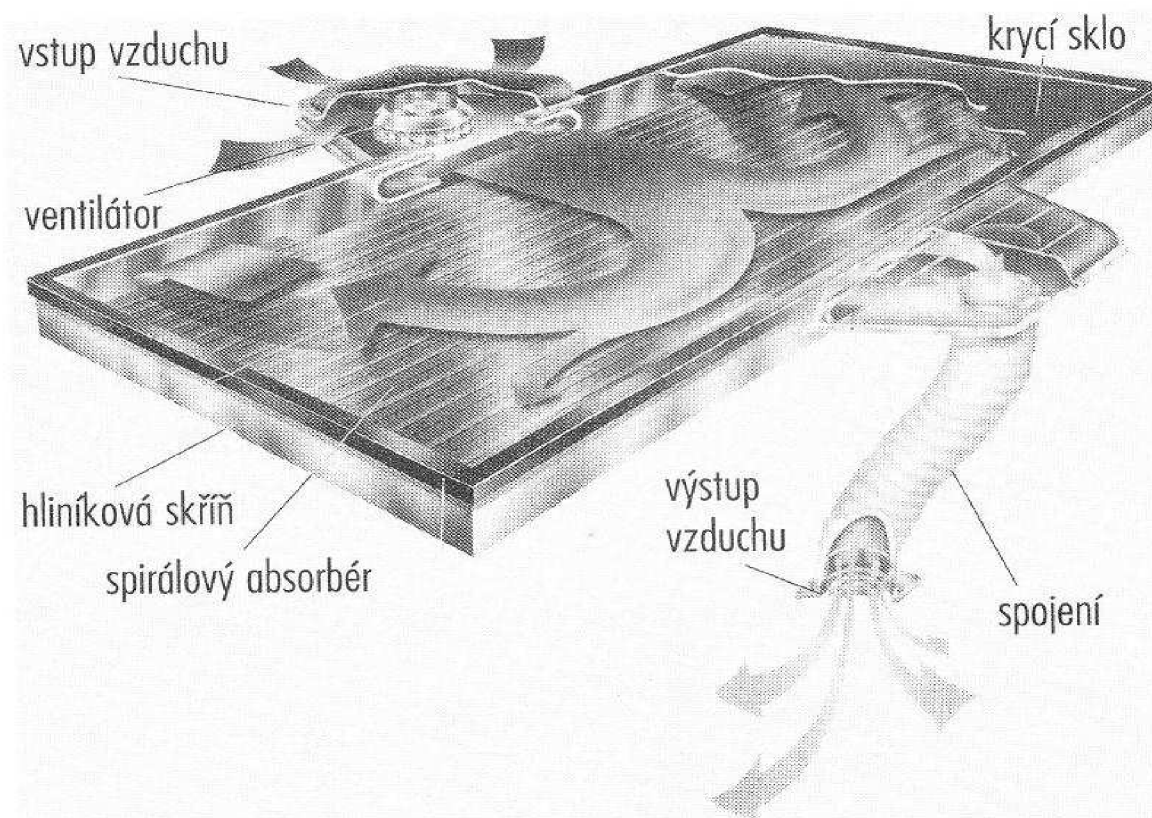


Obr 4.5: Řez vakuovaným trubicovým kolektorem [4]



#### 4.1.1.4 Vzduchové solární kolektory

Vzduchové solární kolektory, u kterých je teplonosnou látkou vzduch, jsou svou konstrukcí často podobné kapalinovým kolektorům s tím rozdílem, že k přenosu tepla do teplonosné látky může docházet jak uvnitř tak vně absorberu. Vzduch obtéká tvarovanou absorpční plochu a odnímá z ní teplo. Vzduchové kolektory a soustavy se výhodně používají pro sušení vlhkých materiálů, zejména v zemědělství, či pro teplotovzdušné vytápění a větrání budov.



Obr. 4.6: Řez vzduchovým kolektorem [3]

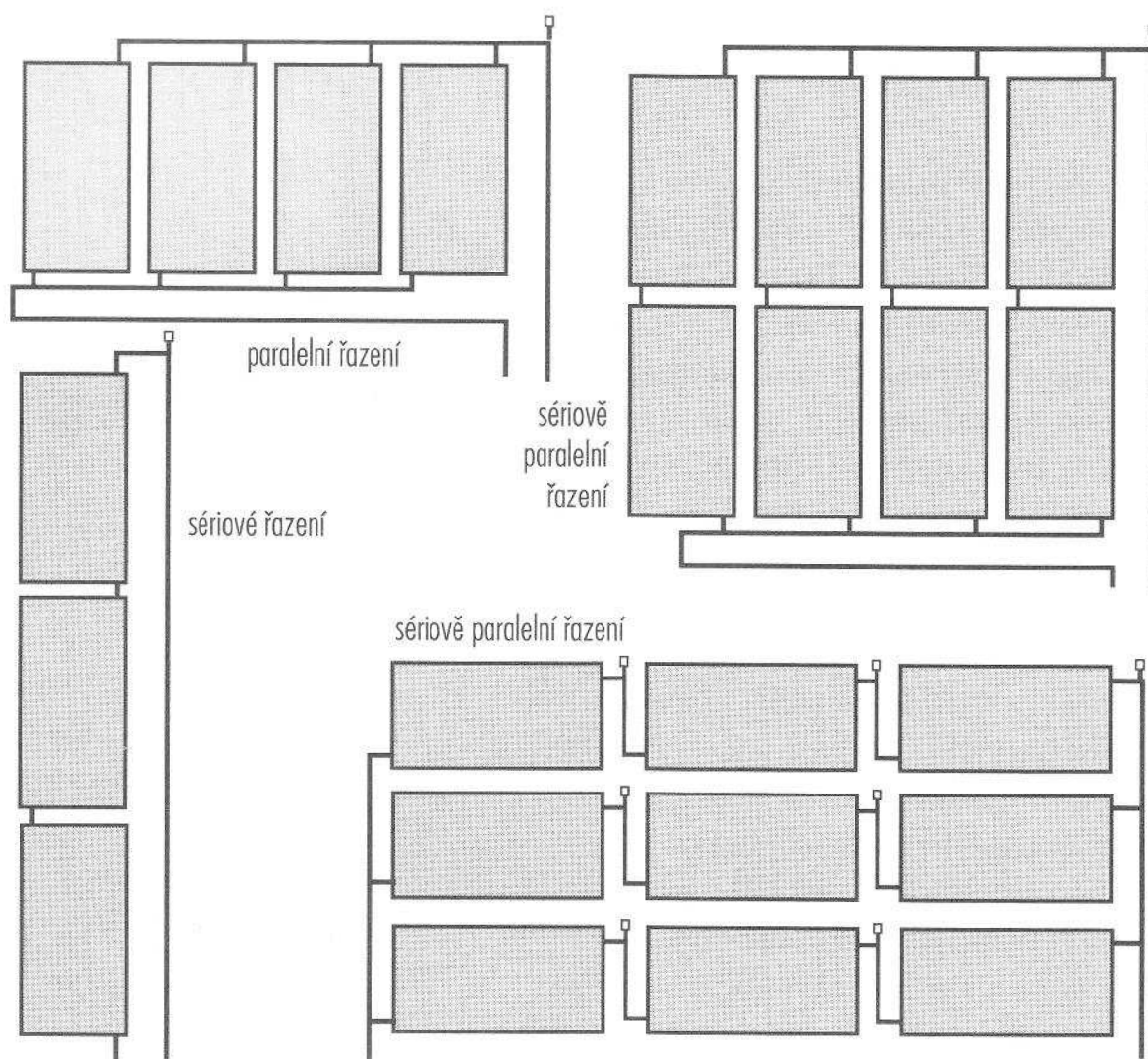
Vzhledem k malé objemové kapacitě vzduchu jsou pro přenos tepla vzduchem nutné velké objemové průtoky a z toho vyplývající velké průřezy potrubí. Nevýhodou je, že vlhkost obsažená ve vzduchu při proměnlivém počasí kondenzuje na vnitřních plochách kolektorů, a také prach obsažený ve vzduchu se na vnitřní straně zasklení může usazovat a zhoršovat účinnost kolektoru. Výhodou teplotovzdušných kolektorů je skutečnost, že i při malém slunečním ozáření lze ohřát vzduch na teplotu využitelnou buď přímo k teplotovzdušnému přitápění, nebo pro předehřev vzduchu pro teplotovzdušné vytápění či sušení. Navíc provoz kolektoru při nízkých teplotách (do 40° C pro vytápění a sušení) a bez použití výměníků tepla znamená vysokou účinnost přeměny sluneční energie. Vzduchové kolektory umožňují celoroční provoz bez nebezpečí zamrznutí při nízkých teplotách venkovního vzduchu.

## 4.1.2 Řazení a propojení kolektorů

Většina solárních soustav se skládá z více než jednoho modulu. Je potřeba zvolit správné řazení a propojení kolektorů k dosažení jedné velké plochy s větším ziskem tepla. Geometrie absorberů musí být přizpůsobena průtoku a hydraulickému řazení. Rovnoměrný průtok všemi kolektory zvyšuje výkon a efektivitu celé soustavy.

Používají se tyto tři druhy řazení kolektorů

- sériové
- paralelní
- sériově–paralelní



Obr. 4.7: Znáornění variant řazení kolektorů [3]



**Sériové řazení** má výhodu ve stejnoměrném protékání kolektorů. Nevýhoda však je, že s rostoucím počtem kolektorů stoupá značně teplota odváděného teplotnosného média a také exponenciálně roste průtočný odpor daný součtem jednotlivých odporů všech kolektorů. Proto se nedoporučuje sériové zapojení více než tří kolektorů.

**Paralelní řazení** má výhodu nízkého odporu vůči proudění teplotnosné kapaliny. Realizuje se napojením všech kolektorů na jedno horní a jedno dolní sběrné potrubí. Aby byl proud teplotnosného média rozdělen rovnoměrně, musí mít sběrné potrubí větší průměr (nižší hydraulický odpor) a cesty průtoku kolektoru musí být stejně dlouhé (stejný odpor proudění).

**Sériově paralelní řazení** spojuje výhody obou základních řazení - rovnoměrné průtoky a přijatelný odpor vůči proudění.

## 4.2 Tepelný zásobník

Nabídka solární energie se většinou nekryje s poptávkou. Proto je nedílnou součástí solárních soustav tepelný zásobník. Ten přijímá teplo z kolektoru a je schopen ho akumulovat pro využití v době, kdy nabídka solárního záření klesá.

Náš projekt celoročního systému pro výtop bazénu a teplotaci garáže má výhodu, že jako tepelný zásobník můžeme použít samotný bazén, konkrétně vodu v bazénu. Akumulační schopnost velkého množství vody v bazénu má vliv na to, že teplota v noci a v době slabé nabídky solárního záření klesá jen pomalu.

	Rozsah teplot (°C)	Specifická tepelná kapacita (Wh/kg K)	Objemová tepelná kapacita (Wh/m <sup>3</sup> K)	Měrná tepelná kapacita (J/kg K)
Voda	0-100	1,16	1 160	4 180

Naakumulované teplo se dá vypočítat pomocí vztahu

$$Q_{sp} = m \cdot c \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) \quad [3]$$

### Příklad 1

Máme-li 500 litrový zásobník a ohřejeme vodu o 60 °C (z 10 °C vstupní vody na 70 °C vody v zásobníku), potřebná energie je :

$$Q_{sp} = 500 \cdot 1,16 \cdot 60 = 34800 \text{ Wh}$$

Jinak vyjádřeno, máme naakumulováno 34 kWh energie.

S vodou můžeme pracovat v teplotním rozsahu 0-100 °C. V tomto případě může být rozdíl teplot max. 90 °C a teoreticky je možné v tomto 500 litrovém zásobníku naakumulovat 52 kWh energie.

$Q_{sp}$  je naakumulované teplo. Tato veličina je závislá na hmotnosti  $m$ , tepelné kapacitě  $c$  a na zvýšení teploty z  $\vartheta_1$  na  $\vartheta_2$ . Měrná tepelná kapacita udává, kolik je potřeba tepla, aby se teplota 1 kg látky zvýšila o 1 °C. Voda má s odstupem od ostatních médií největší měrné teplo, je nejedovatá, všude dostupná a levná. Je proto nejvhodnějším kandidátem na médium pro tepelné zásobníky.

### 4.3 Solární okruh

Solární okruh slouží k tomu, aby se kolektorem vyprodukované teplo převedlo do zásobníku nebo k přímé spotřebě a to přečerpáváním teponosného média.

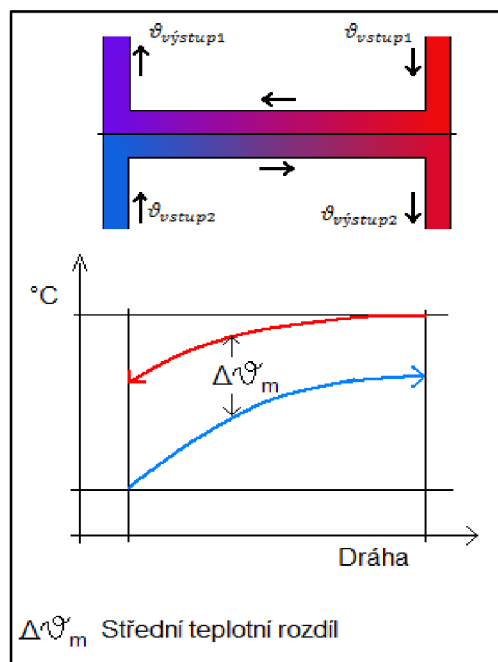
Součástí solárního okruhu je celá řada komponent. Popíšeme si ty, která budeme potřebovat k realizaci našeho projektu:

- Tepelný výměník
- Teponosné médium
- Potrubí
- Čerpadlo
- Regulační a řídicí zařízení
- Armatury
- Pojistná zařízení

#### 4.3.1 Tepelný výměník

Tepelný výměník slouží k výměně a distribuci tepelné energie z jednoho média na druhé. V našem případě půjde o výměnu tepla z teponosného média do vody v bazénu a vzduchu v garáži. Aby mohlo k přenosu tepla dojít, je nutný rozdíl teplot mezi topným médiem a médiem, které chceme ohřát. Tok tepla prochází stěnou výměníku z teplejšího na chladnější médium.

