

Bakalářská práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F1**

Fakulta stavební  
Katedra technických zařízení budov

# Malé solární systémy pro přípravu teplé vody

Jiří Folwarczný

Květen 2016

Vedoucí práce: Ing. Stanislav Frolík, Ph.D.





ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

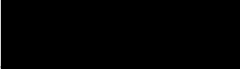

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Folwarczny	Jméno: Jiří	Osobní číslo: 396481
Zadávací katedra: Katedra technických zařízení budov		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Malé solární systémy pro přípravu teplé vody	
Název bakalářské práce anglicky: Small solar collector systems for hot water preparation	
Pokyny pro vypracování: 1. Rešerše dostupných technologií na trhu a jejich zastoupení, problematika solárních systémů pro přípravu teplé vody. 2. Popis výpočtových variant a sestavení výpočetního programu pro bilancování solárních soustav. 3. Řešení problému stagnace solárních soustav a poruch vzniklých nerovnoměrností odběru energie. 4. Návrh a vytvoření projektové dokumentace vybrané vypočtené varianty solární soustavy.	
Seznam doporučené literatury: MATUŠKA, Tomáš. Solární tepelné soustavy. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 978-80-02-02186-5.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Stanislav Frolík, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 29.2.2016	Termín odevzdání bakalářské práce: 20.5.2016
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

13.2016 Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
----------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------



## / Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 1. 5. 2016

.....

## Abstrakt / Abstract

Každé investici by mělo předcházet vyhodnocení její ekonomické návratnosti. Nejinak je tomu i u investic do solárních technologií, kterými se zabývá tato práce. Z na trhu dostupných technologií byly sestaveny výpočtové varianty pro různě veliké domácnosti a stanovena jejich doba návratnosti. Výhodnost těchto variant byla následně okomentována.

Every investment should be made after thorough calculation of its payback period and profitability. The same rule applies for investments to the solar technologies, which is the topic of this thesis. These calculations have been made for various common solutions on the market and the results have been discussed.

# Obsah /

<b>1 Úvod</b> .....	1
<b>2 Dostupné technologie na trhu</b> ....	3
2.1 Solární kolektory .....	3
2.1.1 Ploché solární kolektory ...	3
2.1.2 Nezakryté solární kolektory .....	4
2.1.3 Trubkové vakuové solární kolektory .....	4
2.1.4 Ploché vakuové solární kolektory .....	4
2.1.5 Koncentrační solární kolektory .....	5
2.2 Solární články .....	5
2.2.1 Monokrystalické články ....	5
2.2.2 Polykrystalické články ....	5
2.2.3 Články z amorfního křemíku .....	6
<b>3 Stagnace solárních soustav</b> .....	7
3.1 Stagnační teplota .....	7
3.2 Ochrana proti problémům se stagnací.....	8
3.2.1 Vyprazdňovací schopnost kolektorů.....	8
3.2.2 Poloha zpětné klapky .....	8
3.2.3 Expanzní nádoba .....	9
3.2.4 Teplonosná kapalina .....	9
3.2.5 Jiné způsoby .....	9
<b>4 Metody výpočtu pro solární kolektor</b> .....	11
4.1 Zjednodušené výpočty energetických přínosů .....	11
4.1.1 Zjednodušená měsíční bilanční metoda (TNI 73 0302) .....	11
4.1.2 Metoda $f$ -chart .....	12
4.2 Počítačové simulace solárních soustav .....	12
<b>5 Metody výpočtu pro solární článek</b> .....	15
5.1 Postup podle ČSN EN 15316-4-6 .....	15
5.2 Zjednodušená bilanční metoda .....	15
<b>6 Popis výpočtových variant</b> .....	19
<b>7 Popis výpočtového programu</b> ...	21
7.1 Výpočet pro kolektor .....	21
7.1.1 Potřeba teplé vody a energie.....	21
7.1.2 Klimatická data.....	22
7.1.3 Výpočet solárních zisků .	23
7.1.4 Výpočet ekonomické návratnosti .....	25
7.2 Výpočet pro fotovoltaický panel.....	26
7.2.1 Potřeba teplé vody a energie.....	26
7.2.2 Klimatická data.....	26
7.2.3 Výpočet solárních zisků .	26
7.2.4 Výpočet ekonomické návratnosti .....	28
<b>8 Vyhodnocení</b> .....	29
<b>9 Závěr</b> .....	33
<b>Literatura</b> .....	34
<b>A Výkresová dokumentace varianty 6</b> .....	35

## Tabulky /

3.1. Stagnační teploty.....	7
6.1. Výpočtové varianty .....	19
8.1. Přehled výsledků .....	29



# Kapitola 1

## Úvod

Krátce před mým studiem a během jeho prvních let vrcholil boom obnovitelných zdrojů energie podporovaný dotačním programem Zelená úsporám. Během krátké doby bylo možné pozorovat mnoho instalací v mém okolí a to jak solárních kolektorů (pro přípravu teplé vody a případně vytápění), tak fotovoltaických článků a elektráren (pro výrobu a zpětný prodej elektrické energie). Příchodem léta bylo také možno pozorovat, zda byly soustavy optimálně navrženy – tedy jestli se uživatelé nepotýkali s problémem přebytku teplé vody a nemožnosti jejího využití.

Je zřejmé, že vlivem dotací se doba návratnosti investic podstatně zkrátila a začaly o nich tak uvažovat i domácnosti, u kterých je předpoklad problémů s využitím produkované energie – typicky domácnosti starších párů s malou spotřebou teplé vody.

Cílem této práce je výpočtem rozhodnout, zda má smysl investovat do solárních technologií pro různě veliké domácnosti při očekávání rozumné doby návratnosti (10 let) a vyvarování se problémům s přebytkem teplé vody. Pro to bude potřeba vytvořit varianty s odstupňovaným počtem osob v domácnosti, s různými použitými technologiemi a s různými sklony instalovaných panelů, či kolektorů. Kromě tohoto vyhodnocení bude také zhodnoceno, která varianta vychází finančně nejlépe (dle nekratší doby návratnosti). Předpoklad je, že to bude varianta s nejvyšším počtem osob (a tedy i největší spotřebou) a nejlepší použitou technologií.

Ve výpočtech budu uvažovat modelovou situaci domácnosti, která se rozhoduje o investici do obnovitelných zdrojů z důvodu ušetření části nákladů rodinného domu. Předpokládám tedy existující systém na přípravu teplé vody, ke kterému bude navržený sloužit jako doplněk. Stejně tak budu za referenční sazby cen energií uvažovat reálné ceny placené dle celoročních faktur odběru (tedy včetně započítání paušálních plateb, např. za jističe u odběru elektřiny).



## Kapitola 2

# Dostupné technologie na trhu

V úvahu připadají dvě kategorie použitelných technologií – **solární (fototermické) kolektory** a **solární (fotovoltaické) články**. Obě tyto technologie jsou podporované programem Nová zelená úsporám a po předchozí vlně instalací jsou u nás rozšířené a veřejnosti známé.

### 2.1 Solární kolektory

Pojmem solární kolektor se označuje zařízení, které pohlcuje dopadající sluneční záření a následně ho přeměňuje na tepelnou energii, která je předávána tekutině protékající kolektorem takovou rychlostí, aby došlo k ideálnímu přenosu tepla. Z důvodu časté záměny s fotovoltaickými panely se od užívání pojmu „panel“ upustilo.

Většina na trhu dostupných kolektorů používá za teplotnosnou tekutinu kapalinu (směs vody a nemrznoucích látek – např. Friterm, dříve i Fridex, Solaren 30 atd. [4]). Takové kolektory sestávají z rámu s případným zasklením (kvůli omezení tepelných ztrát), kovového absorbéru, sestavy trubek s teplotnosnou kapalinou a vrstev tepelné izolace na zadní a bočních stranách (nepřijímané sluneční záření by zde opět vedlo k tepelným ztrátám).

#### 2.1.1 Ploché solární kolektory

Nejrozšířenějším typem jsou kolektory ploché atmosférické s jednoduchým zasklením. Ročně se jich u nás instaluje více než 70 tis. m<sup>2</sup> a tvoří tak zhruba 80 % trhu [1]. Tepelně vodivý absorbér může být tvořený souvislou vrstvou jednoho plechu (celoplošný) nebo rozdělený do několika lamel. Na tuto plochu je poté navařena nebo nalisována sestava trubek, v nichž bude kolovat kapalina odvádějící teplo z kolektoru dále do soustavy.

Naprostá většina na trhu dostupných kolektorů využívá absorbérů se selektivním povrchem. Takový povrch se vyznačuje vysokou pohltivostí dopadajícího záření a zároveň jeho nízkým vyzařováním ve formě sálání. Pro zamezení degradace materiálů uvnitř kolektoru je vhodné buď umožnit proudění vzduchu soustavou otvorů v rámu, nebo rám těsně uzavřít a zabránit tak průchodu vlhkosti dovnitř.

Nejčastější bývá umístění na jižní stranu střechy, se sklonem 45°, který přináší největší solární zisky. Umístění je samozřejmě možné i na fasádu, což je ale varianta prováděná spíše na bytových domech a v zahraničí (s ohledem na solární zisky je instalace kolektorů pod úhlem 90° neekonomická).

Vhodnou variantou může být i integrace kolektorů do střešního pláště. Kromě prvku architektonického má i několik dalších pozitivních efektů na budovu – nabízí možnost využití zimních pasivních zisků, snížení prostupu tepla střešním pláštěm, vyšší účinnost kolektoru při kontaktu se zateplovací vrstvou střešního pláště atd.

Nevýhodou oproti vakuovým kolektorům jsou větší tepelné ztráty a možnost kondenzace vodní páry uvnitř kolektoru, což vede ke snížení účinnosti systému.

### ■ 2.1.2 Nezakryté solární kolektory

Kolektory s absorberem vystaveným povětrnostním vlivům (bez zasklení) se nazývají nezakryté a využívají dopadající sluneční energii pouze sezónně. Navzdory lepším optickým vlastnostem trpí tyto kolektory výraznými tepelnými ztrátami. Tyto ztráty se navíc zvyšují s rostoucí rychlostí větru.

