

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Návrh fotovoltaického systému a systému se solárními
kolektory pro ohřev TUV**

autor: David Šolc
vedoucí práce: Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.

2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David ŠOLC**
Osobní číslo: **E11N0104P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Návrh fotovoltaického systému a systému se solárními kolektory pro ohřev TUV**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište možnosti využití solární energie pro ohřev TUV.
2. Pro zvolený objekt navrhnete FV systém a systém se solárními kolektory pro ohřev TUV.
3. Porovnejte oba systémy z hlediska konstrukčního a provozního.
4. Proveďte hodnocení návrhů z hlediska energetického, ekonomického a ekologického.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Cihelka, J. : Solární tepelná technika, Praha, 1994
2. Ladener, H., Späte, F. : Solární zařízení, Grada, 2003

Vedoucí diplomové práce:

Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je návrh solárního systému s fototermickými kolektory a návrh solárního systému s fotovoltaickými panely pro ohřev teplé užitkové vody pro konkrétní obytný dům a jejich následné porovnání a zhodnocení.

Návrhy systémů jsou provedené podrobně, autor vychází z konzultací s firmou, která se instalací solárních systémů zabývá. Jsou použita vlastní vstupní data a výpočty detailně popsány. Porovnání systémů je provedeno v oblasti technologické (konstrukce, provoz systémů) a může být aplikováno obecně na podobné systémy. Zhodnocení se pak zabývá energetickou, ekonomickou (náklady, návratnost) a environmentální oblastí a je vztaženo ke konkrétním návrhům.

Aby hodnocení bylo co možná nejnázornější, je v práci vždy vyčíslen nejprve model ohřevu užitkové vody síťovou elektřinou. Solární systémy jsou pak s tímto základním, běžně užívaným modelem konfrontovány. Výstupem práce je konstatování, do jaké míry jsou fotovoltaické články výhodné a schopné nahradit v ohřevu užitkové vody dnes běžně instalované solární kolektory.

Klíčová slova

Solární systémy, ohřev TUV, solární kolektory, fotovoltaické články.

Abstract

Subject of this diploma thesis is to project a solar thermal collector system and photovoltaic system for potable water heating on a specific family house. Afterwards, these systems are compared and evaluated.

Projects of systems are made in details, author proceed from consultations with company concerning installation of solar systems. Own input data are used and calculations are properly described. The comparison deals with technology matters (construction, operating of systems) and can be applied in general to similar systems. Evaluation deals with energy, economic (costs, payback time), as well as with environmental area and it is related to specific projects.

In order to make the evaluation as illustrative as possible, a calculation of a model with potable water heating by net electricity is made. Then, solar systems are confronted with this basic, commonly used model. Output of this diploma is the statement if photovoltaic systems are advantageous and able to replace solar thermal collector systems that are nowadays commonly used for potable water heating.

Key words

Solar systems, PWH heating, solar thermal collector, photovoltaic solar panel.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne 9.5.2014

David Šolc

.....

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce, panu Prof. Ing. Janu Škorpilovi, CSc., a to za dohled v průběhu psaní celé práce, za připomínky k formální, jazykové i obsahové části práce, a především pak za vstřícnost, se kterou probíhaly konzultace. Velmi mi pomohl také zapůjčením odborné literatury a poskytnutím některých dat.

Dále poděkování patří společnosti INTERSEKCE alternativní energie s.r.o., jmenovitě jejímu jednatele, panu Ing. Josefu Ledvinovi, za zadání tématu práce a konzultaci problému. Dále také panu Ing. Martinu Mikovi z téže společnosti, a to za poskytnutí dat, informací a materiálů potřebných k sepsání práce. Také jeho rady byly neocenitelné a promítly se do podoby práce.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| OBSAH | 8 |
| SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ | 9 |
| ÚVOD | 10 |
| 1 VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE PRO OHŘEV TUV | 12 |
| 1.1 SYSTÉM SE SOLÁRNÍMI KOLEKTORY | 12 |
| 1.1.1 Ploché kolektory | 13 |
| 1.1.2 Vakuové trubicové kolektory..... | 14 |
| 1.1.3 Další součásti systému | 15 |
| 1.2 SYSTÉM S FOTOVOLTAICKÝMI PANELEMI | 19 |
| 1.2.1 Typy fotovoltaických panelů | 20 |
| 2 NÁVRH SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ PRO ZVOLENÝ OBJEKT | 23 |
| 2.1 POPIS ZVOLENÉHO OBJEKTU | 23 |
| 2.2 ENERGETICKÝ POTENCIÁL LOKALITY | 24 |
| 2.2.1 Výpočet intenzity záření | 24 |
| 2.2.2 Výpočet skutečné energie..... | 28 |
| 2.3 NÁVRH SYSTÉMU SE SOLÁRNÍMI KOLEKTORY | 31 |
| 2.3.1 Stanovení efektivní účinnosti kolektorů..... | 32 |
| 2.3.2 Stanovení plochy kolektorů | 34 |
| 2.3.3 Návrh komponentů..... | 36 |
| 2.4 NÁVRH SYSTÉMU S FOTOVOLTAICKÝMI PANELEMI | 37 |
| 2.4.1 Stanovení efektivní účinnosti panelů..... | 38 |
| 2.4.2 Stanovení plochy panelů | 39 |
| 2.4.3 Návrh komponentů..... | 40 |
| 3 POROVNÁNÍ SYSTÉMŮ | 42 |
| 3.1 KONSTRUKCE | 42 |
| 3.2 PROVOZ | 43 |
| 4 ZHODNOCENÍ SYSTÉMŮ | 45 |
| 4.1 ENERGETICKÁ BILANCE | 45 |
| 4.2 EKONOMICKÁ BILANCE..... | 49 |
| 4.2.1 Investiční náklady | 49 |
| 4.2.2 Návrh návratnosti systémů | 50 |
| 4.3 ENVIRONMENTÁLNÍ DOPAD PROVOZU | 54 |
| ZÁVĚR | 57 |
| POUŽITÁ LITERATURA | 59 |
| PŘÍLOHY | 1 |
| A Data a výpočty – energetický potenciál lokality | 1 |
| B Data a výpočty – návrh solárních kolektorů | 5 |
| C Data a výpočty – návrh fotovoltaických panelů..... | 6 |

Seznam zkratk a symbolů

| | | | |
|-----------------|-------------------------------------|-----------------|---|
| AC | Alternating current, střídavý proud | kpl | Kompletní dodávka |
| CO | Oxid uhelnatý | ks | Kus |
| CO ₂ | Oxid uhličitý | LCA | Life cyclus assessment, posouzení životního cyklu |
| ČHMU | Český hydrometeorologický ústav | NO _x | Oxidy dusíku |
| DC | Direct current, stejnosměrný proud | SO ₂ | Oxid siřičitý |
| EVA | Etylen vinyl acetát | s.š. | Severní šířka |
| el. | Elektrický | STC | Standard test conditions |
| FV | Fotovoltaický | TUV | Teplá užitková voda |
| jedn. | Jednotka | | |

Úvod

V dnešní době nás nárůst cen energetických komodit nutí hledat ekonomicky nejvýhodnější řešení prakticky ve všech oblastech spotřeby. Vedle elektřiny a energie na vytápění je jednou z hlavních položek na účtu za energie u běžných domácností cena za teplou užitkovou vodu (TUV). Centrální zásobování teplem pro ohřev TUV, které je levné a bez nároků na spotřebitele, je využíváno ve středně velkých a velkých městech pro bytové, případně rodinné domy. Pokud je tento způsob nedosažitelný nebo nevyhovující, je třeba zajistit ohřev vody svépomocí.

Pro ohřev užitkové vody se běžně se setkáme s dvěma typy řešení – průtokové a akumulční systémy. Průtokový ohřev vyžaduje zdroj tepla se značnou dynamikou – možnost dodat dostatečné množství energie v krátkém časovém úseku. Používá se elektřina, nebo plyn. Nutnost rychlého ohřevu je důvodem relativně nízké účinnosti ohřevu, toto řešení tedy není z dlouhodobého hlediska ekonomicky výhodné. Akumulční ohřev vody má zcela jiný charakter. Součástí je tepelný zásobník, ve kterém se voda dle potřeby ohřívá a uchovává, jsou zde tedy určité prostorové nároky. Voda se ohřívá průběžně, obvykle pokud jsou podmínky pro ohřev vhodné. Mezi nejčastější zdroje energie patří elektřina, plyn, uhlí, dřevo, nebo třeba topný olej.

Pokud vezmeme v potaz výše zmíněný nárůst cen těchto komodit, není divu, že využívání obnovitelných zdrojů energie se stává čím dál využívanějším způsobem ohřevu. Ohřev TUV z obnovitelných zdrojů je vždy akumulční. Mezi využitelné obnovitelné zdroje patří teplo ze země, vody či vzduchu získávané tepelnými čerpadly, nebo sluneční záření. Právě přímá přeměna slunečního záření na tepelnou energii pomocí solárních kolektorů a následným transportem teplotnosným médiem (fototermický systém) se stala hojně využívanou v rodinných domech a dalších objektech, a to nejen pro ohřev TUV, ale i například pro ohřev vody v bazénech. Sluneční záření po dopadu na kolektor ohřívá teplotnosné médium, které obvykle nuceným oběhem přenáší tepelnou energii do zásobníku s TUV. Počáteční vysoké investiční náklady jsou při vhodném návrhu během let vyváženy nízkými provozními náklady a nulovými náklady na zdroj tepla – sluneční záření nás přece nic nestojí. Provozní náklady jsou spojené především s provozem oběhového čerpadla a výměnou teplotnosného média.

V našem geografickém pásmu nicméně nejsou takové ideální klimatické podmínky, aby bylo možno provozovat systém se solárními kolektory celoročně, při plném pokrytí nároků běžné domácnosti. Proto je nutno do systému přidat sekundární zdroj tepla, například

elektrický ohřev. Tím se nám systém lehce zkomplikuje, nicméně správně navržený dovede takový systém plně pokrýt nároky na ohřev vody při zachování ekonomické výhodnosti.

Je znám také jiný způsob využívání solární energie. Fotovoltaické panely slouží k výrobě elektřiny díky fotoelektrickému jevu, k němuž dochází na polovodičových součástkách. Tyto systémy mají nižší účinnost přeměny solární energie a tím pádem vyšší prostorové nároky. V kombinaci s vyšší pořizovací cenou byly donedávna používány výhradně pro výrobu elektrické energie, která byla buď odebírána rovnou provozovatelem, nebo za výhodných podmínek prodávána do elektrické sítě. Díky těmto výhodným podmínkám trh s fotovoltaickými panely zažil doslova boom. To se však v posledních letech změnilo a stát přestal štědře dotovat výkup elektřiny vyrobené ze slunečního záření. Ceny panelů šly především z těchto důvodů rapidně dolů. Tím se ovšem otevřely další možnosti pro ohřev užitkové vody, doposud nevýhodné využití fotovoltaických panelů se rázem stalo alternativou solárním kolektorům.

Nižší účinnost a prostorové nároky jsou vyváženy nižšími pořizovacími náklady, a pokud uvažíme, že provoz fotovoltaických panelů nepotřebuje prakticky žádnou údržbu, odpadají i provozní náklady. Jednoduchost systému podtrhuje fakt, že nejsou nutné téměř žádné zásahy do infrastruktury domu, neboť teplo do zásobníku vody přivedeno v kabelech ve formě elektřiny. Na rozdíl od běžné výroby elektřiny není pro ohřev vody třeba elektrického střídače, drahého zařízení, které mění stejnosměrný elektrický proud na střídavý. Stejně jako u solárních kolektorů je i při použití fotovoltaických panelů potřeba sekundární zdroj tepla, pokud chceme zajistit celosezónní ohřev. Vzhledem k tomu, že primárním zdrojem je elektřina z panelů, nabízí se dále využít elektřinu sítíovou.

Abychom posoudili, který se způsobů řešení je výhodnější, a to z různých hledisek, budou tyto dva způsoby (fototermický a fotovoltaický ohřev) dále v práci rozvedeny a analyzovány.

1 Využití solární energie pro ohřev TUV

Obecně můžeme tepelné solární systémy rozdělit na pasivní a aktivní. Pasivní systém spočívá v přirozeném využití slunečního záření v budově jejími konstrukčními prvky – okna, prosklené stěny, tmavá střecha, atp. Slouží obecně ke zvýšení tepelného komfortu budovy. Aktivní systém vyžaduje přídatná zařízení s cílem co nejlepší přeměny slunečního záření na tepelnou energii, její akumulaci a její následný transport na místo využití. Právě tyto systémy slouží pro ohřev TUV. Do této kategorie patří solární kolektory. Řadíme sem i fotovoltaické panely, jejímž primárním výstupem je energie elektrická, která ovšem může být následně s vysokou účinností transformována na tepelnou.

1.1 Systém se solárními kolektory

Systém se solárními kolektory může mít mnoho různých provedení. Pokud budeme brát v potaz pouze systémy pro ohřev vody, mohou být podle použité technologie rozděleny na jednoduché/kombinované, se samotížným/nuceným oběhem, jednookruhové/dvouokruhové, nebo podle typu použitých kolektorů – ploché/vakuové.

- **Jednoduché** (monovalentní) systémy neobsahují žádný přídatný zdroj tepla, pracují pouze se solárními kolektory a v našich klimatických podmínkách jsou vhodné pro sezónní ohřev vody. V zimním období je totiž nedostatek slunečního záření, což způsobuje nízký tepelný zisk kolektorů. V případě monovalentního systému je třeba velkých kolektorových ploch pro zajištění dostatečného množství tepla. Vhodnějším řešením pro pokrytí celosezónní spotřeby tepla na ohřev TUV jsou **kombinované** systémy. Ty využívají sekundárního zdroje tepla, obvykle jednoho (bivalentní). Existují i systémy s dvěma přídatnými zdroji (trivalentní), to však příliš komplikuje provoz systému, zvyšuje poruchovost a ekonomickou náročnost, proto se příliš nepoužívají. Sekundárním zdrojem tepla může být plyn, elektřina nebo tepelné čerpadlo, případně jiné [1].
- Další varianty provedení se odvíjejí od způsobu cirkulace teplonosné kapaliny. **Samotížné** systémy využívají k cirkulaci gravitaci, chladnější kapalina má vyšší hustotu a klesá. Zásobník tepla je tedy třeba umístit výše než kolektory. Toto řešení je sice levnější, protože není třeba čerpadla, ale díky vysokému hydraulickému odporu je cirkulace pomalá a špatně regulovatelná. Kolektory jsou však obvykle uloženy na střeše, výše než tepelný zásobník, a přirozená cirkulace je pak nemožná. Obvykle je

tedy využíván **nucený** oběh, kdy cirkulaci teplonosné kapaliny zajišťuje čerpadlo, které je regulátorem systému spouštěno a zastavováno dle potřeby [5].

