

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Solární soustava pro přípravu teplé vody

Solar system for Hot Water Preparation

Student:

Chvostek Jiří

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Chvostek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3904R016 Technika tvorby a ochrany životního prostředí
Téma: **Solární soustava pro přípravu teplé vody**
Solar System for Hot Water Preparation
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhněte solární soustavu pro přípravu teplé vody v rodinném domě obývaném celoročně 4 osobami s využitím slunečního záření. Práce bude obsahovat:

1. Rešerši na téma typy solárních kolektorů a způsoby jejich provozování.
2. Návrh soustavy, způsobu jejího provozování, dispoziční řešení.
3. Stanovení měsíčních a ročních zisků.
4. Vyhodnocení návrhu z ekonomického a environmentálního hlediska.
5. Grafickou část - schéma zapojení.

Seznam doporučené odborné literatury:

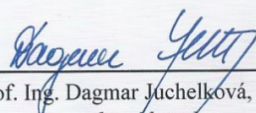
KAMINSKÝ, J.; VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.
CIHELKA, J. *Solární tepelná technika*. Praha: Malina, 1994. 203 s. ISBN 80-900759-5-9.
TURNER, W. C. *Energy Management Handbook*. 3. vyd. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 400 s. ISBN 0-13-728098-X.
HALAHYJA, M.; VALÁŠEK, J. a kol. *Solárna energia a jej využitie*. Bratislava: ALFA, 1983. 304 s.
MATUŠKA, T. *Solární tepelné soustavy*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. 194 s. ISBN 978-80-02-02186-5.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016


prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalařskou práci včetně příloh vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalařské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen stím, že na mojí bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká školá báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevydělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou bakalářskou práci užit (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k náhlednutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím stím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB – TUO, v případě zájmu z jiné strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užit dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užit své dílo – bakalářskou práci, nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby.

V Ostravě.....

.....

Podpis

Chvostek Jiří

Oderská 38, Stará Ves n./O.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

CHVOSTEK, J. *Solární soustava pro přípravu teplé vody: bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2016, s. Vedoucí práce: doc. Ing. Vrtek Mojmír, Ph.D.

Cílem bakalářské práce je navržení solární soustavy a solárních kolektorů pro ohřev teplé vody rodinného domu obývaného čtyřmi osobami.

Teoretická část práce nabízí shrnutí základních typů solárních kolektorů s různými způsoby jejich provozu a zapojení. Praktická část obsahuje výpočty pro zvolený kolektor vycházející z denní spotřeby teplé vody na jednu osobu, z potřeby ohřát vodu z 10°C na 55°C, ze sklonu kolektoru a účinnosti při uvažovaných ztrátách.

V závěru je provedeno vyhodnocení navržené soustavy, jak z hlediska environmentálního, tak z hlediska ekonomického.

Klíčová slova: sluneční záření, solární kolektory, absorbér, solární soustava, solární systém, ohřev vody

ANNOTATION BACHELOR THESIS

CHVOSTEK, J. *Solar System for Hot Water Preparation : bachelor thesis*. Ostrava : VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy, 2016, s. Thesis head: doc. Ing. Vrtek Mojmír, Ph.D.

The objective of this thesis is design of solar system and solar collectors for family house with four people. The theoretical part is dedicated to basic collectors with different type of operation. In practical part there are considered some factors for calculations of selected collector: hot water consumption by one person, the need to heat water from 10°C to 55°C, collector slope and efficiency with considering losses.

The evaluation of designed system is discussed in conclusion in terms of environmental as well as economical.

Key words: solar radiation, solar collectors, absorber, solar system, water heating

Obsah

Seznam použitého označení	8
Úvod	10
1 Solární kolektory	11
1.1 Absorbční plocha, absorbér	12
1.2 Ploché vakuové kolektory	13
1.2.1 Ploché nekryté kolektory	14
1.2.2 Ploché neselektivní kolektory	14
1.2.3 Ploché selektivní kolektory	14
1.3 Trubkové vakuové kolektory	14
1.3.1 Trubkové vakuové kolektory s jednostěnnou trubkou	16
1.3.2 Trubkové vakuové kolektory s dvoustěnnou skleněnou trubkou	16
1.4 Koncentrační kolektory	18
1.4.1 Koncentrační kolektory s Fresnellovou lineární čočkou	18
1.4.2 Koncentrační trubkové kolektory	18
2 Účinnostní charakteristiky jednotlivých typu kolektorů	19
3 Solární tepelné soustavy	20
3.1 Solární soustavy pro přípravu teplé vody	21
3.1.1 Maloplošné solární soustavy pro přípravu teplé vody	21
3.2 Velkoplošné solární soustavy pro přípravu teplé vody	23
3.3 Solární kombinované soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění	24
3.3.1 Maloplošné solární kombinované soustavy	25
3.3.2 Solární kombinovaná soustava se dvěma zásobníky	25
3.3.3 Solární kombinovaná soustava s jedním centrálním zásobníkem	26
3.3.4 Velkoplošné solární kombinované soustavy	27
3.4 Solární soustavy pro ohřev bazénové vody	27
3.4.1 Solární soustava pro otevřené venkovní bazény	28
3.4.2 Solární soustava pro kryté vnitřní bazény	29
4 Návrh solárního systému	30
4.1 Výpočet měsíčních potřeb tepla pro přípravu TUV	30
4.2 Stanovení množství skutečného slunečního záření dopadajícího na plochu dané orientace (za měsíc)	32
4.3 Volba typu kolektoru a stanovení rovnice účinností charakteristiky	34
4.4 Stanovení průměrné účinnosti kolektoru v jednotlivých měsících	35
4.5 Stanovení měrného tepelného zisku kolektoru	37
4.6 Návrh měsíce s rovnovážnou energetickou bilancí	38

4.7	Návrh počtu m ² kolektorové plochy.....	38
4.7.1	Návrh počtu kolektorů	39
4.7.2	Přepočet počtů m ² kolektorové plochy	39
4.8	Určení energetické bilance pro jednotlivé měsíce (přebytky / nedostatky)	39
4.8.1	Stanovení maximálního celoročního zisku solárního systému.....	42
4.8.2	Stanovení skutečného celoročního zisku solárního systému	42
4.8.3	Velikost pokrytí celoroční potřeby tepla, solární podíl	43
4.8.4	Výpočet měrného celoročního zisku solárního systému maximálního a skutečného vztaheno na 1 m ² plochy kolektoru	43
4.9	Srovnání energetické bilance	45
4.10	Vyhodnocení návrhu z environmentálního hlediska.....	46
4.11	Vyhodnocení návrhu z ekonomického hlediska.....	52
4.11.1	Volba čerpadla a zásobníku teplé vody:	53
4.11.2	Doba návratnosti	54
4.11.3	Dotace ze SFŽP.....	54
5	Grafická část.....	55
6	Závěr.....	57
7	Seznam použité literatury	58
8	Seznam tabulek.....	59
9	Seznam grafů	59
10	Seznam příloh	59

Seznam použitého označení

Značka	Popis	Jednotka
a_1	Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru	$[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$
a_2	Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru	$[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$
A_p	Obsah popela v původním vzorku tuhých paliv	$[\%]$
c_p	Měrná tepelná kapacita vody	$[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$
CI	Celkové investiční náklady na mou solární soustavu	$[\text{Kč}]$
Č	Cena oběhového čerpadla	$[\text{Kč}]$
D	Výsledné dotace Státního fondu životního prostředí	$[\text{Kč}]$
d	Výše dotace	$[\%]$
$I_{\text{stř}}$	Střední hodnota intenzity slunečního záření	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$
i	Počet dní v měsíci	$[-]$
K	Cena jednoho kusu solárního kolektoru	$[\text{Kč}]$
m	Denní spotřeba teplé vody jednou osobou	$[\text{l}]$
m_d	Denní potřeba teplé vody pro 4 osoby	$[\text{kg}]$
M_m	Množství potřebného paliva za měsíc	$[\text{kg}]$
M_r	Množství potřebného paliva za rok	$[\text{kg}]$
n	Počet kolektorů	$[\text{ks}]$
o	Počet osob	$[-]$
Q	Zisk tepla ze sluneční soustavy v jednotlivých měsících	$[\text{kWh}]$
\dot{Q}_{max}	Maximální celoroční zisk solárního systému vztažený na 1 m^2 plochy kolektoru	$[\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}]$
\dot{Q}_{skut}	Skutečný celoroční zisk solárního systému vztažený na 1 m^2 plochy kolektoru	$[\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}]$
Q_{CO}	Množství oxidu uhelnatého vypouštěného do ovzduší	$[\text{kg}]$
Q_i	Výhřevnost černého uhlí	$[\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$
Q_k	Měrný tepelný zisk kolektoru	$[\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}]$
Q_m	Měsíční spotřeba tepla pro přípravu teplé vody	$[\text{J}]$
Q_{max}	Maximální celoroční zisk ze solárního systému	$[\text{kWh}]$
Q_{NOX}	Množství oxidu dusíku vypouštěných do ovzduší	$[\text{kg}]$
$Q_{\text{Org.}}$	Množství organických látek vypouštěných do ovzduší	$[\text{kg}]$
Q_{skut}	Skutečné množství slunečního záření dopadající na plochu dané orientace	$[\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}]$
Q_{skut}	Skutečný celoroční zisk solárního systému	$[\text{kWh}]$
Q_{SO2}	Množství oxidu siřičitého vypouštěného do ovzduší	
Q_{teor}	Teoreticky možná energie dopadající za den na plochu v daných měsících	$[\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}]$
Q_{TZL}	Množství tuhých znečišťujících látek vypouštěných do ovzduší	$[\text{kg}]$

Značka	Popis	Jednotka
RÚ	Roční úspora	[Kč]
S	Teoretická plocha kolektoru	[m ²]
S'	Skutečná plocha kolektoru	[m ²]
S _{abs}	Plocha absorbéru, podle technického listu kolektoru	[m ²]
Sp	Obsah síry v původním vzorku tuhých paliv	[%]
t ₁	Počáteční (vstupní) teplota vody	[°C]
t ₂	Požadovaná (výstupní) teplota vody	[°C]
t _k	Teplota kolektoru	[°C]
t _v	Střední teplota okolí v době slunečního svitu	[°C]
V	Denní potřebný objem vody	[m ³]
Z	Cena zásobníku teplé vody	[Kč]
Δt	Rozdíl teplot	[°C]
η	Účinnostní charakteristika kolektoru	[-]
η ₁₅	Účinnost při uvažovaných ztrátách 15%	[%]
τ _p	Prostá doba návratnosti	[r]
τ _{pd}	Dotovaná prostá doba návratnosti	[r]
τ _{rel}	Relativní doba slunečního svitu	[-]
τ _{teor}	Teoretická doba slunečního svitu v charakteristických dnech jednotlivých měsíců	[h]

Úvod

Základem a rovněž inspirací pro výběr tohoto tématu na zpracování bakalářské práce bylo to, že solární kolektory, či solární soustavy se čím dál více objevují na předních místech, co se týče úspory, či zisku energie z jiných zdrojů než nám bylo doposud známo. S důkazem tohoto uvážení se setkáváme denně a to tak, že, ať už ve svém okolí, nebo kdekoli na cestách narážíme na zastavěné pozemky, které jsou pokryté solárními panely, v tomto případě především za účelem zisku elektrické energie. Nebo také vidíme solární panely aplikované na rodinných domech, kde jde převážně o ohřev vody, či přitápění.

Cílem mé bakalářské práce bude především zjištění toho, zdali je využití sluneční energie a použití solárních panelů respektive solární soustavy na rodinný dům opravdu výhodné, tak jak je v dnešní době neustále spekulováno. Zdali opravdu návrh solárních kolektorů i na náš rodinný dům pro čtyři osoby by bylo to pravé, to nejvýhodnější z ekonomického i environmentálního hlediska.

1 Solární kolektory

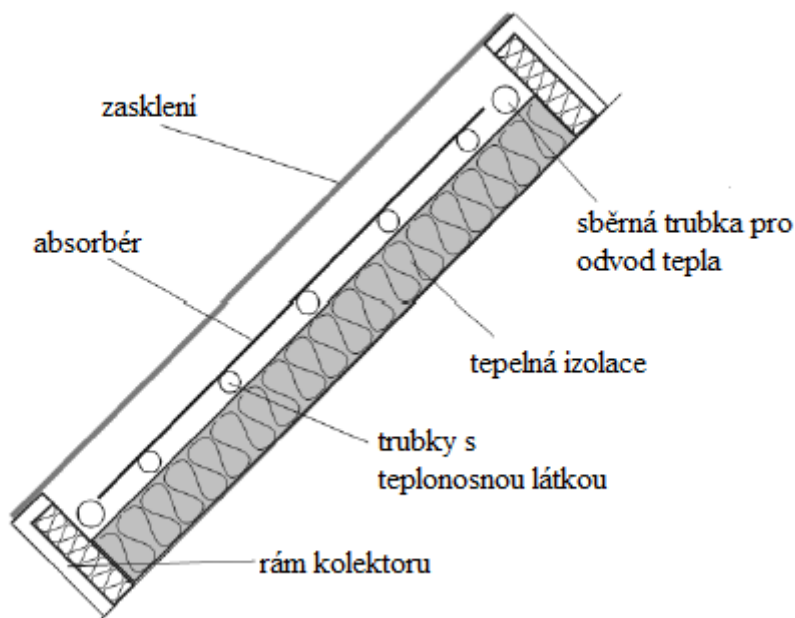
Solární kolektory jsou zařízení, které nám umožňují přeměnu slunečního záření, dopadající na zemský povrch, na jiný druh energie, pro nás lépe využitelný. Nejspolehlivější cestou přeměny energie slunečního záření na energii tepelnou je přeměna fotonů – fototermální přeměna. Tato přeměna spočívá v absorpci slunečního záření povrchem látek a kapalin, při kterém se energie fotonů mění v teplo. Základním prvkem záření pro přeměnu sluneční energie na energii tepelnou je absorpční plocha, která se jímáním slunečního záření ohřívá. Vzniklá tepelná energie může být odváděna různými teplonosnými látkami. Nejčastěji se využívají kapaliny, které kolektorem proudí (voda, nemrznoucí směs, vzduch). Solární kolektory, u kterých slouží kapalina jako teplonosná látka (voda, nemrznoucí směs vody), jsou dnes využívány převážně při provozu budov. Solární vzduchové kolektory jsou převážně využívány pro předehřev přiváděného vzduchu pro větrání místností, popřípadě předehřev oběhového vzduchu pro cirkulační vytápění. [1], [2], [5]

Rozdělení solárních kapalinových kolektorů podle:

- **Teplonosné látky**
 - kapalinové
 - vzduchové
- **Zasklení**
 - bez zasklení
 - jednoduché
 - vícevrstvé
 - struktura
- **Tlaku výplně**
 - atmosférický
 - subatmosférický (vakuový)
- **Konstrukce**
 - ploché
 - trubkové
 - koncentrační
- **Absorbéru**
 - plastový
 - kovový – neselektivní
 - kovový – selektivní
 - akumulární

V praxi se nejčastěji můžeme setkávat s kolektory:

- ploché
- bazénové
- vakuové



Obr. č. 1 – Základní součásti plochého solárního kolektoru znázorněny v řezu; [2],[4]

Z důvodu efektivního využití a pro snížení tepelných ztrát při provozu absorbéru, se na přední straně kolektoru používá zasklení (jedno nebo dvě krycí skla), které vytváří vzduchovou izolační mezeru zabraňující nadměrnému ochlazování kolektoru okolním vzduchem. Zadní strana kolektoru je ze stejného důvodu chráněna vrstvou tepelné izolace. Všechny jmenované části kolektoru jsou vloženy do nosného rámu, a tím je vytvořen základní stavební prvek (deska). Z jednotlivých těchto desek je pak možno sestavit celou kolektorovou plochu. [2]