Používají se zejména pro ohřev vody do venkovních bazénů nebo přehřev studené vody u malých soustav (typicky objekty v zahrádkářských koloniích). Mohou být zhotoveny z plastu (polypropylen) nebo kovu, který vykazuje vyšší odolnost povětrnostním vlivům a delší trvanlivost.

### ■ 2.1.3 Trubkové vakuové solární kolektory

Jako trubkové vakuové se označují takové kolektory, jejichž zasklení má tvar válce a v prostoru mezi absorberem a zasklením je dosaženo velmi nízkého tlaku. Díky tomuto vakuu uvnitř trubice je zabráněno tepelným ztrátám prouděním do okolí. To znamená, že na povrchu si kolektor udržuje teplotu okolí. Při porušení vakua lze tedy závadu snadno pozorovat. Vzhledem k nižším ztrátám je dosaženo vyšší účinnosti než v případě plochých kolektorů. Absence těchto ztrát ale způsobuje, že kolektory jsou nefunkční při námraze nebo zasypání sněhem.

Dle použité technologie je lze rozdělit na **přímo protékané** a **obsahující tepelnou trubici**. Přímo protékané předávají teplo kolující teplotonosné kapalině, zatímco v kolektorech s tepelnou trubicí se médium na absorberu vypařuje a teplo předává na konci sestavy, v kondenzační části. Tímto předáním se ochladí, zkapalní a ztéká zpět do výparnickové části. Jako médium může sloužit voda (čistá nebo s příměsí) nebo líh.

Dle jejich konstrukce je můžeme dále rozdělit na **jednotěnné s plochým absorberem** a **dvoutěnné s válcovým absorberem (typ Sydney)**.

Vakuové kolektory s jednotěnnou trubicí jsou tradičním typem kolektorů používaných v USA a v Evropě. Absorbér má podobu ploché destičky. Na absorbér je přivařena trubka, ve které koluje teplotonosná kapalina. Vakuum, společně s kvalitně provedeným navařením trubky na absorbér, zajišťuje vysokou účinnost těchto kolektorů. Bohužel se ale jedná o nákladnější řešení, které se ne vždy musí vrátit rychleji než to používající kolektory ploché.

Typ kolektorů Sydney vznikl spoluprací Sydney University a Tsinghua University v 80. letech. Absorbér má tvar válce a v prostoru mezi zasklením (trubicí) a absorberem je nízký tlak. Trubka s teplotonosnou kapalinou je umístěna uvnitř trubice absorberu. Spojení zajišťuje lamela z vodivého materiálu. Pokud spojení není provedeno dokonale, dochází ke snížení účinnosti. Nutno podotknout, že téměř všechny trubice typu Sydney se vyrábějí v Číně, přičemž kvalita provedení je různá a výrobky se vizuálně příliš neliší.

### ■ 2.1.4 Ploché vakuové solární kolektory

Ploché vakuové kolektory využívají výhod plochých kolektorů (nízké pořizovací ceny, ale vysoká účinnost při použití absorberu se selektivním povrchem) a vakuových kolektorů (nízké tepelné ztráty díky nízkému tlaku uvnitř prostoru).

Kolektorová skříň nepoužívá izolaci, protože k výměně tepla konvekcí nedochází díky přítomnosti vakua. Ztráty ale mohou nastat sáláním mezi absorberem a zadní stranou skříňe, proto je nutné i tuto část absorberu opatřit selektivním povrchem.

Velké nároky jsou kladeny na provedení skříňe, která nesmí propouštět vzduch dovnitř. Zasklení je vyztuženo kovovým rámem, aby se předešlo poškození vlivem atmosférického přetlaku nebo nárazem předmětu. Tento typ kolektorů také obsahuje ventily umožňující obnovení vakua vývěvou.

### ■ 2.1.5 Koncentrační solární kolektory

Každý kolektor s použitím optických zařízení lze označit za koncentrační. Pro zvýšení tepelných zisků se používá doplňkových čoček (refraktorů) a zrcadel (reflektorů) k nasměrování slunečních paprsků na absorbér tvořený opět trubkami s protékající kapalinou. Větší využití dopadajících slunečních paprsků umožňuje dosažení vyšších provozních teplot a tím i produkci tepla o vyšší teplotní hladině.

## ■ 2.2 Solární články

Solární článek je dle [4] definován jako velkoplošný polovodičový konstrukční prvek, který je schopen přeměňovat světlo přímo na elektrický proud. Tato přeměna se nazývá fotoelektrický jev a byla objasněna Albertem Einsteinem v roce 1905, za což o 17 let později obdržel Nobelovu cenu za fyziku.

Článek se skládá z polovodičového materiálu, kovových kontaktů a tenké vrstvy materiálu zlepšujícího optické vlastnosti článku. Nejspolehlivější materiál pro výrobu článků je krystalický křemík.

Články produkují elektrický proud díky fotovoltaickému jevu, kdy je polovodičový materiál (nejčastěji křemík) znečištěn cizími atomy, které mu dodají požadované elektrické vlastnosti. Znečištění prvkem s vyšší mocností (počtem valenčních elektronů) vznikne v materiálu přebytek elektronů a vodivost se výrazně zvýší. Tento typ znečištění se nazývá dotování typu n a u fotovoltaických článků je vytvořeno v tenké vrstvě na povrchu.

Druhý typ, dotování typu p, se provede přidáním prvku s nižší mocností do základního materiálu článku. Tím v materiálu vznikne nedostatek elektronů, které se snaží zaplnit volná místa označovaná jako díry.

Na rozhraní vzniká tzv. p-n přechod – místo, kde mohou elektrony difundovat z vrstvy typu n do p a díry naopak (z vrstvy typu p do n). Při vhodném připojení zdroje napětí (kladný pól na vrstvu typu p, záporný na n) bude p-n přechod umožňovat průchod elektrického proudu.

Fotovoltaický článek není nic jiného než velkoplošná dioda, kdy je v křemíkové destičce vytvořen p-n přechod. Při dopadu záření se generují elektrony a díry a díky elektrickému poli p-n přechodu putují na opačné strany (elektrony do vrstvy typu n, díry do vrstvy typu p) a obvodem tak prochází proud.

Články pak můžeme rozdělit podle typu použitého křemíku na **monokrystalické**, **polykrystalické** a **amorfní**.

### ■ 2.2.1 Monokrystalické články

Jedná se o nejstarší typ fotovoltaických článků s rozměry krystalů až 10 cm. Vyrábí se pomalým tažením zárodku krystalu z taveniny velmi čistého křemíku. [2]

Tloušťka těchto panelů se pohybuje mezi 0,1-0,35 mm. Polovodičový p-n přechod se vytvoří přidáním fosforu na vrchní část článku, kde se tak vytvoří vrstva typu n.

Jejich nevýhodou je velká spotřeba čistého křemíku a náročnost výroby.

### ■ 2.2.2 Polykrystalické články

V současné době se jedná o nejpoužívanější typ článků. Výroba probíhá odléváním čistého křemíku do připravených forem a následným řezáním na tenké plátky. V porovnání s předchozím typem jsou výrazně levnější (levnější výchozí surovina a také je potřeba méně materiálu) a lze je vyrábět ve větších rozměrech.

### ■ 2.2.3 Články z amorfního křemíku

Výroba článků z amorfního křemíku přináší další úsporu materiálu a může tak ušetřit velkou část nákladů při produkci ve velkých sériích. Rozkladem sloučenin křemíku ve vodíkové atmosféře je možné vytvořit tenké vrstvy křemíku bez pravidelné krystalové struktury a s malým obsahem použitého vodíku.

Díky lepším optickým vlastnostem je možné použít tenčí vrstvy. Ty mohou být vyrobeny ve formě pružné a odolné fólie, která pak může sloužit i jako nepropustná vrstva střešního pláště.

Absence pravidelné struktury ale často vyústí v poruchy, které snižují účinnost článku. Ty způsobuje i přítomný vodík, reagující se vzdušným kyslíkem. [2]

# Kapitola 3

## Stagnace solárních soustav

Častým projevem špatně nadimenzovaných solárních soustav je přebytek teplé vody a její nemožnost využití, zejména v letních měsících. Následkem toho dochází k přehřívání kolektorů a varu teplotnosné látky. Tento jev se nazývá stagnace solární soustavy a nejčastěji se objevuje u solárních soustav kombinovaných s přitápěním, protože plocha instalovaných kolektorů a objem zásobníku teplé vody bývají větší než by tomu bylo v případě pouhého ohřevu teplé vody.

Pokud tento nedostatek nevyřešíme zapojením dodatečného odběru (např. ohřevem vody pro venkovní bazén), přehřívání teplotnosné kapaliny povede k její přeměně na páru. Tato pára o vysoké teplotě pak proniká do rozvodů solární soustavy a může způsobit jejich poškození. [6]

### 3.1 Stagnační teplota

Stagnační teplota je definována jako ustálená teplota kolektoru přijímajícího sluneční záření bez odvodu tepla. Z křivky účinnosti solárního kolektoru lze určit tuto teplotu pro dané okrajové podmínky, za které se zpravidla uvažují teplota okolního vzduchu  $t_a = 30\text{ °C}$  a sluneční ozáření  $G = 1000\text{ W/m}^2$ .

Stagnační teplota se měří u kolektoru nezapojeného do soustavy, nicméně uzavřeného z důvodu eliminace volného proudění uvnitř absorberu (ochlazování kolektoru). Výpočet stagnační teploty vychází ze základní bilance ustálených tepelných toků v kolektoru. [6]

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_{abs} - Q_{ztr} \\ \tau \cdot \alpha \cdot G \cdot A_c - U \cdot (t_m - t_a) &= 0 \\ \tau \cdot \alpha \cdot G &= U \cdot (t_{stg} - t_a) \\ t_{stg} &= t_a + \frac{\tau \cdot \alpha \cdot G}{U} \end{aligned}$$

kde  $\tau$  [-] je propustnost zasklení kolektoru,  $\alpha$  [-] je pohltivost absorberu,  $G$  [ $\text{W/m}^2$ ] je sluneční ozáření kolektoru a  $U$  [ $\text{W/m}^2/\text{K}$ ] je celkový součinitel prostupu tepla kolektoru stanovený pro teplotu stagnace.