- **Jednookruhové** systémy nemají výměník tepla, voda je ke spotřebě přivedena přímo z kolektorů. Toto řešení je jednoduché a levné, ale má mnoho rizik. Voda proudící kolektory nesmí obsahovat nemrznoucí látky a může v chladném období zamrznout, může dojít k usazeninám nebo oxidaci kolektorů či potrubí. Dále je zvýšené riziko tvorby řas a bakterií do takové míry, že voda nebude splňovat nároky dané vyhláškou Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Používá se minimálně, například pro ohřev bazénů. Ve **dvoukruhovém** systému je voda určená ke spotřebě fyzicky oddělená od kapaliny v kolektorech. Je to tedy bezpečnější jak z hlediska provozu kolektorů, tak z hlediska zdravotního. Primární okruh je kolektorový, obsahuje speciální teplonosnou kapalinu. V tepelném zásobníku, který tvoří styčné místo okruhů, je teplo předáváno sekundárnímu okruhu. V tom proudí užitková voda [5].

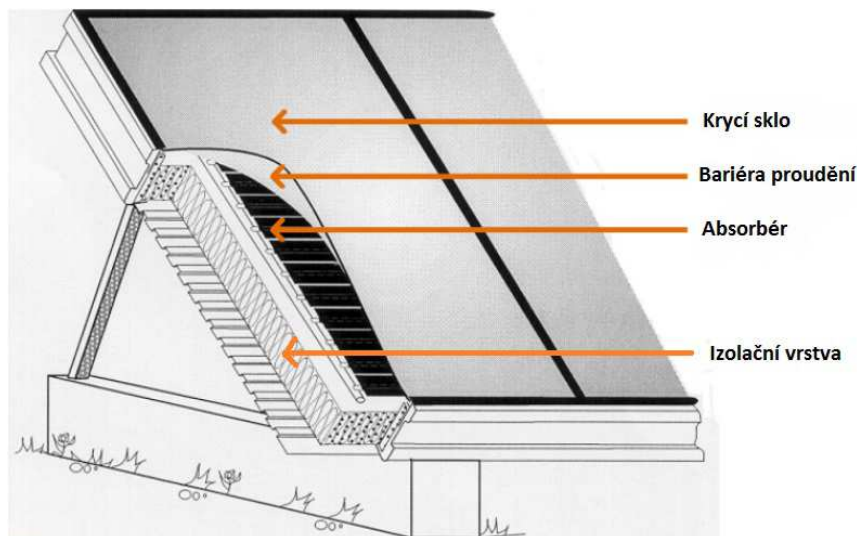
Typy kolektorů jsou popsány v mnoha různých zdrojích, jak v literatuře, tak na webových stránkách, nicméně informace jsou obvykle citované z několika málo původních zdrojů, jsou často zastaralé a neodrážejí nejnovější vývoj trhu s kolektory. Proto jsem čerpal z článku na zahraničních stránkách projektu Solar district heating, sdružujícího provozovatele solárních systémů v několika evropských státech. Informace zde jsou aktuální a odrážejí reálné využití kolektorů v současnosti. Pro ohřev TUV jsou nejčastěji používané ploché kolektory nebo vakuové trubicové kolektory. Koncentrující kolektory jsou méně vhodné, protože téměř nevyužívají difúzní záření rozptýlené v atmosféře a pokud není přímý sluneční svit, nepracují [1].

1.1.1 Ploché kolektory

Ploché kolektory mají tvar desky, sluneční záření proniká krycím sklem na absorbér o stejných rozměrech jako sklo, kde se mění na teplo. To je předáno teplonosné tekutině, která proudí v těsné blízkosti absorpční plochy. Pod absorbérem je vrstva izolace, která zabraňuje tepelným ztrátám. Absorbér je konstruován tak, aby zachytil co největší množství energie slunečního záření a přeměnil ho na teplo. K tomu slouží nátěrová vrstva, která může mít černou barvu, nebo speciální selektivní povrch. Ten, na rozdíl od obyčejné černé plochy, má tu výhodu, že kromě absorpce záření také snižuje 5 – 10x následné ztráty tepelným sáláním z

absorbéru a zachytává navíc difúzní záření rozptýlené v atmosféře. Tím zvyšuje účinnost. Ta u plochých kolektorů může být kolem 75 % – 80 % [1] [4].

Plochý kolektor také může obsahovat další vrstvu, která zabraňuje cirkulaci vzduchu mezi absorbérem a krycím sklem a snižuje tak ztráty jak prouděním, tak sáláním. Obvykle to je tenká transparentní folie na tenké vrstvě skla umístěná tak, aby se nedotýkala absorbéru. Protože tato vrstva snižuje množství propuštěného slunečního záření na absorbér podobně jako krycí sklo, je důležité zvážit její efektivnost [4].



Obrázek 1.1 Plochý kolektor s vrstvou zabraňující proudění [4]

Ploché kolektory také mohou být vakuové, tzn. s velmi nízkým tlakem vzduchu (≈ 100 Pa), což snižuje ztráty prouděním, nicméně podtlakem je velmi namáháno krycí sklo a tak musí být vyztuženo. Podtlak je však náročné udržet, kolektory mají tendenci „nasávat“ vzduch, a je nutné jej po určité době odčerpávat. Lze také použít na výplň vzácný plyn (krypton), docílí se podobného efektu bez nevýhod vakua. Obě řešení jsou ovšem poměrně drahá, a tak si obvykle vystačíme s plochými kolektory vyplněnými vzduchem, které, pokud jsou provedeny kvalitně a s nejnovějšími technologiemi, dosahují téměř stejně vysoké účinnosti [4].

1.1.2 Vakuové trubicové kolektory

Trubicové kolektory jsou tvořeny řadami skleněných trubic, ve kterých je uložen absorbér. Protože skleněná trubice má jiné mechanické vlastnosti než plochá deska, je možno docílit uvnitř vakua snadněji. Nevýhodou je nižší propustnost slunečního záření oproti plochým kolektorům, nicméně je to kompenzováno téměř neexistujícími ztrátami prouděním

a tepelnou vodivostí vzduchu, účinnost je tak během letního období obdobná nebo lehce nižší než u plochých kolektorů, tedy i přes 80 %.

Veliká výhoda spočívá v jejich vyšší účinnosti v zimním období. Účinnost kolektorů je obecně horší při vyšším rozdílu teplot absorberu a okolí, protože na vyšším teplotním gradientu dochází k rychlejšímu přenosu tepla (ztrátám). Absorbér vakuového kolektoru je však izolovaný od okolního vzduchu a proto i v chladném období k přenosu tepla téměř nedochází. Navíc snáze zachytávají difúzní záření, které je během dne přítomno i při zatažené obloze. Proti této výhodě však stojí účinná plocha kolektorů. Absorbér je umístěný v trubici a ty jsou od sebe v určité vzdálenosti. Plocha celého panelu je tím pádem výrazně větší, než plocha absorberu. Při stejné ploše plochých a trubicových kolektorů je u trubicových nižší výtěžnost než u moderních plochých. Mají tak své využití především v případě, že chceme zajistit celosezónní ohřev [3].



Obrázek 1.2 Vakuového trubicového kolektoru

1.1.3 Další součásti systému

Teplonosná kapalina v potrubí musí splňovat několik podmínek. Nízká viskozita umožňuje hladký průtok, relativně vysoká tepelná kapacita umožňuje dobrý odvod tepla z kolektorů, důležitá je neagresivnost vůči dalším prvkům systému, velký rozsah teplot pro kapalnou skupenství a tak dále. Toto poměrně dobře splňuje čistá voda, která je navíc levná, nicméně její použití s sebou přináší i řadu nevýhod. Za prvé obvykle obsahuje sloučeniny minerálních látek, které se za vysokých teplot usazují na stěnách potrubí a způsobují vodní

kámen. Ten pak brání průtoku vody, uvolňuje se a znečišťuje okruh. Za druhé má voda bod tuhnutí již při 0 °C, což je teplota u nás v zimním období běžně překonávaná. Z těchto důvodů se běžně používají směsi speciálních nemrznoucích látek na bázi glykolu s vodou, [2].

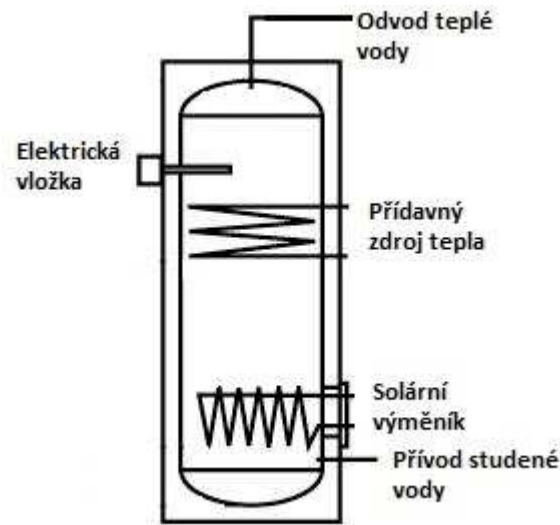
Koncentrace nemrznoucích látek se odvíjí od minimální venkovní teploty v dané lokalitě. Jednou z nevýhod těchto směsí je, že zvyšují viskozitu a snižují tepelnou kapacitu, proto je určení správné koncentrace důležité. Řešením může být, že množství glykolu není dimenzováno na nejnižší venkovní teplotu, ale na vyšší. Vzhledem k tomu, že nejnižších teplot je dosahováno výjimečně, může v takových případech čerpadlo přepnout do reverzního režimu, a čerpat teplou vodu ze zásobníku, a tím tak udržovat kapalinu nad bodem tuhnutí. Správným návrhem se dosáhne určitého kompromisu mezi příliš vysokou koncentrací glykolu ve směsi a ztrátám tepla kvůli zbytečně častému reverznímu chodu [4].

Nedílnou součástí systému se solárními kolektory je **potrubí** primárního okruhu. To je obvykle vyrobeno z měděných trubek různých průměrů a mělo by být co nejmenší délky. Trubky z jiných materiálů, například z plastů či pozinkované oceli se neosvědčily. Plasty nejsou dostatečně tepelně odolné a jsou náchylné k difúzi kyslíku. Ocel zase podléhá korozi, zatímco měď je stabilní. Při výběru průměru je třeba dbát především na průtočné množství kapaliny (počet kolektorů) a celkovou délku od kolektorů k zásobníku. Pro správnou funkci systému je klíčová dobrá tepelná izolace potrubí (minerální vlákna, různé izolační obaly, speciální kaučukové výrobky, ...). Při nedokonalé izolaci potrubí strmě klesají tepelné zisky [3].

Tepelný zásobník je styčným bodem okruhů, dochází zde k předávání a akumulaci tepla z kolektorů do užitkové vody. Jedná se o rozměrnou, tepelně izolovanou tlakovou nádobu z oceli, nejčastěji válcového tvaru. Uvnitř se nachází solární tepelný výměník, měděná spirála, kterou proudí kapalina primárního okruhu a ohřívá okolní vodu. Tepelných výměníků může být více, podle zvoleného systému ohřevu, může být doplněn i o elektrické topné těleso. To zajistí ohřev v době, kdy solární systém neposkytuje dostatek tepla [3].

Válcové zásobníky se používají téměř výhradně a to z toho důvodu, že u vysokých válcových zásobníků dochází vlivem rozdílné hustoty vody k vrstvení teplot, což je důležité pro správný chod. Solární výměník se umísťuje do spodní části zásobníku, studená užitková voda je přivedena zespoda a ohřívá se. Teplejší ohřátá voda má nižší hustotu a stoupá, v horní části zásobníku je tak nejvyšší teplota. Ta je zde odebírána. Toto řešení zajišťuje, že je odebírána vždy nejteplejší voda, a pokud je odebráno větší množství vody, studená, nově

přivedená voda se nemíchá s již ohřátou. Elektrické topné těleso se pak umísťuje do horní třetiny zásobníku [3].



Obrázek 1.3 Schéma tepelného zásobníku [3]

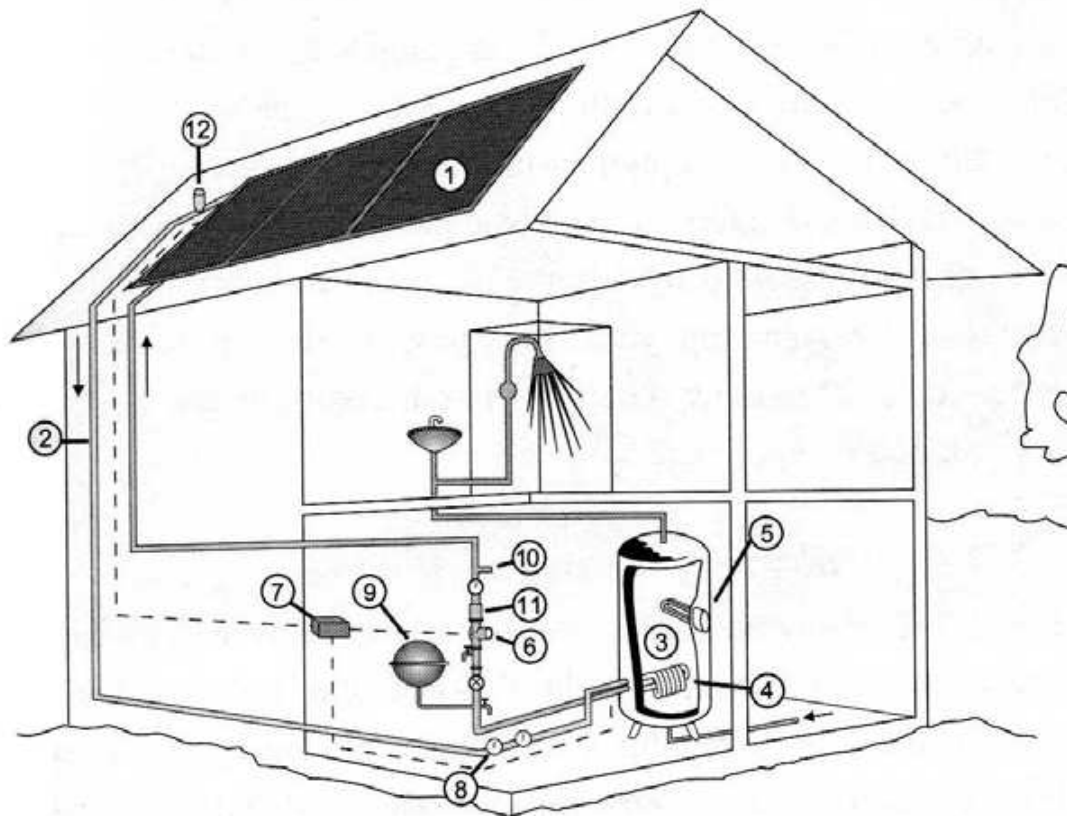
Velmi důležitou součástí systému je **automatická regulace**, která zajišťuje správný provoz za měnících se podmínek. Proměnlivá intenzita slunečního záření, příliš vysoké teploty teplotnosné kapaliny či v čase se měnící spotřeba TUV způsobují, že systém vyžaduje automatické řízení. To bývá nejčastěji realizováno sepnutím/vypnutím oběhového čerpadla, případně změnou jeho otáček. Nejjednodušším řešením je měření teplot čidly, která jsou umístěna na výstupu teplotnosné kapaliny z kolektorů a v tepelném zásobníku v oblasti solárního výměníku. Regulátor je nastaven tak, že při překročení určitého rozdílu těchto teplot (cca 5 °C) sepne oběhové čerpadlo. Zároveň je hlídána maximální přípustná teplota v zásobníku [3] [1].