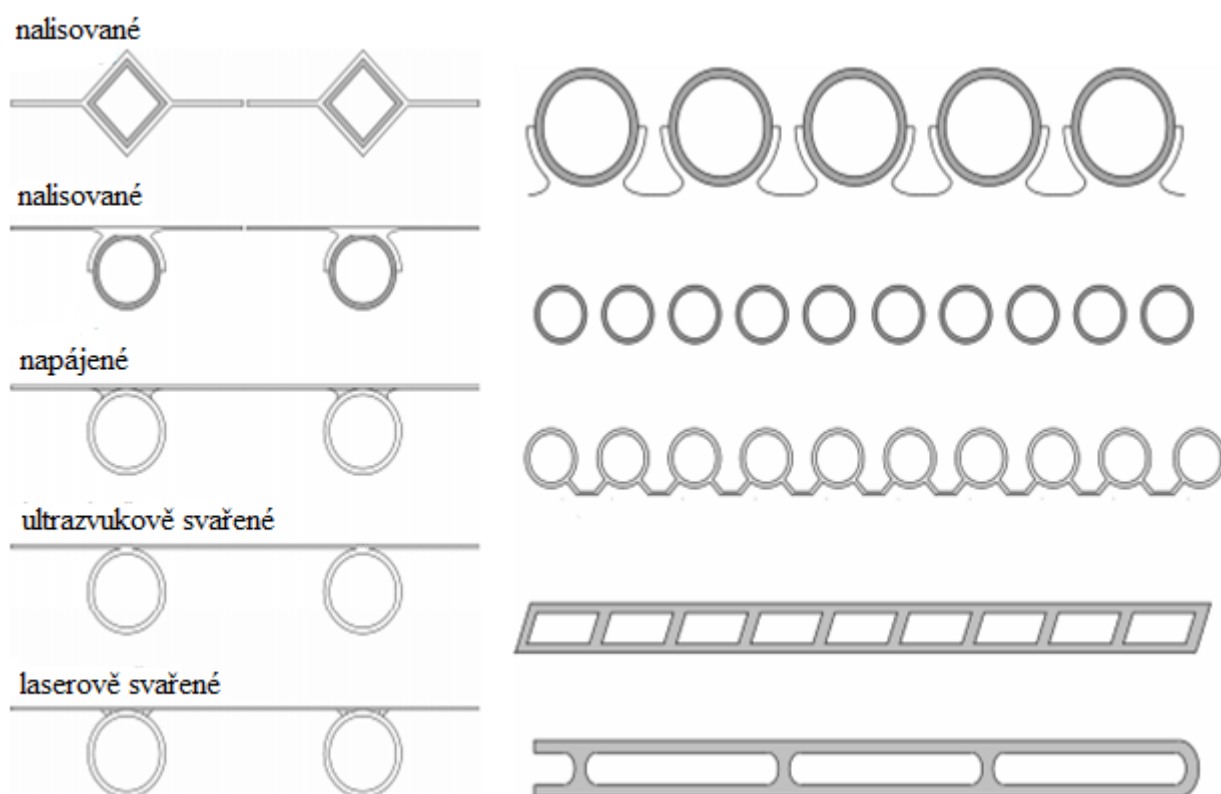
1.1 Absorbční plocha, absorbér

Absorbér jako takový, slouží k přeměně slunečního záření na teplo pohlcené na povrchu mající vhodné optické vlastnosti. Dopadem, či pohlcením slunečního záření dojde k zahřívání absorbéru, a tímto zvyšuje svou teplotu vůči okolnímu prostředí. Pro omezení tepelných ztrát sáláním ohřátého absorpčního povrchu je nutné zajistit nízkou emisivitu povrchu v oblasti infračerveného záření. Absorbční povrchy, které úspěšně i účinně pohlcují sluneční záření a minimálně vyzařují tepelné záření, se nazývají spektrálně selektivní a jsou

používány v drtivé většině tepelných kolektorů pro soustavy jako je ta má, kterou popisují a to soustava pro celoroční provoz.

Nejčastějším provedením absorbéru z hlediska konstrukce je tradiční typ (lamela-trubka), kdy absorbční plocha je spojena díky tepelně vodivému spoji trubkou. Tato konstrukce bývá nejčastěji používána v plochých, ale také v trubkových solárních kolektorech. Pro zajištění vysoké účinnosti odvodu tepla z povrchu absorbéru se využívají absorbéry z kovů s vysokou tepelnou vodivostí (měď, hliník). Je u nich totiž možno použít malé tloušťky absorbéru tj. 0,2 až 0,5 mm a větší rozteče trubkového registru 100 až 150 mm. U použití plastových absorbéru s nízkou tepelnou vodivostí je nutné použít větší tloušťku absorbčního povrchu (několik mm) a zpravidla řádově menší rozteče (často trubky či kanály těsně vedle sebe). [2]

Příklady spojení absorbční plochy ses systémem odvodu tepla:



Obr. č. 2 – Příklady konstrukčního řešení kovových absorbérů (vlevo) a plastových absorbérů (vpravo); [2]

1.2 Ploché vakuové kolektory

Kolektorová skříň neobsahuje izolaci, pro omezení, nebo případné zamezení tepelných ztrát. Zde se využívá toho, že je v prostoru skříně snížen tlak na 1 až 10 kPa, z toho vyplývá omezení proudění vzduchu mezi absorbérem a zasklením, nebo zadní stěnou kolektoru. Absorbční plocha je navařena a to buď ultrazvukově, nebo laserově, nebo je nalisována na

trubkovém registru, kterým je teplonosnou kapalinou odváděno využitelné teplo. Rám musí být z pravidla velmi těsný, z tohoto důvodu je tvořen výliskem (bezešvá vana). Toto řešení je určeno pro celoroční ohřev vody a vytápění, popřípadě průmyslové aplikace s provozními teplotami cca 100 °C.[2]

1.2.1 Ploché nekryté kolektory

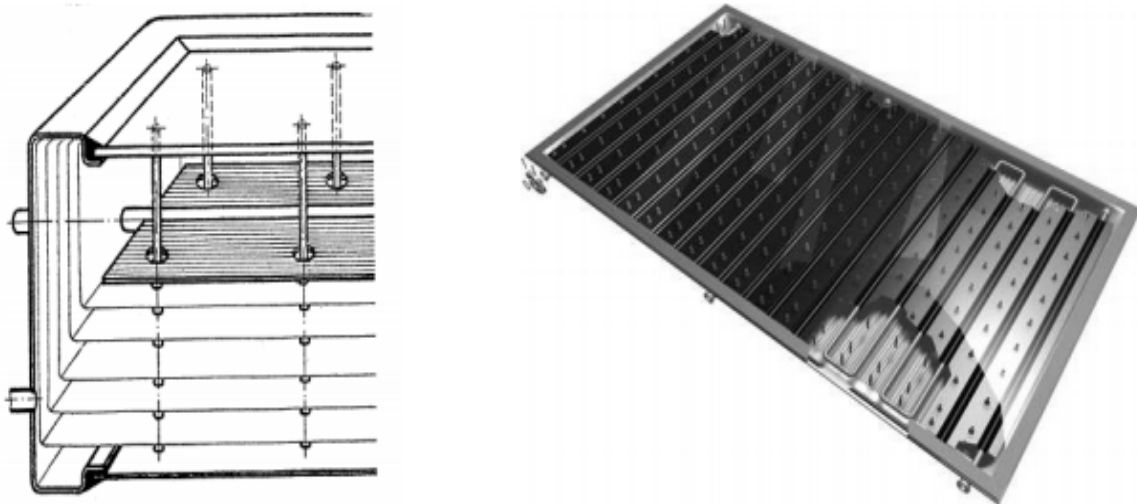
Nejčastěji používány pro sezonní ohřev bazénové vody o nízké teplotní úrovni, pouze plastová rohož bez zasklení.

1.2.2 Ploché neselektivní kolektory

Určeny pro sezonní přehřev vody při nízké teplotní úrovni. Jsou to zasklené deskové kolektory s kovovým absorberem.

1.2.3 Ploché selektivní kolektory

Zasklené deskové kolektory s kovovým absorberem a se spektrálně selektivním povlakem, určeny pro celoroční vytápění a ohřev vody.



Obr. č. 3 – Konstrukce nízkotlakého (vakuového) plochého kolektoru z 80. let (vlevo) a současný výrobek (vpravo); [2]

1.3 Trubkové vakuové kolektory

Jedná se o kolektory s válcovou aperturou (zasklením), u kterých je prostor mezi zasklením a absorberem vakuován, je zde extrémně nízký tlak pod 0,01 Pa. Toto vysoké

vakuum způsobuje ve vakuovém prostoru, vlivem dokonale absence plynů, minimalizaci přenosu tepla konvekcí a vedením, tedy přenos tepla mezi zasklením a absorbérem způsobuje sálání.

Abychom zamezili výskytu zbytkových plynů ve vakuovém prostoru, používáme tzv. „getry“, které jsou považovány za rychle oxidující kovy. Getrová vložka se indukčně zahřeje na vysokou teplotu po evakuaci vnitřního prostoru, čili se odpaří a reaguje se zbytkovými plyny, které pohltní. V konečném stavu se na dně trubkového kolektoru usadí v podobě stříbrné vrstvy.

Tyto kolektory dosahují kombinací vakuové izolace a nízkoemisivního povrchu absorbéru extrémně nízkých tepelných ztrát i v případě vysokých teplotních rozdílů mezi absorbérem a okolním prostředím. Využívají tedy slunečního záření i při vysokých provozních teplotách.

Podle konstrukce můžeme trubkové vakuové kolektory rozdělit na:

- trubkové kolektory s jednostěnnou trubkou – vyráběný převážně v Evropě
- trubkové kolektory s dvojtěnnou trubkou – tzv. „čínský“ typ, výroba převážně v Číně

Tyto dva konstrukční typy lze dále rozdělit podle konstrukčního uspořádání odvodu tepla na:

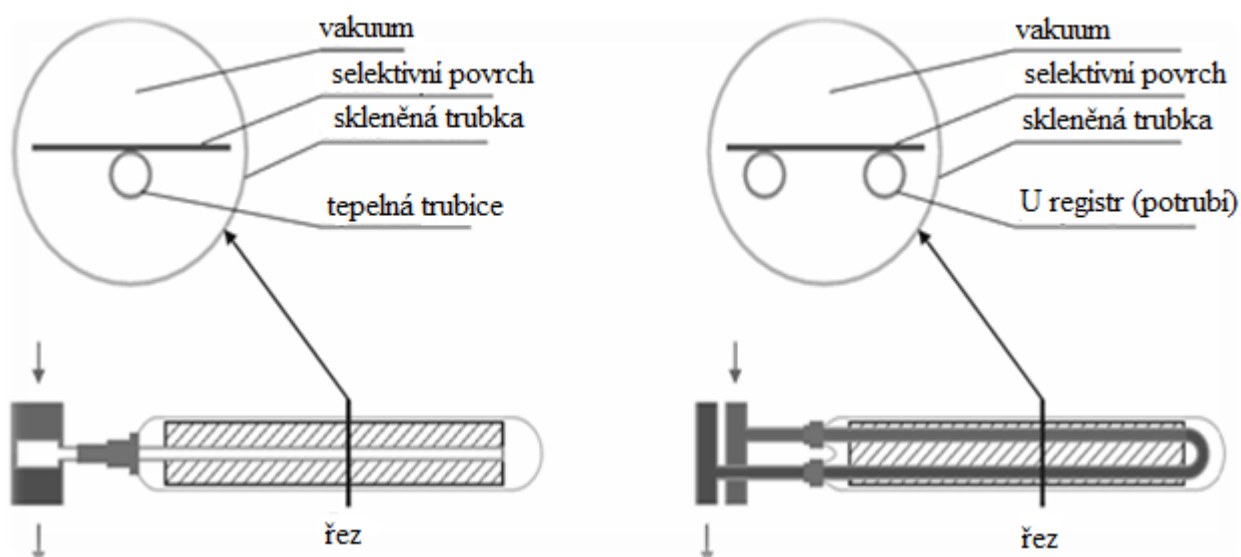
- přímo protékané - absorbérem přímo protéká teplotonosná kapalina, potrubí tvar U.
- s tepelnou trubicí
 - suché napojení - zasunutý/zaklapnutý kondenzátor v pouzdru
 - mokré napojení – kondenzátor přímo omýván teplotonosnou kapalinou

Pro přenos tepla mezi teplotonosnou kapalinou a povrchem absorbéru využívá velká část trubkových kolektorů principu tzv. tepelných trubic – pracovní látka se přívodem tepla vypařuje ve výparníkové části vodivě spojené s absorbérem, pára následně stoupá trubicí do kondenzační části, kde se srazí na kapalné skupenství a kapalina stéká zpět do výparníkové části. Pro získání požadované funkčnosti je nutno zajistit sklon trubice minimálně 20 – 25°, aby mohl kondenzát samovolně stékat do výparníkové části. U vakuových solárních kolektorů používáme jako tepelnou trubicí měděnou trubku, výparníková část má průměr 8 až 12 mm, kondenzační část má větší průměr, a to 18 až 20 mm z důvodu zajištění požadované teplosměnné plochy.

Trubkové vakuové kolektory jsou relativně široký pojem, který do sebe zahrnuje mnoho konstrukčních provedení, níže uvádím dva základní typy: [2]

1.3.1 Trubkové vakuové kolektory s jednostěnnou trubkou

Typický „evropský“ typ vakuových kolektorů. Provedení tohoto kolektoru spočívá v podstatě v tom, že je v uzavřené skleněné trubce umístěn plochý absorbér se selektivním povrchem. Odvod tepla z absorbéru je realizován přes tepelnou trubici. Vnitřní tlak trubky je vakuován na tlak menší než 1 MPa. Potřebné trubky pro tento kolektor se vyrábí v průměrech od 40 do 150 mm. Jsou vyrobeny z borokřemičitého skla s vysokou pevností a odolností proti gradientům a teplotním změnám. Zpravidla mají velmi dobrý přestup tepla z absorbéru do teplosnosné látky, který je zajištěn ultrazvukovým nebo laserovým navařením absorbéru na teplosměnné potrubí. U těchto trubkových kolektorů je kladen velký důraz na dokonalé těsnění prostupu tepelné trubice. V dnešní době jsou tyto kolektory na špičkové úrovni, pracují s vysokou účinností, bohužel většinou je jejich aplikování nesmírně nákladné.

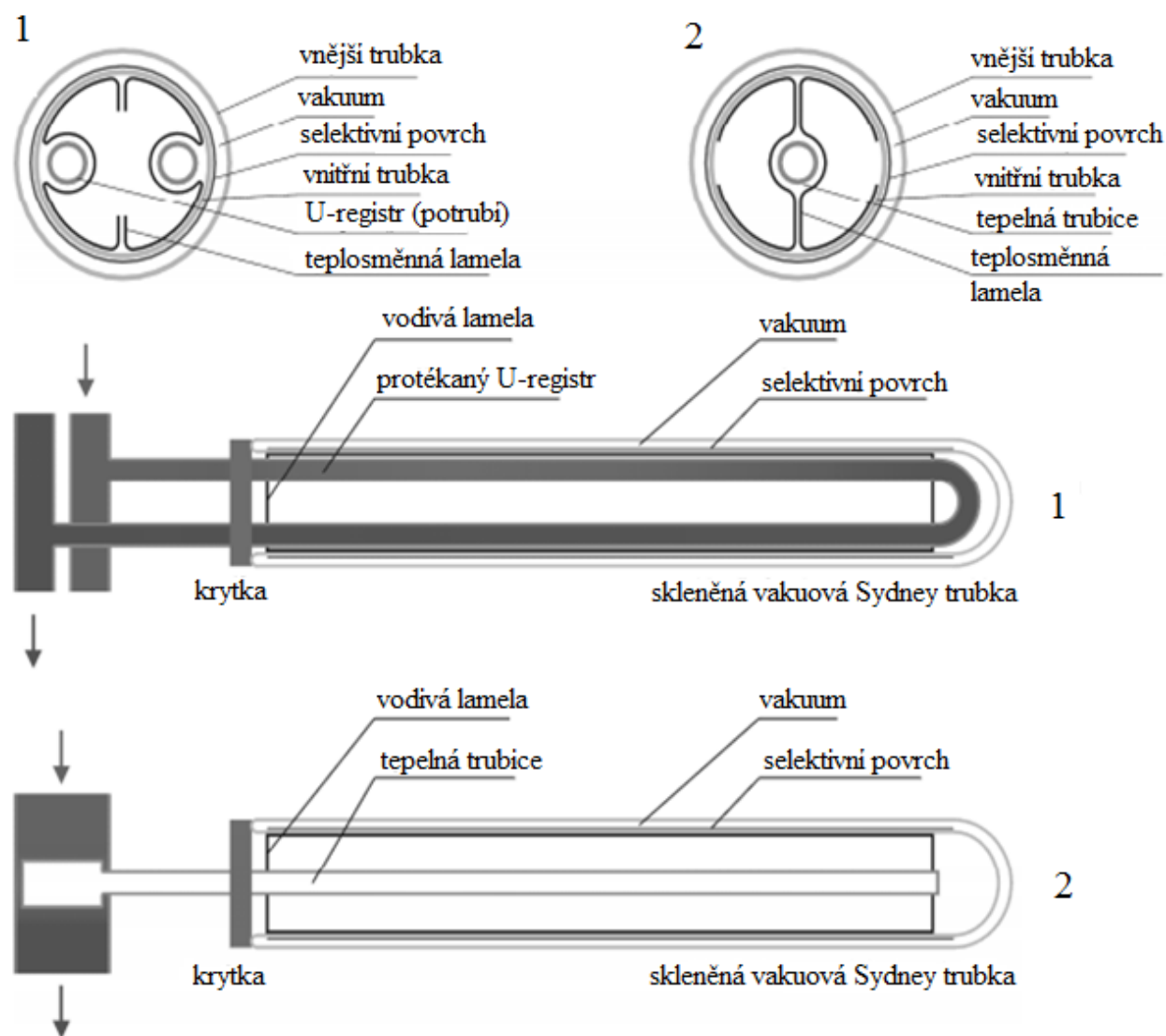


Obr. č. 4 - Příčný a podélný řez jednostěnným trubkovým vakuovým kolektorem; [6], [1]

1.3.2 Trubkové vakuové kolektory s dvoustěnnou skleněnou trubkou

Tyto typy kolektorů se u nás vyskytují jako kolektory tzv. „Sydney“. Je to válcová dvojitěnná trubka vyrobená celá ze skla, obdobně „termosky“. Vnější povrch vnitřní trubky, je pokryt selektivním absorpčním povrchem, zaujímá funkci absorbéru a také slouží k zachycení slunečního záření. Kdežto vnější trubka slouží jako zasklení, je tedy využita ochrana před atmosférickými vlivy. Meziprostor je typické vakuum.