Obr. 4.8: Funkce protiproudého výměníku tepla



Střední teplotní rozdíl na tepelném výměníku lze definovat:

$$\Delta\vartheta_{st} = 0,5 \cdot [(\vartheta_{vstup1} - \vartheta_{výstup2}) + (\vartheta_{výstup1} - \vartheta_{vstup2})]$$

Množství tepla, které může výměník přenést (tepelný výkon) stoupá:

- S přibývajícím plochou A výměníku
- S přibývajícím rozdílem teplot mezi chladnou a teplou stranou
- S přibývajícím rychlostí proudění na obou stranách

Výkon tepelného prostupu lze definovat:

$$W = A \cdot k \cdot \Delta\vartheta_{st}$$

kde A je plocha výměníku, k je součinitel přestupu tepla, který je dán konstrukcí a vlastnostmi materiálu.

Konkrétní typ bazénového výměníku tepla zvolíme v praktické části.

#### 4.3.2 Teplonosná média

Tyto média mají za úkol transportovat teplo od kolektoru k spotřebiči nebo zásobníku. Jaké vlastnosti musí taková kapalina splňovat?

- Velká specifická tepelná kapacita
- Nízká viskozita
- Mrazuvzdornost (v případě použití celoročních systémů)
- Teplota varu musí být vyšší než provozní teplota zařízení
- Antikorozivní vlastnosti
- Nehořlavost
- Nízká cena

##### 4.3.2.1 Použitelná teplonosná média:

**Voda** - ideální z hlediska vysoké tepelné kapacity, tepelné vodivosti a nízké viskozity. Protože však při teplotách pod 0 °C zamrzá, může být bez příměsí použita pouze v sezónních solárních soustavách s letním provozem. Problémem je také její nízká teplota varu (100 °C). Voda může způsobovat korozi, pokud její pH není udržováno na neutrální hodnotě 7, a dále samozřejmě při nevhodné kombinaci faktorů jako obsah kyslíku, teplota, koncentrace dalších rozpuštěných chemických látek či elektrochemický potenciál přítomných kovů. [5]

**Alkoholy** - (methanol, ethanol) se častěji než u kolektorů používají v primárních okruzích tepelných čerpadel s ohledem na nízký bod tuhnutí. Tepelná kapacita je výrazně nižší než u

vody (téměř o 40 %) a pro použití jako teplotnosné látky v okruzích solárních soustav je nevýhodný také nízký bod varu (methanol 64 °C, ethanol 78 °C). Metanol a ethanol jsou těkavé a toxické látky. Využití ethanolu v solární technice se omezuje pouze na technologii tepelných trubic, kde zajišťuje přenos tepla s fázovou změnou z absorberu kolektoru do sekundární teplotnosné látky. [5]

**Silikonové oleje** - mají velmi nízký bod tuhnutí a velmi vysoký bod varu. Nejsou korozivní a mají vysokou životnost. Na druhou stranu se vyznačují vysokou viskozitou a nízkou tepelnou kapacitou (poloviční než u vody), což vede k vyšší spotřebě energie pro pohon oběhových čerpadel (vyšší průtok, vyšší tlakové ztráty). Silikonové oleje jsou také vzlínavé, snadno unikají z uzavřeného okruhu mikroskopickými netěsnostmi. Jejich použití se omezuje pro vysokoteplotní aplikace a kolektory (koncentrační). [5]

Pro celoroční provoz kapalinových solárních soustav je pak nejrozšířenější použití nemrznoucí směsi (voda s glykoly) s ohledem na ochranu soustavy v zimním období před poškozením mrazem. [3]

**Glykolové nemrznoucí směsi** - mohou být dvojího druhu: směs ethylenglykolu a vody nebo propylenglykolu a vody s přídavkem přípravku proti korozi, zpravidla v objemovém ředění 40-50 % glykolu podle potřebné teploty tuhnutí. Tyto směsi mají ale také své nevýhody. Specifická tepelná kapacita je asi o 25 % nižší než u vody a se stoupajícím obsahem glykolu mírně klesá. Se stoupajícím obsahem glykolu roste také viskozita směsi a zhoršuje přestup tepla v tepelném výměníku, způsobuje větší tlakové ztráty v potrubí, což vyžaduje větší výkony čerpadel. Také klesá povrchové napětí vody a směs tak může prolínat do pórů materiálu. Z těchto důvodů není ve většině případů vhodné přidávat do vody více glykolů, než je pro zajištění funkce systému nezbytné. Vyšším přídavkem sice můžeme docílit nižšího bodu tuhnutí a vyššího bodu varu a tím chránit systém při chodu naprázdno (stagnaci), ale je to ovšem vykoupeno horšími vlastnostmi teplotnosného média. [3]

**Ethylenglykol** - je vysoce jedovatý a měl by být používán pouze v takových soustavách, kde je primární okruh oddělen od pitné vody dvěma teplotnosnými plochami. V současné době se od jeho použití upouští. Více se jeho použití uplatňuje v automobilovém průmyslu. [3]

**Propylenglykol** - vzhledem k jeho toxikologické nezávadnosti se jeho používání upřednostňuje. Propylenglykolu se mísí s vodou v potřebném objemovém poměru a s potřebnými inhibitory koroze. Tyto směsi se oproti čisté vodě vyznačují nižší tepelnou kapacitou a vyšší viskozitou (při 20 °C až 6x vyšší než u vody) s výraznou teplotní závislostí (při 80 °C pouze cca 2x vyšší než u vody). [5]

V současné době jsou k dispozici jednak klasicky inhibované glykolové směsi pro použití v plochých kolektorech (stagnační teploty pod 200 °C) a jednak pokročilé směsi s kapalnými inhibitory umožňující použití v trubicových vakuových kolektorech (stagnační teploty do 300 °C). Přehled používaných glykolových směsí a některých jejich vlastností uvádí následující tabulka.

Tab. 1: Teplonosné látky na bázi glykolových směsí [5]

Teplonosná látka	Složení	Výrobce	Tt (°C)
Solaren EKO	propylenglykol (1,2-propandiol) s inhibitory	Velvana, a.s.	-31
Kolekton P	propylenglykol (1,2-propandiol) s inhibitory	Agrimex, s.r.o., Třebíč	-30
Tyfocor L	propylenglykol (1,2-propandiol) s inhibitory	Tyforop Chemie GmbH	-50
Tyfocor LS	propylenglykol (1,2-propandiol) s inhibitory	Tyforop Chemie GmbH	-28
Antifrogen N	ethylenglykol (1,2-ethandiol) s inhibitory	Gerling, Holz & CO Handels, GmbH	-70
Antifrogen SOL	propylenglykol s inhibitory	Gerling, Holz & CO Handels, GmbH	-34

Nemrzoucí směsi propylenglykolu a vody mají sklon ke stárnutí vlivem vysokých teplot při stagnačních podmínkách v kolektorech. Rozpuštěné inhibitory (pevné neodpařitelné látky) se vylučují na stěnách. Aby při opakovaném působení stagnačních podmínek nedocházelo k postupnému vyloučení inhibitorů na stěny potrubí v kolektorech a tím k degradaci jak teplonosné látky, tak kolektorů, měla by být kvalitní teplonosná látka schopná zpětně rozpustit vyloučené inhibitory. Postupující degradace teplonosné látky se projevuje změnou barvy (tmavnutí kapaliny), pomalu se snižující hodnotou pH a tvorbou pevných látek na stěnách potrubí kolektorů (vyučování inhibitorů). U propylenglykolu dochází k rozkladu v důsledku oxidačních reakcí, tvoří se kyseliny a při opakovaném přehřívání pak dojde k poklesu pH kapaliny pod hodnotu 7. Rychlost degradace propylenglykolu je přímo úměrná teplotním stresům a obsahu kyslíku. Proto se doporučuje vždy sledovat hodnotu pH, bod tuhnutí a koncentraci inhibitorů pro včasnou výměnu a ochranu okruhu před zvýšenou korozí.

**Regulací a čerpadlem se budeme zabývat až při dimenzování.**

# PRAKTICKÁ ČÁST

## 5 CHARAKTERISTIKA PROJEKTU

V této kapitole se budeme zabývat základním popisem projektu se vším, co budeme chtít zrealizovat.

Náplní tohoto projektu je řešení ohřevu venkovního nekrytého bazénu celoroční solární technikou s využitím přebytečného tepla na vytápění garáže. Po skončení koupací sezóny bude teplo využíváno pro temperaci garáže.

*Abych naplno využili potenciál solárních kolektorů, bude systém pracovat ve dvou módech:*

- Letní (priorita je ohřev bazénu) – koupací sezóna - veškeré teplo jde do bazénu, přebytek do garáže
- Zimní (priorita je ohřev garáže) – po vypuštění bazénu se uzavře bazénový okruh a veškeré teplo se bude spotřebovávat pro ohřev garáže

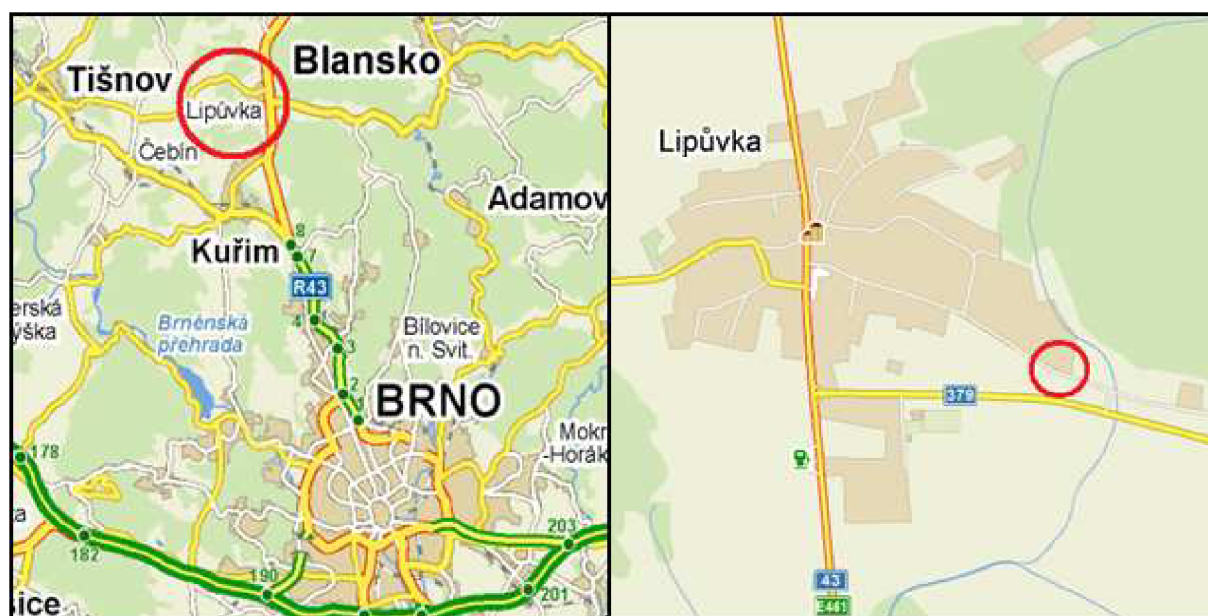
Ohřev bazénové vody je energeticky náročný, výhodou ale je, že se špičky dávek sluneční energie kryjí s dobou využití a nízká teplota bazénové vody zaručuje vysoké zisky i při použití levných solárních kolektorů. A o to půjde především. Navrhnout levný a efektivní systém s cílem zvýšit komfort uživatelů (příjemně temperovaná voda v bazénu, vytápěná garáž v zimě) a pomoci životnímu prostředí.

### 5.1 Pozemek a umístění důležitých součástí

Náš projekt realizujeme v obci Lipůvka. Nachází se v Jihomoravském kraji, okres Blansko. Pro stavbu solárního systému máme výborné podmínky. Podle obrázku 5.1 tento prostor řadíme do oblasti s průměrnou dobou slunečního svitu 1 600–1 700 h/rok. To nám dává solidní předpoklady pro využití solární energie.