Pro hospodárnější provoz může být automatická regulace vybavena dalšími prvky, například čidlem pro měření intenzity slunečního záření. Změna průtoku je řízena změnou otáček čerpadla, nebo regulačním ventilem. V případě, že systém obsahuje další tepelné zdroje, je třeba složitější regulace, která bude tyto zdroje spínat v případě potřeby. Pokud například slouží jako sekundární zdroj tepla elektřina, je umístěno další čidlo v horní části zásobníku a regulátor ovládá i chod elektrického topného tělesa [2].

Oběhové čerpadlo zajišťuje cirkulaci teplotnosné kapaliny v primárním okruhu a umožňuje odebírání tepla na kolektorech a předávání v tepelném zásobníku. Důležité je správné dimenzování čerpadla tak, aby zajišťovalo dostatečný průtok vzhledem k viskozitě kapaliny a hydraulickému odporu systému. Pokud bude průtok nedostatečný, bude docházet

k přehřívání kolektorů. Na druhou stranu, příliš velký výkon čerpadla způsobí nadměrný odběr elektřiny [3].

Čerpadlo je běžně součástí čerpadlové jednotky, který vedle čerpadla obsahuje bezpečnostní a kontrolní prvky jako teploměr, manometr, zpětnou záklopku, přetlakový ventil či expanzní nádobu. Tyto součástky jsou pevnou součástí modulu, což usnadňuje montáž. Zpětná záklopka brání samovolnému zpětnému chodu vlivem gravitace, pokud je teplota kapaliny v kolektorech chladnější než v tepelném zásobníku. Expanzní nádoba slouží ke kompenzaci objemu kapaliny v systému, který se mění s teplotou, nebo případně při vzniku páry v systému v důsledku přehřátí kolektorů. Přetlakový ventil pak slouží jako poslední prvek ochrany. V případě že expanzní nádoba není z nějakého důvodu schopná zachytit nárůst objemu, ventil se otevře a část kapaliny se upustí. Tím dojde ke snížení tlaku v potrubí [3].



1 – Kolektory, 2 – Potrubí, 3 – Tepelný zásobník, 4 – Tepelný výměník, 5 – Elektrická vložka, 6 – Oběhové čerpadlo, 7 – Regulátor, 8 – Teploměr, 9 – Expanzní nádoba, 10 – Přetlakový ventil, 11 – Zpětná záklopka, 12 – Odvzdušňovací ventil

Obrázek 1.4 Kombinovaný solární termický systém s dvěma okruhy a nuceným oběhem [2]

Z výše uvedeného pak vyplývá, že pro celosezónní ohřev TUV je tedy ideální dvoukruhový kombinovaný systém s nucenou cirkulací, který je znázorněn na obrázku 1.1 se

všemi popsánymi prvky. V takovýchto případech je plocha kolektorů 1 m² schopna ohřát přibližně 40 – 60 l spotřeby TUV denně na cca 50 °C. Tímto řešením je možno v našich klimatických podmínkách získat v průběhu roku až 2/3 tepla pro ohřev ze slunečního záření, přičemž v letních měsících (duben - září) je to 100 %. V zimním období však příspěvek kolektorů klesá na cca 33 % a v měsících listopad – únor až na 0 %, pak je třeba celou spotřebu ohřát přídatným zdrojem. Ten tedy musí být dimenzován na maximální měsíční spotřebu domácnosti [1].

1.2 Systém s fotovoltaickými panely

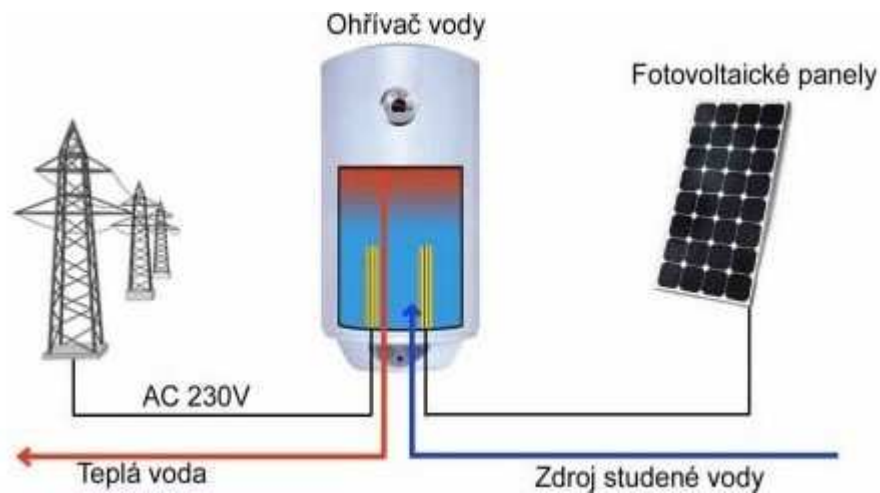
Fotovoltaické panely jsou primárně určeny pro výrobu elektrické energie. Jejich využití pro ohřev TUV je, jak už bylo zmíněno výše, záležitostí posledních let. Oproti systémům se solárními kolektory se vyznačují především jednoduchou instalací a provozem. Zatímco solární kolektory vyžadují k provozu množství dalších součástí a zařízení (čerpadlo, regulátor, potrubí,...), fotovoltaické panely mohou dodávat do tepelného zásobníku jednoduše ve formě elektřiny, která se topným tělesem přemění na teplo.

Velikou výhodou ohřevu TUV fotovoltaickými panely je to, že lze využít elektřinu stejnosměrnou, kterou panely vyrábí transformací slunečního záření. Není tedy nutné použít střídač (invertor), který stejnosměrnou elektřinu převádí na střídavou. Tyto střídače je nutno použít, pokud elektřinu chceme dodávat do sítě nebo využít ke spotřebě v tzv. ostrovním režimu. Ceny střídačů se pohybují v řádech desetitisíců korun a celkové náklady na instalaci panelů v případě použití pro ohřev TUV výrazně klesnou.

S výhodou můžeme fotovoltaické panely použít v zimním období, protože jejich účinnost s klesající teplotou roste, na rozdíl od solárních kolektorů. Podle typu zvolené technologie pak panely fungují i za horších světelných podmínek [6].

Při přenosu elektrické energie z panelů až do zásobníku dochází k minimálním ztrátám odporem vedení, ohřev topného tělesa přivedenou elektřinou probíhá s téměř 100% účinností a předání tepla z tělesa do vody je okamžitá, bez tepelné setrvačnosti. Proto lze říci, že energie ze slunečního záření, která je fotovoltaickými panely získaná s určitou účinností, je pak všechna beze ztrát využita na ohřev TUV. Problémem je právě tato účinnost přeměny slunečního záření na elektřinu, která je u běžně používaných panelů cca 15 %. U solárních kolektorů dosahuje účinnost běžně 75 %, pokud uvažujeme ještě ztráty v potrubí a v solárním výměníku, zjistíme, že plocha fotovoltaických panelů musí být 3x – 4x větší, což je důvod, proč se s fotovoltaikou pro ohřev TUV až donedávna nepočítalo [6].

V zásadě systém s fotovoltaickými panely sestává z panelů samotných, kabelů, ochranných prvků (jištění, přepěťová ochrana), tepelného zásobníku s elektrickým topným tělesem a regulací pro spínání stejnosměrného proudu. Pro celoroční ohřev TUV je opět potřeba sekundární zdroj tepla, který se nabízí realizovat druhým elektrickým okruhem s topným tělesem, tentokrát napájený elektřinou ze sítě. Regulátor pak spíná jednotlivé elektrické okruhy podle potřeby a podle aktuální intenzity záření. Zjednodušený systém s fotovoltaickými panely je znázorněn na obrázku 1.5 [6].



Obrázek 1.5 Kombinovaný fotovoltaický systém [6]

1.2.1 Typy fotovoltaických panelů

Podle technologie a použitých materiálů můžeme uvažovat mnoho typů fotovoltaických článků a z nich vyrobených panelů, ovšem v současné době se pro účely malých domácích aplikací či větších fotovoltaických elektráren používají téměř výhradně panely obsahující křemíkové články, a to monokrystalické, polykrystalické, případně tenkovrstvé amorfnní. Další typy využívající jiné polovodičové prvky jako Galium, Arsen, Kadmium nebo organické sloučeniny jsou velmi náročné na výrobu a používají se pro laboratorní účely nebo například pro kosmické aplikace [7].

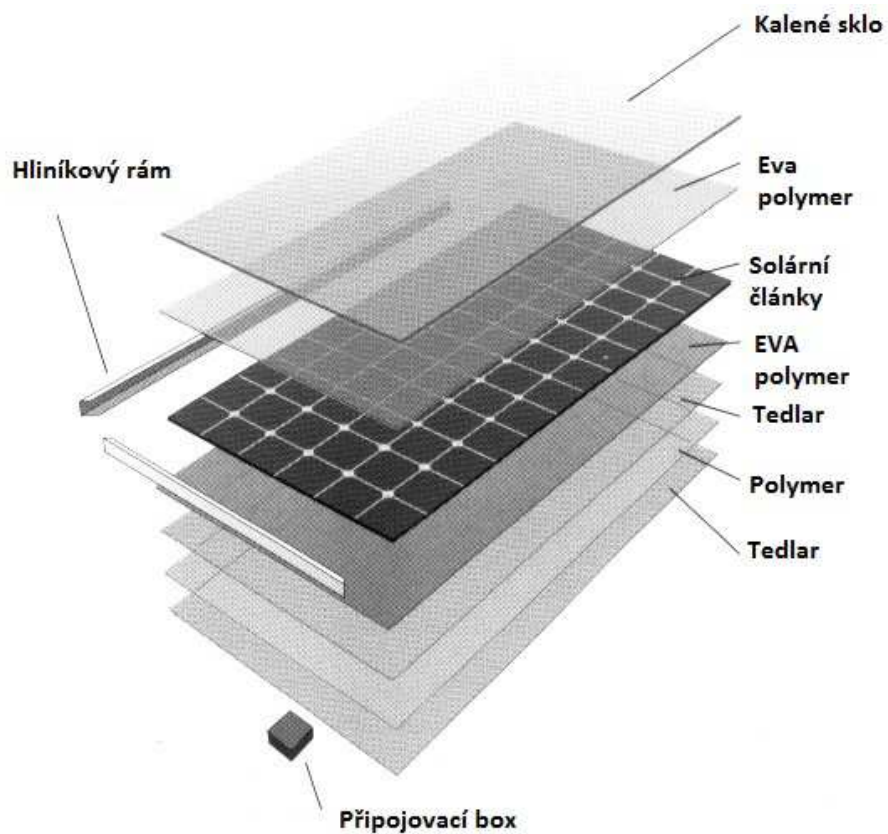
Monokrystalický fotovoltaický článek je v zásadě polovodičová součástka s PN přechodem o velké ploše, až 20 cm v průměru. Tloušťka zpravidla nepřesahuje 400 μm . Tyto články ve tvaru desky se spojují sériově, v jednom panelu jich může běžně být více než 40. Křemík je snadno dostupný prvek hojně zastoupený v zemské kůře, jeho zpracování je dobře zvládnuté díky desítkám let praxe. Přesto je náročné a drahé, neboť monokrystalická struktura vyžaduje velmi vysokou čistotu krystalické mřížky, bez příměsí a vad ve struktuře. Do

taveniny z křemenného písku se vloží čistý iniciační krystal a postupným otáčením a tuhnutím se vytvoří rozměrný monolitický krystal. Rozřezání původního monokrystalického ingotu na tenké destičky doprovází velké ztráty draze získaného čistého materiálu, není tedy divu, že panely z těchto článků patří mezi ty nejdražší používané. Nicméně jejich účinnost je při porovnání s ostatními používanými panely poměrně vysoká, 14 – 15 %. Tato účinnost je závislá na intenzitě záření, platí při hodnotě 1000 W m^{-2} . Nevýhodou těchto článků může být, že i při zastínění minimální plochy panelu pak strmě klesá jejich účinnost [7].

Tímto neduhem netrpí **polykrystalické křemíkové články**. Polykrystalický křemík je čím dál častěji využíván do fotovoltaických panelů díky nižším nákladům na jeho výrobu. Dosahovaná účinnost je sice nižší, nepřesahuje 13 – 14 %, neboť nedosahují takové čistoty jako monokrystal, ale to je vyváženo nižší konečnou cenou panelu. Namísto jednoho monolitického krystalu se vyrobí více menších, z těch se vyrobí substrát, lisováním pak opět ingot, který se dále řeže na požadovanou tloušťku. Obě tyto technologie výroby fotovoltaických článků se označují jako technologie tlusté vrstvy [7].

Mezi tenkovrstvé technologie patří **články z amorfního křemíku**. Tyto články jsou vyrobeny tak, že na podklad, který může být z kovu, plastu nebo skla, se nanese napařováním tenká vrstva ($< 1 \mu\text{m}$) amorfního křemíku. Oproti krystalickým článkům netvoří panel více článků, ale pouze článek jeden. Účinnost panelů je výrazně nižší, než u krystalických článků, dosahují maximálně 8 %, běžněji kolem 6 %. Tím se jeví jako nevýhodné, ovšem jejich výhoda je, že umí mnohem lépe využít difúzní sluneční záření, které je přítomno v zimním období. Hodí se tak pro celoroční využití [7].

Konstrukce panelů je poměrně složitá záležitost. Jak již bylo řečeno, články se sdružují do panelů kvůli manipulaci a mechanické i chemické odolnosti. Jeden článek je obvykle schopen produkovat napětí kolem 0,5 V, jejich sériovým řazením v panelu je možno dosáhnout desítek voltů. Nad křemíkovými články je několik vrstev z plastů či skla, zajišťující jejich ochranu a dobrou propustnost slunečního záření. Vše je zapouzdřeno v hliníkovém nebo plastovém rámu. Konstrukce se samozřejmě může lišit typ od typu, či podle použité technologie, popsány jsou běžné typy [7].