Podobně, jako to bylo u jednostěnných kolektorů, tak i zde jsou kolektory konstrukčně řešeny se stejným systémem odvodu tepla což je systém přímo protékaným trubkovým registrem (U-registr) nebo tepelnou trubicí. Kritickým místem Sydney kolektorů je přenos tepla z vnitřního povrchu vnitřní absorpční trubky do teplotnosné kapaliny a především na povrch potrubí přímo protékaného U-registru, nebo na povrch výparníku tepelné trubice. K tomu slouží teplosměnná vodivá lamela nejčastěji vyrobená z hliníku, která by měla mít velmi dobře vodivý kontakt s vnitřním povrchem absorpční trubky a také s vnějším povrchem potrubí pro odvod tepla. Při nedodržení těchto podmínek dochází k snížení účinnosti. [1]



Obr. č. 5 – Příčný a podélný řez trubkovým vakuovým Sydney kolektorem s přímo protékaným U-registrem (1) a s tepelnou trubicí (2); [2]

1.4 Koncentrační kolektory

Koncentrační kolektory využívají koncentrace přímého slunečního záření. To se pomocí odrazu od zrcadel nebo lomem čočkami soustřeďuje do ohniska, v němž je umístěn absorpér. Podle tvaru ohniska se rozlišují koncentrační kolektory:

- *s lineárním ohniskem* - parabolický reflektor, Winstonův kolektor, kolektor s lineární Fresnelovou čočkou.
- *s bodovým ohniskem* - paraboloidní reflektor, fasetové reflektory, heliostaty. Správné využití těchto typů vyžaduje během roku dostatek přímého slunečního záření. [2]

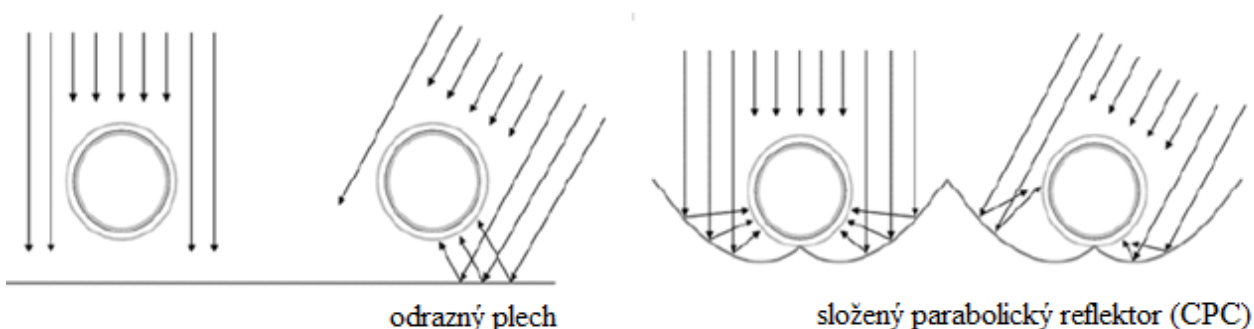
1.4.1 Koncentrační kolektory s Fresnelovou lineární čočkou

Tradiční válcová čočka s lineárním ohniskem, s převedeným rozdílem do zploštělého tvaru. Díky čočce se koncentruje přímé sluneční záření na lineární absorpér a v něm dochází opět k protékání teplotnosné kapaliny.

Výhodným umístěním čočky např. do okna budovy můžeme získat jak aktivní, tak i pasivní prvek pro využití slunečního záření. [2]

1.4.2 Koncentrační trubkové kolektory

Vzhledem k válcovému tvaru těchto Sydney vakuových kolektorů se často dovybavují odrazovými zrcadly (reflektory). Cílem instalování odrazových zrcadel je zvětšení energie dopadající na absorpér. Z hlediska cenové dostupnosti nám trh nabízí obyčejné ploché reflektory umístěné s trubkami, nebo při potřebném dosažení vyšších účinků se mohou reflektory s ideálně tvarovaným povrchem (parabolické koncentrátoři). [2]



Obr. č. 6 – Použití reflektorů pro zvýšení aktivní plochy trubkového kolektoru (apertury); [2]

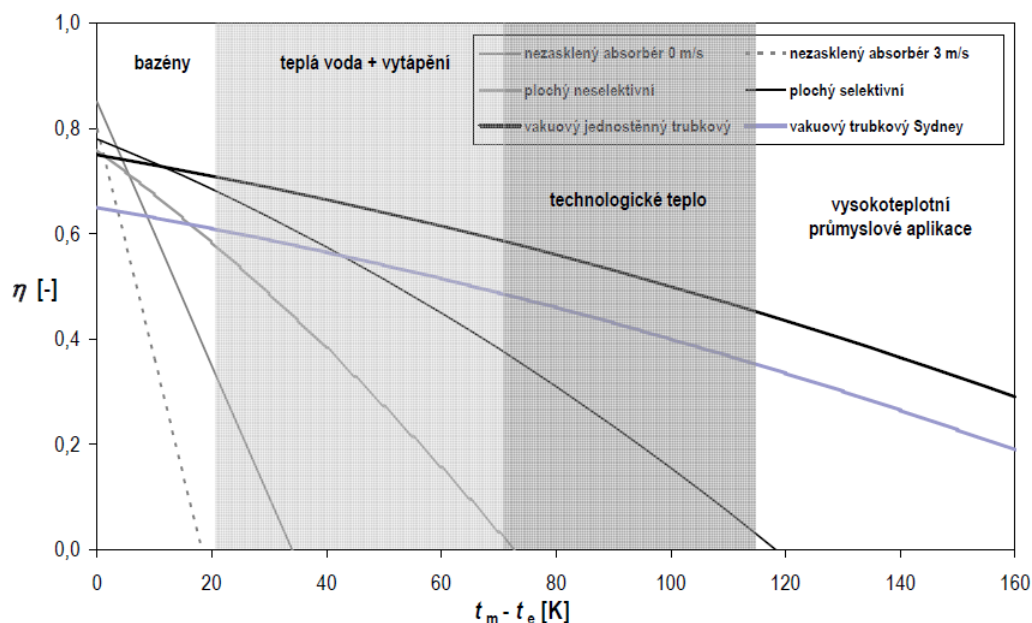
2 Účinnostní charakteristiky jednotlivých typu kolektorů

Na současném trhu v České republice jsou dostupné různé typy solárních tepelných kolektorů o různé kvalitě. V grafu č. 1 jsou znázorněny typické křivky účinnosti základních typů solárních kolektorů, vyjádřené v závislosti na teplotním spádu pro hodnotu slunečního ozáření 800 W/m^2 .

Z grafu je patrné, že s nárůstem teploty hrají u kolektorů obecně dominantní roli tepelné ztráty z kolektoru do okolí. Nezasklené kolektory se vyznačují vysokou optickou účinností, ale na druhé straně vysokými tepelnými ztrátami, výrazně ovlivněnými rychlostí proudění okolního vzduchu (větru). Naproti tomu u kvalitních solárních kolektorů s nízkými tepelnými ztrátami (selektivní absorber, vakuový kolektor) klesá účinnost s rostoucím teplotním spádem výrazně méně. V grafu jsou vyznačeny typické rozsahy provozních teplotních rozdílů mezi střední teplotou kapaliny a okolním vzduchem v základních aplikacích. Ze srovnání křivek vyplývají některé zásady použití solárních kolektorů v daných aplikacích.

Pro sezónní ohřev bazénové vody nemá smysl používat drahé trubkové vakuové Sydney kolektory vykazující v nízkoteplotních hladinách dokonce nižší účinnost než levné nezasklené kolektory. V oblasti přípravy teplé vody a vytápění jsou trubkové vakuové kolektory a atmosférické ploché kolektory z hlediska účinnosti vztažené k ploše apertury srovnatelné. Pro průmyslové aplikace s vysokými provozními teplotami jsou nutné kolektory s velmi nízkou tepelnou ztrátou (trubkové vakuové, případně kvalitní koncentrační kolektory).

[2]



Obr. č. 7 - Typické křivky účinnosti základních typů solárních kolektorů; [2]

3 Solární tepelné soustavy

Solární tepelné soustavy pro energetické zásobování budov s využitím sluneční energie mají poměrně velkou rozšířenou výrobní vizi. V naší České republice jsou s tzv. nuceným oběhem nejčastěji využity kapalinové solární kolektory.

Solární soustavy můžeme odborně rozdělit dle několika různých hledisek:

- **aplikace**
 - předehřev teplé vody
 - kombinovaná příprava teplé vody a vytápění
 - ohřev bazénové vody
 - průmyslové aplikace
 - solární chlazení a klimatizace
- **podle velikosti kolektorové plochy**
 - malé solární soustavy - maloplošné
 - střední solární soustavy - středplošné
 - velké solární soustavy – velkoplošné
- **podle měrného průtoku teplotnosné kapaliny kolektoru**
 - s nízkým průtokem
 - s vysokým průtokem
 - s proměnným průtokem

Soustavy s nízkým průtokem

Z důvodu úspory nákladu na izolace a potrubí se navrhuje především pro velkoplošné soustavy. Díky nízkému průtoku dojde k ohřátí teplotnosné kapaliny v kolektorech o cca 30 – 50 K a využitelná teplota pro aplikaci je k dispozici již po jediném průchodu kapalinou kolektorem. V horní části zásobníku je k dispozici při nízké úrovni slunečního záření část objemu o dostatečně vysoké teplotě, která umožňuje okamžitou spotřebu bez dalšího ohřevu. Ve spodní části zásobníku se udržuje nízká teplota, která následně vystupuje do kolektoru.

Soustavy s vysokým průtokem

Použití především na rodinných domech u maloplošných soustav. Z důvodu vysokého průtoku dochází k ohřátí teplotnosné kapaliny o 6 – 10 K. Postupně je celý objem nabíjen současně a zásobník nevyužívá výrazného vrstvení teplot (nárůst teplot v zásobníku je pomalý). [2], [4]

3.1 Solární soustavy pro přípravu teplé vody

Příprava teplé vody v budovách tvoří významnou část energetické potřeby a v případě zavádění úspor v budovách je využití sluneční energie pro přípravu teplé vody logickým krokem po omezení tepelných ztrát prostupem (zateplování budov) a větráním (využití rekuperace tepla).

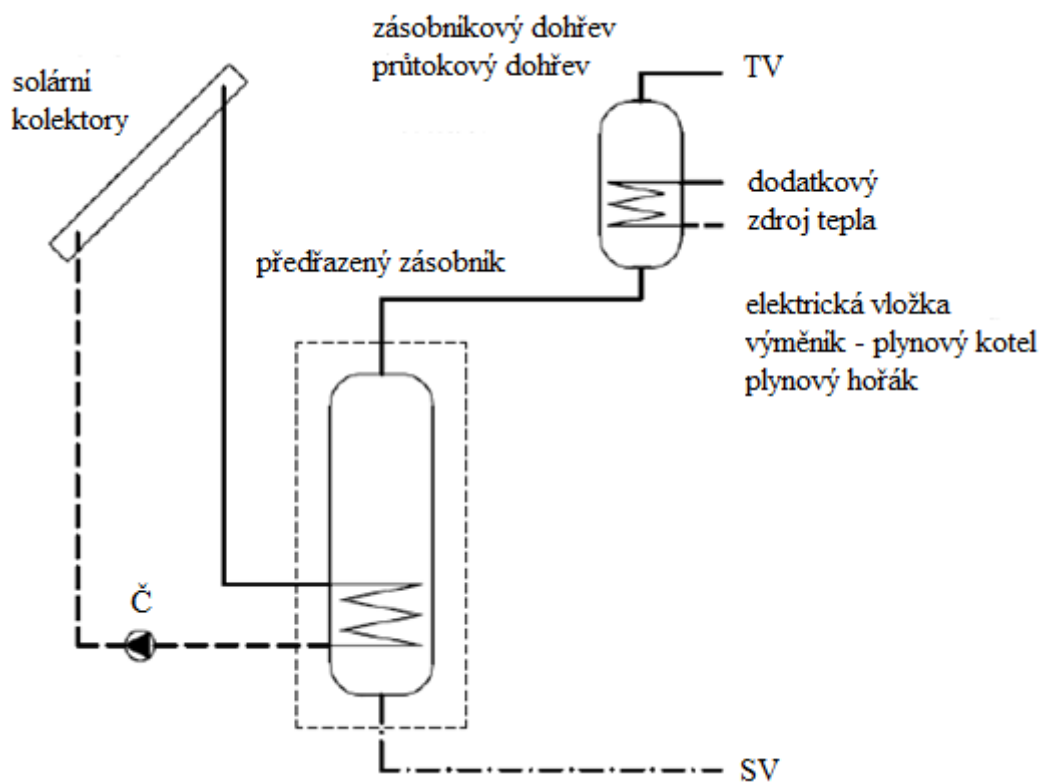
Solární soustavy pro přípravu teplé vody jsou kromě obytných budov vhodné pro využití v např. pro ústavy sociální péče, domovy důchodců, hotely, sportovní centra, apod., kde je vysoká spotřeba teplé vody celoročně. Vždy platí, že případnou rekonstrukci stávající přípravy teplé vody je nutné provést před nebo v průběhu instalace solární soustavy. Je nutné nejprve snížit spotřebu tepla na přípravu teplé vody a teprve potom uvažovat o realizaci solární soustavy. [2]

3.1.1 Maloplošné solární soustavy pro přípravu teplé vody

Tento typ solárních soustav pro přípravu teplé vody se dnes nejčastěji využívá při aplikaci u rodinných domů, protože jejich primární vlastností je jednoduchá regulace rozdílu teplot mezi zásobníkem a kolektorem. V dnešní době je v domácnosti běžná potřeba vody 30 až 50 l/den.os, na toto množství přísluší plocha kolektoru 2 až 6 m² se zásobníkem teplé vody o objemu 200 až 500 l. U provozu malých solárních soustav se využívá nejčastěji vysokého průtoku teplotnosné kapaliny (50-70l/h.m²) plochy kolektorů, v kolektorudochází ke zvýšení teploty teplotnosné látky o 7, až 10 K. V dnešní době se používají tepelné soustavy s předehřívacím zásobníkem, nebo s bivalentním zásobníkem. [2]