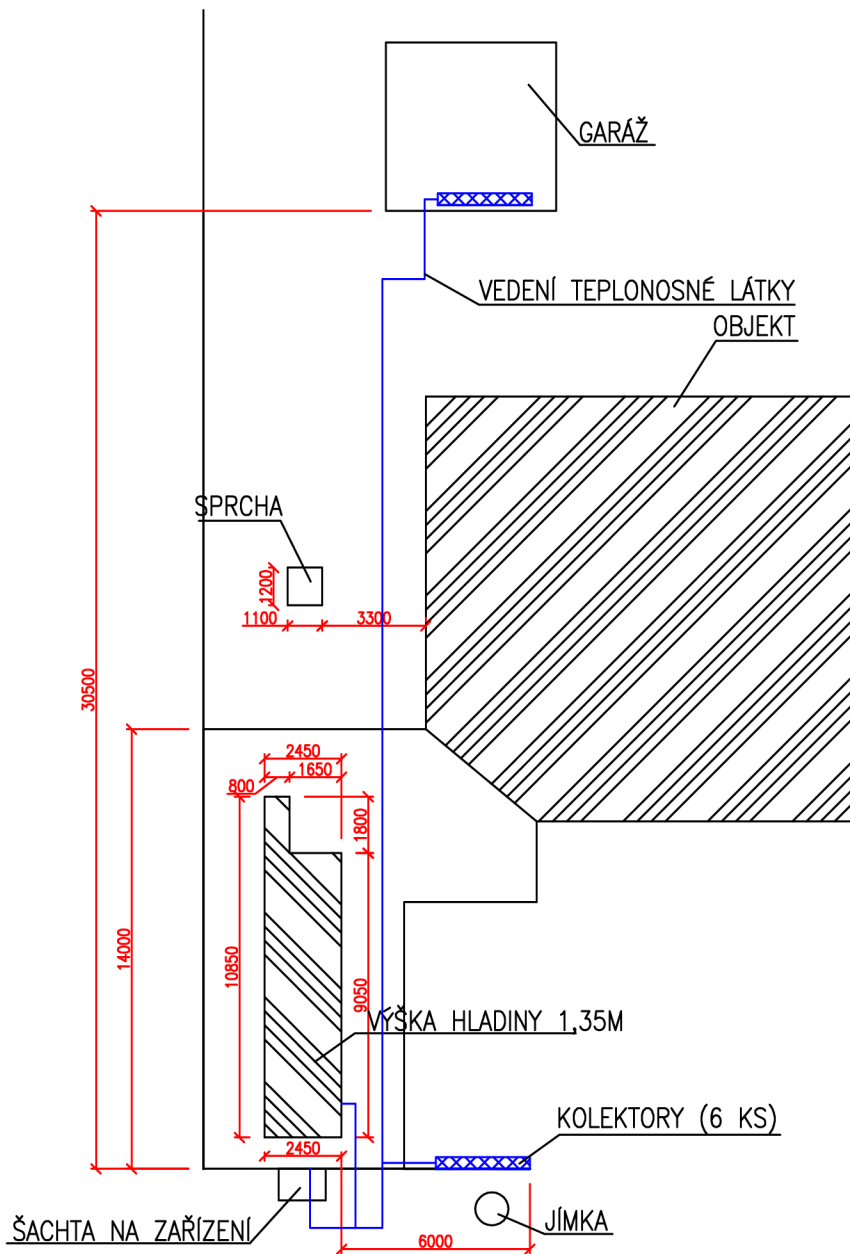


Obr. 5.1: Umístění našeho pozemku na mapě zobrazující roční úhrn doby trvání slunečního svít



Obr. 5.2: Pozice objektu na mapách s různým měřítkem





DIPLOMOVÁ PRÁCE – SOLÁRNÍ SYSTÉMY		
1:200	PŮDORYS POZEMKU	
2008	JAROMÍR POŘÍZKA	VUT-FCH



### 5.1.1 Půdorys pozemku

Pozemek má, co se týče použití solárních kolektorů, ideální orientaci. V nákresu je zakreslená pozice, kde se budou nacházet kolektory. Budou směřovat přímo na jih, což nám zaručí ty nejvyšší možné energetické výnosy (kapitola 2.5). Na půdorysu můžeme vidět jednotlivé vzdálenosti mezi důležitými prvky. Modré úsečky znázorňují předpokládané umístění potrubí v terénu. Šachta má potřebné rozměry pro umístění veškerého provozního zařízení, včetně bazénové techniky.

## 5.2 Bazén

Bazén, pro který budeme realizovat vytápění je venkovní nekrytý, zabudovaný do země. Předpokládaná teplota vody v bazénu je 23–25 °C, přičemž malé kolísání teplot je pro návštěvníka bazénu téměř neznatelné.

Bazén je možno již koncem března uvést do provozu a začít pomocí solárního zařízení přehřívat z nízkých teplot, aby byl v průběhu dubna připraven ke koupání. Nahřívání vody v bazénu z několikastupňových teplot k hodnotám nad 20 °C probíhá pozvolna v malém rozdílu teplot. Protože se nejedná pouze o ohřev vody v bazénu, ale i celého okolí bazénu, které je po zimním období výrazně podchlazené, jedná se o obrovské množství tepelné energie, které nám solární systém dodá takřka zdarma.

Pro výpočty budeme potřebovat rozměry bazénu, postačí nám plocha vodní hladiny, protože přes ni je realizována většina teplotních ztrát (viz. kapitola Dimenzování solární soustavy).

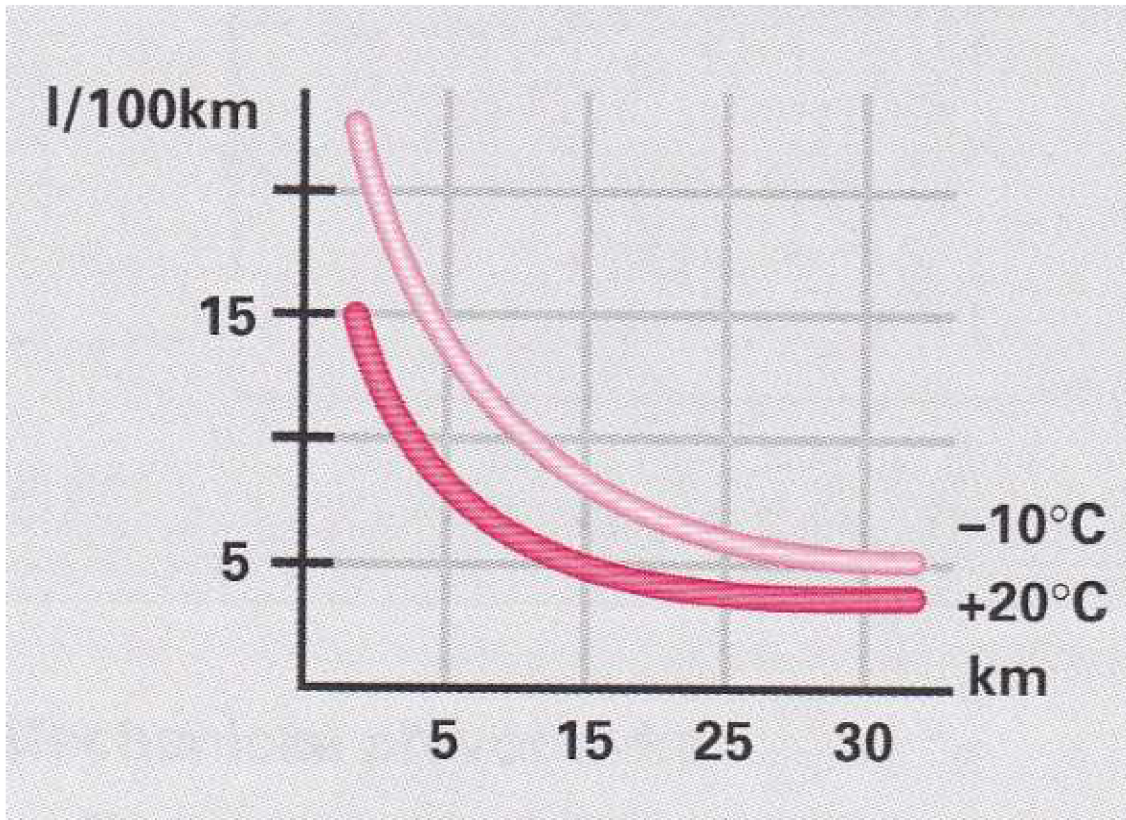
Velikost bazénu (viz. Půdorys pozemku)

$$\text{Plocha vodní hladiny } S = (2,45 \cdot 9,050) + (1,8 \cdot 0,8) = 23,61 \text{ m}^2$$

Přenos tepla mezi teplotnosnou kapalinou a bazénovou vodou je spotřebován bazénovým výměníkem tepla (návrh viz. Dimenzování)

### 5.3 Garáž

V zimním módu vytápění budeme realizovat ohřev garáže vedením teplotnosné kapaliny přes radiátor. Proč jsme však zvolili garáž? V zimě promrzají olejové náplně a snižuje se kapacita akumulátoru. Výsledkem je horší startování a vyšší opotřebení jednotlivých součástí automobilu, převážně motoru. Vozidlo má během zimy také vyšší spotřebu a to hlavně po startu.



Obr. 5.3: Spotřeba vozidla při různých teplotách [12]

Vytápěná garáž alespoň částečně tyto problémy eliminuje a zvyšuje se tak životnost vozu, snižují se emise výfukových plynů a zlepší také komfort uživatelů automobilu.

### 5.4 Technický popis zařízení

Na přiloženém provozním schématu vidíme jednotlivé součásti celé sestavy. Je to jedno z možných zapojení, projekt se dá realizovat více způsoby. My jsme zvolili tuto konfiguraci.

Jak tedy celý systém pracuje. Teplotnosná kapalina se ohřeje v kolektorech (počet a typ kolektorů zvolíme v kapitole dimenzování) (1). Řídící jednotka vyhodnotí, zda spustí oběhové čerpadlo (10), podle přednastavených hodnot (konkrétní nastavení regulátoru viz. kapitola Dimenzování – regulace). Teplotnosná kapalina se dá díky energii z oběhového čerpadla do pohybu. Projde odplyňovacím zařízením, které zbaví teplotnosnou kapalinu zbytků vzduchu z hydraulického systému. Další zařízení na trase je trojcestný ventil, který je otevřený podle toho v jakém módu pracujeme. V letním režimu je garážová větev uzavřená do doby, kdy

nedojde k přebytku tepla v systému. Pokud toto řídicí jednotka zaznamená, otevře ventil a přebytek tepla pošle do garáže. Při zimním módu je uzavřena bazénová větev a všechno teplo proudí do garáže. Bazénový okruh se skládá z tepelného výměníku (12), filtru (součástí výměníku) a čerpadla (13). Teplonosná kapalina na výměníku nebo v radiátoru (5) odevzdá teplo a teče zpět ke kolektorům. Pokud by došlo k přetlaku v systému (překročena provozní teplota celého systému), může dojít k poškození celého zařízení. Proto je kolektorový okruh vybaven zabezpečovací větví s expanzní nádobou (7), která zajistí, aby z pojistného přetlakového ventilu (14) nemohlo vystupovat teplonosné médium. Průtok se měří na průtokoměru (9) a kapalina postupuje přes zpětnou klapku opět do kolektorů, kde se znovu ohřívá a začíná svůj další okruh.

## 6 DIMENZOVÁNÍ SOLÁRNÍ SOUSTAVY

### 6.1 Podmínky pro využití solární energie v naší lokalitě

V kapitole 2.2 jsme se zmiňovali o úbytku intenzity slunečního záření v závislosti na obsahu příměsí ve vzduchu. Dle vztahu Linkeho vztahu (1) jsme schopni určit součinitel znečištění  $Z$ . Nemáme však k dispozici veškeré měřicí zařízení, abychom mohli získat hodnoty intenzit záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům. Použijeme proto **průměrné informativní hodnoty součinitele znečištění**.

- $Z = 2$  Pro místa o nadmořské výšce nad 2000 m.n.m.
- $Z = 2,5$  Pro místa o nadmořské výšce nad 1000 m.n.m.
- $Z = 3$  Pro města bez průmyslových exhalací
- $Z = 4$  Pro města s průmyslovými exhalacemi

V průmyslových městech může součinitel znečištění krátkodobě dosahovat až hodnot  $Z = 8$ .

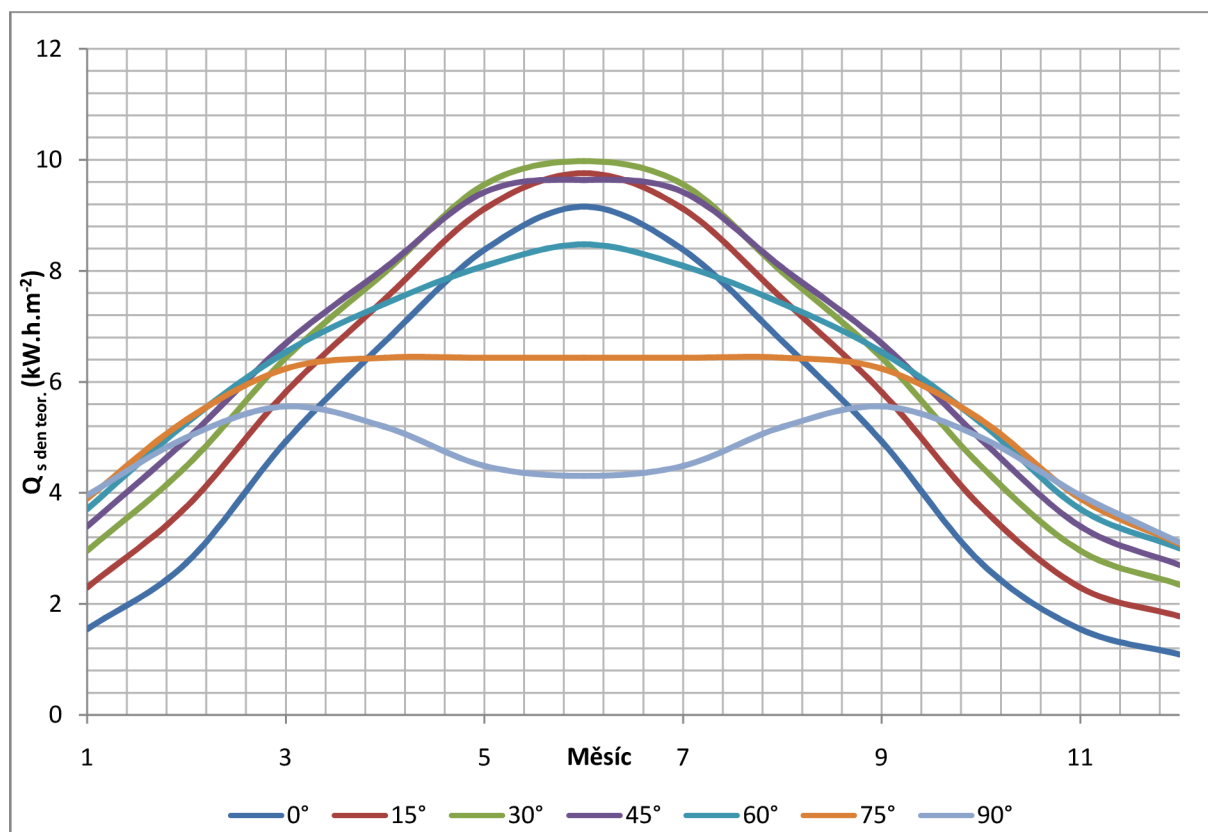
Naše lokalita se nachází v obci Lipůvka v blízkém sousedství města Brna, kde se nevyskytují průmyslové exhalace a proto je zvolen součinitel znečištění  $Z = 3$ .