Obrázek 1.6 Příklad konstrukce fotovoltaického panelu [7]

2 Návrh solárních systémů pro zvolený objekt

Při navrhování solárních systémů je třeba uvědomit si několik souvislostí. Především, protože se jedná o zdroj tepla závislý kompletně na klimatologických jevech jako sluneční intenzita nebo teplota, je při návrhu vycházeno z poněkud paušalizovaných dat a předpokladů, což slouží k modelaci průměrné a tedy nejpravděpodobnější situace, která nastane v průběhu sledovaného období, tedy jednoho roku. Cílem návrhu není přesný model každoročního provozu, ale spíše co neblíží dlouhodobý model.

Pro každý konkrétní objekt (budovu) jsou rozdílné vstupní veličiny. Přestože je naše republika relativně malá a obecně lze říci, že spadá do jedné klimatické oblasti, nelze při návrhu solárních systémů na různých místech republiky vycházet ze stejných dat. Pro představu, průměrná teplota a průměrná délka svitu slunce bude na jižní Moravě zcela rozdílná než například na Šumavsku nebo v Krušnohoří. I to, zda se objekt nachází na venkově nebo ve velkoměstě, hraje svojí roli. Proto podle místa, kde se objekt nachází, je třeba uvažovat místní klimatologická data, pokud možno aktuální a pro co nejbližší okolí.

Samozřejmě, objekt od objektu se liší také nároky na spotřebu TUV. Ta pochopitelně podle určení objektu může být celoroční nebo sezónní, případně víkendová nebo soustředěná do jiného specifického období, což není pro solární systémy příliš vhodné. Kolísá i v průběhu roku a její předpovídání je zásadní pro celý návrh systému. V neposlední řadě je třeba uvažovat dispozice budovy, jako například sklon a plocha střechy (případně jiné plochy, na které budou panely/kolektory umístěny), vzdálenost od tepelného zásobníku atp.

2.1 Popis zvoleného objektu

Objekt se nachází v Plzeňském kraji, okres Plzeň – jih. Jedná se o starší stavbu z počátku 20 století, využívanou v minulých letech rekreačně, ovšem v posledních letech je obývaná celoročně, dvěma osobami v zimním období a čtyřmi osobami v letním.

Objekt má dostatečně velkou střechu 16 x 5,5 m se sklonem 45° a orientací 12,4° (odchylka jižního od směru ve smyslu hodinových ručiček, tj. západně). Toto jsou parametry vhodné pro instalaci obou solárních systémů. Vzdálenost z části střechy, kde je plánované umístění kolektorů/panelů až k současnemu tepelnému zásobníku je cca 10 m, bude tedy potřeba přes 20 m měděných trubek/kabelových rozvodů.

Objekt má vlastní studnu, odkud je přivedena voda o stálé teplotě 10 °C po celý rok. Ta bude použita pro výrobu TUV, stejně jako je tomu v současnosti.

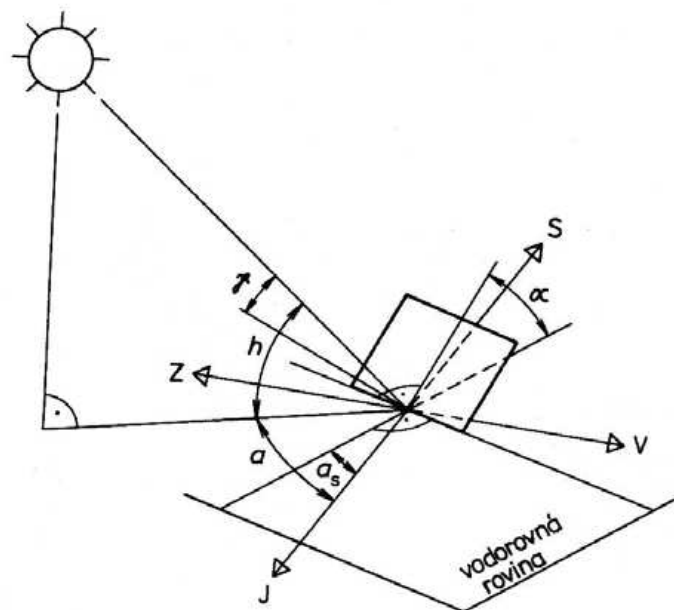
2.2 Energetický potenciál lokality

Abychom mohli určit, kolik tepla mohou solární kolektory nebo fotovoltaické panely vyrobit, je třeba znát množství energie na ně dopadající. Toto dopadající množství se liší pro různé lokality a také podle období. Ideální by bylo určit dopadající energii pro každý den roku, nicméně to přesahuje rozsah této práce. Proto budeme pracovat s průměrným dnem v každém měsíci a spočtené hodnoty budou měsíční průměrné či úhrnné.

Důležitými vstupními informacemi jsou zeměpisná šířka, nadmořská výška, znečištění atmosféry v dané lokalitě omezující průchod slunečnímu záření, odrazivost okolních ploch a natočení kolektorů/panelů vůči slunci.

2.2.1 Výpočet intenzity záření

Základní veličina popisující záření je intenzita záření. Schéma pro výpočet intenzity záření dopadajícího na obecně položenou plochu vidíme na obrázku 2.2.



Obrázek 2.1 Schéma pro výpočet intenzity záření [1]

Sluneční záření dopadající na obecnou plochu můžeme rozdělit na dva typy, a to přímé, popsané intenzitou I_p , a difúzní, popsané intenzitou I_D . Výsledná intenzita je pak součtem těchto dvou intenzit, podle vzorce

$$I = I_p + I_D \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2.1)$$

Nejprve si určíme intenzitu přímého záření. To je způsobeno slunečními paprsky dopadajícími přímo, bez předchozího odrazu či rozptylu. Výchozí hodnotou pro výpočet je

intenzita dopadající kolmo na povrch naší atmosféry, kterou budeme považovat za neměnnou. Říká se jí *solární konstanta* a její hodnota je $I_0 = 1360 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Intenzita přímého záření na plochu kolmou ke směru paprsků (normálovou plochu) se pak vypočte jako

$$I_{pn} = I_0 \cdot \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right) \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}] \quad (2.2)$$

kde Z – součinitel znečištění atmosféry, který budeme uvažovat podle [1] pro venkovské oblasti bez průmyslových exhalací v průměru roven 3 (pro města 4),

ε – součinitel respektující výšku slunce nad obzorem a nadmořskou výšku místa.

Pro součinitel ε platí vztah

$$\varepsilon = \frac{9,30876 \cdot [\sin(h) + \sqrt{0,003 + \sin^2(h)}]}{2,0015 \cdot (1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018 \quad [-] \quad (2.3)$$

kde h – výška slunce nad obzorem [°],

H – nadmořská výška, v našem případě 515 [m n. m.].

Jak hodnoty h a ε pro danou denní dobu, tak výsledná intenzita přímého záření na kolmou plochu I_{pn} , jsou uvedeny v příloze A. Nicméně v praxi kolektory/panely nejsou orientovány kolmo na sluneční paprsky a je třeba spočítat intenzitu přímého záření na obecně umístěnou plochu I_p . V našem případě je plocha orientovaná s azimutem $a_s = 12,4^\circ$ (odchylka jižního od směru ve smyslu hodinových ručiček, tj. západně) a sklonem od vodorovné roviny $\alpha = 45^\circ$.

$$I_p = I_{pm} \cdot \cos(\gamma) \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}] \quad (2.4)$$

přičemž

$$\cos(\gamma) = \sin(h) \cdot \cos(\alpha) + \cos(h) \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(a - a_s) \quad [-] \quad (2.5)$$

kde a – azimut slunce v dané hodině [°].

Azimut slunce a , stejně jako $\cos(\gamma)$ jsou opět uvedeny v příloze A, tabulku 2.1 s průběhem I_p v závislosti na denní době pak vidíme níže.

| Intenzita přímého záření na aktivní solární plochu I_P v jednotlivých hodinách [$W \cdot m^{-2}$] | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Měsíc | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Prosinec | | | 160,93 | 335,22 | 467,50 | 529,92 |
| Listopad a Leden | | | 221,60 | 406,15 | 541,71 | 607,50 |
| Říjen a Únor | | 140,52 | 347,42 | 543,72 | 689,34 | 761,56 |
| Září a Březen | 46,35 | 237,12 | 463,63 | 669,78 | 820,68 | 898,87 |
| Srpen a Duben | 81,61 | 297,56 | 529,32 | 735,22 | 887,20 | 966,10 |
| Červenec a Květen | 97,60 | 315,69 | 549,86 | 751,54 | 897,93 | 975,29 |
| Červen | 109,68 | 328,30 | 552,08 | 749,15 | 893,61 | 969,60 |
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Prosinec | 509,80 | 404,61 | 224,31 | | | |
| Listopad a Leden | 590,35 | 489,37 | 307,71 | | | |
| Říjen a Únor | 750,13 | 652,95 | 478,66 | 249,11 | | |
| Září a Březen | 891,57 | 800,75 | 632,95 | 410,39 | 172,28 | |
| Srpen a Duben | 962,12 | 875,48 | 716,25 | 503,49 | 269,00 | 67,96 |
| Červenec a Květen | 972,48 | 891,41 | 739,20 | 530,69 | 306,33 | 102,58 |
| Červen | 967,31 | 887,93 | 740,10 | 542,89 | 322,54 | 113,94 |

Tabulka 2.1 Intenzita přímého záření, vypočteno podle vzorce 2.4

Kromě přímého záření hraje při zachycování tepelné energie na absorberu roli také difúzní záření, které vzniká rozptylem a odrazem záření v atmosféře vlivem molekul plynů, částec prachu či mraků, a také odrazem od okolních ploch. Toto záření je nepřímé, na rozdíl od přímého záření nepřichází z jednoho směru a je přítomno i při zatažené obloze, kdy nedochází k přímému záření. Jeho hodnota je několikanásobně nižší, a ne všechny aktivní solární systémy ho umějí využít bez přítomnosti přímého záření. Z popisu vyplývá, že jeho intenzita bude velmi proměnlivá, závisí na odrazivosti okolních ploch, počasí, stavu atmosféry atp. Jeho přibližná intenzita lze vypočítat jako

$$I_D = 0,5 \cdot (1 + \cos(\alpha)) \cdot I_{Dh} + 0,5 \cdot r \cdot (1 - \cos(\alpha)) \cdot (I_{Ph} + I_{Dh}) \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (2.6)$$

kde r – reflexní schopnost okolních ploch, albedo, volíme 0,20 [-],

I_{Ph} – intenzita přímého záření na vodorovnou plochu [$W \cdot m^{-2}$],

I_{Dh} – intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu [$W \cdot m^{-2}$].

Intenzity I_{Ph} a I_{Dh} se vypočítají

$$I_{Ph} = I_{Pn} \cdot \sin(h) \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (2.7)$$

$$I_{Dh} = 0,33 \cdot (I_0 - I_{Pn}) \cdot \sin(h) \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (2.8)$$

a jejich hodnoty jsou spočteny v tabulkách v příloze A. Hodnoty průběhu difúzní intenzity v jednotlivých hodinách dne pak vidíme v tabulce 2.2.

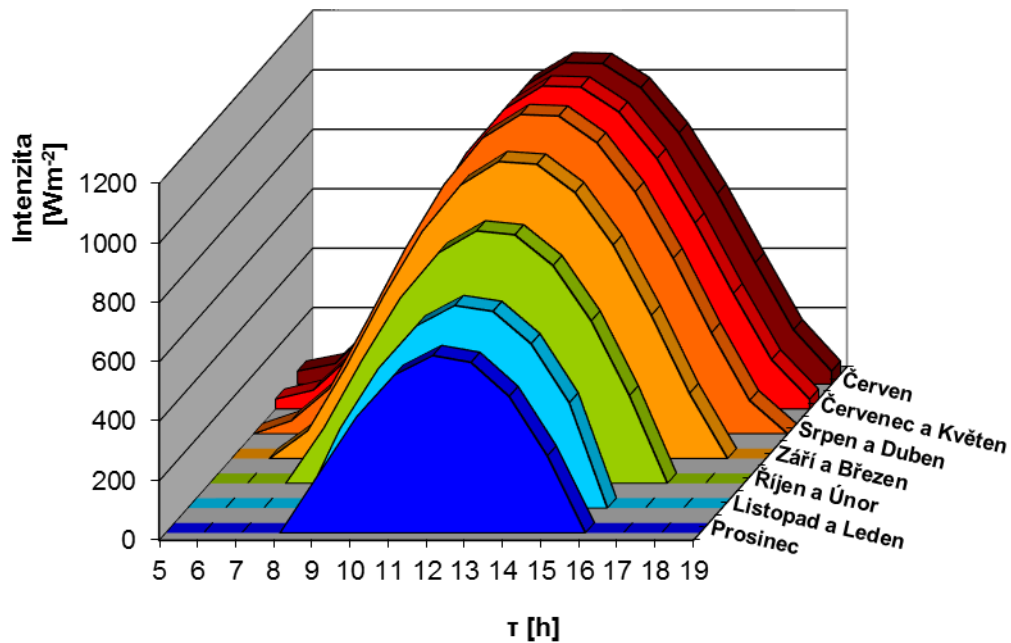
| Intenzita difúzního záření na kolektorovou plochu I_D v jednotlivých hodinách [$W \cdot m^{-2}$] | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Měsíc | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Prosinec | | | | | 34,93 | 54,69 | 64,18 | 67,05 |
| Listopad a Leden | | | | | 46,94 | 63,80 | 71,88 | 74,39 |
| Říjen a Únor | | | | 46,33 | 68,13 | 80,09 | 86,30 | 88,22 |
| Září a Březen | | | 47,22 | 71,88 | 86,17 | 94,76 | 99,26 | 100,75 |
| Srpen a Duben | | 44,34 | 71,14 | 87,37 | 97,74 | 104,13 | 107,55 | 108,59 |
| Červenec a Květen | 33,35 | 63,75 | 82,70 | 95,58 | 103,61 | 108,70 | 111,28 | 112,02 |
| Červen | 44,23 | 69,75 | 86,46 | 97,85 | 105,47 | 110,02 | 112,30 | 112,92 |
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
| Prosinec | 64,18 | 54,69 | 34,93 | | | | | |
| Listopad a Leden | 71,88 | 63,80 | 46,94 | | | | | |
| Říjen a Únor | 86,30 | 80,09 | 68,13 | 46,33 | | | | |
| Září a Březen | 99,26 | 94,76 | 86,17 | 71,88 | 47,22 | | | |
| Srpen a Duben | 107,55 | 104,13 | 97,74 | 87,37 | 71,14 | 44,34 | | |
| Červenec a Květen | 111,28 | 108,70 | 103,61 | 95,58 | 82,70 | 63,75 | 33,35 | |
| Červen | 112,30 | 110,02 | 105,47 | 97,85 | 86,46 | 69,75 | 44,23 | |

Tabulka 2.2 Intenzita difúzního záření, vypočteno podle vzorce 2.6

Nyní, když známe denní průběh obou intenzit, můžeme podle vzorce 2.1 určit průběh celkové intenzity během slunečného dne.

| Intenzita celkového záření / dopadající na aktivní solární plochu při slunečném dni v jednotlivých hodinách [$W \cdot m^{-2}$] | | | | | | | | |
|--|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Měsíc | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Prosinec | | | | | 195,87 | 389,91 | 531,68 | 596,97 |
| Listopad a Leden | | | | | 268,53 | 469,95 | 613,59 | 681,89 |
| Říjen a Únor | | | | 186,85 | 415,54 | 623,81 | 775,64 | 849,78 |
| Září a Březen | | | 93,56 | 309,00 | 549,80 | 764,53 | 919,93 | 999,62 |
| Srpen a Duben | | 44,34 | 152,75 | 384,93 | 627,06 | 839,35 | 994,74 | 1074,69 |
| Červenec a Květen | 33,35 | 63,75 | 180,30 | 411,27 | 653,48 | 860,24 | 1009,22 | 1087,31 |
| Červen | 44,23 | 69,75 | 196,14 | 426,16 | 657,55 | 859,18 | 1005,91 | 1082,52 |
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
| Prosinec | 573,98 | 459,30 | 259,25 | | | | | |
| Listopad a Leden | 662,23 | 553,18 | 354,65 | | | | | |
| Říjen a Únor | 836,43 | 733,04 | 546,79 | 295,44 | | | | |
| Září a Březen | 990,82 | 895,51 | 719,12 | 482,27 | 219,50 | | | |
| Srpen a Duben | 1069,67 | 979,61 | 813,99 | 590,86 | 340,14 | 112,31 | | |
| Červenec a Květen | 1083,77 | 1000,11 | 842,81 | 626,27 | 389,04 | 166,34 | 33,35 | |
| Červen | 1079,61 | 997,95 | 845,57 | 640,75 | 409,00 | 183,69 | 44,23 | |

Tabulka 2.3 Intenzita celkového záření dopadajícího na kolektory, vypočteno podle vzorce 2.1



Obrázek 2.2 Průběh intenzity záření dopadajícího na aktivní plochu při slunečném dni

Na obrázku 2.3 můžeme názorně vidět průběh intenzity slunečního záření pro průměrný den v měsíci, které dopadne na náš solární systém.