	$t_{stg}$ (°C)
nezasklený kolektor	65
zasklený kolektor	100
zasklený selektivní kolektor	180
trubicový vakuový kolektor	300

**Tabulka 3.1.** Orientační hodnoty stagnační teploty solárních kolektorů. Tabulka převzata z [6].

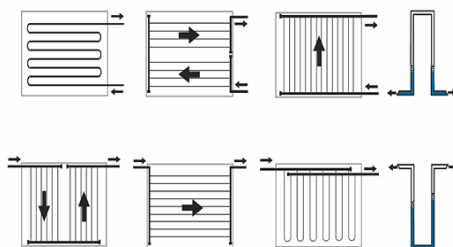
## 3.2 Ochrana proti problémům se stagnací

### 3.2.1 Vyprazdňovací schopnost kolektorů

Vyprazdňovací schopnost kolektorů rozhoduje o četnosti, hladině a době trvání kritické tepelné zátěže solární soustavy a jejích prvků. Vyprazdňovací schopnost znamená, že hydraulické zapojení rozvodu teplotnosné kapaliny umožňuje při přeměně části objemu teplotnosné kapaliny v páru vytlačení zbylého objemu kapaliny z kolektoru. Tím nevzniká další pára, která by mohla pronikat do soustavy a zatěžovat ji, případně ji trvale poškodit.

Špatná vyprazdňovací schopnost se vyznačuje omezeným vytlačáním kapaliny z kolektoru (viz obr. 3.1 – dolní řada). Zapojení absorberu vytváří určitý objem teplotnosné kapaliny, který nelze z kolektoru dostat v kapalném stavu, ale pouze ve formě páry. To vede k velkému množství energie, které je při stagnaci přenášeno párou a k rozsáhlým oblastem v rozvodech soustavy vyplněným sytou párou.

Možnou ochranou proti výrazné tvorbě páry u nevhodně zapojených absorberů může být často jednoduchá změna montážní polohy kolektoru (např. u trubcových solárních kolektorů s protékavým U-absorbérem pootočením kolektoru o 90°, nebo ještě lépe umístěním rozvodných potrubí dolů – pootočení o 180°). [7]

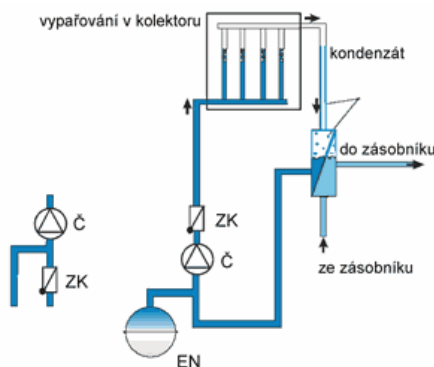


Obrázek 3.1. Vyprazdňovací schopnost kolektorů. Převzato z [7]

### 3.2.2 Poloha zpětné klapky

Vyprazdňování kolektorů ovlivňuje i poloha zpětné klapky vzhledem k tlakové expanzní nádobě v soustavě. Podmínky pro dobré vyprázdnění kolektorů v případě stagnace mohou být dosaženy změnou polohy zpětné klapky vzhledem k expanzní nádobě podle obr. 3.2 (vlevo).

Kapalina z kolektorů může být vytlačena do expanzní nádoby oběma směry a zbylý objem teplotnosné kapaliny produkující páru v kolektoru je malý. Také pára se šíří do soustavy oběma směry, čímž se sníží riziko zasažení prvků dále v soustavě.



Obrázek 3.2. Poloha zpětné klapky v soustavě. Převzato z [7].



### ■ 3.2.3 Expanzní nádoba

Správným dimenzováním expanzní nádoby lze předejít problémům s únikem teplotnosné kapaliny pojistným ventilem. Při optimálním návrhu nedochází k výraznému nárůstu tlaku v soustavě a reakci pojistného ventilu při běžných stagnačních podmínkách. [7]

### ■ 3.2.4 Teplotnosná kapalina

Běžně používané teplotnosné látky (směs vody a nemrznoucí látky – glykolu) podstupují během svého koloběhu soustavou působení vysokých teplot (nad 130 °C). Díky tomu lze v sestavě pozorovat problémy jako je:

- degradace,
- vylučování pevných látek,
- vznik kyselin,
- zvýšení korozivity teplotnosné kapaliny.

U vakuových kolektorů s teplotami stagnace nad 250 °C dochází k odpaření glykolu (bod varu 210 °C) a tvorbě pevných usazenin v potrubí, které mají omezenou zpětnou rozpustnost po skončení stagnace.

Pokud se domníváme, že ke stagnaci bude docházet opakovaně a po delší dobu, nelze než doporučit použití nemrznoucích směsí odolávajících vysokým teplotám bez degradace anebo nemrznoucích směsí s kapalnými inhibitory koroze, které se po odpaření mohou zpětně smísit s teplotnosnou látkou. [7]

### ■ 3.2.5 Jiné způsoby

Mezi další možnosti omezení stagnace patří zvýšení sklonu kolektorů. Při jeho zvýšení se snižuje množství získaného tepla v letním období a dochází ke zploštění křivky tepelných zisků.

Nejjednodušším řešením voleným některými uživateli může být i zakrytí kolektorů hrubou látkou nebo kobercem během letních dnů.



## Kapitola 4

### Metody výpočtu pro solární kolektor

Pro hodnocení efektivity solárních tepelných soustav a jejich přínosů se využívá vyhodnocení ročních tepelných zisků využitých pro krytí příslušné potřeby tepla v budově (příprava teplé vody) nebo úspora energie vlivem instalace solární soustavy.

Hodnotit lze na základě různých pohledů – energetického (úspora primární energie), ekologického (úspora emisí) nebo ekonomického (návratnost, cena solárního tepla). Hodnocení energetických přínosů může být provedeno výpočtem nebo měřením.

Výsledky u obou způsobů závisí na správnosti postupu, nicméně lze předpokládat, že výpočty jsou z principu vždy zatíženy významnou chybou vzhledem k nezbytnému zjednodušení skutečně realizované soustavy na výpočtový model, zanedbáním či chybným nastavením řady parametrů a podmínek nebo nesprávným odhadem provozního chování uživatelů. [3]

#### 4.1 Zjednodušené výpočty energetických přínosů

Zjednodušené výpočtové postupy se obecně nesnaží o výpočty co nejbližší skutečnosti, kdy je nutné použít mnoho detailních vstupních dat. Jsou tak určeny ke stanovení přibližných energetických zisků a jsou použitelné především pro ruční výpočet nebo výpočet v běžném tabulkovém procesoru. Zisky solární soustavy se zjednodušenými výpočty stanovují zpravidla na základě měsíčních údajů o potřebě tepla a klimatických podmínkách.

Výhodně lze zjednodušených metod použít ve fázi návrhu plochy solárních kolektorů, kdy je možno orientačně porovnávat různé varianty návrhu plochy kolektorů a sledovat vliv způsobu dimenzování na případné přebytky nevyužitelné energie a potenciální celoroční zisky. [3]

##### 4.1.1 Zjednodušená měsíční bilanční metoda (TNI 73 0302)

Pro potřeby bilančních výpočtů v rámci energetického hodnocení solárních soustav v posudcích a energetických auditech byla standardizována měsíční bilanční metoda v TNI 73 0302. Zjednodušená měsíční bilanční metoda je postupem, který vede ke stanovení ročních tepelných zisků solární soustavy na základě porovnání teoreticky využitelných tepelných zisků solárních kolektorů a potřeby tepla, která má být kryta v jednotlivých měsících.

Výpočtový postup pro stanovení energetických zisků solárních tepelných soustav je založen na bilanci potřeby tepla v dané aplikaci včetně tepelných ztrát, tepla dodaného solárními kolektory, tepelných ztrát solární soustavy a využitelnosti solárního tepla v dané aplikaci. Výpočtový postup je obecně určen pro základní typy solárních soustav:

- solární soustavy pro přípravu teplé vody;
- kombinované solární soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění;
- solární soustavy pro ohřev bazénové vody.

Výpočet založený na energetické bilanci využitelných měsíčních tepelných zisků solárních soustav je nicméně do značné míry zjednodušený:

- střední teplota v kolektorech je v celém roce konstantní hodnota – neuvažuje se vliv poměru mezi tepelnými zisky instalované plochy kolektorů, velikostí zásobníku a odběrem tepla v jednotlivých měsících;
- tepelné ztráty solární soustavy se zahrnují paušální srážkou ze zisků – neuvažuje se skutečná úroveň tepelné izolace solárního zásobníku a rozvodů, předpokládá se kvalitní tepelně izolační standard;
- vliv optických charakteristik kolektoru (modifikátor úhlu dopadu) je paušálně zjednodušen v korekci celkových zisků kolektoru – nelze hodnotit solární soustavy s orientací kolektorů mimo rozsah  $\pm 45^\circ$  od jihu;
- nezohledňuje se velikost akumulčního zásobníku a nelze tedy vyhodnotit soustavy s extrémně malou nebo velkou plochou kolektorů.

Proto výpočet udává pouze přibližné a zároveň relativně optimistické výsledky. Výpočetní postup minimalizuje množství vstupních informací na základní parametry a veličiny:

- specifikace kolektoru – konstanty křivky účinnosti  $\eta_0$ ,  $a_1$  a  $a_2$  a plocha apertury kolektoru  $A_k$ , ke které je křivka účinnosti vztažena;
- spotřeba tepla na přípravu teplé vody – měrná spotřeba teplé vody v l/os/den při ohřevu z 15 na 60 °C, případný letní pokles spotřeby, tepelné ztráty přípravy teplé vody jsou stanoveny zjednodušeně přírážkou podle typu zařízení;
- spotřeba tepla na vytápění – pokud je k dispozici, použije se měsíční výpočet v souladu s ČSN EN ISO 13790, pokud není, stanoví je potřeba tepla upravenou denostupňovou metodou ze jmenovité tepelné ztráty objektu.