Solární soustava s předehřívacím zásobníkem

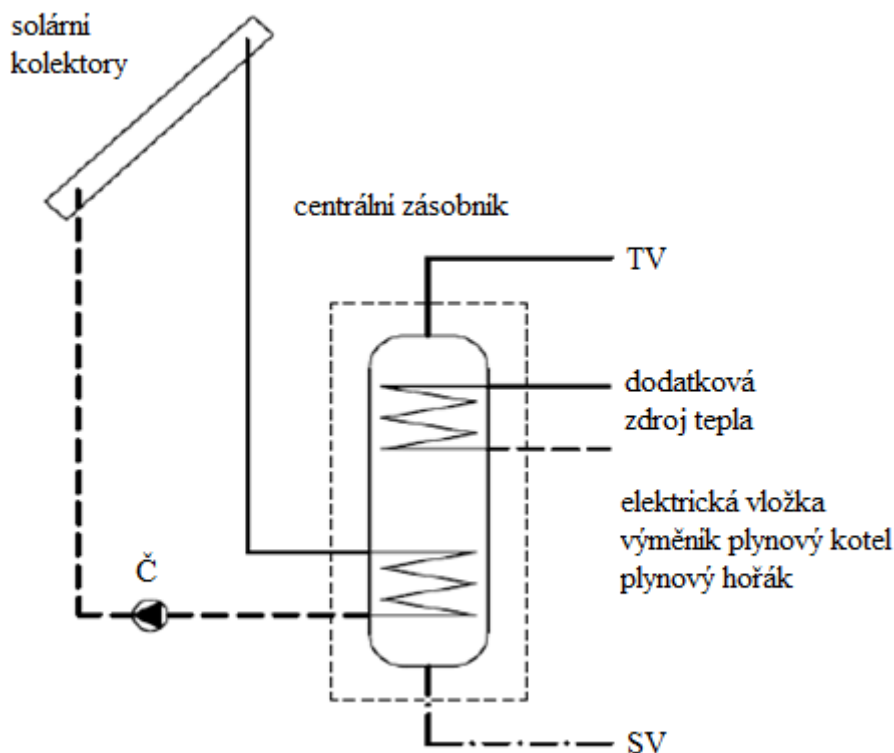
Monovalentní solární zásobník zajišťuje předehřívání vody v dolní části (solárním výměníkem). Jeho objem je většinou asi 1,5 až 2krát větší, než je denní spotřeby teplé vody. Po výstupu ze solárního zásobníku kapalina proudí do ohřívacího zásobníkového nebo průtokového ohříváče, kde se popřípadě dohřeje, pokud na výstupu ze spodního zásobníku nemá požadovanou teplotu. [2]



Obr. č. 8 – Schéma solární soustavy s předřazeným monovalentním solárním zásobníkem; [2]

Solární soustava s bivalentním zásobníkem

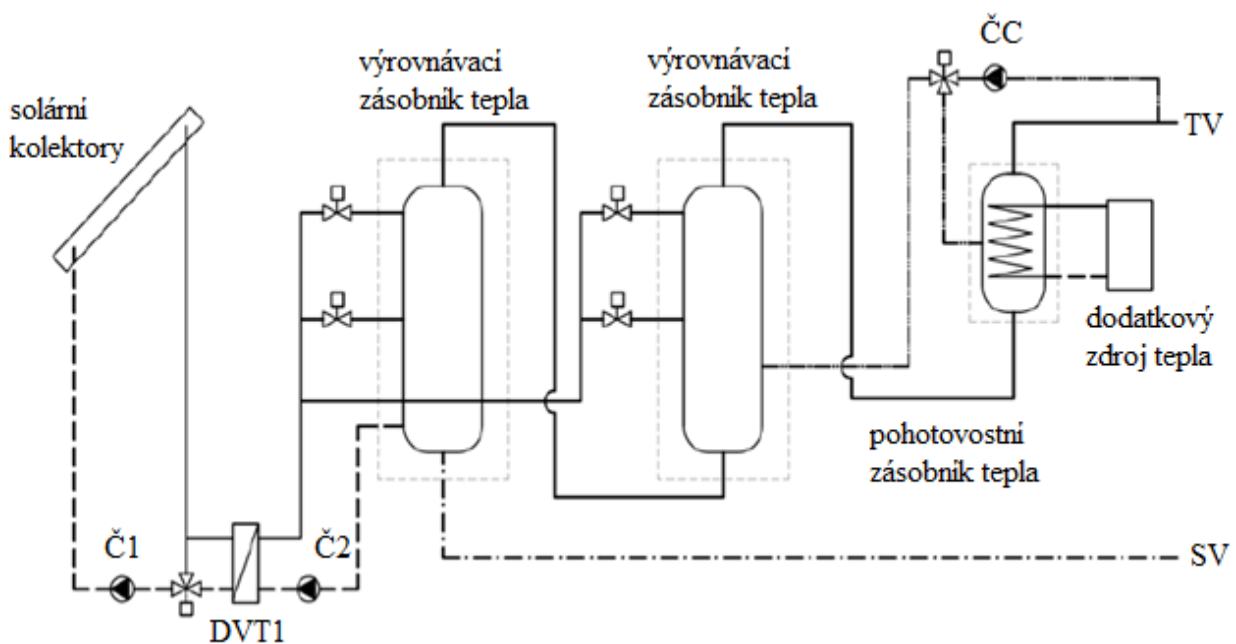
Tento zásobník v dolní části obsahuje solární výměník a v horní části je použit dodatkový zdroj, který udržuje horní pohotovostní část zásobníku na potřebné teplotě. Výhodou je soudržné provedení zásobníku, nezabírá mnoho místa (zájem převážně v novostavbách). Nevýhodou zásobníku je to, že dochází k částečnému ovlivnění spodní části dohřevem, z toho vyplývá, že při chybně zkonstruovaném zásobníku dojde k možným ztrátám. [2]



Obr. č. 9 – Schéma solární soustavy s bivalentním zásobníkem; [2]

3.2 Velkoplošné solární soustavy pro přípravu teplé vody

Tyto velkoplošné soustavy s plochou kolektorů nad 20 m² jsou převážně používány v bytových domech, hotelech, nemocnicích, ústavech sociální péče, sportovních areálech apod. Pro velkoplošné soustavy je ideální provoz s nízkým průtokem teplotnosné látky, čili z toho vyplývají menší tlakové ztráty, menší potřebné výkony oběhových čerpadel, menší průměry potrubí a díky menším povrchům potrubí a nižší tepelné ztráty. Vize co nejlepšího ekonomického provozu soustavy s nízkým průtokem musíme zajistit zásobníky s řízeným teplotním vrstvením. Velkoplošné solární soustavy vyžadují pro přenesení výkonu ze solárního okruhu deskový výměník. [2]



Obr. č. 10 – Solární soustava se dvěma sériově řazenými vyrovnávacími zásobníky a pohotovostním zásobníkem; [2]

3.3 Solární kombinované soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění

Díky tzv. „nízkoenergetickým domům“ nacházejí solární soustavy sdužující přípravu teplé vody s vytápěním stále větší uplatnění. Nižší tepelné ztráty budov vedou k nižším teplotám topné vody (nízkoteplotní vytápění) a umožňují využití sluneční energie především v přechodovém období i pro vytápění. V topném období není možné úplného pokrytí tepla dosáhnout vždy a jde jim o jeho částečné pokrytí. Obvykle ekonomicky přijatelné jsou hodnoty mezi 15 až 35 % celkové roční potřeby tepla pro přípravu teplé vody a vytápění. Uvedená hodnota musí být jasně stanovena, jelikož ovlivňuje návrh zařízení.

Předpoklady pro návrh solárních kombinovaných soustav (domu) jsou:

- je dostatečně izolovaný a opatřen kvalitními okny
- splňuje nízkoteplotní otopnou soustavu - což jsou převážně podlahová vytápění, případně vhodná otopná tělesa
- splňuje vhodnou návaznost na ostatní zdroje tepla a technologie v budově včetně regulace
- možnost umístění kolektoru - sklon kolektoru bude přibližně 50° až 90°, orientace na jih v nezastíněném místě
- zajištěná možnost využít letního přebytku výkonu solární soustavy (bazén, sušení, akumulace)

Vždy je nutné u solárních soustav pro vytápění uvažovat buď o účelném využití letních přebytků tepla, anebo jak zamezit stagnačním podmínkám v solární soustavě.

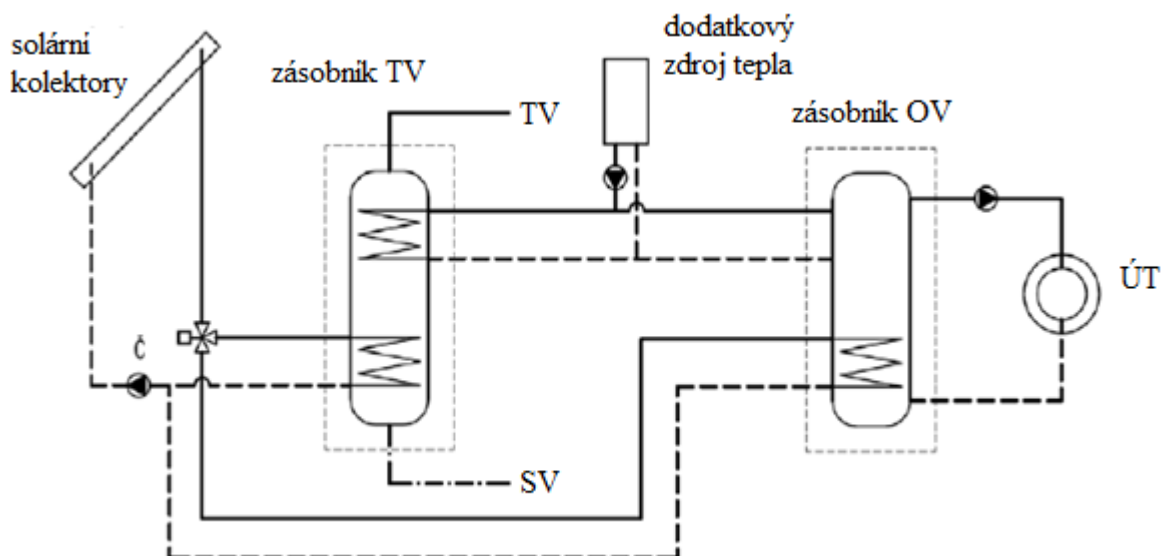
Solární kolektory pro kombinované soustavy je proto vhodné umisťovat na střechu se sklonem nad 45°. Díky tomuto sklonu se dosahuje rovnoměrného profilu tepelných zisků, čímž letní přebytečné a nevyužitelné zisky klesají a naopak zisky zimní mírně narostou díky příznivějšímu úhlu dopadu slunečních paprsků, eventuálně také díky odrazivosti paprsků od okolního terénu. [2]

3.3.1 Maloplošné solární kombinované soustavy

U těchto solárních soustav můžeme problém stagnace vyřešit tím způsobem, že letní přebytky energie využijeme pro ohřev bazénů či zabudováním jiného spotřebiče tepla. Na místech, kde se bohužel nedá vyhnout letním přebytkům, není vhodné plochu kolektoru zbytečně předimenzovat, eventuálně zajistit vymezení vůči podmínkám stagnace. [2]

3.3.2 Solární kombinovaná soustava se dvěma zásobníky

Tento typ solárních soustav pracuje se dvěma zásobníky – pro teplou vodu a pro otopnou vodu. Jedna z možností je, že soustava nejprve ohřívá zásobník teplé vody na potřebnou teplotu 60 °C a se vzniklým přebytkem ohřívá i zásobník otopné vody na teplotu 30 až 45 °C. Je zde také možnost, díky soustavě využití dřívějšího ohřevuchladnějšího zásobníku. Záleží převážně na provozovateli, pro který způsob se rozhodne. Výhodné však je tyto možnosti v průběhu roků střídat dle potřeby. V případě nutnosti dohřívání zásobníku lze použít dodatekový zdroj tepla, který je připojen na oba zásobníky. Výhodou tohoto zapojení je oddělení „vysokoteplotní“ přípravy teplé vody od nízkoteplotní otopné vody, čímž docílíme větší účinnosti solárních kolektorů. Nevýhodou však mohou být vyšší tepelné ztráty zapříčiněné většími prostorovými nároky, či použití většího povrchu zásobníku. [2]

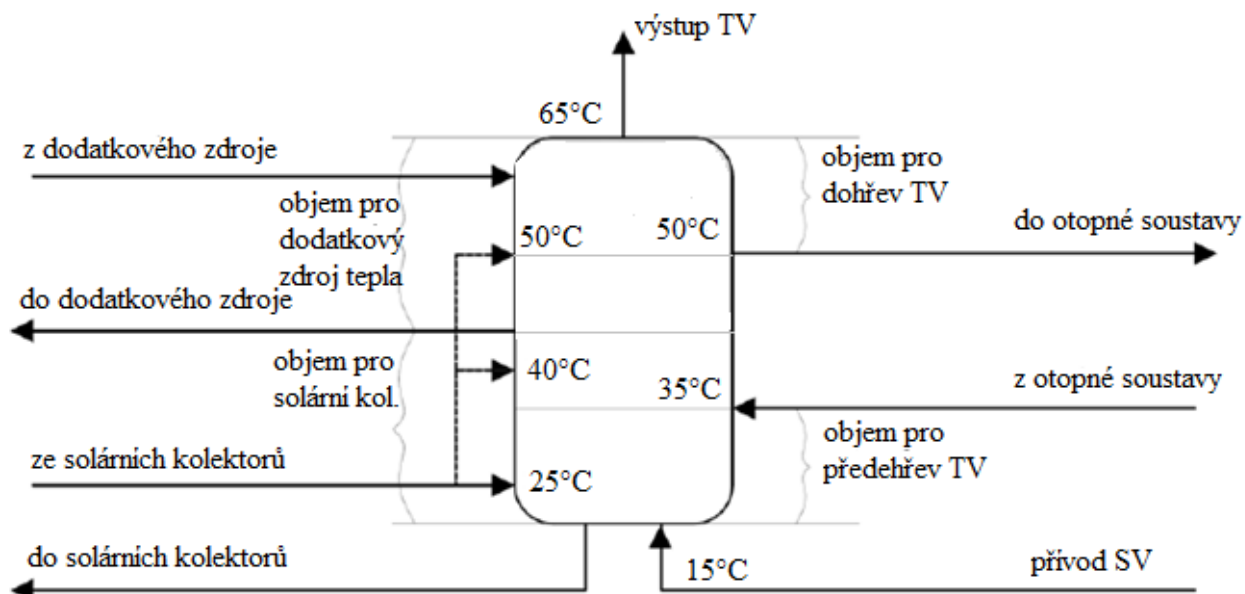


Obr. č. 11 – Solární soustava se dvěma zásobníky s dodatkovým zdrojem pro oba zásobníky; [2]

3.3.3 Solární kombinovaná soustava s jedním centrálním zásobníkem

V posledních letech pro maloplošné solární kolektory kombinovaných soustav, narostly na významu různé varianty provedení s jedním centrálním (integrováním) zásobníkem tepla. Pro získání vyšších solárních zisků u solárních kombinovaných soustav s centrálním zásobníkem hraje velkou roli schopnost rozvrstvení objemu zásobníku (viz. Obr. č. 12). V horní části zásobníku je udržována teplota v rozmezí 45 až 65 °C ve vyhovujícím objemu požadovaného množství pro přípravu teplé vody. Pro vytápění je využívána střední část (30 až 50°C). Ve spodní nabíjecí části je teplota vody nejchladnější z důvodu předeřevu studené vody, do které je podle velikosti soustavy buď zaveden vnitřní trubkový výměník, nebo externí deskový výměník. Pro přípravu teplé vody v centrálním zásobníku je realizován systém s vestavěným zásobníkem, (tzv. „nádrž v nádrži“) či průtokově (vnitřní trubkový výměník, vnější deskový výměník). Zásobníky se stratifikačními vestavbami jsou považovány už jako pokročilejší řešení centrálních zásobníků otopné vody, které jsou častěji využívány pro aplikaci v rodinných domech. Tyto vestavby se zde využívají pro přívod tepla ze solárních kolektorů, ale také pro přívod otopné vody zpětné. Aby se dosáhlo maximální integrace zařízení a získalo snížení montážní práce, se čím dál více objevují komplexní řešení zásobníku tepla principem integrace dodatkových zdrojů do vlastní konstrukce zásobníku (plynové hořáky, hořáky na pelety se zásobníkem, elektrické vložky).

Výhody centrálních zásobníků vidíme převážně v jednoduchosti instalace, nižších tepelných ztrátách, popřípadě v menších nárocích na prostor. [2]



Obr. č. 12 - Rozdělení zón a teplotní poměr v centrálním zásobníku tepla pro kombinované soustavy; [2]

3.3.4 Velkoplošné solární kombinované soustavy

Tento typ kombinovaných soustav není tak častým řešením pro přípravu teplé vody. Zapojení jsou obdobné, čili solární okruh nabíjí vyrovnávací zásobník tepla, ke kterému je připojen i dodatkový zdroj tepla. Z toho důvodu, že se jedná o velkoplošné soustavy, je nutné použít výkonné deskové výměníky tepla. Zapojení sekundární části je odlišné oproti zapojení v případě maloplošných soustav.