#### 6.1.1 Teoretické a skutečné množství energie

Pro stanovení skutečné hodnoty sluneční energie dopadlé na plochu kolektoru během dne určeného období je nutné znát **teoretickou denní dávku přímého ozáření plochy -  $Q_{s \text{ den. teor.}}$  ( $\text{kW.h/m}^2$ ), denní energii difúzního záření  $Q_{D \text{ den}}$  ( $\text{kW.h/m}^2$ ) (viz. 2.4) dopadající na různě skloněné plochy a poměrnou dobu slunečního svitu  $\tau^*$** . Pro náš projekt volíme sklon kolektorů  $30^\circ$ , protože v měsících kdy bude bazén používán (květen – září) jsou při tomto sklonu nejvyšší výtěžky (viz. obr. 6.1). Poměrná doba slunečního svitu  $\tau_r$  se určuje z dlouhodobých průměrů na základě skutečné doby slunečního svitu, tedy doby s přímým slunečním zářením (měření slunoměrem nebo dvojicí pyranometrů). Měsíční hodnoty poměrné doby slunečního svitu jsou pro různá města ČR tabelovány v literatuře [6, 7].

Tabulka 6.1: teoretická denní dávka přímého ozáření plochy -  $Q_s \text{ den. teor. (kW.h/m}^2)$  na různě skloněné plochy; platí pro  $50^\circ$  severní šířky, součinitel znečištění  $Z = 3$ , plocha orientovaná na jih [8]

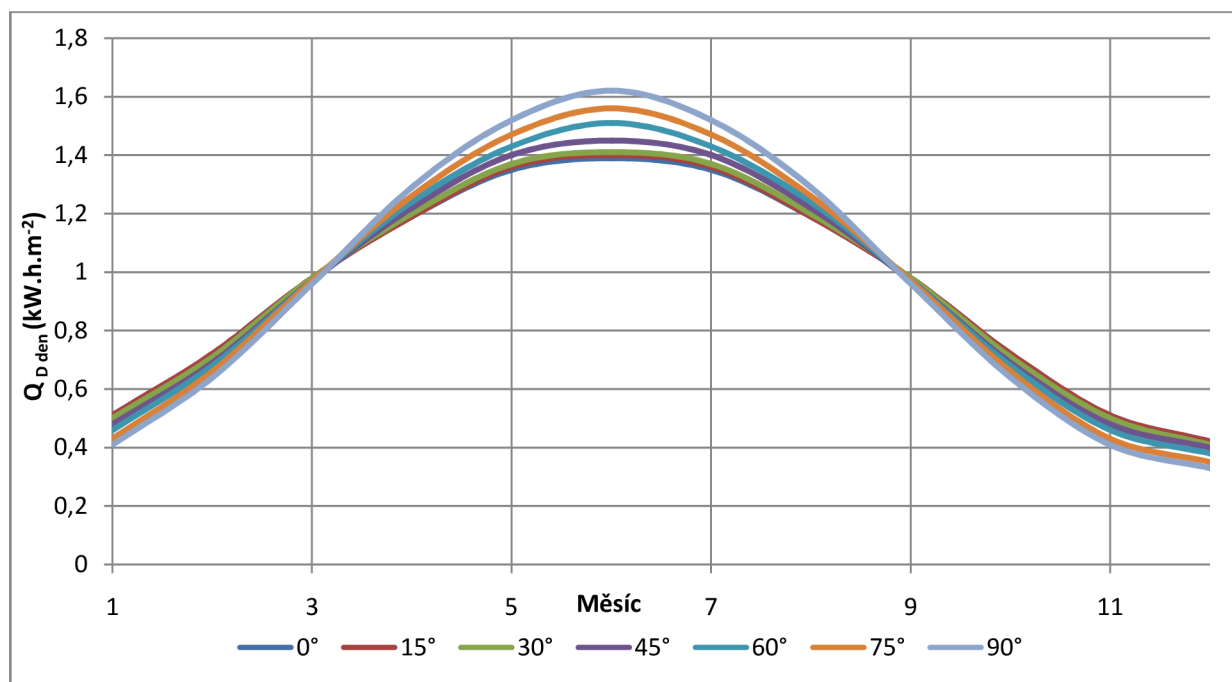
Úhel sklonu oslněné plochy $\alpha$	$Q_s \text{ den teor. (kW.h/m}^2)$						
	XII	I, XI	II, X	III, IX	IV, VIII	V, VII	VI
$0^\circ$	1,09	1,55	2,74	4,93	6,73	8,38	9,16
$15^\circ$	1,78	2,30	3,75	5,82	7,50	9,12	9,76
<b><math>30^\circ</math></b>	<b>2,35</b>	<b>2,96</b>	<b>4,48</b>	<b>6,44</b>	<b>7,98</b>	<b>9,56</b>	<b>9,98</b>
$45^\circ$	2,70	3,40	4,96	6,70	8,06	9,42	9,64
$60^\circ$	3,00	3,71	5,26	6,54	7,41	8,09	8,48
$75^\circ$	3,08	3,90	5,32	6,24	6,44	6,44	6,44
$90^\circ$	3,11	3,96	5,00	5,56	5,19	4,49	4,31



Obr. 6.1: Roční průběh teoretické denní dávky ozáření na různě skloněné plochy

Tabulka 6.2: Denní energie difúzního záření  $Q_{D\ den}$  ( $\text{kW.h/m}^2$ ) dopadající na různě skloněné plochy v jednotlivých měsících; platí pro  $50^\circ$  severní šířky a součinitel znečištění  $Z = 3$  [8]

Úhel sklonu oslněné plochy $\alpha$	$Q_{D\ den}$ ( $\text{kW.h/m}^2$ )						
	XII	I, XI	II, X	III, IX	IV, VIII	V, VII	VI
$0^\circ$	0,42	0,51	0,72	0,98	1,19	1,35	1,39
$15^\circ$	0,42	0,51	0,72	0,98	1,19	1,36	1,40
<b><math>30^\circ</math></b>	<b>0,41</b>	<b>0,50</b>	<b>0,71</b>	<b>0,98</b>	<b>1,20</b>	<b>1,37</b>	<b>1,41</b>
$45^\circ$	0,40	0,48	0,69	0,97	1,22	1,40	1,45
$60^\circ$	0,38	0,46	0,68	0,97	1,24	1,43	1,51
$75^\circ$	0,35	0,43	0,66	0,97	1,26	1,47	1,56
$90^\circ$	0,33	0,41	0,64	0,96	1,29	1,52	1,62



Obr. 6.2: Roční průběh energie difúzního záření  $Q_{D\ den}$  ( $\text{kW.h.m}^{-2}$ ) na různě skloněné plochy

Tabulka 6.3: Poměrná doba slunečního svitu  $\tau^*$  pro Brno [6,7] (tabelované hodnoty)

Měsíc	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII
$\tau^*$	0,18	0,31	0,38	0,39	0,48	0,53	0,53	0,53	0,50	0,37	0,23	0,12

### Výpočet skutečné energie dopadající na osluněnou plochu za jeden den $Q_{s \text{ den}}$

$$Q_{s \text{ den}} = \tau^* \cdot Q_{s \text{ den teor.}} + (1 - \tau^*) \cdot Q_{D \text{ den}} \quad [\text{W.h/m}^2] [8]$$

kde  $\tau^*$  je poměrná doba slunečního svitu (viz. tabulka 6.3),  $Q_{s \text{ den teor.}}$  [ $\text{kW.h/m}^2$ ] je teoretická denní dávka přímého ozáření plochy (viz. tabulka 6.1) a  $Q_{D \text{ den}}$  [ $\text{kW.h/m}^2$ ] je denní energie difúzního záření (viz. tabulka 6.2).

#### Příklad 6.1

Výpočet skutečné energie v **lednu** se sklonem plochy  $30^\circ$  :

$$Q_{s \text{ den, teor.}} = 2960 \text{ W.h/m}^2 \quad \text{tab. 6.1}$$

$$Q_{D \text{ den}} = 500 \text{ W.h/m}^2 \quad \text{tab. 6.2}$$

$$\tau^* = 0,18 \quad \text{tab. 6.3}$$

$$Q_{s \text{ den}} = 0,18 \cdot 2960 + (1 - 0,18) \cdot 500$$

$$Q_{s \text{ den}} = 942,8 \text{ W.h/m}^2$$

Tabulka 6.4: Skutečná energie dopadající na osluněnou plochu za jeden den (rok 2007) [ $\text{kW.h/m}^2$ ] [10]

Úhel sklonu osluněné plochy	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$0^\circ$	0,70	1,35	2,48	3,35	4,72	5,51	5,08	4,13	2,96	1,47	0,75	0,50
$30^\circ$	0,94	1,88	3,05	3,84	5,30	5,95	5,96	4,79	3,71	2,10	1,07	0,64

### Výpočet měsíční hodnoty skutečné energie dopadající na osluněnou plochu $Q_{s \text{ měs}}$

$$Q_{s \text{ měs}} = n \cdot Q_{s \text{ den}} = n \cdot \tau^* \cdot Q_{s \text{ den teor.}} + n \cdot (1 - \tau^*) \cdot Q_{D \text{ den}} \quad [\text{W.h/m}^2][8]$$

kde  $n$  – počet dnů v měsíci

## 6.1.2 Stanovení potřeby tepla pro ohřev vody v bazénu

Potřeba tepla pro ohřev vody v bazénu závisí na požadované teplotě vody a teplotě okolí. Čím větší je teplotní rozdíl mezi vodou v bazénu a vzduchem, o to větší je spotřeba tepla. S každým stupněm teploty navíc značně roste spotřeba tepla a teplý bazén nesplňuje jeho hlavní účel – osvěžení.

Pro ohřev vody v bazénu je nutné dodávat teplo na:

- Hrazení tepelných ztrát přestupem z vodní hladiny (sálání, proudění, vypařování)
- Hrazení tepelných ztrát prostupem tepla stěnami bazénu (pod úrovní vodní hladiny)
- Ohřívání přiváděné čisté vody

*Při výpočtech budeme používat klimatologická data. Teploty se rok od roku hodně liší a nelze přesně předpovídat vývoj v příštích letech. Proto jsou výpočty pouze orientační pro tuto lokalitu.*

Úniky tepla z bazénu probíhají hlavně na dvou frontách. Stěnou bazénu a přestupem tepla z vodní hladiny. Tepelná ztráta prostupem stěnami bazénu je většinou velmi malá a proti tepelné ztrátě přestupem z vodní hladiny ji budeme zanedbávat. **Tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny se stanoví ze vztahu:**

$$Q_z = \alpha_{\text{celk}} \cdot S \cdot (t_w - t_v) \quad [\text{W}] \quad [9]$$

kde  $\alpha_{\text{celk}}$  [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ] je celkový součinitel přestupu tepla z vodní hladiny,  $S$  [ $\text{m}^2$ ] je plocha vodní hladiny bazénu,  $t_w$  [ $^\circ\text{C}$ ] je teplota vody v bazénu a  $t_v$  [ $^\circ\text{C}$ ] je teplota okolního vzduchu.

Na přestupu tepla z hladiny se podílí sálání, proudění (konvekce) a vypařování. **Celkový součinitel přestupu tepla z vodní hladiny  $\alpha_{\text{celk}}$  je tedy dán součtem:**

$$\alpha_{\text{celk}} = \alpha_s + \alpha_k + \alpha_v \quad [\text{W} \cdot \text{m}^2 / \text{K}] \quad [9]$$

kde  $\alpha_s$  [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ] je součinitel přestupu tepla sáláním (volí se **5  $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$** ),  $\alpha_k$  [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ] je součinitel přestupu tepla konvekcí (volí se pro otevřené venkovní bazény **10–15  $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$** ) a  $\alpha_v$  [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ] je součinitel přestupu tepla při vypařování vody z hladiny bazénu. Výpočet  $\alpha_v$  je poměrně složitý. Vyřešíme to tak, že ze vztahu pro výpočet  $\alpha_{\text{celk}}$  vyřadíme člen  $\alpha_v$ . Tepelné ztráty způsobené vypařováním vody činí až 80 % celkových ztrát. Z této úvahy můžeme upravit vztah pro výpočet **tepelné ztráty přestupem z vodní hladiny**  $Q_z$  na:

$$Q_z = ((\alpha_s + \alpha_k) \cdot S \cdot (t_w - t_v)) + Q_{\alpha v} \quad [\text{W}]$$

kde  $Q_{\alpha v}$  jsou ztráty vzniklé vypařováním vody z vodní hladiny:

$$Q_{\alpha v} = 4 \cdot [(\alpha_s + \alpha_k) \cdot S \cdot (t_w - t_v)]$$



Tepelné ztráty vzniklé přestupem tepla z vodní hladiny lze snížit použitím plastových fólií s plováky, kterými zakryjeme hladinu během provozních přestávek. Tím lze eliminovat přestup tepla vypařováním a částečně snížit i přestup tepla sáláním a konvekcí. Tímto opatřením můžeme snížit tepelné ztráty až o 50 %.