Výpočet využívá jednotné klimatické podmínky (teplota, sluneční ozáření, dávka slunečního ozáření) pro jednotlivé měsíce v tabelární formě. Údaje o slunečním ozáření zohledňují sklon (0 až 90°) a orientaci ( $\pm 45^\circ$  od jihu) solárního kolektoru. [3]

### 4.1.2 Metoda $f$ -chart

Metoda  $f$ -chart byla vyvinuta pro vyhodnocení ročních tepelných zisků kapalinových a vzduchových solárních soustav pro vytápění a přípravu teplé vody a pro čistě přípravu teplé vody s minimální provozní teplotou 20 °C.

Metoda poskytuje výpočetní postup pro stanovení měsíčních hodnot solárního pokrytí potřeby tepla v dané soustavě na základě vstupních parametrů: plochy kolektorů, typu kolektorů, objemu solárního zásobníku, úrovně tepelné izolace a měrného tepelného výkonu výměníku v primárním okruhu.

Principem metody je korelační závislost odvozená na základě výsledků stovek simulačních výpočtů tepelného chování solárních soustav pro stanovené rozsahy hodnot parametrů jednotlivých prvků. Korelační závislost udává měsíční pokrytí potřeby tepla pro přípravu teplé vody nebo vytápění solárními zisky jako funkci dvou bezrozměrných parametrů:

- $X$  – poměr tepelných ztrát kolektor-primární okruh ke spotřebě tepla v aplikaci;
- $Y$  – poměr pohlčeného slunečního záření kolektory ke spotřebě tepla v aplikaci. [3]

## 4.2 Počítačové simulace solárních soustav

Pokud existuje potřeba podrobněji hodnotit konkrétní řešení solární soustavy s vysokou jistotou, je nezbytné použít některý z dostupných simulačních nástrojů. Takovým pří-

padem může být například smlouva o garantovaných solárních ziscích, kdy je nutné již v projekční fázi s vysokým stupněm jistoty stanovit budoucí minimální zisky navržené solární soustavy za definovaných podmínek odběru tepla, za které se dodavatel zaručí.

Matematické modelování solárních soustav s využitím komplexních moderních simulačních nástrojů umožňuje, pokud má uživatel dostatečnou zkušenost, poměrně přesné stanovení zisků pro předpokládané podmínky provozu a klimatické údaje. Počítačové simulace využívají matematických modelů jednotlivých prvků definovaných podrobnými parametry, které mohou vycházet z výsledků laboratorních zkoušek nebo jiných simulačních programů.

Simulační programy lze rozdělit na:

- systémové – programy s předdefinovanými hydraulickými zapojeními solárních soustav, použitelnými prvky soustav a parametry vlastního výpočtu. Programy umožňují detailní a energetické hodnocení zjednodušené solární soustavy s dostatečnou přesností.
- modulární – uživatel musí funkční hydraulické schéma solární soustavy složit z jednotlivých modelů prvků a nastavit potřebné parametry vlastního matematického výpočtu.

Simulační programy dostupné pro projektanty (Polysun, T\*SOL, GetSolar) zpravidla počítají provozní parametry solární soustavy na základě energetických bilancí v hodinových krocích. Pokročilé dynamické simulační programy (TRNSYS) řeší příslušné diferenciální rovnice, což klade nároky na zadání vstupních parametrů, stabilitu výpočtu a jeho časovou náročnost. [3]



# Kapitola 5

## Metody výpočtu pro solární článek

V ČR je v rámci souboru norem pro energetické hodnocení budov zavedena norma ČSN EN 15316-4-6, která stanovuje roční produkci elektrické energie fotovoltaickým systémem pouze na základě jeho špičkového výkonu bez ohledu na reálné provozní vlivy pro konkrétní použité fotovoltaické články a další prvky systému.

Používání komplexních simulačních modelů pro výpočtové hodnocení systémů není v praxi časté a pro konvenční systémy ani nedává smysl.

Zjednodušený postup podle [11] umožňuje zohlednit vliv teploty fotovoltaického článku a vliv úrovně slunečního ozáření během roku na účinnost modulů na základě údajů uvedených v jejich technické specifikaci od výrobce. Postup uvažuje i elektrické ztráty na DC a AC vedení a ztráty měniče.

Výsledkem jsou navíc údaje o měsíční produkci elektrické energie, ne pouze jediná celoroční hodnota. Postup využívá sjednocené klimatické údaje definované v TNI 73 0331 pro hodnocení energetické náročnosti budov. Oba uvedené postupy řeší pouze produkci elektrické energie bez jejího dalšího využití. [11]

### 5.1 Postup podle ČSN EN 15316-4-6

Název normy zní „Výroba tepla, fotovoltaické soustavy“. Cílem fotovoltaických systémů však není výroba tepla, ale elektrické energie pro využití v budově nebo v rozvodné síti pro krytí její potřeby. Výpočet neuvažuje systémy s akumulací elektrické energie.

Elektrická energie dodaná fotovoltaickým systémem  $E_{fv,sys}$  [kWh/rok] se stanoví jako:

$$E_{fv,sys} = \frac{H_{T,rok} \cdot P_{pk} \cdot f_{perf}}{G_{ref}}$$

kde  $H_{T,rok}$  je roční dávka slunečního ozáření [kWh/m<sup>2</sup>rok] dopadajícího na fotovoltaický systém,  $P_{pk}$  špičkový výkon systému [kW],  $f_{perf}$  činitel výkonnosti fotovoltaického systému [-] a  $G_{ref}$  referenční sluneční ozáření, rovné 1 kW/m<sup>2</sup>. [11]

### 5.2 Zjednodušená bilanční metoda

Zjednodušená bilanční metoda nepracuje s voltampérovou charakteristikou jako podrobné matematické modely fotovoltaických modulů. Pro výpočet se jako základní údaje využívají referenční účinnost modulů  $\eta_{ref}$  [%], instalovaný špičkový výkon  $P_{pk}$  [kW], případně činná plocha  $A_{fv}$  [m<sup>2</sup>].

Pro zohlednění vlivu provozních podmínek na účinnost modulů je však nutné použít i další parametry ze specifikace výrobce, jako je teplotní výkonový součinitel  $\gamma$  [%/K], jmenovitá provozní teplota článku NOCT a pokles účinnosti s poklesem slunečního ozáření  $\Delta\eta_G$  [%].

Tyto údaje lze použít pro výpočet účinnosti fotovoltaického článku závisící na teplotě. S rostoucí teplotou se jeho účinnost snižuje dle vztahu

$$\eta_{fv,t} = \eta_{ref} \cdot \left( 1 + \frac{\gamma}{100} \cdot (t_{fv} - t_{ref}) \right)$$

Energetickou bilanci fotovoltaického článku lze popsat rovnicí

$$\alpha \cdot G = \frac{\eta_{fv} \cdot G}{100} + U \cdot (t_{fv} - t_e)$$

kde  $\alpha$  je pohltivost článku [-],  $\eta_{fv}$  jeho elektrická účinnost [%],  $G$  sluneční ozáření [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],  $U$  celkový součinitel tepelné ztráty do okolí [ $\text{W}/\text{m}^2/\text{K}$ ],  $t_{fv}$  teplota článku [ $^{\circ}\text{C}$ ] a  $t_e$  teplota okolního vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Pokud se energetická bilance zapíše pro podmínky NOCT (otevřený obvod,  $\eta_{fv} = 0$ ), rovnice pro teplotu fotovoltaického článku popisuje právě NOCT.

$$t_{fv} = NOCT = t_e + \frac{\alpha \cdot G}{U}$$

Jedinou neznámou zde bude součinitel  $U$ , a pokud zavedeme předpoklad, že se během roku příliš nemění, můžeme vyjádřit pro každý měsíc střední teplotu fotovoltaického článku jako

$$t_{fv} = t_{e,s} + \frac{\alpha \cdot G_m - \eta_{fv} \cdot G_m / 100}{U}$$

kde  $t_{e,s}$  je střední denní teplota venkovního vzduchu v době slunečního svitu [ $^{\circ}\text{C}$ ] a  $G_m$  střední sluneční ozáření [ $\text{W}/\text{m}^2$ ].

Z výrobcem dodané záporné hodnoty relativního snížení účinnosti  $\Delta\eta_G$  je možné vyčíslit součinitel  $k$  [-] podle vztahu

$$k = \frac{\Delta\eta_G}{\ln \frac{G}{G_{ref}}}$$

ve kterém je  $G$  sluneční ozáření (nejčastěji se uvádí hodnota  $G = 200 \text{ W}/\text{m}^2$ ),  $G_{ref}$  referenční ozáření (s hodnotou  $G_{ref} = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$ ) a  $\eta_{ref}$  [%] referenční účinnost při normových zkušebních podmínkách.

Účinnost článku závisí na úrovni slunečního ozáření  $G$ , což lze vyjádřit vztahem

$$\eta_{fv,g} = \eta_{ref} \cdot \left( 1 + k \cdot \ln \frac{G}{G_{ref}} \right)$$

Celkovou měsíční účinnost článku pak dostaneme využitím dříve získaných účinností jako

$$\eta_{fv} = \frac{\eta_{fv,t} \cdot \eta_{fv,g}}{\eta_{ref}}$$

Úpravami lze tuto účinnost vyjádřit také jako

$$\eta_{fv} = \eta_{ref} \cdot \left( 1 + \frac{\gamma}{100} \cdot \left( t_{e,s} + \left( 1 - \frac{\eta_{ref}}{100 \cdot 0,95} \right) \cdot \frac{G_m}{800} \cdot (NOCT - 20) - 25 \right) \right) \cdot \left( 1 + k \cdot \ln \frac{G_m}{1000} \right)$$



Následně je možné stanovit měsíční produkci elektrické energie podle vztahu

$$E_{fv,sys} = 0,9 \cdot \frac{\eta_{fv}}{100} \cdot H_T \cdot A_{fv} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right)$$

kde  $H_t$  je měsíční dávka slunečního ozáření [kWh/m<sup>2</sup>/den],  $A_{fv}$  činná plocha instalovaných článků [m<sup>2</sup>] a  $p$  srážka vlivem elektrických ztrát [-]. [11]



# Kapitola 6

## Popis výpočtových variant

Pro porovnání a vyhodnocení návratnosti bylo zvoleno 18 variant lišících se velikostí domácnosti (tj. počtu osob), použité technologii (ploché kolektory, trubicové kolektory a fotovoltaické panely) a sklonu instalovaných zařízení (45° nebo 75°).