Do kategorie velkoplošných solárních soustav patří:

- *Solární kombinovaná soustava s centrální přípravou teplé vody (3 - trubkový a 4 - trubkový rozvod)*
- *Kombinované solární soustavy s lokální přípravou teplé vody (2 – trubkový rozvod),*
[2]

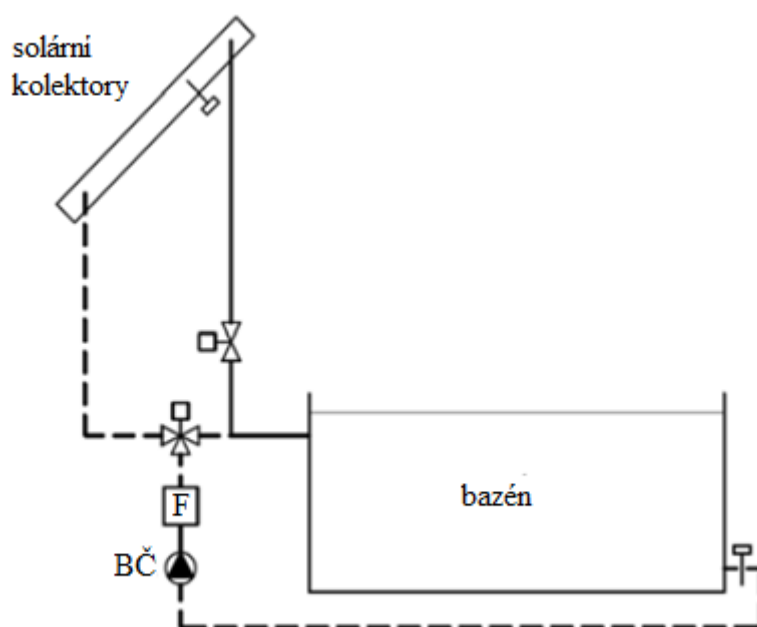
3.4 Solární soustavy pro ohřev bazénové vody

Tato aplikace solárních soustav pro ohřev bazénové vody je velmi příznivá jak z důvodu časové prodlevy pro získání tepla (letní využívání venkovních bazénů), tak z hlediska nízké požadované teploty (do 30 °C). Návrh schémat zapojení pro ohřev bazénové vody je jednoduchý. Bazénová voda může buď přímo protékat solárními kolektory (bazénové absorbéry pro sezonní použití), nebo jde zde použít výměník tepla pro celoroční ohřev bazénové vody. Jako zásobník tepla, tudíž i jeho spotřebič je zde vlastní bazén. [2]

3.4.1 Solární soustava pro otevřené venkovní bazény

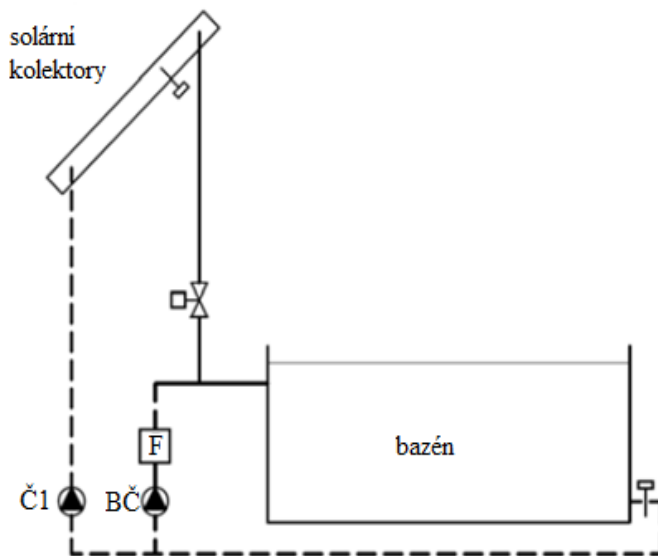
Doba provozu venkovních otevřených bazénů je omezena po dobu letní sezóny. Zde se jako kolektory používají s výhodou levné nezasklené plastové absorbery, z důvodu postačující účinnosti v letním období, které jsou také odolné vůči působení desinfekčních přísad do bazénové vody (oproti kovovým kolektorům).

V případě, kdy filtrační čerpadlo běží celou dobu bez přerušení, se kolektorové pole zapojuje na společnou větev filtrace (za filtr ve směru průtoku). Čerpadlo použité u bazénu musí být navrženo tak, aby bylo možné překonat tlakové ztráty kolektorů. Na výstupu z bazénu a v kolektorech, se tepelnými čidly snímá teplota. Na základě teplotního rozdílu se trojcestným ventilem se reguluje teplá voda z kolektoru, nebo se do okruhu kolektorů přepne celý průtok. [2]



Obr. č. 13 - Sezónní solární soustava pro ohřev bazénové vody s trojcestným ventilem; [2]

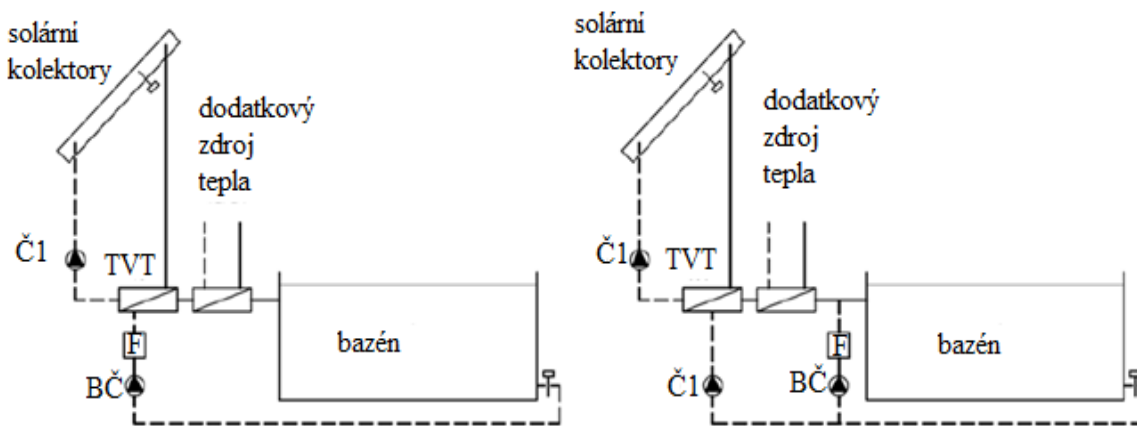
U bazénu, kde naopak filtrační čerpadlo neběží celou dobu, čili běží jen v určitých periodách je možnost připojení samotné větve s vlastním oběhovým čerpadlem a s předřazeným jemným filtrem. Ohřátá voda se tedy pouze přimíchává do proudu bazénové vody. [2]



Obr. č. 14 – Solární soustava pro ohřev bazénové vody s využitím samostatného oběhového čerpadla; [2]

3.4.2 Solární soustava pro kryté vnitřní bazény

U krytých bazénu se předpokládá celoroční provoz, tedy i dohřev dodatkovým zdrojem tepla. Zde volíme použití zasklených kolektorů se selektivním povrchem, kde teplotou kapaliny bude nemrznoucí směs. Tento solární okruh bude oddělen od bazénové vody výměníkem tepla, za kterým se nachází dohřívací výměník. Zapojení bazénového sekundárního okruhu je totožné se zapojením u soustav pro otevřené venkovní bazény. [2]



Obr. č. 15 - Solární soustava pro celoroční ohřev vody v krytých bazénech; [2]

4 Návrh solárního systému

Nyní se už budu věnovat a zabývat návržením těch správných solárních kolektorů na náš rodinný dům. Bydlíme v malé vesnici, která se nachází cca 20km od Ostravy, dům je celoročně obýván naší čtyřčlennou rodinou. Denní spotřeba teplé vody jednou osobou je přibližně 30l, což je asi 30kg. Voda bude ohřívána z 10°C na 55°C. Sklon kolektoru volím dle sklonu střechy což je 45°, účinnost při uvažovaných ztrátách je 15%.

4.1 Výpočet měsíčních potřeb tepla pro přípravu TUV

Při návrhu solárního systému je zapotřebí stanovit měsíční potřebu tepla pro přípravu teplé vody. K tomu však musím vypočítat měsíční potřebu tepla pro náš rodinný dům. Avšak nejprve musíme vypočítat denní spotřebu tepla dle následujících vztahů: [4]

$$V = o \cdot m, \quad [\text{m}^3/\text{den}] \quad (1)$$

kde:

- V = denní potřebný objem vody [m^3/den],
- o = počet osob [-],
- m = denní spotřeba teplé vody jednou osobou [kg],

$$V = 4 \cdot 30 = 120 \text{ [l]} = 0,12 \text{ [m}^3/\text{den]}.$$

Abych mohl dosadit do vzorce pro samotnou denní potřebu TV, musím nyní výpočtem dojít k hmotnosti vody pro čtyři osoby, a to následovně:

$$m_d = \rho \cdot V, \quad [\text{kg}] \quad (2)$$

kde:

- m_d = denní potřeba teplé vody pro čtyři osoby [kg],
- ρ = hustota vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],
- V = denní potřebný objem vody [m^3/den],

$$m_d = 1000 \cdot 0,12 = 120 \text{ [kg]}.$$

Samotnou denní spotřebu tepla pro přípravu teplé vody pak určím podle:

$$Q_d = c_p \cdot m_d \cdot \Delta t \cdot \eta, \quad [\text{J}] \quad (3)$$

kde:

- c_p = měrná tepelná kapacita vody, rovná se $4180 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$,
- m_d = denní spotřeba teplé vody čtyřmi osobami [kg],
- Δt = rozdíl teplot [$^{\circ}\text{C}$],
- η_{15} = účinnost při uvažovaných ztrátách 15%, tzn. 1,15,

$$Q_d = 4180 \cdot 120 \cdot (55 - 10) \cdot 1,15 = 25957800 \text{ [J]}$$

Samotnou měsíční spotřebu tepla pro přípravu teplé vody určím jednoduše, tak že vynásobím denní spotřebu tepla (3) počtem dnů v měsíci, tedy:

$$Q_m = Q_d \cdot i, \quad [\text{kWh}] \quad (4)$$

kde:

- i = počet dní v měsíci [-],

$$Q_m = 25957800 \cdot 30 = 778734000 \text{ [J]},$$

$$Q_m = \frac{778734000}{3600} = 216315 \text{ [Wh]} = 216,315 \text{ [kWh]}.$$

V následujících částech budu potřebovat k příslušným výpočtům i roční potřebu tepla, tu jednoduše získám, když měsíční potřebu tepla (4) vynásobím počtem měsíců v roce.

$$Q_r = Q_m \cdot 12 \quad [\text{kWh}] \quad (5)$$

$$Q_r = 216,315 \cdot 12 = 2595,78 \text{ [kWh]}$$

4.2 Stanovení množství skutečného slunečního záření dopadajícího na plochu dané orientace (za měsíc)

V této kapitole je nezbytné stanovit skutečné množství slunečního záření dopadající na určitou plochu, samozřejmě, že já se budu zabývat plochou neboli střechou našeho rodinného domu. K výpočtu potřebuji znát hodnoty měrné doby slunečního svitu (tab. č. 1) a teoretické možné energii dopadající za den na různě nakloněné plochy (tab. č. 2). Výpočet pro skutečné sluneční záření bude následovný: [4]

$$Q_{\text{skut}} = \tau_{\text{rel}} \cdot Q_{\text{teor}} \cdot i, \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (6)$$

Kde:

- τ_{rel} = měrná doba slunečního svitu [-],
- Q_{teor} = teoreticky možná energie dopadající za den na plochu v daných měsících [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$],
- i = počet dnů v měsíci,

Tab. č. 1 – Měrná doba slunečního svitu τ_{rel} [-]; [4]; Vlastní zpracování

Měsíc	Ostrava τ_{rel}
Leden	0,27
Únor	0,30
Březen	0,30
Duben	0,37
Květen	0,47
Červen	0,45
Červenec	0,55
Srpen	0,55
Září	0,43
Říjen	0,38
Listopad	0,19
Prosinec	0,18

Tab. č. 2 – Teoretický možná energie dopadající za den na různě nakloněné plochy v jednotlivých měsících, [3]; Vlastní zpracování

Měsíc	$Q_{\text{teor}} [\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}]$
Leden	3,40
Únor	4,96
Březen	6,70
Duben	8,06
Květen	9,42
Červen	9,64
Červenec	9,42
Srpen	8,06
Září	6,70
Říjen	4,96
Listopad	3,40
Prosinec	2,70

Hodnoty jsou platné pro podmínky:

- 50° severní zeměpisné šířky,
- Součinitel znečištění $Z = 3$,
- Úhel sklonu osluněné plochy 45°, [3]

Následující výpočet je vzorový pro měsíc Leden, vypočtené hodnoty pro ostatní měsíce jsou zaznamenány v (tab. č. 3).

$$Q_{\text{skut}} = 0,27 \cdot 3,40 \cdot 30 = 27,54 [\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}]$$

Tab. č. 3 – Skutečné sluneční záření pro jednotlivé měsíce Q_{skut} ; Vlastní zpracování

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen
$Q_{\text{skut}} [\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}]$	27,54	44,64	60,30	89,47	132,82	130,14
Měsíc	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
$Q_{\text{skut}} [\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}]$	155,43	132,99	86,43	56,54	19,38	14,58

4.3 Volba typu kolektoru a stanovení rovnice účinností charakteristiky

Zvolil jsem si sluneční kolektor RegulusKPC1H +. Čili, jedná se o plochý kolektor s hliníkovým pláštěm a prizmatickým sklem, je zde použit hliníkový lyrový absorbér s vysoce selektivním povrchem Alanod Mirosol spojený s měděným potrubím. [7]

Technické údaje slunečního kolektoru (např. celková plocha, maximální pracovní teplota, maximální pracovní tlak, atd.) jsou zaznamenány v technickém listu kolektoru, společně s okamžitou účinností kolektoru (příloha č. 1). Níže uvádím pouze parametry, se kterými se budu zabývat v následujících výpočtech. [7]

- $\eta_0=0,8[-]$, optická účinnost kolektoru,
- $a_1=3,85 [W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}]$, lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru,
- $a_2=0,0145 [W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}]$, kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru,

Rovnice účinnostní charakteristiky kolektoru:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_k - t_v}{I_{stř}} - a_2 \cdot \frac{(t_k - t_v)^2}{I_{stř}}, \quad [-] \quad (7)$$

kde:

- $\eta_0=0,8[-]$, optická účinnost kolektoru,
- $a_1=3,85 [W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}]$, lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru,
- $a_2=0,0145 [W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}]$, kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru,
- $I_{stř}$ = střední hodnota intenzity slunečního záření [-],
- t_k = teplota kolektoru [°C],
- t_v = střední teplota okolí v době slunečního svitu [°C],

4.4 Stanovení průměrné účinnosti kolektoru v jednotlivých měsících

Abych mohl stanovit průměrnou účinnost kolektoru v jednotlivých měsících potřebuji znát informace o teoretické době slunečního svitu v charakteristických dnech jednotlivých měsíců (tab. č. 4) a údaje vycházející z dopadají teoretické energie za den na různě skloněné plochy v mém případě je úhel sklonu osluněné plochy 45° (tab. č. 2)

Nejprve však musím dojít k výsledkům pro výpočet střední hodnoty intenzity slunečního záření, vzorec bude vypadat takto: [4]

$$I_{\text{stř}} = \frac{Q_{\text{teor}}}{\tau_{\text{teor}}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (8)$$

Tab. č. 4 – Teoretická doba slunečního svitu v charakteristických dnech jednotlivých měsíců τ_{teor} [h]; [4]

Měsíc	τ_{teor} [h]
Leden	8,26
Únor	10,12
Březen	12,00
Duben	13,90
Květen	15,70
Červen	16,34
Červenec	15,70
Srpen	13,90
Září	12,00
Říjen	10,12
Listopad	8,26
Prosinec	7,85

Výpočet uvádím vzorově pro měsíc Leden, ostatní měsíce jsou zaznamenány v (tab. č. 5).

$$I_{\text{stř}} = \frac{Q_{\text{teor}}}{\tau_{\text{teor}}} = \frac{3,40}{8,26} = 0,412 \text{ [kW} \cdot \text{m}^{-2}] = 412 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

Tab. č. 5 –Střední hodnota intenzity slunečního záření v jednotlivých měsících; Vlastní zpracování

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen
$I_{stř}$ [W·m ⁻²]	412	490	558	580	600	590
Měsíc	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
$I_{stř}$ [W·m ⁻²]	600	580	558	490	412	344

Před celkovým dosazením a stanovení rovnice účinností charakteristiky kolektoru bude následující výpočet pro teplotu kolektoru, kterou spočítám jako aritmetický průměr počáteční a požadované teploty vody, výpočet níže pro t_k : [4]

$$t_k = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (9)$$

kde:

- t_k = teplota kolektoru
- t_1 = počáteční (vstupní) teplota vody [$^{\circ}\text{C}$],
- t_2 = požadovaná (výstupní) teplota vody [$^{\circ}\text{C}$],

$$t_k = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{10 + 55}{2} = 32,5 \text{ } [^{\circ}\text{C}].$$

K celkovému dosazení do rovnice účinností charakteristiky kolektoru už potřebujeme pouze znát hodnoty o střední teplotě okolí v době slunečního svitu (tab. č. 6).