### 6.1.2.1 Tepelné zisky

Do celkové bilance se kromě ztrát promítají i **zisky**. Hlavním zdrojem je přímo dopadající záření na hladinu bazénu. Účinnost absorpce slunečního záření vodou je 85 % (ztráty odrazem od hladiny jsou tedy 15 %). Tento tepelný zisk se spočítá podle tohoto vztahu:

$$Q_{\text{zisk}} = Q_{s \text{ den}} \cdot \eta_a \cdot S \quad [\text{W.h}] [9]$$

kde  $Q_{s \text{ den}}$  je skutečná energie dopadající na osluněnou plochu za jeden den,  $\eta_a$  je účinnost absorpce slunečního záření vodou ( $\eta_a = 0,85$ ) a  $S$  je plocha vodní hladiny.

### 6.1.2.2 Výpočet celkové denní potřeby tepla pro ohřev bazénové vody

Denní potřeba tepla závisí na době provozu bazénu. Budeme počítat s tím, že provoz bazénu se slučuje s dobou slunečního svitu. Musíme rozdělit výpočet na dva časové úseky:

- $\tau_d$  (ve dne, v době slunečního svitu se zisky od slunečního záření) [h]
- $\tau_n$  (v noci a v době bez slunečního svitu):  $\tau_n = 24 - \tau_d$  [h]

*Tabulka 6.4: Průměrná denní doba trvání slunečního svitu  $\tau_d$  v hodinách, v jednotlivých měsících, v letech 2000–2007, včetně průměrné hodnoty za toto období. Brno, Tuřany. [10]*

$\tau_d$	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
2007	1,85	2,38	4,87	10,05	7,61	7,98	8,67	8,02	5,35	3,26	1,78	0,79
2006	2,87	2,44	3,95	6,04	6,40	8,37	10,75	5,00	8,03	6,03	1,85	1,12
2005	2,40	2,46	5,43	7,08	8,97	9,02	7,09	6,92	6,37	5,28	2,17	1,80
2004	2,59	3,31	3,34	6,28	6,46	6,60	7,45	8,29	6,90	3,51	2,18	0,96
2003	1,36	5,23	5,72	7,56	9,51	10,64	7,43	10,33	7,16	3,37	1,97	2,02
2002	1,79	2,95	5,92	5,65	7,69	9,71	9,29	7,14	5,82	2,88	1,49	1,30
2001	1,85	4,38	2,64	5,96	10,10	6,91	7,41	9,35	2,06	2,65	2,39	1,84
2000	1,84	3,48	3,18	8,39	9,97	11,52	5,65	9,26	5,19	3,46	2,17	1,38
Průměr	2,07	3,33	4,38	7,13	8,34	8,84	7,97	8,04	5,86	3,81	2,00	1,40

*Při výpočtech budeme vycházet z roku 2007.*

### **Výpočet bilance potřeby tepla ve dne (bazén v provozu):**

$$Q_{p,den} = Q_z \cdot \tau_d - Q_{Zisk} \quad [W.h] \quad [9]$$

kde  $Q_z$  jsou tepelné ztráty přestupem z vodní hladiny,  $\tau_d$  je průměrná denní doba trvání slunečního svitu a  $Q_{Zisk}$  jsou tepelné zisky od dopadajícího záření na hladinu bazénu.

Po rozepsání:

$$Q_{p,den} = \{[(\alpha_s + \alpha_k) \cdot S \cdot (t_w - t_v)] + Q_{\alpha v}\} \cdot \tau_d - Q_{s,den} \cdot \eta_a \cdot S \quad [W.h]$$

kde  $t_v$  je průměrná denní teplota,  $t_w$  je teplota vody v bazénu.  $\alpha_s + \alpha_k$  jsou součinitelé přestupu tepla z vodní hladiny,  $Q_{\alpha v}$  jsou ztráty vzniklé vypařováním vody z vodní hladiny,  $S$  je plocha hladiny bazénu,  $Q_{s,den}$  je skutečná energie dopadající na osluněnou plochu,  $\eta_a$  je účinnost absorpce slunečního záření vodou (0,85) a  $\tau_d$  je průměrná denní doba trvání slunečního svitu.

### **Výpočet bilance potřeby tepla v noci:**

$$Q_{p,noc} = (\alpha_s + \alpha_k) \cdot S \cdot (t_w - t_n) \cdot (24 - \tau_d) \quad [W.h] \quad [9]$$

kde  $\alpha_s + \alpha_k$  (viz předchozí odstavec),  $S$  je plocha hladiny bazénu,  $t_w$  je teplota vody v bazénu,  $t_n$  je teplota definovaná jako průměrná venkovní teplota v noci.

### **Výpočet celkové potřeby tepla pro ohřev bazénové vody na jeden den**

$$Q_{p,celk.} = (1 + p) \cdot (Q_{p,den} + Q_{p,noc}) \quad [W.h] \quad [9]$$

kde  $p$  je přírážka na tepelné ztráty solární soustavy (uvažují se cca 5 %)

### **Výpočet celkové potřeby tepla pro ohřev bazénové vody pro náš systém a specifikované podmínky**

Při výpočtech vycházíme z průměrných teplot z roku 2007 od dubna do září, včetně doby slunečního svitu. [10] Propočítáme tepelné ztráty pro různé teploty bazénu od 20-25 °C. Ve velice teplých dnech je teplota bazénu dostačující i bez použití externího vytápění. Přítápění přijde vhod hlavně v situaci kdy není delší dobu hezké počasí a přesto se chceme koupat v příjemně teplém bazénu. Proto nebudeme počítat s extrémními teplotami kolem 30 °C, ale s teplotami průměrnými, které jsou o hodně nižší, tudíž nám vytvoří lepší představu reálně vytíženého systému.

Tabulka 6.5: Celková potřeba tepla při daných klimatických podmínkách a požadované teplotě bazénu 20 °C

20°C	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září
$t_v$ (°C)	11,8	15,7	20,1	21,1	20,9	13,3
$t_n$ (°C)	7	11	13	15	14	9
$\tau_d$ (h)	10,05	7,61	7,98	8,67	8	5,35
$Q_{p,den}$ (kW.h)	162,01	-43,76	-51,91	-118,24	-102,01	9,47
$Q_{p,noc}$ (kW.h)	75,08	61,09	46,42	31,72	39,69	84,91
$Q_{p,celk.}$ (kW.h)	248,94	18,16	-5,77	-90,84	-65,43	99,11

Tabulka 6.6: Celková potřeba tepla při daných klimatických podmínkách a požadované teplotě bazénu 21 °C

21°C	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září
$t_v$ (°C)	11,8	15,7	20,1	21,1	20,9	13,3
$t_n$ (°C)	7	11	13	15	14	9
$\tau_d$ (h)	10,05	7,61	7,98	8,67	8,02	5,35
$Q_{p,den}$ (kW.h)	182,80	-27,99	-35,38	-100,28	-85,41	20,55
$Q_{p,noc}$ (kW.h)	80,85	67,84	53,04	38,07	46,31	92,63
$Q_{p,celk.}$ (kW.h)	276,84	41,83	18,54	-65,32	-41,05	118,85

Tabulka 6.7: Celková potřeba tepla při daných klimatických podmínkách a požadované teplotě bazénu 22 °C

22°C	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září
$t_v$ (°C)	11,8	15,7	20,1	21,1	20,9	13,3
$t_n$ (°C)	7	11	13	15	14	9
$\tau_d$ (h)	10,05	7,61	7,98	8,67	8,02	5,35
$Q_{p,den}$ (kW.h)	203,61	-12,23	-18,86	-82,33	-68,81	31,63
$Q_{p,noc}$ (kW.h)	86,62	74,62	59,67	44,41	52,92	100,35
$Q_{p,celk.}$ (kW.h)	304,75	65,50	42,85	-39,82	-16,67	138,59

Tabulka 6.8: Celková potřeba tepla při daných klimatických podmínkách a požadované teplotě bazénu 23 °C

23°C	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září
$t_v$ (°C)	11,8	15,7	20,1	21,1	20,9	13,3
$t_n$ (°C)	7	11	13	15	14	9
$\tau_d$ (h)	10,05	7,61	7,98	8,67	8,02	5,35
$Q_{p,den}$ (kW.h)	224,41	3,52	-2,33	-64,37	-52,21	42,71
$Q_{p,noc}$ (kW.h)	92,40	81,41	66,31	50,76	59,54	108,07
$Q_{p,celk.}$ (kW.h)	332,66	89,17	67,17	-14,29	7,67	158,33

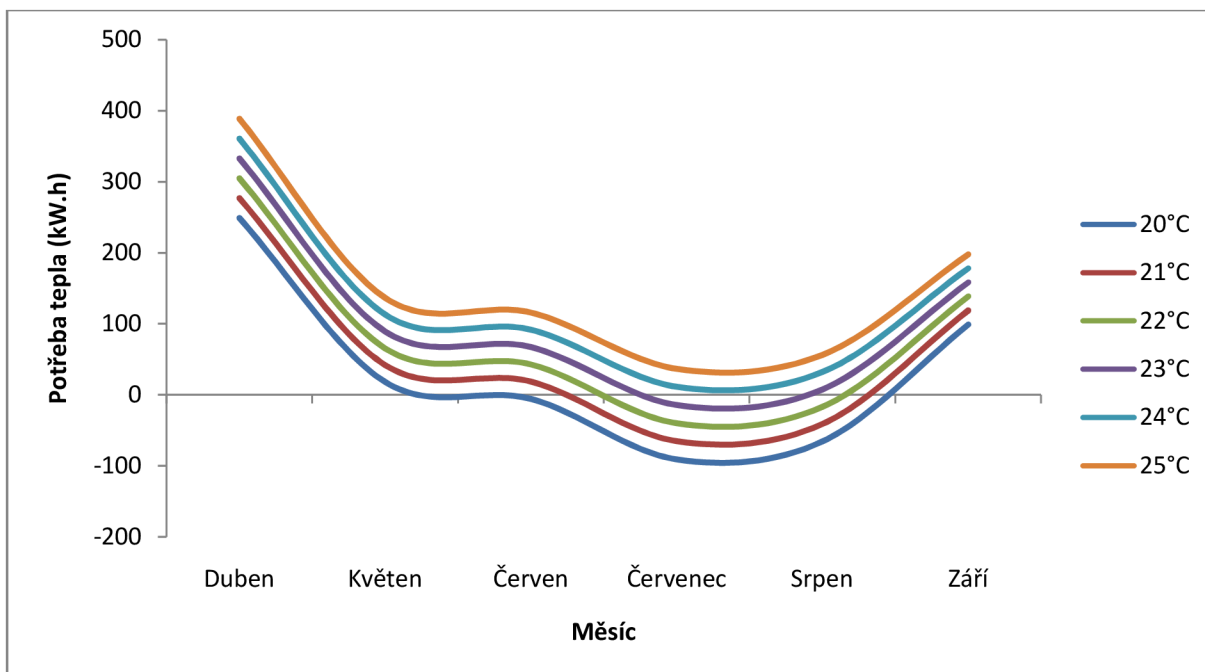
Tabulka 6.9: Celková potřeba tepla při daných klimatických podmínkách a požadované teplotě bazénu 24 °C

24°C	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září
$t_v$ (°C)	11,8	15,7	20,1	21,1	20,9	13,3
$t_n$ (°C)	7	11	13	15	14	9
$\tau_d$ (h)	10,05	7,61	7,98	8,67	8,01	5,35
$Q_{p,den}$ (kW.h)	245,22	19,28	14,19	-46,42	-35,61	53,79
$Q_{p,noc}$ (kW.h)	98,18	88,19	72,94	57,10	66,15	115,79
$Q_{p,celk.}$ (kW.h)	360,57	112,85	91,48	11,22	32,07	178,07

Tabulka 6.10: Celková potřeba tepla při daných klimatických podmínkách a požadované teplotě bazénu 25 °C

25°C	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září
$t_v$ (°C)	11,8	15,7	20,1	21,1	20,9	13,3
$t_n$ (°C)	7	11	13	15	14	9
$\tau_d$ (h)	10,05	7,61	7,98	8,67	8,02	5,35
$Q_{p,den}$ (kW.h)	266,02	35,03	30,71	-28,46	-19,01	64,87
$Q_{p,noc}$ (kW.h)	103,94	94,97	79,57	63,44	72,77	123,51
$Q_{p,celk.}$ (kW.h)	388,47	136,51	115,79	36,73	56,45	197,81

Ve výše uvedených tabulkách jsou znázorněny hodnoty potřeby tepla pro bazén při různých teplotách bazénu a přesně specifikovaných klimatických podmínkách. Záporné, zeleně označené hodnoty znamenají, že denní zisky jsou větší než denní ztráty a není již nutné na požadovanou teplotu bazén vyhřívat pomocí přídavného solárního ohřevu.



Obr.6.3: Grafické znázornění potřebného tepla pro ohřev vody na danou teplotu v jednotlivých měsících

### 6.1.3 Volba vhodného kolektoru a výpočet potřebné plochy pro ohřev bazénu

Teď, když známe potřebné teplo, které musíme v daném období dodat do bazénu, abychom dosáhli požadované teploty, můžeme navrhnout a spočítat potřebnou kolektorovou plochu a vybrat správný kolektor.

V kapitole 4.1 jsme si uvedli, že účinnost kolektoru závisí na teplotním režimu – na rozdílu teploty mezi solární soustavou a okolním vzduchem. Při ohřevu bazénu je tento teplotní rozdíl maximálně 20 °C. V tomto režimu pracuje s 80% účinností **plochy selektivní kolektor TS300**.