Velikosti domácností variant představují typické návrhové situace (starší pár, čtyřčlenná rodina, dvougenerační domácnost). Technologie byly zvoleny ty na trhu nejběžnější.

Úhel 45° umožňuje dosažení největších solárních zisků, jeho záporem při použití kolektorů je ale vysoká produkce v letních měsících, kdy dochází ke snížení spotřeby. Naopak úhel 75° se vyznačuje vyrovnanější křivkou solárních zisků, která zmírňuje hrozbu potenciální stagnace soustavy, ale menšími solárními zisky.

	počet osob	použitá technologie	sklon zařízení
varianta 1	2	ploché kolektor	45°
varianta 2	2	ploché kolektor	75°
varianta 3	4	ploché kolektor	45°
varianta 4	4	ploché kolektor	75°
varianta 5	6	ploché kolektor	45°
varianta 6	6	ploché kolektor	75°
varianta 7	2	vakuový kolektor	45°
varianta 8	2	vakuový kolektor	75°
varianta 9	4	vakuový kolektor	45°
varianta 10	4	vakuový kolektor	75°
varianta 11	6	vakuový kolektor	45°
varianta 12	6	vakuový kolektor	75°
varianta 13	2	fotovoltaický panel	45°
varianta 14	2	fotovoltaický panel	75°
varianta 15	4	fotovoltaický panel	45°
varianta 16	4	fotovoltaický panel	75°
varianta 17	6	fotovoltaický panel	45°
varianta 18	6	fotovoltaický panel	75°

**Tabulka 6.1.** Přehled výpočtových variant.



# Kapitola 7

## Popis výpočtového programu

Výpočet získané energie se liší podle použité technologie. Pro kolektory počítáme, kolik energie (po započítání ztrát) jsme schopni dodat do výměníku zásobníku teplé vody a zde ji předat studené vodě. V případě fotovoltaických panelů výpočtem získáme množství vyprodukované elektrické energie, která je následně použita na chod topného tělesa v zásobníku, čímž ohřívá studenou vodu.

Při volení počtu instalovaných zařízení bylo prioritou zamezení stagnace u solárních kolektorů a dosažení přibližně stejného solárního pokrytí i u fotovoltaických panelů (kde lze využít elektrickou energii pro chod spotřebičů domácnosti) pro lepší porovnání návratnosti.

Jelikož je práce zaměřena na solární soustavy pro přípravu teplé vody, nemělo by být toto pokrytí výrazně vyšší, protože by nadbytečná produkovaná elektrická energie znamenala úsporu nákladů na provoz jiných spotřebičů, a tím by výrazně ovlivňovala návratnost investice.

Vyhodnocení návratnosti instalace většího množství panelů pro pokrytí jak přípravy teplé vody, tak spotřeby elektrické energie domácnosti, by bylo třeba zpracovat v jiné práci.

### 7.1 Výpočet pro kolektor

Pro výpočet byl použit zjednodušený výpočtový postup energetického hodnocení solárních soustav podle TNI 73 0302.

Cílem výpočtu je stanovit jak velkou část spotřeby lze pokrýt provozem solárních technologií a ušetřit tak nákup energie z odběrné sítě (odběr plynu pro stávající plynový kotel). Proto je nutné v prvním kroku stanovit potřebu teplé vody a z ní průběh roční potřeby energie (po měsících). Následně se podle umístění objektu stanoví hodnoty  $G_{T,m}$  (střední hodnota slunečního ozáření),  $H_{den}$  (skutečná dávka ozáření) a  $t_{es}$  (střední teplota v době slunečního svitu).

V posledním kroku se tato data, společně s parametry od výrobce, dosadí do finálního vzorce pro jednotlivé měsíce. Suma využitelných solárních zisků se nadále použije pro výpočet solárního pokrytí a měrných zisků a na závěr také pro ekonomické zhodnocení, tedy výpočet návratnosti investovaných prostředků.

#### 7.1.1 Potřeba teplé vody a energie

Spotřeba teplé vody závisí na počtu osob v domácnosti a její potřebě na den na osobu. Tato hodnota je ve výpočtu nižší (35 l/os/den) než normová (82 l/os/den), protože lépe odpovídá skutečné potřebě teplé vody v domácnostech. [3]

Pro měsíce červenec a srpen je také nutné uvažovat sníženou potřebu vody o zhruba 25 % vlivem dovolených a školních prázdnin, vyšší teploty studené vody v tomto období a preference sprchování před napouštěním horké vany [8]. Z těchto údajů jsme schopni spočítat potřebu energie dle vzorce odvozeného z kalorimetrické rovnice.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

Jelikož známe spotřebu vody v litrech, měrnou tepelnou kapacitu vody i její hustotu a teploty studené a teplé vody (15°C respektive 60°C), můžeme vypočítat potřebu energie za den vyjádřenou v kilowatthodinách. Následně tuto hodnotu vynásobíme počtem dní v měsíci s přidáním přírážky tepelných ztrát (uvažoval jsem ztráty ve výši 15 %, z důvodu využití zásobníkového ohřevu bez cirkulace [3]).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	Potřeba TV							
3	počet osob		2					
4	měrná spotřeba na osobu		35 l/os.					
5	měrná tepelná kapacita vody		4,18 kJ/kgK					
6	teplota studené vody		15 °C					
7	teplota teplé vody		60 °C					
8								
9								
10	Potřeba energie v jednotlivých měsících							
11	1		130 kWhod				31	
12	2		118 kWhod				28	
13	3		130 kWhod				31	
14	4		126 kWhod				30	
15	5		130 kWhod				31	
16	6		126 kWhod				30	
17	7		98 kWhod		pokles o 25 %		31	
18	8		98 kWhod		pokles o 25 %		31	
19	9		126 kWhod				30	
20	10		130 kWhod				31	
21	11		126 kWhod				30	
22	12		130 kWhod				31	
23								
24	celkem		1470 kWhod					
25								

Obrázek 7.1. Potřeba energie v jednotlivých měsících pro přípravu teplé vody.

## 7.1.2 Klimatická data

Sluneční záření dopadající na určitou plochu lze rozdělit na dvě složky:

- přímé sluneční záření,
- difúzní sluneční záření.

Přímé sluneční záření dopadá na plochu bez jakéhokoliv rozptylu v atmosféře. Vyznačuje se mnohonásobně vyšší intenzitou v jednom směru než v ostatních. Z toho vyplývá, že je přímé sluneční záření značně závislé na úhlu dopadu paprsků.

Difúzní záření vzniká v atmosféře rozptylem o molekuly plynů ve vzduchu, částice prachu a mraky (voda a vodní pára). K difúznímu záření se počítá i část přímého záření, která se odrazí od okolních ploch (odražené sluneční záření). Difúzní záření se také vyznačuje stejnou intenzitou ve všech směrech – je izotropické.

Teoreticky možná dávka ozáření  $H_{T,den,teor}$  (kWh/m<sup>2</sup>/den) dopadá na osluněnou plochu jen ve slunečných dnech, kdy na povrch země dopadá přímé sluneční záření nepřetržitě po celou teoreticky možnou dobu. Během dne se však střídá jasná obloha s oblohou zataženou mraky, kdy dopadá jen difúzní záření. Z klimatických údajů je možné za delší období zjistit skutečnou dobu slunečního svitu  $\tau_{skut}$ . Potom lze vyjádřit tzv. poměrnou dobu slunečního svitu  $\tau_r$ . [4]

$$\tau_r = \frac{\tau_{skut}}{\tau_{teor}}$$

$$H_{den} = \tau_r \cdot H_{den,teor} + (1 - \tau_r) \cdot H_{den,dif}$$

$$H_{mēs} = n \cdot H_{den}$$

Pro umístění kolektorů byla uvažována lokalita Brno a typ oblasti město. Pro další výpočet je nutné použít tabelované hodnoty pro  $H_{den,teor}$ ,  $H_{den,diff}$  a  $t_{es}$  (dostupné v [4]). Poslední potřebnou veličinou je střední hodnota slunečního záření  $G_{T,m}$  ( $W/m^2$ ), dostupnou pro typ oblasti město např. zde [9].

lokalita	Brno													
	45	3,52	4,79	6,28	7,16	7,94	8,3	8,02	7,33	6,42	5,13	3,79	3,07	
$\pi_r$		0,18	0,31	0,38	0,39	0,48	0,53	0,56	0,53	0,5	0,37	0,23	0,12	
difúzní záření		0,46	0,65	0,97	1,34	1,62	1,75	1,72	1,5	1,16	0,8	0,53	0,4	
H den		1,01	1,93	2,99	3,61	4,65	5,22	5,25	4,59	3,79	2,40	1,28	0,72	
	75	3,9	4,99	5,86	5,93	6,01	6,08	5,97	5,84	5,72	5,12	4,1	3,46	
$\pi_r$		0,18	0,31	0,38	0,39	0,48	0,53	0,56	0,53	0,5	0,37	0,23	0,12	
difúzní záření		0,46	0,65	0,97	1,34	1,62	1,75	1,72	1,5	1,16	0,8	0,53	0,4	
H den		1,08	2,00	2,83	3,13	3,73	4,04	4,10	3,80	3,44	2,40	1,35	0,77	
Gm	45	418	489	536	522	497	479	483	505	516	489	427	386	
Gm	75	462	509	500	431	368	338	350	400	460	488	462	435	
$t_{es}$		1,7	2,8	7	12	17,2	20,2	22,1	21,8	18,5	13,1	7,7	3,5	

Obrázek 7.2. Použitá klimatická data.

### 7.1.3 Výpočet solárních zisků

Pro kolektory je uvažován systém s předehřevem studené vody v solárním zásobníku. Podle velikosti solárního pokrytí [10] je možné určit střední denní teplotu v kolektoru  $t_{k,m}$ .

Pro výpočet je nutné získat parametry (konstanty křivky účinnosti) kolektoru, a sice  $\eta_0$ ,  $a_1$  a  $a_2$  a plochu apertury ( $A_k$ ).