2.2.2 Výpočet skutečné energie

Plocha pod křivkou intenzity pak udává energii, neboli množství tepla, které na kolektory dopadne za průměrný den za předpokladu, že je jasná obloha. Nazýváme ji teoretické množství energie a nejpřesněji ji spočteme integrací křivky intenzity podle času

$$Q_{S\ den\ teor} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I \cdot d\tau \quad [\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2.9)$$

kde τ – denní doba, přičemž $\tau_{1,2}$ označují krajní hodnoty svitu slunce, tedy jeho východ a západ [h].

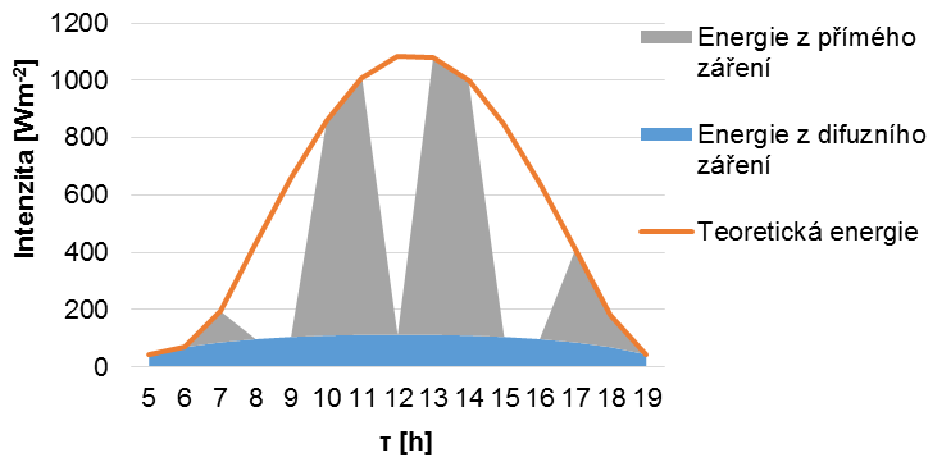
Pro naše potřeby postačí méně přesné vyjádření pomocí součtů dílčích ploch.

$$Q_{S\ den\ teor} = \sum_{\tau} I \cdot \Delta\tau \quad \tau_{teor} \quad (2.10)$$

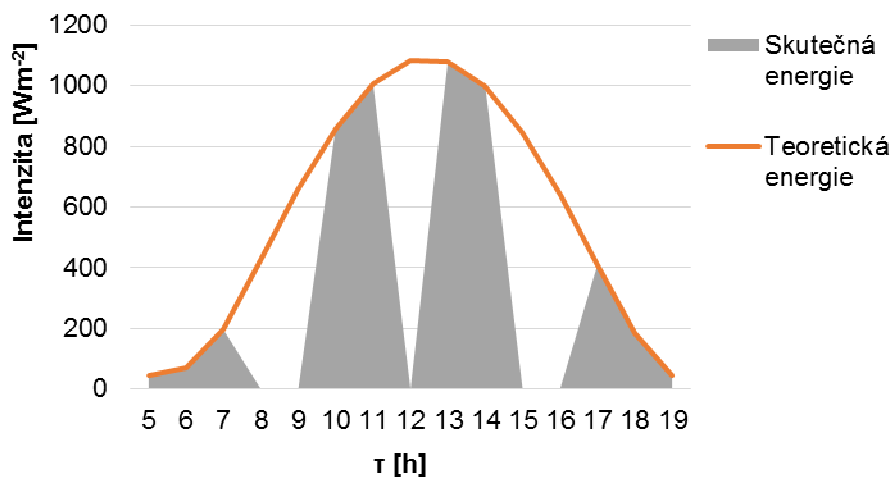
kde $\Delta\tau$ – doba jedné hodiny [h].

Takto vyjádřené teoretické množství energie je možno vypočíst jednoduše, prostým sečtením řádků v tabulce celkové intenzity 2.3. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v příloze A a jsou výchozími hodnotami pro výpočet skutečného množství energie Q_s .

Skutečné množství energie, které dopadne na kolektory, respektuje střídání jasné oblohy, kdy současně působí přímé i difúzní záření, a zatažené oblohy, kdy působí jen difúzní záření. Ne všechny solární systémy jsou schopné absorbovat samostatné difúzní záření při zatažené obloze a je třeba toto rozlišit. Oba možné případy využití energie solárními systémy jsou znázorněny na obrázcích 2.5 a 2.6.



Obrázek 2.4 Znáromnění skutečné energie využitelné systémem, který je schopen pohltit samostatné difúzní záření



Obrázek 2.5 Znáromnění skutečné energie využitelné systémem, který není schopen pohltit samostatné difúzní záření

Pro výpočet skutečného množství energie, která je tedy závislé na střídání slunečné a zatažené oblohy, je třeba znát teoretickou dobu slunečního svitu a skutečnou dobu slunečního

svitu. Teoretická doba slunečního svitu τ_{teor} je maximální doba slunečního svitu v daném období. Předpokládá tedy, že po celý den, kdy je slunce aktivní, je bezmračná obloha.

Skutečná doba slunečního svitu τ_{skut} respektuje reálná data v konkrétní oblasti, tedy kolik hodin slunečního svitu bylo v daném období. Pro oblast Plzeňského kraje, kde se nachází náš objekt, posloužila data získaná od vedoucího práce, pocházející ze stanice Českého hydrometeorologického ústavu Plzeň – Mikulka. Jedná se o průměr za roky 2011 a 2012.

Z těchto údajů se jednoduše získá poměrná doba svitu τ_P , a to podle vzorce

$$\tau_P = \frac{\tau_{skut}}{\tau_{teor}} \quad [-] \quad (2.11)$$

τ_{teor} , τ_{skut} a τ_P jsou uvedeny v příloze A.

Nyní můžeme vypočítat skutečné množství tepla, tedy energie, kterou je aktivní solární systém v naší konkrétní lokalitě schopen využít, a to podle vztahu

$$Q_{S\ den} = \tau_P \cdot Q_{S\ den\ teor} + (1 - \tau_P) \cdot Q_{D\ den} \quad [\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2.12)$$

pro případ, kdy solární systém **je** schopen využít samostatné difúzní záření, nebo podle vztahu

$$Q'_{S\ den} = \tau_P \cdot Q_{S\ den\ teor} \quad [\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2.13)$$

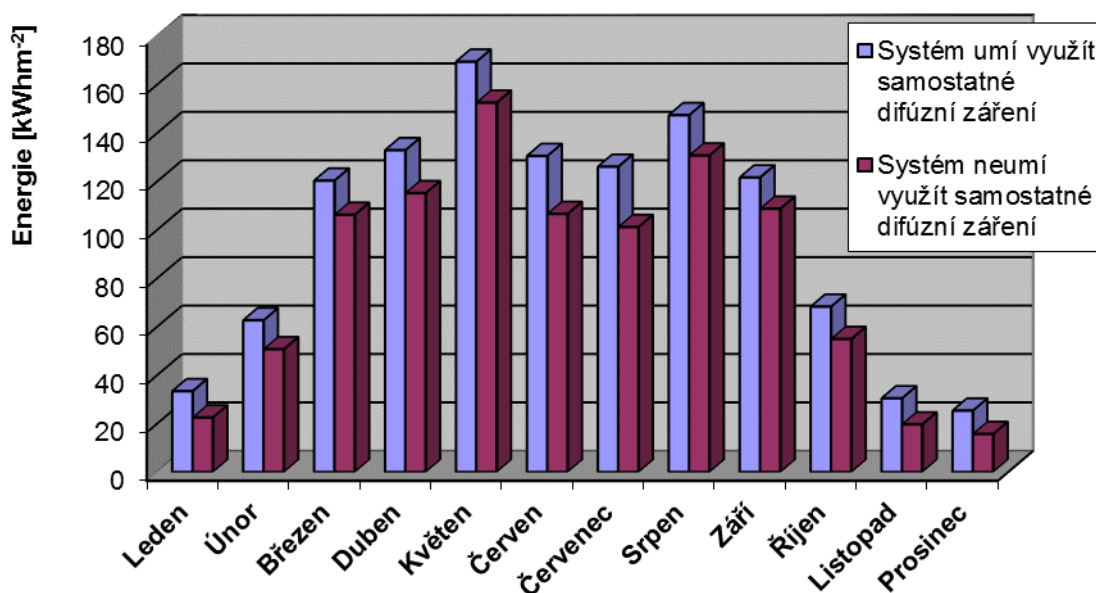
pro případ, kdy solární systém **není** schopen využít samostatné difúzní záření. V obou případech $Q_{D\ den}$ počítáme obdobně jako $Q_{S\ den\ teor}$ sečtením řádků tabulky 2.2, opět vyjádřeno sumou

$$Q_{D\ den} = \sum_{\tau} I_D \cdot \Delta\tau \quad [\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2.14)$$

a najdeme jej opět v příloze A. Výsledné hodnoty skutečné energie Q_s a Q'_s , jak pro průměrný den, tak pro jednotlivé měsíce, jsou uvedeny v tabulce 2.4 a znázorněny na obrázku 2.6.

| Skutečné množství energie Q_s s využitím samostatného difúzního záření [kWh·m ⁻²] | | | | | | | |
|---|----------|--------|--------|--------|----------|----------|---------|
| | Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | |
| za den | 1,07 | 2,23 | 3,88 | 4,43 | 5,46 | 4,35 | |
| za měsíc | 33,32 | 62,58 | 120,28 | 132,85 | 169,39 | 130,45 | |
| | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec | Rok |
| za den | 4,07 | 4,75 | 4,05 | 2,20 | 1,01 | 0,82 | |
| za měsíc | 126,02 | 147,32 | 121,57 | 68,22 | 30,37 | 25,28 | 1167,65 |
| Skutečné množství energie Q'_s bez využití samostatného difúzního záření [kWh·m ⁻²] | | | | | | | |
| | Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | |
| za den | 0,72 | 1,81 | 3,42 | 3,84 | 4,92 | 3,55 | |
| za měsíc | 22,43 | 50,63 | 106,15 | 115,11 | 152,44 | 106,52 | |
| | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec | rok |
| za den | 3,26 | 4,21 | 3,62 | 1,77 | 0,65 | 0,50 | |
| za měsíc | 101,10 | 130,64 | 108,67 | 54,84 | 19,57 | 15,61 | 983,71 |

Tabulka 2.4 Skutečné množství energie, vypočteno podle vzorce 2.12 a 2.13



Obrázek 2.6 Skutečné množství energie využitelné solárním systémem za měsíc

Z diagramu je patrný rozdíl mezi hodnotami Q_s a Q'_s . V praxi to bývá tak, že systém využívá samostatné difúzní záření částečně, tzn. s menší účinností než celkové, a hodnota skutečného množství tepla tak je někde mezi hodnotami energií znázorněných v diagramu. V návrzích systémů provedených v dalších kapitolách budeme vždy počítat s Q_s , to znamená, budeme uvažovat, že aktivní prvky umí využít samostatné difúzní záření.

2.3 Návrh systému se solárními kolektory

Nyní, když máme spočtenou sluneční energii, kterou solární systémy mohou využít v naší lokalitě, je možné na základě účinnosti kolektorů spočítat potřebnou plochu solárních

kolektorů. Protože systém je navrhován na celoroční provoz, byly vybrány ploché kolektory RF300 od české firmy Richter + Frenzel, dodávané firmou INTERSEKCE alternativní energie s.r.o. Návrh byl autorem proveden také pro vakuové trubicové kolektory Secos SC-C01 a Viessmann - Vitosol 200-T a ekonomická návratnost, což je rozhodující parametr, vycházejí lépe pro ploché kolektory RF300. Proto se práce dále bude zabírat jen jimi.

2.3.1 Stanovení efektivní účinnosti kolektorů

Účinnost přeměny sluneční energie na teplo k ohřevu TUV je v případě solárních kolektorů závislá na teplotě okolí a intenzitě záření. Při nižší teplotě dochází k větším ztrátám tepla a účinnost přeměny klesá. Pro co nejpřesnější výpočet účinnosti si nejprve stanovme teplotu okolí v době, kdy kolektory pracují, tedy v době slunečního svitu, od východu do západu slunce. K tomu je třeba znát průměrnou denní teplotu okolí v lokalitě. Tu nalezneme v příloze B a znázorňuje střední teplotu $t_{stř}$ v Plzeňském kraji z let 2009 – 2013. Data byla převzata z webového portálu ČHMÚ. Z této průměrné denní teploty lze pak určit okamžitou teplotu v libovolný okamžik podle vzorce

$$t = t_{stř} + \frac{\Delta t_{max}}{2} \cdot \cos(\psi - 30) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2.15)$$

kde Δt_{max} – předpokládaný průměrný rozdíl mezi minimální a maximální denní teplotou, převzatý z [1] a uvedený v příloze B [$^{\circ}\text{C}$],

ψ – časový úhel, měřený od 12 h ve smyslu hodinových ručiček ($1 \text{ h} = 15^{\circ}$) [$^{\circ}$].