Tabulka 6.11: Specifikace solárního kolektoru Tondach TS300

Půdorysná plocha	2,03 m <sup>2</sup>	Sluneční absorpivita $\alpha_{AM1,5}$	min. 0,95
Absorbční plocha	1,78 m <sup>2</sup>	Tepelná emisivita $\alpha_{62^\circ\text{C}}$	max. 0,15
Skladový rozměr	1040 x 2040 mm	Optická účinnost	81 %
Krycí sklo	bezpečnostní, solární, tloušťka 4 mm	Pracovní teplota	pod 100 °C
Připojovací vývody	přírubové Ø 26 mm	Stagnační teplota při záření 1000 W/m <sup>2</sup> a teplotě okolí 30 °C	170 °C
Skříň kolektoru	výlisek z nekorodujícího Al-Mg plechu	Maximální tlak teplotnosné kapaliny	600 kPa
Pouzdro senzoru	pro senzor Ø 6 mm	Doporučený průtok teplotnosné kapaliny	30–100 l/h na jeden kolektor
Tepelná izolace	minerální vlna	Energetický zisk z kolektoru*	700–930 kWh/rok
Celkový kapalinový obsah	1,57 l	* energetický zisk kolektoru je závislý od způsobu využívání, geografické polohy, orientace kolektoru a mikroklimatických podmínek	
Celková hmotnost	37 kg		
Konverzní vrstva	vysoce selektivní na bázi oxidu hlinitého pigmentovaného koloidním niklem		



Obr. 6.5: Řez plochým selektivní kolektorem TS300

### Výpočet potřebné plochy kolektoru pro ohřev bazénu

$$S_A = \frac{Q_{p,celk}}{Q_{s,den} \cdot \eta} \quad [\text{m}^2]$$

kde  $Q_{p, celk}$  je celková denní potřeba tepla pro ohřev bazénu na určitou teplotu (viz. 6.1.2.2),  $Q_{s, den}$  je skutečná energie dopadající a osluněnou plochu za jeden den se sklonem  $30^\circ$  (tab. 6.4).  $\eta$  je účinnost kolektorů (80 %). [8]

Výpočty platí pro teplotní podmínky viz. tabulka 6.11. Jedná se o průměrné měsíční hodnoty, ve kterých jsou zahrnuty i období bez slunečního svitu. Používáme právě tyto hodnoty, protože chceme solární vytápění využívat hlavně v období, kdy nejsou teploty v koupací sezóně zrovna optimální.

Tabulka 6.12: Zvolené teplotní podmínky 2007 [10]

	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září
$t_v$ (°C)	11,8	15,7	20,1	21,1	20,9	13,3
$t_n$ (°C)	7	11	13	15	14	9
$\tau_d$ (h)	10,05	7,61	7,98	8,67	8,01	5,35

Tabulka 6.13: Potřebná plocha kolektorů  $S_A$  pro ohřev vody na určitou teplotu v daném měsíci

Teplota vody °C	Plocha kolektorů [m <sup>2</sup> ]					
	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září
20	76,3	4,0	-1,1	-17,9	-16,1	31,4
21	84,8	9,3	3,7	-12,9	-10,1	37,7
22	93,4	14,5	8,5	-7,9	-4,1	43,9
23	101,9	19,8	13,3	-2,8	1,9	50,2
24	110,5	25,0	18,1	2,2	7,9	56,5
25	119,0	30,3	22,9	7,3	13,9	62,7

Záporné hodnoty vyjadřují situaci, kdy není potřeba přídavný ohřev

Můžeme si spočítat **potřebný počet kolektorů pro pokrytí tepelného výkonu**

Ze specifikací kolektoru známe absorpční plochu  $S_K = 1,78 \text{ m}^2$

$$n_{vk} = \frac{S_A}{S_K} \quad [8]$$

kde  $S_A$  je potřebná plocha kolektorů (tabulka 6.12)

Tabulka 6.14: Potřebný počet kolektorů pro ohřev vody na určitou teplotu v daném měsíci

Teplota vody °C	Počet kolektorů					
	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září
20	42,85	2,266	-0,64	-10,07	-9,03	17,66
21	47,65	5,217	2,06	-7,245	-5,66	21,17
22	52,45	8,169	4,761	-4,415	-2,3	24,69
23	57,26	11,12	7,461	-1,586	1,062	28,21
24	62,06	14,07	10,16	1,244	4,426	31,72
25	66,86	17,02	12,86	4,074	7,79	35,24

Záporné hodnoty vyjadřují situaci, kdy není potřeba přídavný ohřev.

Navrhují použít 6 paralelně zapojených kolektorů ( $n_{\text{kolektorů}} = 6$ ) se sklonem 30°, kterými není problém dosáhnout stálých teplot nad 20 °C od května do srpna i při poměrně nízkých teplotách vzduchu. Systém zapínáme již v dubnu – ohřev vody probíhá z nízkých teplot velice pomalu a neohříváme jen vodu v bazénu, ale i po zimě hodně studenou okolní půdu.

#### Pokrytí potřebného tepelného výkonu pro ohřev bazénu v jednotlivých měsících

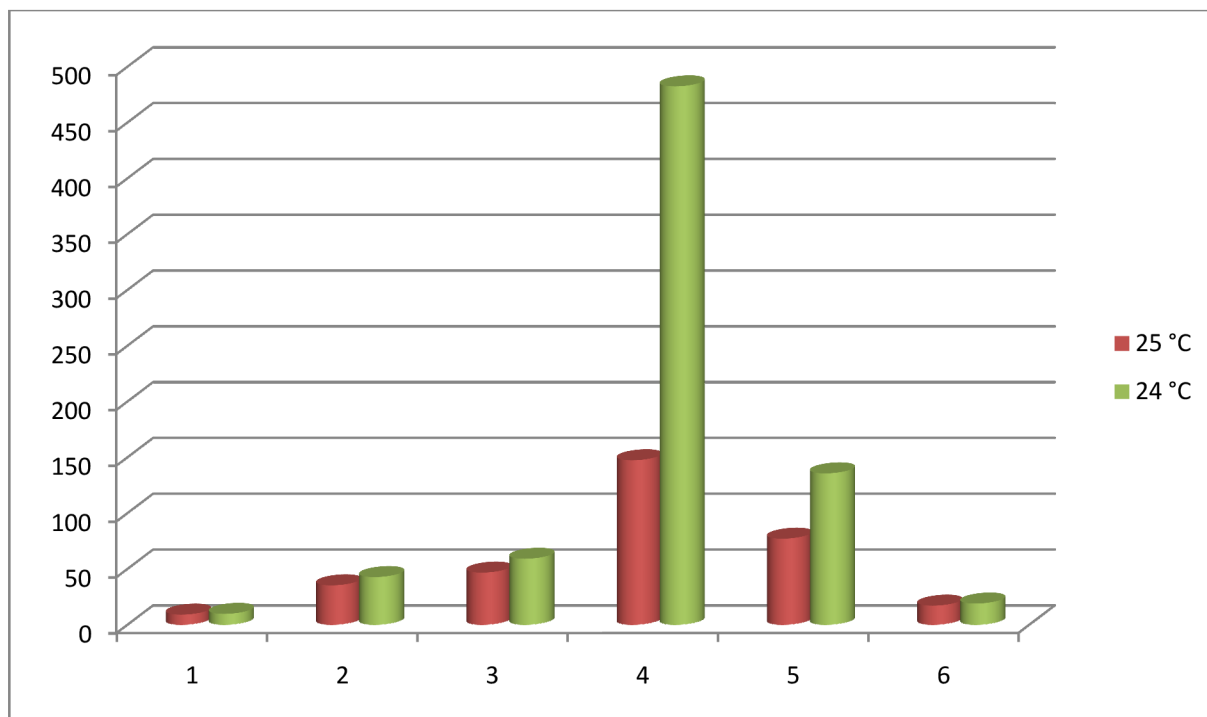
$$\text{Pokrytí} = \frac{n_{\text{kolektorů}}}{n_{\text{VK}}} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde  $n_{\text{VK}}$  je potřebný počet kolektorů pro pokrytí tepelného výkonu v jednotlivých měsících a při určité teplotě bazénové vody.  $n_{\text{kolektorů}} = 6$ .

Tabulka 6.15: Pokrytí potřebného tepelného výkonu slunečními kolektory v jednotlivých měsících pro různé teploty vody

Teplota vody °C	Pokrytí (%)					
	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září
20	14	264,8	-936	-59,56	-66,5	33,98
21	12,59	115	291,3	-82,82	-106	28,34
22	11,44	73,45	126	-135,9	-261	24,3
23	10,48	53,95	80,41	-378,4	564,7	21,27
24	9,668	42,64	59,04	482,3	135,6	18,91
25	8,973	35,24	46,64	147,3	77,03	17,03





Obr. 6.6: Grafické znázornění pokrytí potřebného tepelného výkonu slunečními kolektory v jednotlivých měsících pro různé teploty vody (pro 6 kolektorů) – svislá osa je pokrytí v %, vodorovná 1-6 (měsíce duben – září)

#### 6.1.4 Výkon a výtěžky zvolené kolektorové plochy

##### Výpočet skutečné energie absorbované 1 m<sup>2</sup> kolektorové plochy za jeden den

$$Q_{S \text{ den} - \text{kol}} = Q_{S \text{ den}} \cdot \eta_k \text{ [W.h.m}^2\text{]} [8]$$

Kde  $\eta_k$  je účinnost kolektoru (0,8) a  $Q_{S \text{ den}}$  je skutečná energie dopadající na osluněnou plochu za jeden den.

##### Výpočet hodinového výkonu kolektorů

$$P = \frac{Q_{S \text{ den} - \text{celk}}}{24} \text{ [W]} [15]$$

Kde  $Q_{S \text{ den} - \text{celk}}$  je celkový denní výtěžek energie ze všech kolektorů

$$Q_{S \text{ den} - \text{celk}} = Q_{S \text{ den} - \text{kol}} \cdot \text{plocha kolektorů}$$

	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Qs den(W.h/m <sup>2</sup> )	942,80	1878,70	3054,80	3844,20	5301,20	5952,10	5956,40	4793,40	3710,00	2104,90	1065,80	642,80
Dny v měsíci	31,00	28,00	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00	31,00	30,00	31,00	30,00	31,00
Qs měs(W.h/m <sup>2</sup> )	29226,80	52603,60	94698,80	115326,00	164337,20	178563,00	184648,40	148595,40	111300,00	65251,90	31974,00	19926,80
počet kol	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
účinnost	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Qs den-kolektor (W.h/m <sup>2</sup> )	754,24	1502,96	2443,84	3075,36	4240,96	4761,68	4765,12	3834,72	2968,00	1683,92	852,64	514,24
Qs den-kolektor (kW.h.m <sup>2</sup> )	0,75	1,50	2,44	3,08	4,24	4,76	4,77	3,83	2,97	1,68	0,85	0,51
Kolektorová plocha (m <sup>2</sup> )	10,68	10,68	10,68	10,68	10,68	10,68	10,68	10,68	10,68	10,68	10,68	10,68
Qs den-kol. celk (kW.h)	8,06	16,05	26,10	32,84	45,29	50,85	50,89	40,95	31,70	17,98	9,11	5,49
Hodinovy výkon kol. (kW)	0,34	0,67	1,09	1,37	1,89	2,12	2,12	1,71	1,32	0,75	0,38	0,23
Qs měs-kol.-celk(kW.h)	249,71	449,45	809,11	985,35	1404,10	1525,64	1577,64	1269,60	950,95	557,51	273,19	170,25

Tabulka 6.16 Sumarizace základních charakteristik solárního systému

**Roční výtěžek energie činí součtem  $Q_{s \text{ měs} - \text{kol} - \text{celk}}$  10222,49 kW.h.**

### 6.1.5 Bazénový tepelný výměník

V kapitole 4.3.1 jsme si ukázali k čemu obecně tepelné výměníky slouží a jak pracují. Nyní tyto znalosti převedeme do praxe a zvolíme vhodný bazénový výměník pro náš projekt.

V našem celoročním solárním systému používáme jako teplotonosnou kapalinu nemrznoucí směs. Voda v bazénu musí být striktně oddělena výměníkem a nesmí se z hygienických a praktických důvodů nikdy dostat do kontaktu.

Musíme si uvědomit, že dostat potřebnou energii do tak obrovské masy vody není vůbec jednoduché. Je potřeba použít velice kvalitní, odolnou teplovýměnnou plochu, aby energie z teplotonosné kapaliny kompletně převedla do celého bazénu. Bazénová voda protéká přes výměník s takovým průtokem, aby se stihla ohřát i při malém rozdílu teplot mezi teplotonosnou kapalinou a vodou z bazénu. Používají se externí výměníky se svazkem rovných trubek. Zde je vysoký přestup tepla na straně bazénové vody, nicméně uvnitř trubek je proudění laminární ( $k = 500$  až  $1500 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ).

Při výběru musíme znát v podstatě jen dvě hodnoty

- hodinový výkon výměníku
- maximální hodinový výkon všech kolektorů (duben – září)

Výpočet hodinového výkonu kolektorů viz. 6.1.4

Z tabulky 6.16 si odečteme maximální výkon kolektoru. Ten je v červenci a v srpnu **2,12 kW**.

Abychom tento výkon přenesli do bazénové vody, potřebujeme výměník minimálně o tomto výkonu. My zvolíme bazénový výměník **ZB 410 BV410** o hodinovém výkonu **4,1 kW**.

### 6.1.6 Regulace – Mozek solárních systémů

Regulace solárního tepelného zařízení má v zásadě za úkol řídit oběhové čerpadlo k optimálnímu energetickému využití sluneční energie.

V našem systému budeme ovládat tři členy (viz provozní schéma)

- Oběhové čerpadlo (10)
- Bazénové čerpadlo (13)
- Třícestný ventil (11)

V systému jsou umístěna 3 teplotní čidla

- F1 – monitoruje teplotu na kolektorech (temp 1)
- F2- monitoruje teplotu v bazénu (temp 2)
- F3- monitoruje teplotu v garáži (temp 3)

U naší soustavy používáme 3 teplotní čidla (viz. schéma F1, F2, F3). Jedno na nejteplejším místě solárního okruhu v kolektoru (F1), druhé v bazénu a třetí v garáži. Hodnoty se snímají a elektronicky se vzájemně porovnávají. Pokud se překročí spínací teplotní rozdíl (rozdíl mezi teplotou teplotní sondy v kolektoru a v bazénu), čerpadla 10 a 13 se zapnou. Aby řídicí jednotka stále nezapínala a nevypínala čerpadlo, je potřeba nastavit správnou tepelnou diferenci ( $t_{F1} - t_{F2}$ ). V našem případě použijeme diferenci 3 °C. To znamená, že když řídicí jednotka zaznamená teplotu na kolektoru F1 vyšší o 3 °C než v bazénu F2, zapne oběhové a bazénové čerpadlo (10 a 13). Jakmile se teploty F1 a F2 srovnají, řídicí jednotka oběhové a bazénové čerpadlo (10 a 13) vypne. Jakmile teplota v bazénu F2 překročí požadovanou hodnotu, otevře se třicestný ventil (11) a přebytečné teplo je tak odváděno do garáže.