Tab. č. 6 – Střední teplota okolí v době slunečního svitu t_v [$^{\circ}\text{C}$], [4]; Vlastní zpracování

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen
t_v [$^{\circ}\text{C}$]	0,78	0,14	4,96	8,44	13,58	16,82
Měsíc	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
t_v [$^{\circ}\text{C}$]	19,36	19,10	13,66	8,20	3,68	0,29

Nyní, když už známe všechny proměnné, můžeme vypočítat výše zmíněnou účinnostní charakteristiku kolektoru (7). Výpočet uvádím vzorově pro měsíc Leden, ostatní vypočtené měsíce jsou zaznamenány v (tab. č. 7).

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_k - t_v}{I_{stř}} - a_2 \cdot \frac{(t_k - t_v)^2}{I_{stř}}$$

kde:

- $\eta_0 = 0,8$ [-], optická účinnost kolektoru
- $a_1 = 3,85$ [$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$], lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru
- $a_2 = 0,0145$ [$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$], kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru

$$\eta = 0,8 - 3,85 \cdot \frac{32,5 - 0,78}{412} - 0,0145 \cdot \frac{(32,5 - 0,78)^2}{412} = 0,47 \text{ [-]}$$

Tab. č. 7 – Hodnoty účinnostní charakteristiky kolektoru pro jednotlivé měsíce; Vlastní zpracování

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen
η [-]	0,47	0,46	0,52	0,55	0,61	0,64
Měsíc	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
η [-]	0,67	0,68	0,61	0,55	0,50	0,46

4.5 Stanovení měrného tepelného zisku kolektoru

Při stanovení měrného tepelného zisku kolektoru musím vynásobit účinnostní charakteristiky kolektoru (tab. č. 7) se skutečným slunečním zářením dopadající na plochu dané orientace pro daný měsíc (tab. č. 3).

$$Q_k = \eta \cdot Q_{skut} \quad [kWh \cdot m^{-2}] \quad (10)$$

kde:

- Q_k = měrný tepelný zisk kolektoru [$kW \cdot m^{-2}$],
- η = účinnost kolektoru [-],
- Q_{skut} = skutečné sluneční záření dopadající na plochu dané orientace [$kWh \cdot m^{-2}$],

Uvádím vzorový výpočet pro měsíc Leden, ostatní vypočtené hodnoty pro příslušné měsíce jsou zaznamenány v (tab. č. 8).

$$Q_k = 0,47 \cdot 27,54 = 12,94 \text{ [kW} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}$$

Tab. č. 8– Hodnoty měrných tepelných zisků kolektorů pro jednotlivé měsíce; Vlastní zpracování

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen
Q_k [kWh · m ⁻²]	12,94	20,53	31,11	49,64	81,02	83,29
Měsíc	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Q_k [kWh · m ⁻²]	104,14	88,9	52,72	31,10	9,72	6,74

4.6 Návrh měsíce s rovnovážnou energetickou bilancí

Za měsíc s rovnovážnou bilancí volím Duben. Jelikož pro tento výpočet se uvádí měsíce v začátku letního období, tedy v Dubnu je už relativně teplo, z toho vyvozují, že není ještě potřeba k přípravě teplé vody zatápnět v kotli. [4]

4.7 Návrh počtu m² kolektorové plochy

Při návrhu počtu m² kolektorové plochy, musím nejdříve vypočítat tzv. teoretickou plochu kolektoru. [4]

$$S = \frac{Q_m}{Q_k}, \quad [\text{m}^2] \quad (11)$$

kde:

- S = teoretická plocha kolektoru [m²],
- Q_m = měsíční potřeba tepla pro přípravu teplé vody [kWh],
- Q_k = měrný tepelný zisk kolektoru [kWh · m⁻²],

$$S = \frac{Q_m}{Q_k} = \frac{216,315}{49,64} = 4,35 \text{ [m}^2\text{]}$$

4.7.1 Návrh počtu kolektorů

Potřebný počet kolektorů získám podílem teoretické plochy kolektoru (11) s plochou absorberu. [4]

$$n = \frac{S}{S_{\text{abs}}}, \quad [\text{ks}] \quad (12)$$

kde:

- n = počet kolektorů [ks],
- S = teoretická plocha kolektoru [m^2],
- S_{abs} = plocha absorberu, podle technického listu $S_{\text{abs}} = 1,92$ [m^2]

$$n = \frac{S}{S_{\text{abs}}} = \frac{4,35}{1,92} = 2,26 \text{ [ks]} \Rightarrow \text{volím 2 kolektory.}$$

4.7.2 Přepočet počtů m^2 kolektorové plochy

Ve výpočtu níže určím skutečnou plochu, kterou na naší střeše zaberou sluneční kolektory a to díky součinu počtu kolektorů (12) s plochou absorberu. [4]

$$S' = n \cdot S_{\text{abs}} \quad [\text{m}^2] \quad (13)$$

kde:

- S' = skutečná plocha kolektoru [m^2]
- n = počet kolektorů [ks]
- S_{abs} = plocha absorberu [m^2]

$$S' = n \cdot S_{\text{abs}} = 2 \cdot 1,92 = 3,84 \text{ [m}^2\text{]}$$

4.8 Určení energetické bilance pro jednotlivé měsíce (přebytky / nedostatky)

Stanovením energetické bilance získám přebytečnou, nebo naopak nedostatečnou energii k přípravě teplé vody. Čili vypočítám, kolik bude zapotřebí dodat energie v měsících, kdy nesvítí slunce tak dostatečně, abych zajistil měsíční potřebu tepla ve všech ročních

obdobích. Ziskům tepla ze sluneční soustavy v jednotlivých měsících docílím vynásobením měrného tepelného zisku kolektoru (tab. č. 8) se skutečnou plochou kolektoru (13). [4]

$$Q = Q_k \cdot S' \quad [\text{kWh}] \quad (14)$$

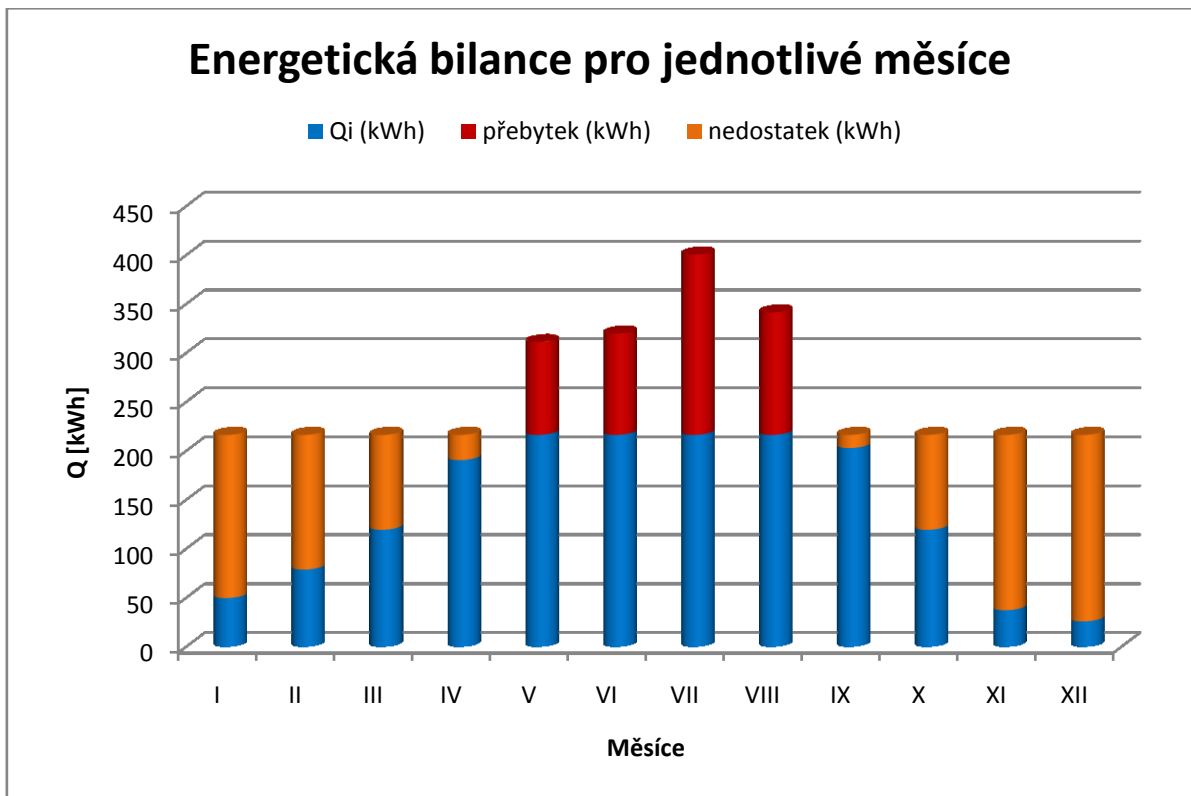
Uvádím vzorový výpočet pro měsíc Leden, ostatní vypočtené hodnoty pro příslušné měsíce jsou zaznamenány v tabulce č. 9.

$$Q = Q_k \cdot S' = 12,94 \cdot 3,84 = 49,69 \text{ [kWh]}$$

Z výše uvedené rovnice (4) jsem si vypočetl, že na přípravu teplé vody je potřeba 216,315 [kWh]. Na základě této hodnoty jsem si výpočty stanovil kolik bude přebytků a kolik nedostatků tepla v jednotlivých měsících (tab. č. 9). Vypočtené hodnoty jsou zakresleny v grafu níže (graf. č. 1).

Tab. č. 9 – Hodnoty energetické bilance přebytků a nedostatků v jednotlivých měsících; Vlastní zpracování

Měsíc	Q [kWh]	Přebytky [kWh]	Nedostatky [kWh]
Leden	49,69	0	166,63
Únor	78,84	0	137,48
Březen	119,46	0	96,85
Duben	190,62	0	25,70
Květen	311,12	94,81	0
Červen	319,83	103,52	0
Červenec	400,55	184,24	0
Srpen	341,38	125,07	0
Září	202,94	0	13,38
Říjen	119,42	0	96,90
Listopad	37,32	0	178,99
Prosinec	25,88	0	190,44



Graf č. 1 - Znázornění přebytků a nedostatků v jednotlivých měsících; Vlastní zpracování.

4.8.1 Stanovení maximálního celoročního zisku solárního systému

Sečtením všech výtěžků ze solárního systému v jednotlivých měsících, včetně přebytků (v grafu označeny červeně) získám maximální celoroční zisk solárního systému. Sečtu tedy v (tab. č. 9) hodnoty Q. [4]

$$Q_{\max} = \sum_{i=1}^{12} Q \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (15)$$

$$Q_{\max} = 49,69 + 78,84 + 119,46 + 190,62 + 311,12 + 319,83 + 400,55 + 341,38 + 202,94 + 119,42 + 37,32 + 25,88$$

$$Q_{\max} = 2197 \text{ [kWh} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}$$

4.8.2 Stanovení skutečného celoročního zisku solárního systému

Pro stanovení skutečného celoročního zisku solárního systému je výpočet obdobný jako u stanovení předešlého maximálního zisku (15), avšak s přebytkem u tohoto výpočtu neuvažuji. Čili když mnou navržený solární systém bude v teplých měsících produkovat

k přípravě teplé vody více energie, nežli je potřeba, budu počítat s hodnotou 216,315 [kWh] rovnice (4), [4]

$$Q_{\text{skut}} = 4 \cdot 216,315 + \sum_{i=1}^{12} Q_{\text{, bez přebytků}} \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (16)$$

$$Q_{\text{skut}} = (4 \cdot 216,315) + 49,69 + 78,84 + 119,46 + 190,62 + 202,94 + 119,42 + 37,32 + 25,88$$

$$Q_{\text{skut}} = 1689,43 \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}]$$

4.8.3 Velikost pokrytí celoroční potřeby tepla, solární podíl

Z rovnice (16) jsem zjistil, že ročně získám 1689,43 [kWh] sluneční energie ze solárních kolektorů. K určení solárního podílu, který nám vyjadřuje kolik procent, z celkové roční potřeby tepla pokryjí solární kolektory, stačí podělit skutečný celoroční zisk solárního systému (16) roční potřebou tepla k ohřátí vody (5), tedy: [4]

$$\text{Solární podíl} = \frac{Q_{\text{skut}}}{Q_r}, \quad [\%] \quad (17)$$

Kde:

- Q_{skut} = skutečný celoroční zisk ze solárního systému [kWh · m⁻²],
- Q_r = roční potřeba tepla k přípravě teplé vody [kWh],

$$\text{Solární podíl} = \frac{1689,43}{2595,78} = 0,650 \rightarrow 65 \quad [\%]$$

4.8.4 Výpočet měrného celoročního zisku solárního systému maximálního a skutečného vztaženo na 1 m² plochy kolektoru.

U tohoto výpočtu budu počítat s podílem maximálního celoročního zisku (15) kolektorovou plochou (13), tedy:

$$\dot{Q}_{\text{max}} = \frac{Q_{\text{max}}}{S'} \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (18)$$

Kde:

- Q_{\max} = maximální celoroční zisk solárního systému [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$]
- S' = skutečná plocha kolektoru [m^2]

$$\dot{Q}_{\max} = \frac{2197}{3,84} = 572,14 \text{ [kWh.m}^{-2}\text{]}.$$

Skutečný celoroční zisk solárního systému vztažený na 1 m^2 kolektorové plochy pak výpočtu také podílem, ale podílem skutečného zisku solárního systému (16) s plochou kolektoru (13), tedy:

$$\dot{Q}_{\text{skut}} = \frac{Q_{\text{skut}}}{S'} \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (19)$$

Kde:

- Q_{skut} = skuteční celoroční zisk ze solárního systému [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$],
- S' = skutečná plocha kolektoru [m^2],

$$\dot{Q}_{\text{skut}} = \frac{1689,36}{3,84} = 439,94 \text{ [kWh.m}^{-2}\text{]}$$

4.9 Srovnání energetické bilance

Na základě kontroly správnosti výpočtů existují tabulky pro srovnání energetické bilance, tudíž v následujícím kroku jsem se zabýval přepočtem mých hodnot, postup zadávání a výsledné hodnoty jsou pak zaznamenány níže (obr. č. 15 a obr. č. 16). Nejprve mě bude zajímat pouze sloupec pro přepočet teplé vody, tak jako mám v zadání mé práce. Níže v (obr.č. 15) je nutno zadat příslušné hodnoty dle mého výpočtu a to počet osob, potřebu TV, rozsah ohřevu vody v °C a v neposlední řadě přírážku na tepelných ztrátách (znázorněno červeně).