Díky znalosti detailního průběhu teploty pak můžeme integrací teploty určit teplotu v době slunečního svitu t_v jako

$$t_v = \frac{1}{\tau_2 - \tau_1} \cdot \int_{\tau_1}^{\tau_2} t \cdot d\tau \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2.16)$$

kde τ – denní doba, přičemž $\tau_{1,2}$ označují krajní hodnoty svitu slunce, tedy jeho východ a západ [h].

Pro naše potřeby se opět spokojíme s nahrazením integrálu sumou

$$t_v = \frac{1}{\tau_2 - \tau_1} \cdot \sum_{\tau_1}^{\tau_2} t \cdot \Delta\tau \quad [^\circ\text{C}] \quad (2.17)$$

kde $\Delta\tau$ – doba jedné hodiny [h].

Tabulku okamžité teploty s vyznačenými úseky dne, ze kterých byla počítána střední teplota v době slunečního svitu, nalezneme v příloze B, stejně jako tabulku vypočtené t_v . Úseky dne odpovídají $\tau_2 - \tau_1$, což je ve skutečnosti délka slunečního svitu τ_{teor} z předchozí kapitoly, jsou ale zaokrouhleny na celé hodiny.

Dále je třeba pro výpočet účinnosti kolektorů znát střední intenzitu záření $I_{\text{stř}}$. Je to průměrná denní intenzita záření, kterou je možno spočítat z již známých veličin vztahem

$$I_{\text{stř}} = \frac{1}{\tau_{\text{teor}} - \tau_1} \int_{\tau_1}^{\tau_2} I \cdot d\tau = \frac{Q_{S \text{ den teor}}}{\tau_{\text{teor}}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2.18)$$

Najít ji můžeme příloze B. Nyní je možné vyjádřit účinnost přeměny sluneční energie na teplo, tedy účinnost kolektoru, v závislosti na okolní teplotě a střední intenzitě podle obecně užívaného vzorce

$$\eta_A = \eta_0 - k_1 \frac{(t_A - t_v)}{I_{\text{stř}}} - k_2 \frac{(t_A - t_v)^2}{I_{\text{stř}}} \quad [-] \quad (2.19)$$

kde η_0 – maximální účinnost kolektorů při nulových tepelných ztrátách, také označována jako optická účinnost, pro kolektory RF300 rovna 0,81 [-],

k_1 – lineární koeficient tepelných ztrát udávaný výrobcem, pro kolektory RF300 roven 4,843 [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],

k_2 – kvadratický koeficient tepelných ztrát udávaný výrobcem, pro kolektory RF300 roven 0,0185 [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}$],

t_A – střední teplota absorbéru (teplonosné kapaliny) – 60°C [°C].

| Efektivní účinnost kolektorů η_{KOL} | | | | | | | | | | | |
|--|-------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|----------|----------|
| Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec |
| 0,014 | 0,132 | 0,265 | 0,339 | 0,343 | 0,376 | 0,413 | 0,445 | 0,401 | 0,282 | 0,125 | 0,000 |

Tabulka 2.5 Účinnost kolektorů, vypočteno podle vzorce 2.19

V tabulce 2.5 vidíme výslednou účinnost přeměny slunečního záření na teplo. Je vidět, že účinnost je poměrně výrazně závislá na ročním období, díky vzrůstajícím tepelným ztrátám klesá účinnost v prosinci až na nulu.

2.3.2 Stanovení plochy kolektorů

Nyní je třeba určit plochu kolektorů tak, aby pokryla pokud možno co největší část spotřeby TUV a zároveň nebyla nadměrně velká, což by zhoršilo ekonomické ukazatele systému. K tomu je třeba co možná nejpřesněji odhadnout budoucí vývoj spotřeby. Je několik možností, jak toho docílit. Existují propočty, kolik TUV spotřebuje průměrný člen domácnosti za den při nízké, střední či vysoké spotřebě. Lze také vycházet z historických dat, například pokud byl v minulosti k bojleru připojen elektroměr a spotřeba domácnosti byla zaznamenávána, či měřena jiným měřicím přístrojem.

V našem případě byla spotřeba odhadnuta empiricky, k bojleru je připojen elektroměr, přesná data zapisována nebyla, ale díky němu mají majitelé přehled o přibližné spotřebě TUV v průběhu roku. Spotřeba pak byla pro výpočty nastavena na jednotnou měsíční hodnotu pro dvě období, a to 80 l v zimním (listopad - březen), kdy je objekt trvale obýván dvěma osobami, a 160 l v letním (duben - říjen), kdy je objekt navíc využíván i rekreačně.

Na základě účinnosti a dříve spočtené skutečné energie dopadající na kolektory můžeme vyjádřit teplo odvedené absorberem Q_A , tedy teplo, které se již nachází v primárním okruhu systému a které nám bude ohřívat vodu v zásobníku. Spočteme ho jako

$$Q_A = \eta \cdot Q_S \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2.20)$$

a jeho hodnoty jsou v tabulce 2.6.

| Teplo transformované absorberem Q_A [kWh·m ⁻²] | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|----------|----------|---------------|
| | Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec | Rok |
| den | 0,010 | 0,239 | 0,907 | 1,301 | 1,687 | 1,334 | 1,348 | 1,876 | 1,453 | 0,500 | 0,082 | 0,000 | |
| měsíc | 0,31 | 6,70 | 28,12 | 39,03 | 52,28 | 40,03 | 41,80 | 58,15 | 43,59 | 15,49 | 2,45 | 0,00 | 327,96 |

Tabulka 2.6 Teplo zachycené absorberem, vypočteno podle vzorce 2.20

Teplo, které je třeba dodat do tepelného zásobníku je závislé na denní spotřebě. Jak bylo zmíněno výše, objem zásobníku bývá navržen na cca dvojnásobek denní spotřeby, v našem případě na 300 l. To z toho důvodu, aby byly kompenzovány dny, kdy slunce nesvítí.

Denní potřeba energie Q_P odpovídá součtu energie na ohřev jednodenní spotřeby TUV a denním ztrátám zásobníku. Odvozování Q_P od energie na ohřev celého objemu zásobníku by nám příliš zvýšilo potřebnou plochu kolektorů a systém by byl naddimenzován.

Dále je podstatná teplota přiváděné vody a teplota, na kterou chceme vodu ohřát. V našem případě je to 10 °C pro vodu na vstupu, která je přiváděna z vlastní studně, a 60 °C pro cílovou teplotu. Pokud známe tyto vstupní veličiny, pak je možno spočítat denní potřebu tepla podle obecně známého vzorce pro ohřev kapaliny

$$Q_P = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = \rho \cdot V \cdot c \cdot (t_2 - t_1) + 1,86 \quad [\text{kWh}] \quad (2.21)$$

kde t_1 – teplota přivedené vody 10 [°C],

t_2 – teplota ohřáté vody 60 [°C],

c – měrná tepelná kapacita, pro střední teplotu vody 35 °C je rovna 4180 [J·kg⁻¹·K⁻¹]

V – objem vody, 0,08 pro zimní, resp. 0,16 pro letní období [m³],

ρ – hustota, pro střední teplotu vody 35 °C je rovna 994,2 [kg·m³]

1,86 – denní ztráty v zásobníku [kWh] (pro typ navržený v kapitole 2.3.3).

| Energie na ohřev Q_P | | | | | | | |
|------------------------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|----------------|
| | Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | |
| spotřeba vody [l] | 80 | 80 | 80 | 160 | 160 | 160 | |
| MJ/den | 16,62 | 16,62 | 16,62 | 33,25 | 33,25 | 33,25 | |
| kWh/den | 6,48 | 6,48 | 6,48 | 11,10 | 11,10 | 11,10 | |
| kWh/měsíc | 200,80 | 181,37 | 200,80 | 332,85 | 343,95 | 332,85 | |
| | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec | Rok |
| spotřeba vody [l] | 160 | 160 | 160 | 160 | 80 | 80 | |
| MJ/den | 33,25 | 33,25 | 33,25 | 33,25 | 16,62 | 16,62 | |
| kWh/den | 11,10 | 11,10 | 11,10 | 11,10 | 6,48 | 6,48 | |
| kWh/měsíc | 343,95 | 343,95 | 332,85 | 343,95 | 194,33 | 200,80 | 3352,44 |

Tabulka 2.7 Energie potřebná na ohřev, vypočteno podle vzorce 2.21

Toto je celkové teplo, které je potřeba dodat do systému a je uvedeno v tabulce 2.7. Pokud se podíváme na třetí řádek tabulky, vidíme že Q_P lze vyjádřit v jednotkách kWh za den, zatímco Q_A je v tabulce 2.6 udáno v kWh·m⁻² za den. Z toho vyplývá, že vydělením těchto veličin dostaneme plochu, a to plochu kolektorů, která je potřebná k pokrytí 100 % denní/měsíční spotřeby.

$$S_{KOL100\%} = \frac{Q_P}{Q_A} \quad [\text{m}^2] \quad (2.22)$$

Tuto plochu můžeme vidět v tabulce 2.8.

| Plocha kolektorů potřebná na plné pokrytí spotřeby $S_{KOL\ 100\%}$ [m ²] | | | | | | | | | | | |
|---|-------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|------|-------|----------|----------|
| Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec |
| 704,32 | 29,78 | 7,86 | 9,38 | 7,24 | 9,15 | 9,05 | 6,51 | 8,40 | 24,42 | 87,11 | X |

Tabulka 2.8 Plocha kolektorů potřebná k plnému pokrytí spotřeby, vypočteno podle vzorce 2.22

Obvykle se plocha kolektorů volí tak, aby bylo solární systémem plně pokryté letní období. Z tabulky je patrné, že pro plné pokrytí letní spotřeby by bylo třeba přes 9 m² aktivní kolektorové plochy. Zvolené kolektory RF300 mají aktivní jednotkovou plochu 1,78 m², dostáváme se tak k ploše **8,90 m² pro 5 kolektorů RF300**.

2.3.3 Návrh komponentů

Návrh komponentů byl proveden po konzultaci s firmou INTERSEKCE alternativní energie s.r.o., která se návrhem a instalací solárních systémů zabývá. Zde je uveden jejich přehled.

| Položka | Počet | Jednotka |
|---|-------|----------|
| Zařízení | | |
| Solární kolektor - plochý RF300 | 5 | ks |
| Nosná konstrukce | 5 | ks |
| Prostupový díl | 1 | ks |
| Vyrovnaní střechy (latě, podložky, spojky, atd.) | 10 | m |
| Materiál pro uchycení kolektorů (dle počtu kolektorů) | 5 | ks |
| Plnicí armatura | 1 | ks |
| Nádrž expanzní pro primární okruh S 25/10 | 2 | ks |
| Ohřívač vody OKC 300 NTR/SOL + čerpadlová jednotka REGUSOL 130 + řídicí jednotka solárního okruhu | 1 | ks |
| Elektrická patrona (pro dohřev TUV), TJ G 6/4"-2,5 | 1 | ks |
| Trubka ochranná UV | 2 | m |
| Elektromateriál (rozváděč, výstroj, atp.) | 1 | ks |
| Rozvody primárního okruhu + práce - paušál do 30 m | 30 | m |
| Rozvody elektro + práce - paušál do 30 m | 30 | m |
| Kapalina nemrznoucí - paušál do 30 l | 30 | l |

Tabulka 2.9 Komponenty navržené do systému se solárními kolektory

Všechny komponenty z kapitoly 1.1, kde je teoretický rozbor systému, jsou obsaženy i v návrhu. Dodavatel dodává ohřívač vody (tepelný zásobník), kterým je typ

OKC 300 NTR/SOL na 300 l, dohromady i s čerpadlovou jednotkou a řídicí (regulační) jednotkou.

Elektrická patrona je šroubovací, kompatibilní s tepelným zásobníkem. Její výkon je 2,5 kW a 300 l vody ohřeje z 35 °C na 60 °C za přibližně 4 hodiny.

Nosná konstrukce, materiál na uchycení a vyrovnání střechy je navržena pro 5 kolektorů typu RF300, tak, jak je instalováno firmou INTERSEKCE alternativní energie s.r.o.

Rozvody primárního okruhu, tj. měděné trubky s izolací, elektro rozvody i teplonosná kapalina jsou uvedeny paušálně až do počtu jednotek uvedených v tabulce, protože jsou tak také fakturovány.

2.4 Návrh systému s fotovoltaickými panely

Obvykle se pro návrh systému s FV panely používají výpočetní programy, např. PVGIS, který je volně dostupný na stránkách <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis> a který je běžně používán k návrhu firmami, které se instalací FV systémů zabývají. Tyto programy obsahují databáze slunečního svitu pro určité lokality a vzorce a parametry sloužící k výpočtu. Jejich nevýhoda tkví v tom, že tyto programy mohou obsahovat jen obecná data a nemusejí odpovídat přímo konkrétnímu navrhovanému systému. Proto je v této práci návrh spočítán krok po kroku s vlastními daty, podobně jako u vakuových kolektorů.

Pro fotovoltaický systém byly zvoleny polykrystalické panely, konkrétně typ FE-240P vyráběný zahraniční firmou Fire Energy a opět dodávaný firmou INTERSEKCE alternativní energie s.r.o., s kterou byl návrh konzultován. Obecně jsou polykrystalické panely velmi rozšířené, levnější než monokrystalické a udávaná účinnost je jen nepatrně nižší, u kvalitních polykrystalických panelů dosahuje dokonce srovnatelných hodnot, až přes 14 %. Tato účinnost je ovšem jen teoretická, stanovená za standardních podmínek (STC – standard test conditions), tj. teplotě okolí 25 °C a intenzitě záření 1000 W·m⁻², což neodpovídá reálným podmínkám. Výrobci také často uvádějí pro FV panely další veličinu popisující transformaci sluneční energie na elektrickou, takzvaný špičkový výkon, udávaný ve W_p . Udává nám maximální výkon panelu za standardních podmínek. Je to údaj, který nám udává stejnou informaci jako účinnost s tím rozdílem, že je vztažen ke skutečné ploše panelu. Účinnost je tedy obecnější parametr, a budeme dále počítat s ní. Polykrystalické panely také, jak již bylo zmíněno, umí zpracovat lépe samostatné difuzní záření a můžeme tak počítat s vyšší hodnotou Q_s .

2.4.1 Stanovení efektivní účinnosti panelů

Účinnost fotovoltaických panelů je stejně jako v případě kolektorů přímo závislá na intenzitě záření a na teplotě. Tentokrát se ovšem nejedná o teplotu okolí, ale provozní teplotu samotných panelů, kterou je poměrně komplikované určit. Také je rozdíl v tom, že klesající teplota ovlivňuje účinnost pozitivně. Teplota panelů je ovlivněna teplotou okolí, a opět intenzitou.