V zimním režimu je třicestný ventil (13) směrem do bazénového okruhu uzavřený. Veškeré teplo je odváděno do garáže. V tomto režimu je nastavena diference mezi teplotou kolektoru F1 a teplotou v garáži F3 10 °C. Jakmile je F1 vyšší o 10°C než F3 v garáži, spustí se oběhové čerpadlo (10). Jakmile je teplota F1 menší nebo rovna F3, oběhové čerpadlo stojí.

Tabulka 6.17: Sumarizace regulace

Letní režim	Zimní režim
Teplotní diference $F1 > F2$ : 3 °C	Teplotní diference $F1 > F2$ : 10 °C
$F1 > F2$ - 10 + 13 zapnuto	13 stále vypnuto, 11 uzavřen bazén
$F1 \leq F2$ - 10 + 13 vypnuto	$F1 > F3$ - 10 zapnuto
$F2 >$ požadovaná teplota - 13 otevřený do garáže i bazénu	$F1 \leq F3$ - 10 vypnuto

Účinnost regulace závisí na správném umístění a funkčnosti teplotního čidla. Kolektorové čidlo se upevňuje buď přímo na absorberu v oblasti výstupu z kolektoru ve formě zapuštěného čidla nebo se připojí jako přiložené čidlo na výstupu z kolektoru. [13]

### 6.1.7 Čerpadlo

Naše kolektorová soustava pracuje s nuceným oběhem. To znamená, že kinetickou energii dodává teplotonosné kapalině čerpadlo. Obvykle se používají oběhová čerpadla. Proč?

- Osvědčené a spolehlivé
- Přečerpají dostatečný objem kapalin
- Cenově dostupné
- Mají vysokou tepelnou odolnost
- Jsou vhodná pro čerpání vodních směsí s mrazuvzdornými přísadami

U malých solárních soustav může být přesný výpočet tlakových ztrát opomenout, protože i nejmenší čerpadla mají dostatečný výkon. Čerpadla používaná v kolektorových soustavách docilují dopravní výšce max. mezi 2 a 6 m [3] Dle charakteristik kolektoru TS300 (tabulka 6.11) volíme čerpadlo s průtokem max. 100 l/h na jeden metr kolektorové plochy. 6 kolektorů má plochu 10,68 m<sup>2</sup>. Celkový průtok tak činí 1068 l/h. Tyto parametry splňuje čerpadlo **W-RS25/4**.

### 6.1.8 Temperace garáže

V kapitole 5.3 jsme si popsali hlavní důvody, proč přebytečné teplo a teplo v zimním období směřujeme do garáže. Samotné dimenzování je soustava složitých výpočtů, zbytečných pro náš systém. Tepelné ztráty jsou tak vysoké, že se nebude jednat o vytápění, ale pouze o temperaci. (zvýšení teploty v řádu jednotek stupňů).

Garáž, která je součástí systému má plochu 30 m<sup>2</sup> a je jen minimálně tepelně izolovaná. Za zimní období od října do března bude na temperaci garáže díky solárnímu systému použito 2 473,22 kW.h energie (z tabulky 6.16). Přestup tepla bude realizován pomocí klasického radiátoru.

## 7 VYHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ

### 7.1 Ekologické aspekty

Jedním z hlavních důvodů použití solárních systémů je, že v porovnání s použitím konvenčních zdrojů energie nezpůsobuje emisní škody. Určitá energie se spotřebuje při výrobě jednotlivých součástí solárního systému. U soustav pro ohřev vody v bazénech činí doba energetické amortizace jen 0,4–1 rok. Což je při životnosti až 30 let důkaz smysluplnosti těchto zařízení.

#### 7.1.1 Porovnání s konvenčními zdroji energie

Za rok náš projektovaný systém vyrobí 10 222,49 kW.h energie. Za dobu životnosti 30 let je to 306 674,7 kW.h energie. V porovnání s konvenčními zdroji energie snížíme emisní zátěž o hodnoty viz. Tabulky 7.2 a 7.3.

*Tabulka 7.1: Měrné emise dle vyhl. č. 270/93 Sb., vydané MŽP, přepočtené na 1 MWh tepla obsaženého v palivu (údaje v kg/MWh) [15]*

Palivo	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	tuhé částice
hnědé uhlí netříděné energetické	3,245	4,12	0,075	0,0225	4,975
hnědé uhlí tříděné	4,88	0,77	11,5	2,57	2,13
černé uhlí	1,85	0,225	6,75	1,5	1,244
topný koks	1,47	0,208	6,23	1,385	1,42
lehký topný olej (LTO)	3,42	0,875	0,05	0,035	0,182
velmi LTO	0,875	0,428	0,061	0,035	0,122
dříví	0,257	0,77	0,257	0,257	3,21
zemní plyn	0,086	0,172	0,0345	0,0138	0,00215

Tabulka 7.2: Snížení emisní zátěže za 1 rok (údaje v kg)

Palivo	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	tuhé částice
hnědé uhlí netříděné energetické	27,56	35,00	0,64	0,19	42,26
hnědé uhlí tříděné	41,45	6,54	97,68	21,83	18,09
černé uhlí	15,71	1,91	57,33	12,74	10,57
topný koks	12,49	1,77	52,92	11,76	12,06
lehký topný olej (LTO)	29,05	7,43	0,42	0,30	1,55
velmi LTO	7,43	3,64	0,52	0,30	1,04
dříví	2,18	6,54	2,18	2,18	27,27
zemní plyn	0,73	1,46	0,29	0,12	0,02

Tabulka 7.3: Snížení emisní zátěže za dobu životnosti solárního zařízení - za 30 let (údaje v kg)

Palivo	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	tuhé částice
hnědé uhlí netříděné energetické	826,89	1049,86	19,11	5,73	1267,73
hnědé uhlí tříděné	1243,52	196,21	2930,43	654,89	542,77
černé uhlí	471,42	57,33	1720,04	382,23	317,00
topný koks	374,59	53,00	1587,53	352,93	361,84
lehký topný olej (LTO)	871,48	222,97	12,74	8,92	46,38
velmi LTO	222,97	109,06	15,54	8,92	31,09
dříví	65,49	196,21	65,49	65,49	817,97
zemní plyn	21,91	43,83	8,79	3,52	0,55

## 7.2 Ekonomické aspekty

V současné době je otázka ekonomické efektivity a návratnosti aktuálnější než kdykoliv předtím. Investor musí zvážit, do čeho investovat a jaká bude mít investice efekt. Využitelnost obnovitelných zdrojů energie závisí na ceně vyrobené energie. Musí být co nejnižší, aby mohla konkurovat cenám energie z konvenčních zdrojů. [16]

Přímý vliv na cenu energie mají tyto ukazatele:

- Investiční náklady
- Životnost
- Množství vyrobené energie

Tabulka 7.4 Investiční náklady na stavbu našeho projektu

	Ks	Cena (Kč)
Kolektor TS300	6	56 505
Konstrukce heliostar	2	8 656
Teplonosná kapalina	50l	3 000
Expanz. Nádoba	1	1 352
Čerpadlo oběhové	1	2 338
Potrubií Cu	70 m	8 536
Izolace	70 m	11 382
Regulátor	1	3 000
Bazén. Výměník	1	8 737
Montáž	60 h	16 350
Zkoušky		1 000
Režie		1 000
Ostatní (staveb,armatury)		5 000
<b>Celkem</b>		<b>126 856</b>
<b>Zaokrouhleno - <math>N_{celk}</math></b>		<b>130 000</b>

### Výpočet nákladů na jednotku vyrobené energie

Ze 6 kolektorů získáme ročně  $Q_{roční-kol-celk.} = 10\,222,49$  kW.h energie. Vycházíme z předpokladu životnosti zařízení 30 let (R).

$$N_{is} = \frac{N_{celk}}{Q_{roční} \cdot R} \quad [16]$$

$N_{celk}$  jsou celkové náklady na výstavbu zařízení.

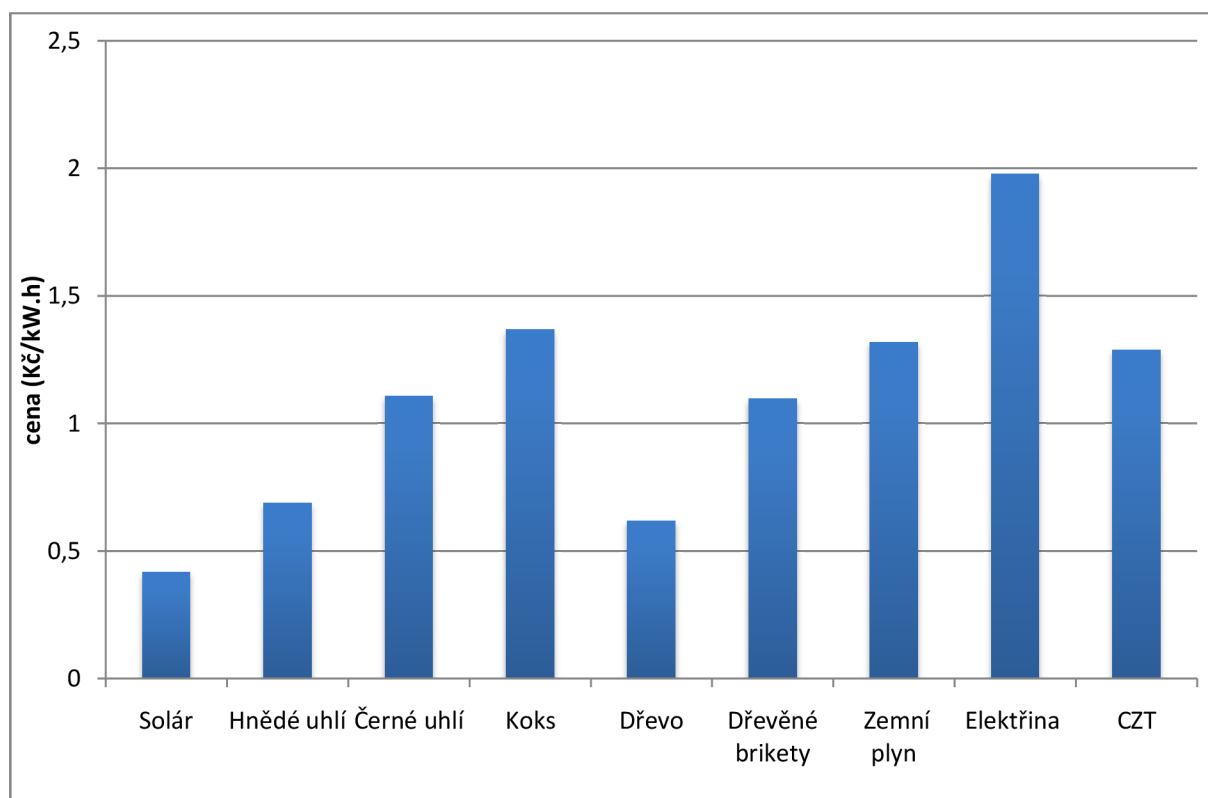
$$N_{is} = \frac{130\,000}{10\,222 \cdot 30} = \mathbf{0,42 \text{ Kč/kW.h}}$$

#### 7.2.1 Porovnání s konvenčními zdroji energie

To jestli je investice skutečně výhodná zjistíme po porovnání ceny kW.h energie ze solárních systému a ceny kW.h energie z konvenčních zdrojů. Výsledky této komparace jsou v tabulce 7.5.

Tabulka 7.5: Porovnání ceny energie z našeho zařízení (0,42 Kč/kW.h) s cenami energií z konvečních zdrojů, včetně úspor [17]

	Cena (Kč/kW.h)	Rozdíl (Kč)	Rozdíl (%)	Ušetříme/rok (Kč)
Hnědé uhlí (18 MJ/kg)	0,69	0,27	-39,13	2 760,07
Černé uhlí (23,1 MJ/kg)	1,11	0,69	-62,16	7 053,52
Koks (27,5 MJ/kg)	1,37	0,95	-69,34	9 711,37
Dřevo (14,6 MJ/kg)	0,62	0,2	-32,26	2 044,50
Dřevěné brikety (17,5 MJ/kg)	1,1	0,68	-61,82	6 951,29
Zemní plyn (spalné teplo 37,82 MJ/m <sup>3</sup> )	1,32	0,9	-68,18	9 200,24
Elektřina - akumulace	1,98	1,56	-78,79	15 947,08
Centrální zásobování teplem	1,29	0,87	-67,44	8 893,57



Obr. 7.1: Grafické znázornění porovnání cen jednotlivých zdrojů energie



## 8 ZÁVĚR

Z výsledků diplomové práce vyplývá, že solární technika má v našich zeměpisných šířkách dobré podmínky.

Ohřev bazénu je energeticky náročný proces, ale díky tomu, že se v období koupání kryje nabídka sluneční energie s poptávkou, je použití solárních zařízení k tomuto účelu vhodnou volbou.

Aby byl systém efektivní po celý rok, bylo nutné navrhnout, kde se využije vyrobená energie v zimním období. Navržená kolektorová plocha není dostatečně velká k vytápění obytných prostor. Postačí však k teplotě garáže, čímž zvýšíme komfort uživatelů i životnost vozu.