Zjednodušená měsíční bilance solární tepelné soustavy		verze 2015/02																																																					
Akce:		Vypracoval:																																																					
Adresa:		Datum:																																																					
Kontakt:																																																							
Příprava teplé vody Vypočítat ze zadaných údajů		Vytápění Vypočítat ze zadaných údajů																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Měsíc</th> <th>$Q_{p,TV}$ [kWh/měs]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Led</td><td>224</td></tr> <tr><td>Úno</td><td>202</td></tr> <tr><td>Bře</td><td>224</td></tr> <tr><td>Dub</td><td>217</td></tr> <tr><td>Kvě</td><td>224</td></tr> <tr><td>Čer</td><td>217</td></tr> <tr><td>Čvc</td><td>224</td></tr> <tr><td>Srp</td><td>224</td></tr> <tr><td>Zář</td><td>217</td></tr> <tr><td>Řij</td><td>224</td></tr> <tr><td>Lis</td><td>217</td></tr> <tr><td>Pro</td><td>224</td></tr> </tbody> </table>		Měsíc	$Q_{p,TV}$ [kWh/měs]	Led	224	Úno	202	Bře	224	Dub	217	Kvě	224	Čer	217	Čvc	224	Srp	224	Zář	217	Řij	224	Lis	217	Pro	224	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Měsíc</th> <th>$Q_{p,VYT}$ [kWh/měs]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Led</td><td></td></tr> <tr><td>Úno</td><td></td></tr> <tr><td>Bře</td><td></td></tr> <tr><td>Dub</td><td></td></tr> <tr><td>Kvě</td><td></td></tr> <tr><td>Čer</td><td></td></tr> <tr><td>Čvc</td><td></td></tr> <tr><td>Srp</td><td></td></tr> <tr><td>Zář</td><td></td></tr> <tr><td>Řij</td><td></td></tr> <tr><td>Lis</td><td></td></tr> <tr><td>Pro</td><td></td></tr> </tbody> </table>		Měsíc	$Q_{p,VYT}$ [kWh/měs]	Led		Úno		Bře		Dub		Kvě		Čer		Čvc		Srp		Zář		Řij		Lis		Pro	
Měsíc	$Q_{p,TV}$ [kWh/měs]																																																						
Led	224																																																						
Úno	202																																																						
Bře	224																																																						
Dub	217																																																						
Kvě	224																																																						
Čer	217																																																						
Čvc	224																																																						
Srp	224																																																						
Zář	217																																																						
Řij	224																																																						
Lis	217																																																						
Pro	224																																																						
Měsíc	$Q_{p,VYT}$ [kWh/měs]																																																						
Led																																																							
Úno																																																							
Bře																																																							
Dub																																																							
Kvě																																																							
Čer																																																							
Čvc																																																							
Srp																																																							
Zář																																																							
Řij																																																							
Lis																																																							
Pro																																																							
<table border="1"> <tbody> <tr><td>Počet osob</td><td>4 os</td></tr> <tr><td>Potřeba teplé vody</td><td>30 l/os.d</td></tr> <tr><td>Teplota SV</td><td>10 °C</td></tr> <tr><td>Teplota TV</td><td>55 °C</td></tr> <tr><td>Letní snížení potřeby</td><td>0 %</td></tr> <tr><td>Přirážka na ztráty</td><td>15 %</td></tr> <tr><td>Zásobníkový ohřev bez cirkula</td><td></td></tr> </tbody> </table>		Počet osob	4 os	Potřeba teplé vody	30 l/os.d	Teplota SV	10 °C	Teplota TV	55 °C	Letní snížení potřeby	0 %	Přirážka na ztráty	15 %	Zásobníkový ohřev bez cirkula		<table border="1"> <tbody> <tr><td>Teplotná ztráta</td><td>10 kW</td></tr> <tr><td>Návrhová vnitřní teplota</td><td>20 °C</td></tr> <tr><td>Návrhová venk. teplota</td><td>-12 °C</td></tr> <tr><td>Teplota přívodní vody</td><td>35 °C</td></tr> <tr><td>Přirážka na ztráty</td><td>5 %</td></tr> <tr><td>Korekční součinitel</td><td>0,75</td></tr> <tr><td>Běžný standard</td><td></td></tr> </tbody> </table>		Teplotná ztráta	10 kW	Návrhová vnitřní teplota	20 °C	Návrhová venk. teplota	-12 °C	Teplota přívodní vody	35 °C	Přirážka na ztráty	5 %	Korekční součinitel	0,75	Běžný standard																									
Počet osob	4 os																																																						
Potřeba teplé vody	30 l/os.d																																																						
Teplota SV	10 °C																																																						
Teplota TV	55 °C																																																						
Letní snížení potřeby	0 %																																																						
Přirážka na ztráty	15 %																																																						
Zásobníkový ohřev bez cirkula																																																							
Teplotná ztráta	10 kW																																																						
Návrhová vnitřní teplota	20 °C																																																						
Návrhová venk. teplota	-12 °C																																																						
Teplota přívodní vody	35 °C																																																						
Přirážka na ztráty	5 %																																																						
Korekční součinitel	0,75																																																						
Běžný standard																																																							
		Bazén Vypočítat ze zadaných údajů																																																					
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Měsíc</th> <th>$Q_{p,BAZ}$ [kWh/měs]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Led</td><td></td></tr> <tr><td>Úno</td><td></td></tr> <tr><td>Bře</td><td></td></tr> <tr><td>Dub</td><td></td></tr> <tr><td>Kvě</td><td></td></tr> <tr><td>Čer</td><td></td></tr> <tr><td>Čvc</td><td></td></tr> <tr><td>Srp</td><td></td></tr> <tr><td>Zář</td><td></td></tr> <tr><td>Řij</td><td></td></tr> <tr><td>Lis</td><td></td></tr> <tr><td>Pro</td><td></td></tr> </tbody> </table>		Měsíc	$Q_{p,BAZ}$ [kWh/měs]	Led		Úno		Bře		Dub		Kvě		Čer		Čvc		Srp		Zář		Řij		Lis		Pro																											
Měsíc	$Q_{p,BAZ}$ [kWh/měs]																																																						
Led																																																							
Úno																																																							
Bře																																																							
Dub																																																							
Kvě																																																							
Čer																																																							
Čvc																																																							
Srp																																																							
Zář																																																							
Řij																																																							
Lis																																																							
Pro																																																							
		<table border="1"> <tbody> <tr><td>Vnější zakrývaný</td><td></td></tr> <tr><td>Plocha bazénu</td><td>12,5 m²</td></tr> <tr><td>Provozní doba</td><td>12 h/den</td></tr> <tr><td>Teplota vody (den)</td><td>28 °C</td></tr> <tr><td>Teplota vody (noc)</td><td>24 °C</td></tr> <tr><td>Teplota vzduchu (den)</td><td>28 °C</td></tr> <tr><td>Teplota vzduchu (noc)</td><td>20 °C</td></tr> <tr><td>Počet návštěvníků</td><td>120 os/m</td></tr> </tbody> </table>		Vnější zakrývaný		Plocha bazénu	12,5 m ²	Provozní doba	12 h/den	Teplota vody (den)	28 °C	Teplota vody (noc)	24 °C	Teplota vzduchu (den)	28 °C	Teplota vzduchu (noc)	20 °C	Počet návštěvníků	120 os/m																																				
Vnější zakrývaný																																																							
Plocha bazénu	12,5 m ²																																																						
Provozní doba	12 h/den																																																						
Teplota vody (den)	28 °C																																																						
Teplota vody (noc)	24 °C																																																						
Teplota vzduchu (den)	28 °C																																																						
Teplota vzduchu (noc)	20 °C																																																						
Počet návštěvníků	120 os/m																																																						

Obr. č. 15 – Zjednodušená měsíční bilance solární tepelné soustavy; [8]

V druhé sekci, zobrazeno níže (obr. č. 16) je potřeba zadat dle technického listu kolektoru (příloha č. 1) příslušné a potřebné hodnoty parametrů k dosažení přepočtů a kontroly mých hodnot (znázorněno červeně). Jakmile jsou všechny tyto parametry zaznamenány, stisknutím tlačítka „PŘEPOČET HODNOT A KONTROLA“ (znázorněno zeleně) získáme přepočtené výsledné hodnoty (znázorněno modře). Ze souhrnných výsledků, kde jsou zaznamenány tři hlavní parametry solární soustavy, usuzuji, že jsem při výpočtech postupoval správně. [8]

Specifikace solárního kolektoru a solární soustavy

Druh: plochý Typ: Buderus SKN 4.0

Optická účinnost η_0 0,8 -
 Koefficient ztráty a_1 3,85 W/m²K
 Koefficient ztráty a_2 0,0145 W/m²K²
 Vztažná plocha kolektoru 1,92 m²
 Počet kolektorů 2 ks
 Plocha kolektorového pole 3,8 m²

Příprava teplé vody
 Střední denní teplota v solárních kolektorech 41 °C
 Srážka z tepelných zisků vlivem tepelných ztrát 21 %
 Plocha apertury kolektoru 1,92 m²
 Sklon kolektorů 45°
 Azimut kolektorů 0°

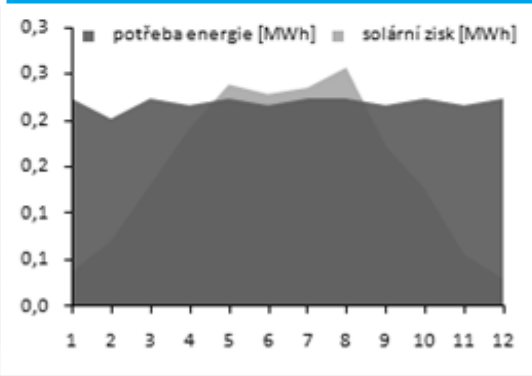
Výsledky výpočtu

PŘEPOČET HODNOT A KONTROLA

Souhrnné výsledky

Měsíc	t_{es} °C	G_m W/m ²	H_T kWh/m ²	η_k -	Q_p MWh	$Q_{k,u}$ MWh	$Q_{s,u}$ MWh
Led	1,8	418	36	0,39	0,22	0,04	0,04
Úno	2,7	489	57	0,45	0,20	0,07	0,07
Bře	6,3	535	93	0,52	0,22	0,13	0,13
Dub	10,7	527	127	0,55	0,22	0,19	0,19
Kvě	16,0	521	147	0,60	0,22	0,24	0,22
Čer	18,6	517	136	0,62	0,22	0,23	0,22
Čvc	20,5	512	137	0,63	0,22	0,24	0,22
Srp	21,1	515	148	0,64	0,22	0,26	0,22
Zář	17,1	516	105	0,61	0,22	0,17	0,17
Říj	11,7	488	86	0,54	0,22	0,13	0,13
Lis	6,4	427	46	0,45	0,22	0,06	0,06
Pro	3,6	387	29	0,38	0,22	0,03	0,03
Celkem			1147		2,64		1,70

Energetický zisk soustavy	1,70	MWh/rok
Měrný solární zisk	444	kWh/m ² .rok
Solární pokrytí	64,6	%



Výpočetní nástroj v souladu s TNI 73 0302:2014

Autoři: T. Matuška, B. Šourek, 2015

Obr. č. 16 – Souhrnné výsledky se třemi hlavními parametry solární tepelné soustavy; [8]

4.10 Vyhodnocení návrhu z environmentálního hlediska

V předchozí části práce jsem si vypočetl měsíční potřebu tepla k přípravě teplé vody, která činí 216,315 [kWh] tzn. 2595,78 [kWh] ročně. Abych toho docílil je zapotřebí spálení 36 [kg] černého uhlí za měsíc o výhřevnosti 29,21 [MJ·kg⁻¹]. Účinnost automatických kotlů při použití černého uhlí je 86%, z důvodu toho, že náš kotel má cca 10 let budu počítat s účinnosti 75%. [4], [9]

Abych dosáhl výsledku kolik ročně potřebuji k ohřátí vody uhlí, musím nejprve vynásobit výše uvedené množství paliva - 36 [kg] – počtem měsíců v roce.

$$M_r = M_m \cdot 12, \quad [\text{kg}] \quad (20)$$

kde:

- M_r = množství potřebného paliva za rok [kg],
- M_m = množství potřebného paliva za měsíc [kg],
- 12 = počet měsíců v roce [-],

$$M_r = 36 \cdot 12 = 432 \text{ [kg]}.$$

Díky ohřevu vody mnou navrženým solárním systémem jsem snížil potřebu zatápění v automatickém kotli, čili budu ohleduplnější k životnímu prostředí. Při zatápění černým uhlím a jiných paliv vylétávají z komína do ovzduší znečišťující látky, které jsou pro zdraví nežádoucí. Já se v další části budu zabývat výpočty, kolik emisí bych vypustil do ovzduší ročně, kdybych i nadále topil v kotli černým uhlím. [4]

Znečišťující látky:

- TZL = tuhé znečišťující látky,
- SO_2 = oxid siřičitý,
- NO_x = oxid uhelnatý,
- CO = oxid uhelnatý,
- Organické látky = jako $\Sigma\text{C}_x\text{H}_y$,
- CO_2 = oxid uhličitý,

Uvedená tabulka níže (tab. č. 10) vyobrazuje emisní faktory při spalování tuhých paliv, u mých výpočtů se bude jednat o černé uhlí.

Tab. č. 10 – Emisní faktory při spalování tuhých paliv pro černé uhlí; [4]

Druh paliva	Druh topeniště	Emisní faktory v [kg/t] spáleného paliva					
		Tepelný výkon	TL	SO_2	NO_x	CO	Org. látky
Černé uhlí	Pevný rošt	<5 MW	$1,0 \cdot A_p$	$19,0 \cdot S_p$	2	45	8,9

V kolonce u tuhých znečišťujících látek a oxidu siřičitého je přidán koeficient. U tuhých znečišťujících látek je to A_p a u oxidu siřičitého S_p . Jedná se o obsah popela a síry v původním vzorku tuhých paliv, kde záleží na velikosti zrn tzv. granulaci. V mé práci budu počítat s granulací 40 – 100 mm, tedy budou koeficienty následující: [4]

- A_p – obsah popela v původním vzorku tuhých paliv = 9 [%]
- S_p – obsah síry v původním vzorku tuhých paliv = 0,8 [%]

V předešlém výpočtu (20) jsem zjistil, že budu potřebovat ročně 432 [kg] tj. 0,432 [t] černého uhlí pro přípravu teplé vody. Čili sumu 0,432 [t] vynásobím hodnotami, které přísluší jednotlivým znečišťujícím látkám (tab. č. 10). Výsledek mi zodpoví, kolik kilogramů znečišťujících látek za rok vypustím do ovzduší. [4]

Tuhé znečišťující látky:

$$Q_{TZL} = 1,0 \cdot A_p \cdot 0,432, \quad [\text{kg}] \quad (21)$$

$$Q_{TZL} = 1,0 \cdot 9 \cdot 0,432 = 3,888 \text{ [kg]}.$$

Oxid siřičitý:

$$Q_{SO_2} = 19,0 \cdot S_p \cdot 0,432, \quad [\text{kg}] \quad (22)$$

$$Q_{SO_2} = 19,0 \cdot 0,8 \cdot 0,432 = 6,566 \text{ [kg]}.$$

Oxidy dusíku:

$$Q_{NOX} = 2,0 \cdot 0,432, \quad [\text{kg}] \quad (23)$$

$$Q_{NOX} = 0,864 \text{ [kg]}.$$

Oxid uhelnatý:

$$Q_{CO} = 45,0 \cdot 0,432, \quad [\text{kg}] \quad (24)$$

$$Q_{CO} = 19,44 \text{ [kg]}.$$

Organické látky:

$$Q_{Org.} = 8,90 \cdot 0,432, \quad [\text{kg}] \quad (25)$$

$$Q_{Org.} = 3,845 \text{ [kg]}.$$

Pro výpočet emisního faktoru CO₂ – oxidu uhličitého pro černé uhlí, se uvádí všeobecný vzorec – černé uhlí 0,33 t CO₂/MWh výhřevnosti paliva. Po úpravě pak dostanu následující vztah: [4]

$$Q_{CO_2} = \frac{0,33}{3600} \cdot Q_i \cdot 432, \quad [\text{kg}] \quad (26)$$

kde:

- Q_i – výhřevnost černého uhlí 29,21 [MJ·kg⁻¹]

$$Q_{CO_2} = \frac{0,33}{3600} \cdot 29,21 \cdot 432 = 1,157 \text{ [t}_{CO_2}]$$

Ze vzorce, kde jsem si vypočetl skutečný solární zisk ze solárního systému, jsem díky solárního podílu přišel na to, že mnou navržený solární systém pokryje 65 % potřeby tepla pro přípravu teplé vody (17). Čili 35 % musím vyplnit dodáním a spálením černého uhlí, což činí asi 151 kg ročně. Nyní se teda budu zabývat výpočtem emisí vzniklé po spálení tohoto množství paliva. Postup výpočtu je obdobný jako předešlý, uvedu tedy pouze výsledné hodnoty. [4], [9]

Tuhé znečišťující látky:

$$Q_{TZL} = 1,0 \cdot 9 \cdot 0,151 = 1,359 \text{ [kg]}.$$

Oxid siřičitý:

$$Q_{SO_2} = 19,0 \cdot 0,8 \cdot 0,151 = 2,295 \text{ [kg]}.$$

Oxidy dusíku:

$$Q_{NOX} = 0,302 \text{ [kg]}.$$

Oxid uhelnatý:

$$Q_{CO} = 6,795 \text{ [kg]}.$$

Organické látky:

$$Q_{Org} = 1,344 \text{ [kg]}.$$

Oxid uhličitý:

$$Q_{CO_2} = 404 \text{ [kg]}.$$

Nyní jsem zjistil, kolik bych měl teoreticky ušetřit vypouštění splodin do ovzduší ročně díky použití slunečních kolektorů. Avšak, abych docílil skutečné hodnoty, musím od výše vypočtených emisí odečíst emise, vzniklé čerpadlem. Dnes už jsou nová, účinnější čerpadla, tudíž čerpadlo odebere 1 % energie, což činí 17,65 [kWh], tj. 0,0635 [GJ]. Následně touto hodnotou vynásobím příslušnými koeficienty pro jednotlivé znečišťující látky, které jsou uvedeny v tabulce níže.(tab. č. 11). [4]

Tab. č. 11 – Emisní faktory pro systémovou elektřinu; [4]

Typ zdroje emisí	Emisní faktory pro systémovou elektřinu [kg/GJ]					
	TZL	SO ₂	NO _x	CO	Organické látky	CO ₂
Elektřina - systémové zdroje (včetně jaderných a vodních)	0,02591	0,48937	0,41569	0,0393	0,03086	325

Postup výpočtu je obdobný jako předešlý, uvedy tedy pouze výsledné hodnoty.