$\eta_0$  je účinnost solárního kolektoru při nulovém teplotním spádu mezi střední teplotou teplonosné kapaliny  $t_m$  a okolím  $t_e$ , zjednodušeně označována jako optická účinnost, přestože vyjadřuje i schopnost absorberu odvést teplo z povrchu do teplonosné kapaliny.  $a_1$  je lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru ( $W/m^2 \cdot K$ ) a  $a_2$  se nazývá kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru ( $W/m^2 \cdot K^2$ ).

Ve výpočtech jsem vycházel z údajů firmy Regulus pro zvolený kolektor (KPS1 + ANT, s plochou apertury  $1,92 m^2$ ). Pro vakuový trubicový pak model KTU 10, s plochou apertury  $1,01 m^2$ . Byly zvoleny typy kolektorů s nejmenší plochou apertury, s cílem vyhnout se stagnaci u všech výpočtových variant. <sup>1)</sup> <sup>2)</sup>

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \left( \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}} \right) \cdot H_{T,den} \cdot n \cdot A_k \cdot (1 - p)$$

Uvedený základní vzorec je ve výpočetním souboru rozdělen na několik částí. Obsah kulaté závorky se označuje jako účinnost solárního kolektoru  $\eta_k$ . Dále je zvlášť vypočten  $H_{T,měsíc}$  vynásobením počtu dnů ( $n$ ) a skutečné denní dávky ozáření plochy ( $H_{t,den}$ ). Tepelné ztráty rozvody a zásobníkem jsou zohledněny srážkou ve výši 15 %.

Poslední sloupec tabulky  $Q_{ss,u}$  je menší z hodnot  $Q_p$  a  $Q_{k,u}$ . V případě stagnace získané nadbytečné teplo nelze srovnatelně ekonomicky využít, a proto nemůže být započítáno do celkových ročních zisků. Dříve uvedené možnosti využití letních přebytků (např. výhřev venkovního bazénu) nepřispějí k šetření nákladů domácnosti, a tím ovlivnění doby návratnosti investice.

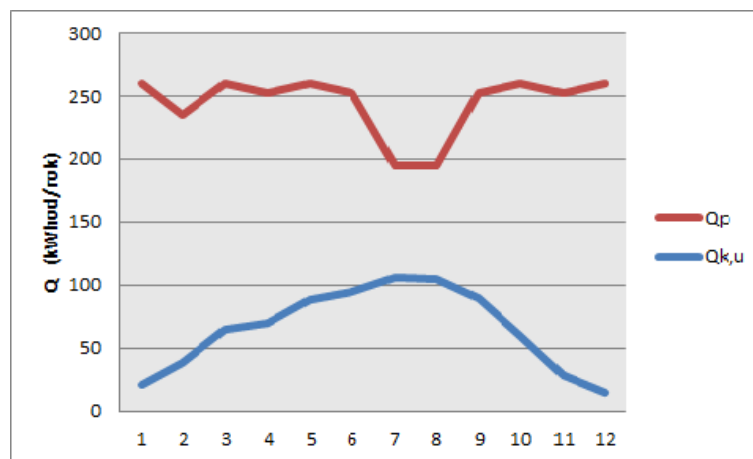
<sup>1)</sup> <http://www.regulus.cz/cz/slunecni-kolektor-kps1-ant>

<sup>2)</sup> <http://www.regulus.cz/cz/slunecni-kolektor-ktu-10>

Solární zisky		tabelované hodnoty, případně vzorec							
		měsíc							
		$t_{es}$	$G_{stř}$	$H_{t,den}$	$H_{t,m}$	$\eta_k$	$Q_p$	$Q_{k,u}$	$Q_{ssu}$
optická účinnost $\eta_0$	0,8								
a1	3,85 W/m <sup>2</sup> K								
a2	0,0145 W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>								
počet kolektorů	1								
plocha apertury (zasklení)	1,92 m <sup>2</sup>								
celková plocha	1,92 m <sup>2</sup>								
$t_{k,m}$	40 °C								
srážka vlivem ztrát	0,15 °								
sklon									
1		1,8	462	1,08	33,4552	0,44	261	21	21
2		2,7	509	2,00	55,8712	0,48	236	39	39
3		6,3	500	2,83	87,6742	0,51	261	65	65
4		10,7	431	3,13	93,903	0,51	252	70	70
5		16	368	3,73	115,5432	0,53	261	89	89
6		18,6	338	4,04	121,347	0,54	252	96	96
7		20,5	350	4,10	127,1	0,57	196	106	106
8		21,1	400	3,80	117,8062	0,61	196	105	105
9		17,1	460	3,44	103,2	0,59	252	90	90
10		11,7	488	2,40	74,3504	0,55	261	60	60
11		6,4	462	1,35	40,533	0,48	252	29	29
12		3,6	435	0,77	23,7832	0,43	261	15	15
				33			2940		786 kWhod
								$q_{ssu}$	410
								f	0,27
								$Q_{ssu}$	786

Obrázek 7.3. Výpočet solárních zisků.

Pro lepší ilustraci byl u každé varianty vykreslen graf křivek  $Q_p$  a  $Q_{k,u}$  za období jednoho roku. Díky grafu můžeme snadno určit, zda pro zvolenou variantu dochází ke stagnaci, či nikoli.

Obrázek 7.4. Vykreslení  $Q_p$  a  $Q_{ss,u}$ .

Pro parametry velikosti solárního pokrytí ( $f$ ) a měrných solárních zisků ( $q_{ss,u}$ ) budeme potřebovat sumy  $Q_p$  a  $Q_{ss,u}$ . Dle následujících vztahů následně získáme jejich konkrétní hodnoty pro každou zvolenou variantu.

$$k = \frac{Q_{ss,u}}{Q_p}$$

$$q_{ss,u} = \frac{Q_{ss,u}}{A_k}$$



kde  $A_k$  je velikost plochy apertury kolektoru. Vztažení k velikosti apertury umožňuje porovnání kolektorů od jiných výrobců, odlišných konstrukcí a různé kvality.

Vzhledem k instalaci nízkého počtu kolektorů byl zvolen také nejmenší nabízený zásobník od stejného výrobce. Tento zásobník bohatě splňuje doporučení zhruba 50 litrů zásobníku na  $m^2$  plochy apertury (zasklení) instalovaných kolektorů. [3]

Při použití solárního zásobníku je třeba ověřit, zda je jeho výměník schopný předat teplo přiváděné z kolektorového okruhu. Zásobník má plochu trubkového výměníku  $1,2 m^2$ , přičemž výrobce uvádí, že: „1 kolektor potřebuje pro optimální provoz cca  $0,5 m^2$  trubkového výměníku.“<sup>1) 2)</sup>

#### 7.1.4 Výpočet ekonomické návratnosti

Ze webových stránek výrobce lze získat i ceny kolektorů a zásobníku. Pro ekonomické zhodnocení byly použity ceny včetně DPH, protože varianty počítají s pořízením kolektorů domácnostmi, které platí ceny včetně daně.

Položka montáže v sobě obsahuje cenu materiálu kabelů a cenu práce za instalaci zařízení (včetně instalace zásobníku, propojení soustavy atd.) a je uvažována jako 20 % z ceny kolektorů. Součet předchozího nám dává položku „Celkem“.

Referenční sazbu ceny energie jsem získal z faktury za odběr plynu rodinného domu rodičů za minulý rok. Vzešla z podílu celkové zaplacené částky a spotřebovaných kilowatthodin. Jak bylo zmíněno v úvodu, tato práce slouží jako zhodnocení možností investic se záměrem snížit náklady při použití dodatečného solárního ohřevu k stávajícímu způsobu přípravy teplé vody. Za stávající způsob přípravy teplé vody uvažují plynový kotel.

Roční uspořené náklady získáme vynásobením referenční sazby ceny energie a sumy solárních zisků  $Q_{ss,u}$ . Podílem celkových nákladů a roční úspory nákladů tak získáme prostou dobu návratnosti v letech.

Vzhledem k běžícímu programu Nová zelená úsporám je vhodné vyhodnotit i dobu návratnosti při získání dotace na instalaci solárního zařízení. Pro solární kolektory lze získat částku až 35 000 Kč, při podmínce dotování maximálně poloviny ceny investice. Toto omezení je bráno v potaz a pro výpočet návratnosti při přiznání dotace se tedy od celkových nákladů odečítá 35 000 Kč, nebo polovina ceny celkových nákladů.<sup>3)</sup>

Ekonomické hodnocení			
cena za kolektor	10273		
cena kolektorů	10273		
cena zásobníku	11483	120	50l/m <sup>2</sup>
montáž	2054,6		
celkem	23810,6		
referenční cena	1,57	Kč/kWhod	
úspora za rok	1232,374	Kč	
návratnost	19,32	let	
obdržená dotace	35000		
návratnost s dotací	9,66		

Obrázek 7.5. Výpočet návratnosti investice.

<sup>1)</sup> <http://www.regulus.cz/cz/zasobnik-rgc-120-h>

<sup>2)</sup> <http://www.regulus.cz/cz/vymeniky-tepla>

<sup>3)</sup> [http://www.novazelenausporam.cz/file/476/zavazne-pokyny-pro-zadatele-rd\\_3\\_vyzva.pdf](http://www.novazelenausporam.cz/file/476/zavazne-pokyny-pro-zadatele-rd_3_vyzva.pdf)

## 7.2 Výpočet pro fotovoltaický panel

Pro výpočet byl použit zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací dle [11].

Cílem výpočtu je vyhodnotit návratnost investice do fotovoltaických panelů při návržení systému primárně pro pokrytí potřeby teplé vody. Malé přebytky elektrické energie lze použít pro potřebu spotřebičů v domácnosti.

Postup výpočtu je obdobný jako u kolektoru. S využitím průběhu potřeby teplé vody v roce, klimatických dat a dat od výrobce jsme schopni dojít k měsíční bilanci solárních zisků. Výsledný vzorec pro výpočet solárních zisků svou strukturou také připomíná ten použitý pro kolektor.

Jiný způsob zapojení se promítne do cen nezbytných komponentů, a tedy i struktury sumy nákladů. Poslední částí je pak výpočet ekonomické návratnosti, který probíhá shodně jako u kolektoru.