Zpracování ekologické a ekonomické bilance bylo stěžejní. Tyto výpočty rozhodly o smysluplnosti celého zařízení. Jsme schopni vyrobit velice levnou a hlavně čistou energii. A to je v době, kdy ceny energií z konvenčních paliv stále stoupají, zásadní. Kromě emisí vzniklých při výrobě a provozu čerpadel neprodukuje solární systém žádné emise a hodně tak ulehčuje životnímu prostředí.

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] THEJESSL, Armin, WEISS, Werner. Solární systémy. Erika Mravinačová; Translation: Kateřina Gančaříková, Dana Kumprechtová, Yvonna Gaillyová. 1st compl. edition. [s.l.]: [s.n.], 2005. 120 s. ISBN 80-247-0589-3.
- [2] HEŘMANOVSKÝ, Bedřich , ŠOTL, Ivan . Energie pro 21. století. [s.l.] : [s.n.], 1992. skripta ČVUT 1992
- [3] LADENER, Heinz, SPÄTE, Frank. Solární zařízení. Translation (c) Ján Struška, Petr Kramoliš. Praha : Grada Publishing a.s., 2003. 268 s. ISBN 80-247-0362-9
- [4] MATUŠKA, Tomáš. *Solární soustavy* [online]. 2006 [cit. 2006-12-14]. Dostupný z WWW:  
<[http://www.stavebnetabulky.sk/PDF/vykurovanie\\_11-1/solarni%20soustavy%20-%20Matuska.pdf](http://www.stavebnetabulky.sk/PDF/vykurovanie_11-1/solarni%20soustavy%20-%20Matuska.pdf)>.
- [5] Matuška, T.: Prvky solárních soustav (I). *TZB-info* [online]. 2006, červenec [cit. 2006-12-15]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3418>>. ISSN 1801-4399
- [6] Cihelka, J.: *Solární tepelná technika*. Nakladatelství T. Malina, Praha, 1994.
- [7] Brož, K., Šourek, B.: *Alternativní zdroje energie*. Skriptum ČVUT v Praze, 2003.
- [8] MACHYNKA, Petr. *Kaskádové zapojení kotlů v kombinaci se solárním vytápěním*. [s.l.], 2001. 69 s. , 13 výkresů, technická zpráva. VUT FAST. Vedoucí diplomové práce ing. Ivan Vališ.
- [9] MATUŠKA, Tomáš. *Dimenzování solárních soustav (IV) : Ohřev bazénové vody* [online]. 2007. Praha : ČVUT, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí, 2007 , 2007-06-07 [cit. 2007-08-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4277&h=13&pl=49>>.
- [10] Český hydrometeorologický ústav. *Informace o klimatu* [online]. c1997 , 2008-03-26 [cit. 2008-03-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.chmi.cz/meteo/ok/infklim.html>>.
- [11] MATUŠKA, Tomáš. *Stanovení účinnosti plochého solárního kolektoru (III)* [online]. 2005, 9.6.2005 [cit. 2005-06-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2552>>.
- [12] *Návod k obsluze Škoda Fabia*. [s.l.] : [s.n.], 2005. Jízda a životní prostředí, s. 160-161.
- [13] *Solar - net* [online]. 2008 [cit. 2008-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.solar-net.info/124.0.html?&L=1>>.

- [14] SUM, Jaromír. *Dva roky zkušeností z provozu solárního zařízení na přípravu TUV (teplé užitkové vody) pro rodinný dům* [online]. 2001 [cit. 2008-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=548>>.
- [15] BAFRNEC, Milan, et al. *Chemické inžinierstvo I*. 1. vyd. Bratislava : Malé centrum, 1999. 440 s. ISBN 80-967064-3-8.
- [16] CENK, Miroslav, et al. *Obnovitelné zdroje energie*. Emil Širůček. 2. dopl. vyd. Praha : FCC Public s.r.o., 2001. 208 s. ISBN 80-901985-8-9.
- [17] *Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva* [online]. c2001 [cit. 2008-05-11]. Dostupný z WWW: <<http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=269>>.

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

### Symbols:

$I_0$	sluneční konstanta = $1,36 \text{ kW/m}^2$
$I_n$	intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění [ $\text{kW/m}^2$ ]
$I_\xi$	intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při dokonale čistém ovzduší [ $\text{kW/m}^2$ ]
$I$	globální záření [ $\text{W/m}^2$ ]
$I_D$	difúzní záření [ $\text{W/m}^2$ ]
$I_P$	přímé záření [ $\text{W/m}^2$ ]
$H$	účinnost kolektoru
$W_N$	tepelný výkon kolektoru [ $\text{W/m}^2$ ]
$E$	sluneční záření [ $\text{W/m}^2$ ]
$\alpha$	součinitel absorpce absorbéru
$\tau$	součinitel transmise transparentního krytu
$k$	součinitel přestupu tepla, který je dán konstrukcí a vlastnostmi materiálu [ $\text{W/m}^2$ ]
$T_m, T_a$	průměrná teplota v solární soustavě, resp. střední teplota vzduchu v okolí kolektoru [ $^\circ\text{C}$ ]
$Q_{Sp}$	naakumulované teplo
$m$	hmotnost [kg]
$c$	tepelná kapacita
$\vartheta_1, \vartheta_2$	teploty ve výměníku [ $^\circ\text{C}$ ]
$\Delta\vartheta_{st}, \Delta\vartheta_m$	střední teplotní rozdíl
$A$	plocha výměníku [ $\text{m}^2$ ]
$S$	plocha vodní hladiny [ $\text{m}^2$ ]
$Z$	součinitel znečištění
$Q_s \text{ den. teor.}$	teoretickou denní dávku přímého ozáření plochy [ $\text{kW.h/m}^2$ ]
$Q_D \text{ den}$	denní energii difúzního záření [ $\text{kW.h/m}^2$ ]
$\tau^*$	dobu slunečního svitu [h]
$n$	počet dnů v měsíci
$\alpha_{celk}$	celkový součinitel přestupu tepla z vodní hladiny [ $\text{W/m}^2.\text{K}$ ]
$t_w$	teplota vody v bazénu [ $^\circ\text{C}$ ]
$t_v$	teplota okolního vzduchu [ $^\circ\text{C}$ ]
$\alpha_s$	součinitel přestupu tepla sáláním [ $\text{W/m}^2.\text{K}$ ]
$\alpha_k$	je součinitel přestupu tepla konvekcí [ $\text{W/m}^2.\text{K}$ ]
$\alpha_v$	součinitel přestupu tepla při vypařování vody z hladiny bazénu [ $\text{W/m}^2.\text{K}$ ]
$\alpha_{celk}$	celkový součinitel přestupu tepla z vodní hladiny [ $\text{W/m}^2.\text{K}$ ]
$Q_z$	ztráty vzniklé vypařováním vody z vodní hladiny [W]
$Q_{\alpha v}$	ztráty vzniklé vypařováním vody z vodní hladiny [W]
$Q_s \text{ den}$	skutečná energie dopadající na osluněnou plochu za jeden den
$\eta_a$	účinnost absorpce slunečního záření vodou [%]
$\tau_d$	průměrná denní doba trvání slunečního svitu [h]
$\tau_n$	teploty
$Q_{p,den}$	potřeba tepla ve dne (bazén v provozu) [W.h]

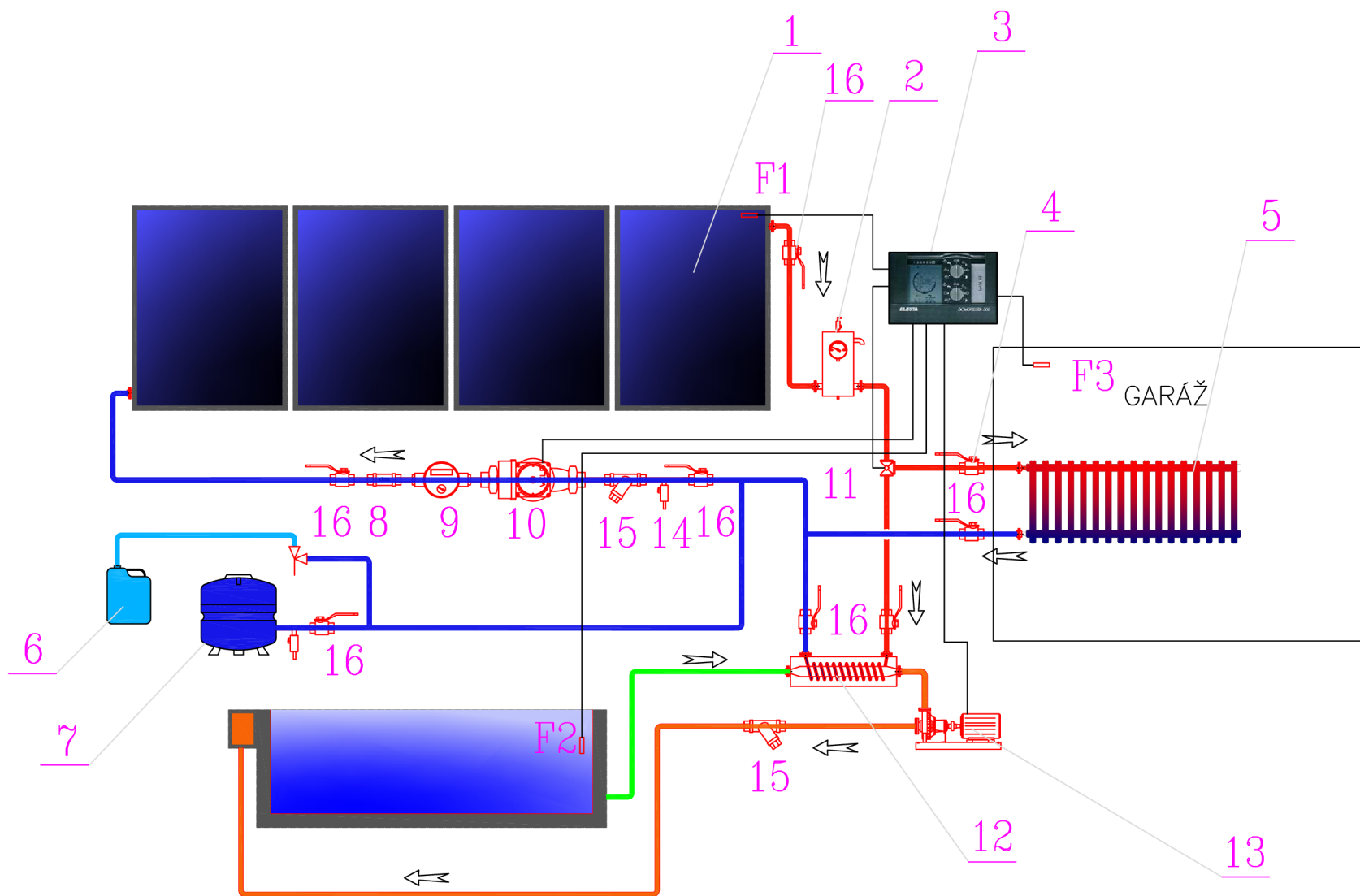
$n_{vk}$	potřebný počet kolektorů pro pokrytí tepelného výkonu
$Q_{Zisk}$	tepelné zisky od dopadajícího záření na hladinu bazénu
$Q_{p,noc}$	potřeby tepla v noci: [W.h]
$t_n$	průměrná venkovní teplota v noci [°C]
$p$	přirážka na tepelné ztráty solární soustavy [%]
$Q_{p,celk.}$	celková potřeba tepla pro ohřev bazénové vody na jeden den [W.h]
$S_K$	absorpční plocha [m <sup>2</sup> ]
$S_A$	potřebná plocha kolektorů [m <sup>2</sup> ]
$n_{vk}$	potřebný počet kolektorů pro pokrytí tepelného výkonu v jednotlivých měsících při určité teplotě bazénové vody
$n_{kolektorů}$	počet kolektorů
$Q_{S\ den - kol}$	skutečné energie absorbovaná 1 m <sup>2</sup> kolektorové plochy za jeden den [W.h/m <sup>2</sup> ]
$\eta_k$	účinnost kolektoru
$Q_{S\ den}$	skutečná energie dopadající na osluněnou plochu za jeden den
$P$	hodinového výkonu kolektorů [W]
$Q_{S\ den - celk}$	celkový denní výtěžek energie ze všech kolektorů
$Q_{s\ měs - kol- celk}$	roční výtěžek energie činí součtem
$N_{celk}$	celkové náklady na výstavbu zařízení [Kč/kW.h]

### Zkratky:

TUV	teplá užitková voda
CZT	centrální zásobování teplem
Obr.	obrázek
Viz.	vidět

## **11 SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 Provozní schéma



LEGENDA:

- 1—SOLÁRNÍ KOLEKTOR
- 2—ODPLYŇOVACÍ ZAŘÍZENÍ
- 3—ŘÍDÍČÍ JEDNOTKA
- 4—UZAVÍRACÍ VENTIL
- 5—RADIÁTOR
- 6—ZÁSOBNÍ NÁDOBA S  
TEPLONOSNOU KAPALINOU
- 7—EXPANZNÍ NÁDOBA
- 8—ZPĚTNÁ Klapka
- 9—PRŮTOKOMĚR
- 10—OBĚHOVÉ ČERPADLO
- 11—TROJCESTNÝ VENTIL
- 12—BAZÉNOVÝ VÝMĚNÍK TEPL
- 13—ČERPADLO
- 14—POJISTNÝ VENTIL
- 15—FILTR
- 16—UZAVÍRACÍ KOHOUT
- F1,F2,F3—TEPELNÉ ČIDLO

DIPLOMOVÁ PRÁCE – SOLÁRNÍ SYSTÉMY		
PROVOZNÍ SCHÉMA		
2008	JAROMÍR POŘÍZKA	VUT–FCH