Tuhé znečišťující látky:

$$Q_{TZL} = 0,0635 \cdot 0,02591 = 0,002 \text{ [kg]}.$$

Oxid siřičitý:

$$Q_{SO_2} = 0,031 \text{ [kg]}.$$

Oxidy dusíku:

$$Q_{NO_x} = 0,026 \text{ [kg]}.$$

Oxid uhelnatý:

$$Q_{CO} = 0,0025 \text{ [kg]}.$$

Organické látky:

$$Q_{Org} = 0,002 \text{ [kg]}.$$

Při výpočtu emisního faktoru CO₂ - oxidu uhličitého pro systémovou elektřinu, se uvádí všeobecný vzorec - elektřina 1,17 t CO₂/MWh elektřiny, kde musím brát zřetel na spotřebovanou energii oběhovým čerpadlem, která činí 17,65 [kWh]. Po úpravě pak dostanu tento vztah. [4]

Oxid uhličitý:

$$Q_{\text{CO}_2} = \frac{17,65}{1000} \cdot 1,17 \cdot 1000 = 20,650 \text{ [kg}_{\text{CO}_2}\text{]}$$

Ve sloupci „Konečný stav“ jsou výsledné emise sečteny a zapsány do tabulky níže (tab. č. 12). Ve sloupci „Rozdíl hodnot“ znaménko mínus vyjadřuje o kolik méně spalin vypustím za rok do ovzduší.

Tab. č. 12– Souhrn výsledných emisí; Vlastní zpracování.

Znečišťující látka	Výchozí stav [kg/rok]	Konečný stav [kg/rok]	Rozdíl hodnot [kg/rok]
TZL	3,888	1,361	-2,527
SO ₂	6,566	2,326	-4,240
NO _x	0,864	0,328	-0,536
CO	19,44	6,798	-12,642
Organické látky	3,845	1,346	-2,499
CO ₂	1 157	424,65	-732,350

4.11 Vyhodnocení návrhu z ekonomického hlediska

Abych splnil nároky ohřevu teplé vody pro naši čtyřčlenou rodinu v našem domě, je k tomu zapotřebí 432 [kg] černého uhlí. Pro její přípravu z tohoto množství pokryje mnou navržený solární systém 65 [%] energie, tj. zhruba 281 [kg] černého uhlí.

Cena černého uhlí dle informačních tabulek pro rok 2016 činí 5,50 [Kč] za jeden kilogram. Tudíž, tuto cenu nyní vynásobím množstvím ušetřeného paliva, tj. 281 [kg].

Výsledně zjistím, kolik korun ročně ušetřím díky použití tohoto solárního systému. [4], [9], [11]

$$RU = 281 \cdot 5,5, \quad [\text{Kč}] \quad (27)$$

kde:

- RU = roční úspora [Kč],
- 294 = ušetřené množství paliva za rok [kg],
- 5,5 = cena černého uhlí za jeden kilogram [Kč],

$$RU = 281 \cdot 5,5 = 1546 \text{ [Kč]}.$$

4.11.1 Volba čerpadla a zásobníku teplé vody:

Dostávám se k celkovému součtu investičních nákladů pro mou solární soustavu. V předešlých výpočtech jsem stanovil, že bude zapotřebí 2 [ks] slunečních kolektorů Regulus KPC1H+. Cena kusu tohoto kolektoru činí 9 719 [Kč]. Dalším zařízením, které budu potřebovat je čerpadlo, které mi uvede do pohybu v celém systému teplotnosnou kapalinu. Zvolil jsem si čerpadlo Regulus S1 Solar, ST 25/6, 1“, cena činí 6 033 [Kč]. Poslední součást, kterou budu uvádět do výpočtu je zásobník teplé vody. Já jsem si zvolil Regulus RBC 200 [l], z důvodu úsporné potřeby vody v naší rodině. Cena tohoto zásobníku je 21 030 [Kč]. Pro podrobnější charakteristiku přikládám v příloze č. 2 technický list mnou zvoleného zásobníku. Celkovou investici tedy vypočtu dle následujícího vztahu: [4], [7], [10], [12]

$$CI = (2 \cdot K) + \check{C} + Z, \quad [\text{Kč}] \quad (28)$$

kde:

- CI = celkové investiční náklady na mou solární soustavu [Kč],
- K = cena jednoho kusu solárního kolektoru KPC1 + [Kč],
- \check{C} = cena oběhového čerpadla [Kč],
- Z = cena zásobníku teplé vody [Kč],

$$CI = 2 \cdot 9\,719 + 6\,033 + 21\,030$$

$$CI = 46\,501 \text{ [Kč]}.$$

Z toho důvodu, že jsem do předešlého výpočtu (28) nezahrnul náklady na všechna příslušenství od rozvodů, pojistných ventilů, expanzních nádob po náklady na nemrznoucí směs, tudíž zaokrouhluji celkovou investici a její náklady na **55 000 [Kč]**.

4.11.2 Doba návratnosti

Zprvu si musím vypočítat prostou dobu návratnosti, a to jednoduchým způsobem, že podělím celkové investiční náklady (28) roční úsporou (27).

$$\tau_p = \frac{CI}{RU} \quad [r] \quad (29)$$

kde:

- CI = celkové investiční náklady na mou solární soustavu [Kč],
- RU = roční úspora [Kč],
- τ_p = prostá doba návratnosti [r],

$$\tau_p = \frac{55\,000}{1546} = 35,5 [r].$$

U mnou zvoleného kolektoru výrobce uvádí, že díky použití kvalitních materiálů se tyto produkty vyznačují dlouhodobou životností a to 25 až 27 let. I v tomto případě by pro náš dům byla investice zbytečná, jelikož doba návratnosti je vyšší než životnost zařízení. [7]

4.11.3 Dotace ze SFŽP

Ve výpočtu výše jsem zjistil a také zmínil, že prostá doba návratnosti je větší než životnost zařízení, v tom případě se dá obrátit na Státní fond životního prostředí, který umožňuje dotace na solární systémy pro přípravu teplé vody a to ve výši až 50 % a maximálně 35 000 Kč. Pro mnou navržený solární systém bude výpočet vypadat takto. [13]

$$D = CI \cdot d, \quad [Kč] \quad (30)$$

kde:

- D = výsledné dotace Státního fondu životního prostředí [Kč],
- CI = celkové investiční náklady na mou solární soustavu [Kč],

- $d =$ výše dotace [%],

$$D = 55\,000 \cdot \frac{50}{100} = 27\,500 \text{ [Kč]}.$$

Nyní mohu opět vypočítat prostou dobu návratnosti, teď však pouze s polovinou původní celkové investice a to díky dotacím ze Státního fondu životního prostředí. [13]

$$\tau_{pd} = \frac{D}{RU} \text{ [r]}, \quad \text{[r]} \quad (31)$$

kde:

- τ_{pd} = dotovaná prostá doba návratnosti[r],
- D = výsledné dotace Státního fondu životního prostředí [Kč],
- RU = roční úspora [Kč],

$$\tau_{pd} = \frac{27\,500}{1546} = 17,8 \text{ [r]}.$$

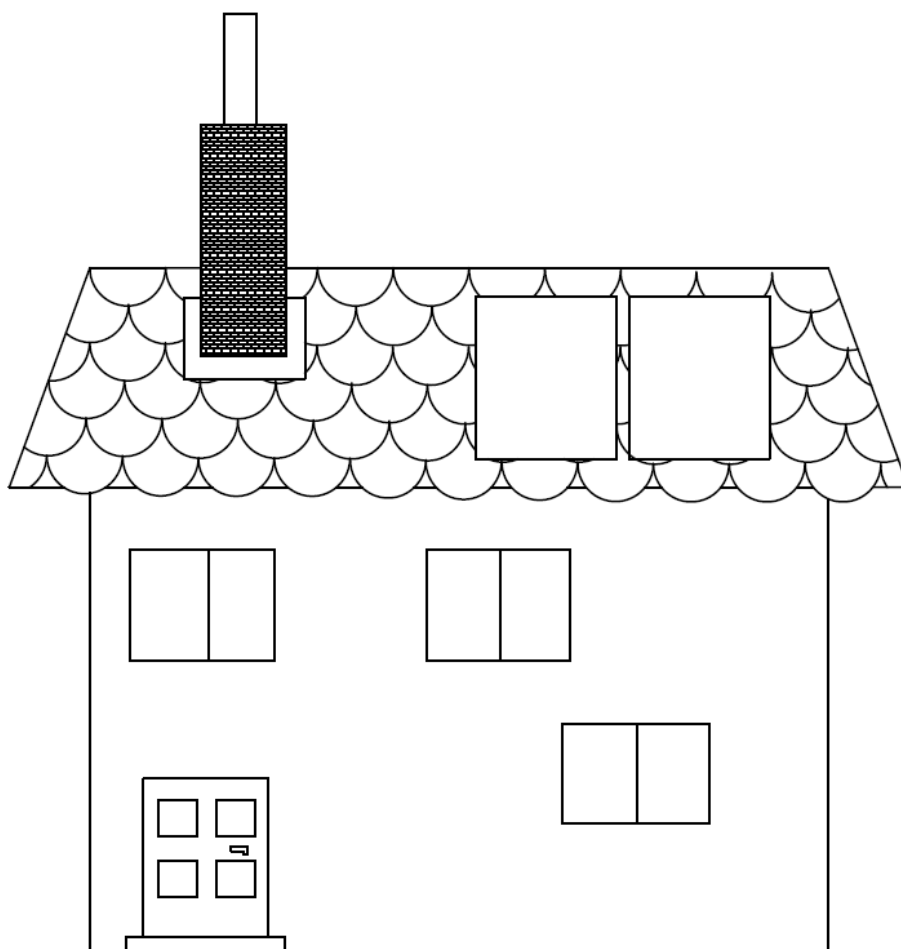
Po dokončení výpočtu je zřejmé, že dotovaná prostá doba návratnosti je menší než doba životnosti solárních kolektorů. Tudíž vyvozují, že tato solární soustava a její aplikace na náš rodinný dům je výhodná pouze v případě žádosti Státního fondu životního prostředí o dotaci ve plné výši 50 %. [13]

Další z postupů je výpočet pro tzv. diskontovanou dobu, ale z toho důvodu, že solární systémy jsou dlouhodobá investice, byl by tento výpočet velmi nejistý. [4]

5 Grafická část

Abych docílil požadované funkčnosti zapojení celé solární soustavy pro ohřev teplé vody zvolil jsem si soustavu s nuceným oběhem, tedy soustavu kde proudící teplotnosnou kapalinu v kolektorech uvažím do pohybu oběhové čerpadlo. Jak už bylo zmíněno výše, já osobně budu pořizovat čerpadlo Regulus S1 Solar, ST 25/6, 1“. Schéma zapojení celé soustavy pro ohřev teplé vody obsahující také popisky všech příslušenství uvádím v příloze č.3.

Pro reálnou představivost přikládám nákres našeho rodinného domku (obr. č. 17). Solární kolektory budou aplikovány na pravé straně střechy našeho domku. Kolektory budou situovány na jižní stranu a to z důvodu co největšího využití slunečního záření.



Obr. č. 17 – Aplikace kolektorů na jižní stranu; Vlastní zpracování

6 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vyhodnotit, zdali instalace solárního systému na náš rodinný dům bude tím správným řešením po stránce environmentální i ekonomické.

Dle závěrečného vyhodnocení z kapitoly 4.10 je zřejmé, že díky mnou zvoleného solárního systému s aplikováním kolektoru Regulus KPC1H + a oběhového čerpadla Regulus S1 Solar. ST 25/6, 1“ nastane průměrný pokles o 50 – 75 [%] všech znečišťujících látek, které vypouštím do ovzduší při spalování černého uhlí.

Z ekonomické stránky, kapitola 4.11 jsou náklady na mou solární soustavu včetně všech příslušenství 55 000 [Kč]. Výpočty prosté doby návratnosti ukázaly, že návratnost investice do celé solární soustavy je třicet pět a půl let, kdežto životnost této soustavy je dvacet pět až dvacet sedm let. V tomto případě by investice do tohoto projektu byla bezúčelná.

Z toho důvodu jsem se obrátil na SFŽP, který umožňuje dotace na solární systémy pro přípravu teplé vody ve výši 50% a maximálně 35 000 [Kč]. Z výpočtu pro „dotovanou“ prostou dobu návratnosti je zřejmé, že doba návratnosti investice pro celou solární soustavu se snížila o polovinu, tedy na necelých osmnáct let. Čili závěrem vyvozují, že mnou navržená solární soustava je výhodná i z ekonomického hlediska, pouze za předpokladu žádosti SFŽP o dotaci v plné možné výši 50 [%].

S úctou si dovoluji poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Mojmiru Vrtkovi, Ph. D. za veškerou odbornou pomoc, vedení a připomínky k této bakalářské práci.

7 Seznam použité literatury

- [1] MATUŠKA, Tomáš. *Solární tepelné soustavy*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 978-80-02-02186-5.
- [2] MATUŠKA, Tomáš. *Alternativní zdroje energie*. Praha, 2010
- [3] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Praha: T. Malina, 1994. ISBN 80-900-7595-9.
- [4] Informační podklady k předmětu AOZE
- [5] KAMINSKÝ, Jaroslav a Mojmír VRTEK. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1998. ISBN 80-707-8445-8.
- [6] Účinnost vakuových trubkových solárních kolektorů: Vakuové trubkové kolektory. *Tzb-info.cz* [online]. 2008 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4903-ucinnost-vakuovych-trubkovych-solarnich-kolektoru->
- [7] Sluneční kolektor: KPC1+. *Regulus* [online]. Praha, 2015 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/slunecni-kolektor-kpc1>
- [8] *Solární termické soustavy pro bytové domy* [online]. Praha, 2015 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/matuska_solar_BD_ECCB2015.pdf
- [9] Porovnání nákladů na vytápění podle druhů paliva. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-tzb-info>
- [10] Čerpadlová skupina S1 Solar, ST 25/6, 1“ [online]. *Regulus* [cit. 2016-05-05]. Dostupné z <http://www.regulus.cz/cz/cerpadlova-skupina-s1-solar-25-6-1>
- [11] Cena černého uhlí. *Prodejuhli* [online]. 2016 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.prodejuhlicz.cz/>
- [12] Zásobník: RBC 200. *Regulus* [online]. Praha, 2015 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/zasobnik-rbc-200>
- [13] Dotace na solární systémy pro přípravu teplé vody. *Nová zelená úsporám* [online]. Praha, 2016 [cit.2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/podminky-oblasti-podpory-c-3-vyzva/>

8 Seznam tabulek

1. Měrná doba slunečního svitu	33
2. Teoretický možná energie dopadající za den na různě nakloněné plochy v jednotlivých měsících	34
3. Skutečné sluneční záření pro jednotlivé měsíce	34
4. Teoretická doba slunečního svitu v charakteristických dnech jednotlivých měsíců	36
5. Střední hodnota intenzity slunečního záření v jednotlivých měsících.....	37
6. Střední teplota okolí v době slunečního svitu	37
7. Hodnoty účinnostní charakteristiky kolektoru pro jednotlivé měsíc	38
8. Hodnoty měrných tepelných zisků kolektorů pro jednotlivé měsíce.....	39
9. Hodnoty energetické bilance přebytků a nedostatků v jednotlivých měsících.....	42
10. Emisní faktory při spalování tuhých paliv pro černé uhlí.....	49
11. Emisní faktory pro systémovou elektřinu	52
12. Souhrn výsledných emisí	53

9 Seznam grafů

1. Znázornění přebytků a nedostatků v jednotlivých měsících.....	43
--	----

10 Seznam příloh

Příloha č. 1 – Technický list kolektoru KPC1H+ (vložený)

Příloha č. 2 – Technický list zásobníkového ohřívače vody Regulus RBC 200 (vložený)

Příloha č. 3 – Schéma zapojení solární soustavy pro ohřev TUV (vložený)