Teplota panelů je obvykle ve výpočtech získána empiricky pro dané hodnoty teploty okolí a intenzity záření. Lze ji přibližně určit vzorcem

$$t_{FV} = t_v + k_T \cdot I_{stř} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2.23)$$

kde k_T – koeficient, který závisí na způsobu uložení panelu (integrované, volně uložené).

Pro naše potřeby, kdy panely jsou volně uloženy na střeše a vzduch může proudit i ze zadní strany panelu je roven (přebráno z PVGISu) $0,035 [^{\circ}\text{C} \cdot (\text{W} \cdot \text{m}^2)^{-1}]$.

Je nutno brát v úvahu, že takto vypočtená provozní teplota panelu je jen odhad, počítá se se střední intenzitou a průměrnou teplotou v době slunečního svitu pro průměrný den v měsíci. Neuvažuje tak například proměnlivé povětrnostní podmínky, které teplotu panelu také ovlivňují, tepelnou setrvačnost panelů nebo například znečištění krycího skla panelu. Hodnoty provozní teploty jsou uvedeny v příloze C.

Efektivní účinnost vychází z účinnosti změřené při STC a udávané výrobcem η_{STC} .

$$\eta_{FV} = \eta_{STC} \cdot \left(1 - k_{FV} \cdot (t_{FV} - t_{STC}) + \lambda \cdot \log \frac{I_{stř}}{I_{STC}} \right) \quad [-] \quad (2.24)$$

kde η_{STC} – účinnost při STC, pro náš typ panelu FE-240P udána výrobcem 0,147,

k_{FV} – koeficient respektující změnu výkonu s teplotou, pro panel FE-240P roven $0,0047 [^{\circ}\text{C}^{-1}]$,

t_{STC} – teplota při STC, rovna $25 [^{\circ}\text{C}]$,

I_{STC} – intenzita záření při STC, rovna $1000 [\text{W} \cdot \text{m}^2]$,

λ – součinitel zohledňující hladinu intenzity dopadajícího slunečního záření, typicky 0,12.

| Účinnost panelů η_{FV} | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|----------|----------|
| Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec |
| 0,146 | 0,146 | 0,142 | 0,137 | 0,136 | 0,133 | 0,132 | 0,131 | 0,134 | 0,138 | 0,142 | 0,145 |

Tabulka 2.10 Efektivní účinnost FV panelů, vypočteno podle vzorce 2.24

V tabulce 2.24 je vidět, že reálná účinnost v žádném měsíci nedosahuje účinnosti při STC udávané výrobcem, a to dokonce ani v zimních měsících, kdy účinnost panelů díky jejich elektrickým vlastnostem roste. To je způsobeno nižší intenzitou v tomto období. Také je možno vidět, že závislost účinnosti na roční době je výrazně nižší než u solárních kolektorů.

2.4.2 Stanovení plochy panelů

Při výpočtu plochy FV panelů budeme logicky vycházet ze stejných hodnot spotřeby TUV jako v kapitole 2.3.2. Oba systémy budou obsahovat ohřívač vody o stejném objemu, dokonce i od stejného výrobce, a jejich konstrukce je téměř totožná, lišící se jen typem tepelného výměníku. Jejich tepelné ztráty za 24 hodin jsou shodné, denní potřeba tepla na ohřev TUV tedy také.

Postup je analogický se solárními kolektory. Při známé efektivní účinnosti panelů a známém množství dopadající energie se určí, kolik energie za den, případně za měsíc, panely vyrobí.

$$Q_{\text{CL}} = \eta_{FV} \cdot Q_S \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^2] \quad (2.25)$$

| Energie transformovaná fotovoltaickými články Q_{CL} [$\text{kWh} \cdot \text{m}^2$] | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|----------|----------|--------|
| | Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec | Rok |
| den | 0,11 | 0,26 | 0,49 | 0,53 | 0,67 | 0,47 | 0,43 | 0,55 | 0,48 | 0,24 | 0,09 | 0,07 | |
| měsíc | 3,28 | 7,40 | 15,07 | 15,83 | 20,69 | 14,19 | 13,30 | 17,10 | 14,53 | 7,59 | 2,77 | 2,27 | 134,02 |

Tabulka 2.11 Energie transformovaná fotovoltaickým článkem, vypočteno podle vzorce 2.25

Aby bylo možno odhadnout co možná nejpřesněji plochu panelů, spočteme si opět takovou plochu, která by nám pokryla 100 % spotřeby TUV pro charakteristický den v každém měsíci.

$$S_{FV 100\%} = \frac{Q_P}{Q_{\text{CL}}} \quad [\text{m}^2] \quad (2.26)$$

| Plocha FV panelů potřebná na plné pokrytí spotřeby $S_{FV 100\%}$ [m ²] | | | | | | | | | | | |
|---|-------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|----------|----------|
| Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec |
| 61,16 | 24,50 | 13,33 | 21,03 | 16,63 | 23,45 | 25,85 | 20,11 | 22,91 | 45,34 | 70,17 | 88,42 |

Tabulka 2.12 Plocha panelů potřebná k pokrytí 100 % spotřeby TUV, vypočteno podle vzorce 2.26

Pokud chceme, aby fotovoltaický systém pokryl spotřebu TUV v letním období, je třeba zvolit plochu kolem 25 m². FV panely FE-240P mají aktivní jednotkovou plochu 1,64 m², takže výsledná zvolená plocha je **24,55 m² při instalaci 15 FV panelů**.

2.4.3 Návrh komponentů

Návrh komponentů pro fotovoltaický systém byl opět proveden na základě informací obdržených od firmy INTERSEKCE alternativní energie s.r.o. Protože fotovoltaický systém pro ohřev vody je záležitost poměrně nová, systémy jsou ve větším měřítku instalovány teprve posledních pár let, není tudíž dostupný dostatečný objem zdrojů, z kterých čerpat při konkrétním návrhu. Osobní konzultace a doporučení společnosti, která se tímto oborem přímo zabývá, je tedy jedno z nejlepších řešení, jak při návrhu postupovat.

Sada komponent pro navrhovaný systém, která vychází z návrhů fotovoltaických systémů s obdobnými vstupními parametry je uvedena v tabulce 2.13.

| Položka | počet | jednotka |
|--|-------|----------|
| Zařízení | | |
| Fire Energy FE-240P | 15 | ks |
| Ohřívač vody OKCE 300 NTR 3-6 kW | 1 | ks |
| Elektrická patrona (pro dohřev TUV), TJ G 6/4"-2,5 | 1 | ks |
| Regulace (tepl. čidlo, stykač, rozvaděč) | 1 | ks |
| nosná konstrukce FV panelů | 1 | kpl |
| vodič 1 x 6 mm ² SOLAR | 60 | m |
| konektor SOLARLOK F- | 1 | ks |
| konektor SOLARLOK F+ | 1 | ks |
| konektor SOLARLOK M- | 1 | ks |
| konektor SOLARLOK M+ | 1 | ks |
| vodič CYA10 /H07V-K/ | 20 | m |

Tabulka 2.13 Komponenty navržené do FV systému

Nejdůležitějším prvkem v tomto systému je vyjma samotných panelů ohřívač vody s dvěma topnými tělesy – jedním zabudovaným o výkonu 3 – 6 kW, které je schopno ohřát vodu z 35 °C na 60 °C za 1,5 hodiny (při výkonu 6 kW). Dohřev zajišťuje přídatná šroubovací elektrická patrona, kompatibilní s tepelným zásobníkem. Její výkon je 2,5 kW a

300 l vody ohřeje z 35 °C na 60 °C za přibližně 4 hodiny. Ohřívač vody je standardně vybaven tepelným výměníkem, kterým lze případně zajistit ohřev z jiného zdroje tepla (např. plynového kotle), ovšem v našem případě zůstane nevyužit.

Regulace systému je provedena velmi jednoduše, do středu tepelného zásobníku je zavedeno teplotní čidlo, které je připojeno do rozvaděče se stykačem. Ten pak v případě dosažení požadované teploty přeruší obvod s panely.

3 Porovnání systémů

V této kapitole jsou oba systémy porovnány obecně, na rozdíl od později provedeného hodnocení systémů, kde jsou porovnávána čísla vycházející z provedených návrhů. Toto porovnání je tedy možno vztáhnout i na další podobné systémy.

3.1 Konstrukce

Už podle počtu prvků systémů (kapitoly 2.3.3 a 2.4.3) je vidět, že systém s fotovoltaickými panely je výrazně jednodušší záležitost. Kromě samotných panelů, ohříváče vody s topným tělesem a jednoduché regulace je třeba jen konstrukce pro uchycení panelů a prvky elektroinstalace – konektory a kabely. Odpadá tak náročná instalace zařízení, které jsou součástí systému se solárními kolektory. Těmi jsou především čerpadlová jednotka, která musí být správně navržena tak, aby průtok teplotnosné kapaliny dostatečně odváděl teplo z kolektorů a ty se nepřehřívaly. Pokud se čerpadlo porouchá nebo je špatně navrženo, může dojít k častému přehřívání kolektorů a vypaření kapaliny v systému. Dále pak expanzní nádoba, která slouží právě pro tento případ, kdy v systému dochází k vysokým teplotám a tlakům. Její nesprávné dimenzování může způsobit poruchu celého systému.

Regulační jednotka vyžaduje dvě teplotní čidla – jedno umístěné v tepelném zásobníku, druhé umístěné ideálně těsně za kolektory, na jejich výstupu. Tato čidla musejí být připojena do regulační jednotky, která vyhodnocuje naměřené teploty. Je k ní také připojeno čerpadlo a na základě signálu z teploměrů vyhodnocuje, zda je třeba uvést čerpadlo do provozu nebo ho odpojit.

Instalace potrubí také komplikuje celý systém v porovnání s fotovoltaickým systémem. Pokud nejsou solární kolektory instalovány již při stavbě domu, je nutné dělat zásahy do zdí a do střechy, aby potrubí mohlo být vedeno pokud možno co nejkratší cestou s co nejméně záhyby. Zbytečně dlouhé potrubí by zvyšovalo tepelné ztráty, každý záhyb a nerovnost v potrubí pak zvyšuje tlakovou ztrátu a je nutné zvýšit výkon čerpadla. Také správný průřez potrubí má vliv na funkčnost systému, a to jak z hlediska tlakových ztrát, tak z hlediska správné funkčnosti vypařování teplotnosné látky v případě přehřátí systému. Na celé potrubí pak musí být dána izolace.

Přítomnost kapaliny jakožto transportního média tepla také přináší další konstrukční nároky. V systému se solárními systémy probíhají hydraulické děje o středně vysokých teplotách a tlacích, to vyžaduje vysokou těsnost systému. Na závěr instalace solárních kolektorů tak musí být provedena tlaková a tepelná zkouška, tzn. otestování systému před

uvedením do provozu. Zkouší se provedené spoje zvýšeným tlakem a tepelná odolnost. V případě jakékoliv netěsnosti se problém odhalí hned a nedojde k poškození systému za provozu.

Fotovoltaický systém není hydraulický, ale v podstatě elektrický. Energie produkovaná panely do tepelného zásobníku je vedena kabely ve formě elektřiny. Ta je jako „médium“ pro přenos energie ideální. Stačí správně zvolit průřez kabelu pro navržený výkon (proud) a nedochází k žádným hydraulickým nebo mechanickým dějům. Ztráty jsou v porovnání s přenášenou energií minimální a nejsou třeba uvažovat. Kabely mohou být taženy po konstrukci objektu, nemusejí být uloženy uvnitř, a pokud jsou, jejich uložení je výrazně snazší než uložení měděných trubek. Žádné další součásti, kromě regulačních, nejsou třeba.

Regulace je zde velmi jednoduchá. Teplotním čidlem je měřena teplota uvnitř tepelného zásobníku a FV panely jsou na základě toho stykačem odpojovány/připojovány. Při vysokých teplotách dojde pouze k poklesu účinnosti panelů, není zde riziko mechanických závad jako v systému se solárními kolektory vlivem vypařování kapaliny.

Ještě je možno zmínit se o ohříváči vody – tepelném zásobníku. Ty jsou, co se týče rozměrů a konstrukce, téměř totožné. Zásobník systému se solárními kolektory obsahuje solární tepelný výměník, zatímco zásobník pro fotovoltaický systém je vybaven elektrickým DC topným tělesem. U kolektorového systému je třeba přívodní trubky připojit natvrdo k zásobníku. Přívodní kabely u FV systému stačí upevnit k zásobníku a zajistit proti možnému dotyku. Do obou zásobníků je pak v horní třetině instalována přídatná šroubovací elektrická AC patrona. Její součástí je teploměr, který hlídá, kdy je potřeba sepnout dohřívání vody střídavým proudem ze sítě.

3.2 Provoz

Provoz obou systémů je velice levná záležitost, ostatně to je jeden z hlavních důvodů, proč jsou využívány. Fotovoltaický systém je provozován zcela bez nákladů, což je jeho velkou předností. Pokud pomineme přídatný elektrický ohřev, je v případě systému se solárními kolektory je třeba počítat s určitými provozními náklady, které ovšem nejsou nijak vysoké. Za prvé je třeba počítat s pravidelnou výměnou teplotnosné kapaliny. Ta se časem znečišťuje, ztrácí nízkou viskozitu a dobrou tepelnou kapacitu. Její výměna by měla probíhat každých zhruba 5 let, i když je v provozu mnoho systémů, kde je kapalina v provozu již mnohem déle.

Dále je nutno uvažovat vlastní spotřebu čerpadla. Čerpadlo je připojené do sítě a odebírá elektřinu, pokud je sepnuté. Výkon čerpadlové jednotky v navrženém systému je 45 W. Je spínána regulátorem a doba provozu je závislá na teplotě uvnitř zásobníku, tedy na spotřebě TUV, a na teplotě na výstupu kolektorů, tedy na osvitových a teplotních podmínkách. Doba provozu čerpadla je velmi těžké určit, bude se různit pro jednotlivá roční období. Stejně jak bude hrát roli aktuální spotřeba TUV a aktuální klimatické podmínky. Pro vyčíslení nákladů na provoz je odhadnuta průměrná denní doba provozu čerpadla 6 hodin. Jedná se pouze o odhad autora učiněný na základě konzultace se zaměstnancem INTERSEKCE alternativní energie s.r.o.