### 7.2.1 Potřeba teplé vody a energie

Stanovení potřeby teplé vody probíhá stejně jako u kolektorů (viz 7.1.1). Příprava teplé vody je řešena topným tělesem instalovaným do stávajícího zásobníku teplé vody.

Součinitel ztrát je ponechán na stejné úrovni jako u kolektoru, navzdory chybějícímu kolektorovému okruhu, a tím i nižším ztrátám. Konkrétní hodnota by musela být stanovena simulačním výpočtem.

### 7.2.2 Klimatická data

Pro další výpočet jsou nutné stejné veličiny, které byly získány v kap. 7.1.2).

### 7.2.3 Výpočet solárních zisků

Pro výpočet se využívají údaje poskytnuté výrobcem jako je referenční účinnost modulů  $\eta_{ref}$  [%] a činná plocha fotovoltaických článků  $A_{fv}$  [m<sup>2</sup>]. Dále pak teplotní výkonový součinitel  $\gamma$  [%/K], jmenovitá provozní teplota článku NOCT [°C] a pokles účinnosti s poklesem slunečního ozáření  $\Delta\eta_G$  [%].

Ve většině katalogových listů na trhu dostupných panelů poslední údaj nelze dohledat. Pro výpočet bylo proto použito doporučení z Metodického pokynu programu Nová zelená úsporám, který v případě chybějící specifikace  $\Delta\eta_G$  doporučuje použití hodnoty 4 %. <sup>1)</sup>

Při volbě panelu byl brán ohled zejména na velikost plochy článku (tedy na cenu) a byl tak zvolen nejlevnější produkt na trhu. <sup>2)</sup>

Dle [11] byly použity tři vzorce (více viz kapitola 5).

$$k = \frac{\Delta\eta_G}{\ln \frac{G}{G_{ref}}}$$

$$\eta_{fv} = \eta_{ref} \cdot \left( 1 + \frac{\gamma}{100} \cdot \left( t_{e,s} + \left( 1 - \frac{\eta_{ref}}{100 \cdot 0,95} \right) \cdot \frac{G_m}{800} \cdot (NOCT - 20) - 25 \right) \right) \cdot \left( 1 + k \cdot \ln \frac{G_m}{1000} \right)$$

$$E_{fv,sys} = 0,9 \cdot \frac{\eta_{fv}}{100} \cdot H_T \cdot A_{fv} \cdot \left( 1 - \frac{p}{100} \right)$$

<sup>1)</sup> [http://www.novazelenausporam.cz/file/589/metodicky-pokyn\\_solar\\_c3\\_v1.pdf](http://www.novazelenausporam.cz/file/589/metodicky-pokyn_solar_c3_v1.pdf)

<sup>2)</sup> <http://www.tepelna-cerpadla-eshop.cz/fotovoltaika-c106/kd-190gh-4ju-fotovoltaicky-solarni-panel-12v-190-wp-i754>



## 7.2.4 Výpočet ekonomické návratnosti

Pro hodnocení ekonomické návratnosti je nutné získat ceny solárních panelů a topného tělesa do zásobníku. Stejně jako u kolektoru byly použity ceny včetně DPH.

Ve výpočtu byl použit článek KD 190GH-4YU (o činné ploše 1,168 m<sup>2</sup>). <sup>1)</sup>

Vzhledem k většímu počtu panelů, nutných k dosažení požadovaného solárního pokrytí, byly náklady na montáž uvažovány ve výši 10 %. Součtem předchozího získáme položku „Celkem“.

Referenční sazba pro cenu tepelné energie byla získána stejným způsobem jako pro kolektor. Pro vyhodnocení úspory ze získaných přebytků elektrické energie (nepoužitých na ohřev teplé vody) je třeba stanovit také referenční cenu elektrické energie. K její výši se lze dostat totožně jako u tepelné energie (podíl celkové zaplacené částky a spotřebovaných kilowatthodin z faktury odběru elektrické energie rodinného domu rodičů).

Roční uspořené náklady tak získáme vynásobením  $E_{ohřev}$  a přebytků příslušnou referenční sazbou a následným součtem obou těchto položek (suma  $E_{ohřev}$  násobena referenční cenou za tepelnou energii, suma přebytků referenční cenou za elektrickou energii).

Podílem celkových nákladů a roční úspory nákladů získáme prostou dobu návratnosti v letech.

Program Nová zelená úsporám se vztahuje také na instalaci solárních panelů pro rodinné domy. Stejně jako na instalaci solárních kolektorů lze získat až 35 000 Kč, nebo polovinu prokázaných nákladů. <sup>2)</sup>

Odečtením dotace od celkových nákladů a opětovným vydělením ročními úsporami nákladů získáme dobu návratnosti v letech.

Ekonomické hodnocení				
cena za panel	5399			
cena panelů	26995			
cena tělesa	2000			
montáž	2699,5			
celkem	31694,5			
referenční cena	1,57 Kč/kWhod			
referenční cena el.	4,12 Kč/kWhod			
úspora za rok	1156,881075 Kč			
návratnost	27,40 let			
obdržená dotace	35000			
návratnost s dotací	13,70			

Obrázek 7.8. Výpočet návratnosti investice.

<sup>1)</sup> <http://www.tepelna-cerpadla-eshop.cz/fotovoltaika-c106/kd-190gh-4yu-fotovoltaicky-solarni-panel-12v-190-wp-i754/>

<sup>2)</sup> [http://www.novazelenausporam.cz/file/476/zavazne-pokyny-pro-zadatele-rd\\_3\\_vyzva.pdf](http://www.novazelenausporam.cz/file/476/zavazne-pokyny-pro-zadatele-rd_3_vyzva.pdf)

# Kapitola 8

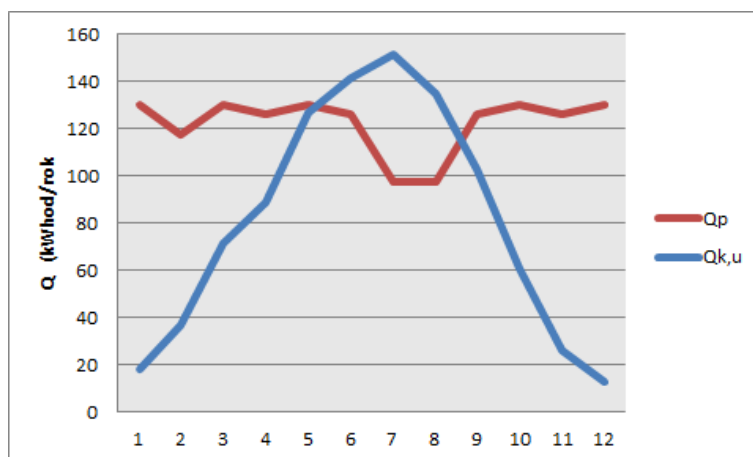
## Vyhodnocení

Po provedení celého výpočtu pro všechny varianty lze odpovědět na úvodní otázku.

	celkové náklady	návratnost	návratnost s dotací
varianta 1	23810,6	17,54	8,77
varianta 2	23810,6	19,71	9,85
varianta 3	23810,6	15,63	7,82
varianta 4	23810,6	19,32	9,66
varianta 5	23810,6	15,63	7,82
varianta 6	36138,2	<b>14,66</b>	<b>7,33</b>
varianta 7	29282,6	34,55	17,27
varianta 8	29282,6	<b>41,16</b>	20,58
varianta 9	47082,2	27,78	13,89
varianta 10	64881,8	30,40	15,20
varianta 11	64881,8	22,62	11,31
varianta 12	64881,8	27,24	13,62
varianta 13	31694,5	27,40	13,70
varianta 14	37633,4	31,09	15,54
varianta 15	61389,0	26,53	13,27
varianta 16	79205,7	29,84	16,66
varianta 17	91083,5	26,24	16,16
varianta 18	120778,0	29,39	<b>20,88</b>

Tabulka 8.1. Přehled výsledků.

Z dat je zřejmé, že pod hranici 10 let návratnosti se i po obdržení dotací dostaly pouze varianty s použitím plochých solárních kolektorů. Zároveň z grafů pro varianty 1 a 2 vychází, že se ani při použití pouze jednoho kolektoru není možné vyhnout stagnaci v letním období a s tím způsobeným problémům.



Obrázek 8.1. Vykreslení solárních zisků pro variantu 1.

Investice do solárních kolektorů je tedy spíše vhodná pro domácnosti o větším počtu osob, a tedy i větší spotřebě, za použití technologie plochých solárních kolektorů.

Z výsledků vyplývá, že varianta 6 nabízí nejnižší dobu návratnosti. To je způsobeno úhlem sklonu kolektorů  $75^\circ$ , který umožňuje instalaci druhého kolektoru bez nutnosti stagnace v letním období. Právě kvůli větším solárním ziskům toto není možné u varianty 5 (při striktním dodržení podmínky), která by při instalaci dodatečného druhého kolektoru přinášela o 23 % větší roční úsporu, než je tomu u varianty 6.

V takovém případě by ke stagnaci docházelo pouze v červenci a navíc v minimální míře. Instalací druhého kolektoru by se také doba návratnosti dostala na 11,92 let (5,96 let s dotací), což by mohlo vynahradit problémy se stagnací soustavy a pokrýt případnou investici do nejkvalitnější na trhu dostupné teplotnosné kapaliny. V obou variantách je počet osob v domácnosti 6, tedy nejvyšší. Potvrdil se tak předpoklad z úvodu, že optimální varianta bude uvažovat největší počet osob v domácnosti.

Ekonomicky nejvýhodnější se jeví varianty s použitím plochých kolektorů, navzdory nižším solárním ziskům než je tomu u vakuových trubcových kolektorů. Ty jsou navíc dle [10] znevýhodněny zjednodušeným výpočtem, který neumožňuje zahrnout do výpočtu jejich případně lepší optické vlastnosti. Ukazuje se, že rozdíl mezi cenami plochých a vakuových trubcových kolektorů je vyšší, než by odpovídal větším solárním ziskům (a tím i úspoře) při použití účinnější technologie.

Nepotvrdil se tak předpoklad z úvodu, že optimální varianta bude používat nejúčinnější technologii na trhu.

Fotovoltaické panely přinášejí nejmenší měrné solární zisky. To je dáno povahou technologie (převod záření na elektrickou energii), a tím i nižší účinností než je tomu u fototermicky pracujících kolektorů. Při použití celého vyprodukovaného množství energie na chod domácnosti by ale návratnost byla dramaticky nižší (kvůli vyšší referenční sazbě ceny elektrické energie).

Zajímavá situace nastala u poslední varianty (18) – nejdelší doba návratnosti je zde způsobena maximální výší možné dotace vzhledem k celkovým nákladům (35 000 Kč obdržené dotace je pouze 29 % celkových nákladů), což z ní dělá nejméně výhodnou variantu, navzdory lepší době návratnosti bez obdržení dotace v porovnání s variantami s vakuovými trubcovými kolektory.

Při porovnání doby návratnosti bez uvažování dotace je to opět varianta 5, která je nejvýhodnější. Nejhorší výsledek ale vykazuje varianta 8, používající technologii vakuových trubcových kolektorů. Vlivem nižších celkových nákladů pak dotace zkrátí dobu návratnosti na polovinu.

Důležitým faktem je, že se varianty jiného sklonu než je  $45^\circ$  u fotovoltaických panelů téměř nepoužívají, vzhledem ke snaze o maximalizaci zisků a nemožnosti vzniku problému jako je stagnace u kolektorů. Tyto varianty tak byly obsaženy pouze pro zajištění stejného počtu variant pro každou technologii.

U variant s využitím kolektorů obdržíme poměrně vysoké měrné tepelné zisky (až 500 kWh/m<sup>2</sup>/rok), přičemž např. [10] uvádí běžné rozmezí u rodinných domů mezi 250 až 350 kWh/m<sup>2</sup>/rok. Pro ověření byly dosazeny použité vstupní hodnoty do online nástroje zjednodušené bilance solárního kolektoru (dostupný na [10]) s obdržáním minimálně se lišících výsledků vlivem jiného uvažovaného umístění stavby, a tím i použití jiných klimatických dat.

Výsledky jsou dané patrně neobvykle vysokou účinností použitých kolektorů obsaženou v optických koeficientech kolektoru.

Optická účinnost $\eta_0$ (0 až 1)	<input type="text" value="0,78"/>	???
Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru $a_1$	<input type="text" value="3,25"/>	W/m <sup>2</sup> .K ???
Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru $a_2$	<input type="text" value="0,016"/>	W/m <sup>2</sup> .K <sup>2</sup> ???
Počet kolektorů	<input type="text" value="2"/>	ks ???
Plocha apertury solárního kolektoru $A_{k1}$	<input type="text" value="1,92"/>	m <sup>2</sup> ???
Celková plocha apertury kolektorů	<input type="text" value="3,8"/>	m <sup>2</sup>
Střední denní teplota v solárních kolektorech $t_{k,m}$	<input type="text" value="35 °C - Přehřívání teplé vody, pokrytí &lt; 35 %"/>	???
Srážka z tepelných zisků kolektorů vlivem tep. ztrát $p$	<input type="text" value="Příprava teplé vody, do 10 m2"/>	???
Sklon kolektoru $\beta$	<input type="text" value="45"/>	° ???
Azimut kolektoru $\gamma$ (jih = 0°)	<input type="text" value="0"/>	° ???

měsíc	$n$	$t_{ep}$	$t_{es}$	$G_{T,m}$	$\eta_k$	$H_{T,den}$	$H_{T,měs}$	$Q_{k,u}$	$Q_{p,TV}$	$Q_{p,VYT}$	$Q_{p,BV}$	$Q_{p,c}$	$Q_{ss,u}$
	dny	°C	°C	W/m <sup>2</sup>	-	kWh/m <sup>2</sup> .den	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
leden	31	-1.5	2.2	418	0.48	1.1	34.1	46	392	0	0	392	46
únor	28	0	3.4	489	0.54	1.97	55.2	82	354	0	0	354	82
březen	31	3.2	6.5	535	0.58	3.2	99.2	160	392	0	0	392	160
duben	30	8.8	12.1	527	0.62	3.96	118.8	205	379	0	0	379	205
květen	31	13.6	16.6	521	0.65	4.84	150	272	392	0	0	392	272
červen	30	17.3	20.6	517	0.68	5.29	158.7	300	379	0	0	379	300
červenec	31	19.2	22.5	512	0.7	5.19	160.9	309	294	0	0	294	294
srpen	31	18.6	22.6	515	0.7	4.71	146	281	294	0	0	294	281
září	30	14.9	19.4	516	0.67	3.95	118.5	221	379	0	0	379	221
říjen	31	9.4	13.8	488	0.62	2.4	74.4	128	392	0	0	392	128
listopad	30	3.2	7.3	427	0.54	1.21	36.3	54	379	0	0	379	54
prosinec	31	-0.2	3.5	387	0.47	0.77	23.9	31	392	0	0	392	31
							1176	2089	4418	0	0	4418	2073

$q_{ss,u}$	540 kWh/m <sup>2</sup> .rok
$f$	47 % ???
$Q_{ss,u}$	2073 kWh/rok

**Obrázek 8.2.** Ověření měrných solárních zisků.

Je třeba připomenout, že zjednodušený výpočtový postup energetického hodnocení solárních soustav (dle TNI 73 0302) přináší optimistické výsledky, a proto lze očekávat reálnou dobu návratnosti o něco delší. Stejně tak byly náklady na montáž odhadnuty velmi zjednodušeně.

U kolektorů byly pro jednoduchost opomenuty některé dodatečné náklady jako nutná pravidelná výměna teplotnosné kapaliny a spotřeba energie na pohon čerpadla kolektorového okruhu.

Také prostá doba návratnosti není tím nejlepším nástrojem, jak hodnotit výhodnost investice, ale byla použita pro jednoduchost použití a také kvůli faktu, že je dobře srozumitelná i neoborné veřejnosti (na rozdíl od čisté současné hodnoty nebo vnitřního výnosového procenta).





# Kapitola 9

## Závěr

V první části této práce byly shrnuty nejběžnější na trhu dostupné technologie (kapitola 2) a dále byl představen problém stagnace a jeho možná řešení (následující kapitola 3).

V dalších dvou teoretických částech byly popsány metody výpočtu pro solární kolektory (kapitola 4) a solární články (kapitola 5) s důrazem na zjednodušené výpočtové postupy, které byly později použity pro vyhodnocení výpočtových variant. V dalším kroku byly vytvořeny tyto varianty (kapitola 6) a sestaven výpočetní program (kapitola 7).

Díky tomuto nástroji jsme získali výstupy v podobě doby návratnosti investice pro jednotlivé varianty a v poslední kapitole 8 byla tato data zkoumána a vysvětlena.

Hlavním cílem této práce bylo rozhodnout, zda se vyplatí investovat do představených technologií pro stanovené velikosti domácností. Kritériu kratší doby návratnosti než stanovených 10 let vyhovělo jen prvních šest variant, které se shodovaly v použití plochých solárních kolektorů.

Výpočtem a vykreslením hodnot do přehledného grafu v kapitole 8 se ukázalo, že je obtížné vyhnout se stagnaci pro dvoučlennou domácnost v letním období i pro jeden instalovaný kolektor. V úvahu tedy připadají varianty 3 až 6, přičemž jako neefektivnější investice z nich se jeví ta, kde jsou ploché kolektory instalované pod úhlem  $75^\circ$  a dodávají tepelnou energii domácnosti o 6 osobách (varianta 6).

Je třeba brát tyto výsledky s vědomím toho, že byl použit zjednodušený výpočtový postup se záměrem zhruba porovnat nejběžnější technologie pro potřeby typických uživatelů – obyvatel rodinných domů. Pro přesné popsání situace při instalaci na konkrétní objekt je nutné provést detailní simulační výpočet, který využije i vstupů, které byly v tomto případě zanedbány nebo brány v potaz s určitým zjednodušením.

Pro přesné ekonomické vyhodnocení je pak nutné použít tyto výsledky pro výpočet roční úspory a vzít v úvahu veškeré zaplacené i dodatečné náklady na instalaci.

## Literatura

- [1] MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013. Stavitel. ISBN 978-80-247-3525-2.
- [2] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika: elektrina ze slunce*. 2. vyd. Praha: EkoWATT, 2008. 21. století. ISBN 978-80-7366-133-5.
- [3] MATUŠKA, Tomáš. *Solární soustavy pro bytové domy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-3503-0.
- [4] BROŽ, Karel a Bořivoj ŠOUREK. *Alternativní zdroje energie*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02802-X.
- [5] Stručná historie fotovoltaiky. *TZB-info* [online]. Praha, 2014 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>
- [6] Problematika stagnace u solárních tepelných soustav (I). *TZB-info* [online]. Praha, 2006 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3462-problematika-stagnace-u-solarnich-tepelnych-soustav-i>
- [7] Problematika stagnace u solárních tepelných soustav (II). *TZB-info* [online]. Praha, 2006 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3462-problematika-stagnace-u-solarnich-tepelnych-soustav-ii>
- [8] Dimenzování solárních soustav (II). *TZB-info* [online]. Praha, 2007 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4238-dimenzovani-solarnich-soustav-ii>
- [9] MATUŠKA, Tomáš. *Alternativní zdroje energie* [online]. Praha, 2010 [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: [https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni\\_materialy/AZE/Matuska\\_Alternativni\\_zdroje\\_energie.pdf](https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/AZE/Matuska_Alternativni_zdroje_energie.pdf)
- [10] Zjednodušená bilance solárního kolektoru. *TZB-info* [online]. Praha, 2011 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/7115-zjednodusena-bilance-solarniho-kolektoru>
- [11] Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací. *TZB-info* [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>

## **Příloha A**

### **Výkresová dokumentace varianty 6**

Pro výkresovou dokumentaci bylo uvažováno zapojení popsané v práci, stejně tak byly použity dříve uvedené komponenty (kolektory, zásobník).

Přílohou jsou tyto výkresy:

- půdorys kolektorového pole,
- řez a zjednodušené schéma solárního systému.