Jak již bylo zmíněno, v systému se solárními kolektory může docházet k přehřívání a vypařování kapaliny. To především pokud systém není správně navržen. Pokud je systém naddimenzován, to znamená, pokud jsou v letním období velké přebytky a kolektory jsou odpojeny od tepelného zásobníku nebo pokud je z nějakého důvodu omezen průtok kapaliny, může se jejich teplota vyšplhat až nad 120 °C. Potom se kapalina začne vypařovat a zvýší se tlak v systému. V tomto okamžiku vstupuje do děje expanzní nádoba, kam se vytlačí část kapaliny z okruhu. Měla by tak být navržena na celý objem teplotně odolné kapaliny, který je navíc zvětšen díky objemové roztažnosti kapaliny při teplotě blízké bodu varu. K tomu by však mělo docházet co nejméně, neboť teplotně odolná kapalina se tímto degraduje a musí se častěji měnit. V případě, že expanzní nádoba nezvládne pojmout celý objem vytlačený z potrubí, tlak ještě více vzroste. Pak pára z potrubí unikne posledním bezpečnostním mechanismem, pojistným ventilem. To se dá již označit za poruchový stav, systém musí být vyřazen z provozu a kapalina doplněna.

FV panely jsou v případě, že je voda v tepelném zásobníku dostatečně ohřátá, jednoduše odpojeny stykačem. Jejich expozice slunečnímu záření v případě, že nepracují, s sebou nenesou žádná rizika.

Co se týče tepelných zásobníků, je jejich provoz obvykle bezzáhový. Pouze v případě, že voda obsahuje korozivní nebo minerální látky, je třeba dohlížet na stav topného tělesa u FV systému a tepelného výměníku u systému se solárními kolektory. Jeho vnitřní povrch by neměl být ohrožen díky správnému výběru teplotně odolné kapaliny. Vnější povrch je vystaven ohřívání vodě, může docházet k usazování vodního kamene a tím bránění přenosu tepla. Pokud voda obsahuje korozivní látky, může docházet i ke korozi.

4 Zhodnocení systémů

Tato kapitola se zabývá hodnocením obou systémů, to znamená vyčíslením systémů při provozu s různých hledisek. Je třeba si uvědomit, že hodnocení se vztahuje přímo k oběma systémům navrženým v této práci, proto ho nelze zobecnit v plném měřítku na jakýkoliv systém se solárními kolektory nebo FV systém, nicméně může být do určité míry vodítkem pro obecné porovnání provozu systémů například na jiném objektu za podobných provozních podmínek.

4.1 Energetická bilance

Energetická bilance vychází ze spočtené plochy aktivních solárních částí systémů, tzn. kolektorů a FV panelů. Nejprve spočteme energetickou bilanci systému se solárními kolektory.

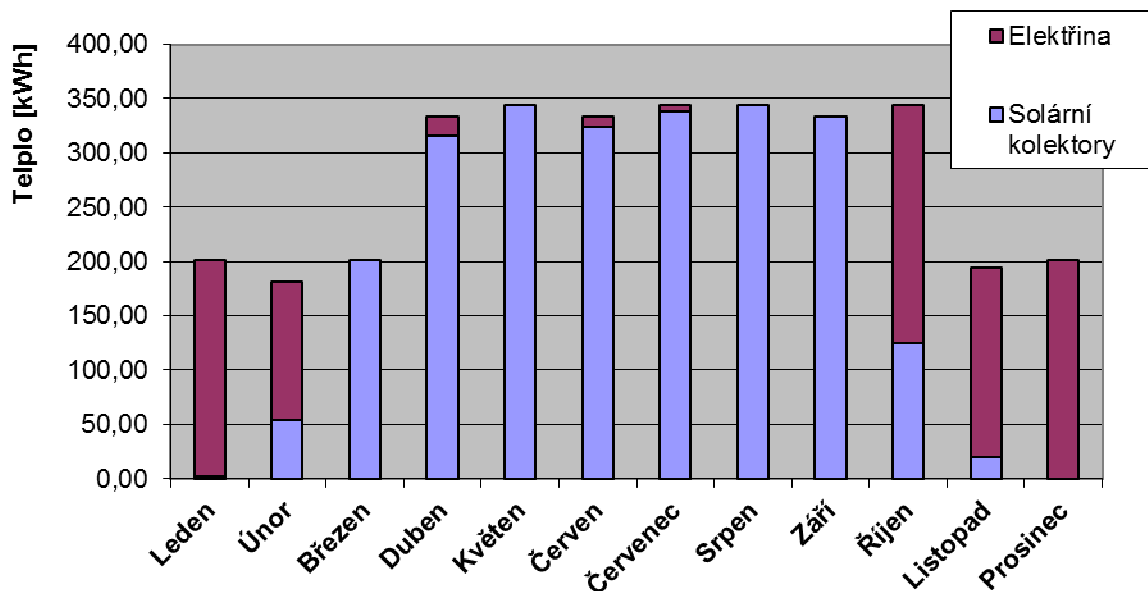
Plocha kolektorů navržená v kapitole 2.3.2 je 8,90 m² při instalaci 5 kolektorových jednotek. Za předpokladu, že teplo zachycené jedním metrem čtverečním absorbéru Q's je podle tabulky 2.4, dostáváme po vynásobení plochou kolektorů energetický zisk z navrženého systému v kWh na výstupu z kolektorů. V systému však dochází při přenosu tepla do TUV ke ztrátám, a to v potrubí, protože i dobře provedená izolace propouští určité množství tepla, a dále při nedokonalé výměně tepla v tepelném výměníku. Do tepelného zásobníku se nám tak dostane o něco menší množství tepla. V tabulce 4.1 je uvedeno Q_{KOL}, teplo dodané systémem do tepelného zásobníku při uvažovaných ztrátách 10 %.

| Energie dodaná kolektory do zásobníku Q _{KOL} [kWh] | | | | | | | |
|---|----------|--------|--------|--------|----------|----------|----------------|
| | Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | |
| za den | 0,08 | 1,94 | 6,48 | 10,53 | 11,10 | 10,80 | |
| za měsíc | 2,54 | 54,21 | 200,80 | 315,82 | 343,95 | 323,86 | |
| | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec | Rok |
| za den | 10,91 | 11,10 | 11,10 | 4,04 | 0,66 | 0,00 | |
| za měsíc | 338,18 | 343,95 | 332,85 | 125,33 | 19,86 | 0,00 | 2401,34 |
| Energie potřebná ze sekundárního zdroje tepla Q _{EL} [kWh] | | | | | | | |
| | Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | |
| za den | 6,40 | 4,54 | 0,00 | 0,57 | 0,00 | 0,30 | |
| za měsíc | 198,27 | 127,16 | 0,00 | 17,03 | 0,00 | 8,99 | |
| | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec | Rok |
| za den | 0,19 | 0,00 | 0,00 | 7,05 | 5,82 | 6,48 | |
| za měsíc | 5,76 | 0,00 | 0,00 | 218,61 | 174,47 | 200,80 | 951,09 |

Tabulka 4.1 Výsledná energie na ohřev TUV v systému se solárními kolektory

V tabulce 2.7 je pak uvedena celková energie potřebná na ohřev vody Q_P , je tedy možno určit, kolik energie bude třeba ze sekundárního zdroje, to znamená, kolik elektřiny navíc systém vyžaduje pro pokrytí období s nedostatkem slunečního svitu.

Graficky znázorněnou energetickou bilanci systému s kolektory v jednotlivých měsících pak můžeme vidět na obrázku 4.1 níže.



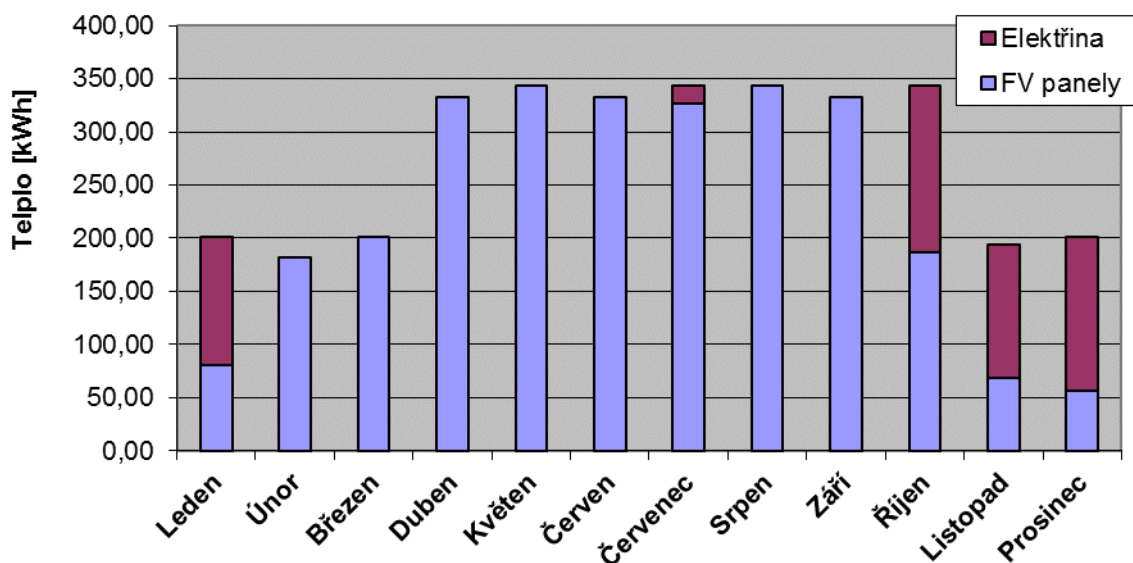
Obrázek 4.1 Měsíční pokrytí TUV systémem se solárními kolektory

V případě energetického hodnocení FV systému budeme postupovat stejným způsobem. V kapitole 2.4.2 byla stanovena plocha 24,55 m² odpovídající 15 FV panelům. V tabulce 2.10 je pak vypočtena energie transformovaná jedním metrem čtverečním panelů. Vynásobením dostáváme energii dodanou systémem s fotovoltaickými panely. Tato energie je všechna předána v tepelném zásobníku do TUV, neboť ztráty v tomto systému jsou minimální. Ztráty přenosem elektrické energie v kabelech jsou zanedbatelné a přeměna elektřiny na teplo odporovou topnou spirálou je takřka stoprocentní. Lze tedy uvažovat, že veškerá energie získaná FV panely poslouží k ohřevu TUV. Hodnoty vidíme v tabulce 4.2. Doplněk do celkové energie potřebné na ohřev vody Q_P je pak ta část energie, kterou je opět potřeba zajistit z přídatného zdroje, elektrické sítě.

| Energie dodaná fotovoltaickým systémem do zásobníku Q_{FV} [kWh] | | | | | | | |
|--|----------|--------|--------|--------|----------|----------|----------------|
| | Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | |
| za den | 2,60 | 6,48 | 6,48 | 11,10 | 11,10 | 11,10 | |
| za měsíc | 80,61 | 181,37 | 200,80 | 332,85 | 343,95 | 332,85 | |
| | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec | Rok |
| za den | 10,54 | 11,10 | 11,10 | 6,01 | 2,27 | 1,80 | |
| za měsíc | 326,63 | 343,95 | 332,85 | 186,25 | 67,99 | 55,76 | 2785,86 |
| Energie potřebná ze sekundárního zdroje tepla Q_{EL} [kWh] | | | | | | | |
| | Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | |
| za den | 3,88 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| za měsíc | 120,19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec | Rok |
| za den | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 5,09 | 4,21 | 4,68 | |
| za měsíc | 17,32 | 0,00 | 0,00 | 157,69 | 126,33 | 145,04 | 566,57 |

Tabulka 4.2 Výsledná energie na ohřev TUV v systému se solárními kolektory

Opět je pro názornost uvedena grafická podoba výsledků, na obrázku 4.2 si můžeme prohlédnout energetickou bilanci fotovoltaického systému.



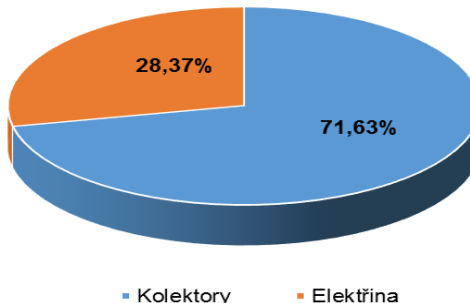
Obrázek 4.2 Měsíční pokrytí TUV fotovoltaickým systémem

Dále můžeme pokrytí nároků na ohřev oběma systémy vyjádřit procentuálně, získáme tak poměrně dobrý přehled, jak systémy pracují v jednotlivých měsících.

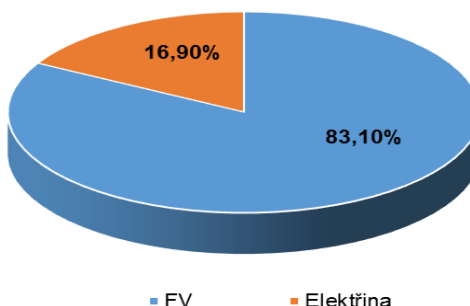
| Pokrytí spotřeby systémem se solárními kolektory [%] | | | | | | | |
|--|----------|--------|--------|--------|----------|----------|--------------|
| | Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | |
| Kolektory | 1,26 | 29,89 | 100,00 | 94,88 | 100,00 | 97,30 | |
| Elektrina | 98,74 | 70,11 | 0,00 | 5,12 | 0,00 | 2,70 | |
| | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec | Rok |
| | 98,33 | 100,00 | 100,00 | 36,44 | 10,22 | 0,00 | 71,63 |
| | 1,67 | 0,00 | 0,00 | 63,56 | 89,78 | 100,00 | 28,37 |
| Pokrytí spotřeby FV systémem [%] | | | | | | | |
| | Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | |
| FV panely | 40,14 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | |
| Elektrina | 59,86 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec | Rok |
| | 94,96 | 100,00 | 100,00 | 54,15 | 34,99 | 27,77 | 83,10 |
| | 5,04 | 0,00 | 0,00 | 45,85 | 65,01 | 72,23 | 16,90 |

Tabulka 4.3 Procentuální vyjádření ohřevu TUV oběma systémy

Z tabulky 4.3 je také vidět roční příspěvek jednotlivých zdrojů tepla, tedy to, co nás z hlediska energetického hodnocení zajímá asi nejvíce. Srovnání ročního příspěvku solárních kolektorů a FV panelů do ohřev TUV je také podstatné pro ekonomickou analýzu systémů provedenou dále, protože toto je přímo ušetřená energie, která by jinak musela být dodána z jiného zdroje.



Obrázek 4.3 Procentuální vyjádření ohřevu TUV systémem se solárními kolektory



Obrázek 4.4 Procentuální vyjádření ohřevu TUV fotovoltaickým systémem

4.2 Ekonomická bilance

Ekonomická bilance je provedena na základě aktuálních cen platných v květnu roku 2014. Ceny komponent a prací na obou systémech jsou ceny účtované firmou INTERSEKCE alternativní energie s.r.o., tak jak je účtuje svým zákazníkům. Ceny za elektřinu, které jsou použity při výpočtu ekonomické návratnosti systému, jsou převzaty z internetových stránek skupiny ČEZ.

4.2.1 Investiční náklady

Ekonomické hodnocení systémů si nejprve provedeme na základě investičních nákladů. Jsou to náklady na pořízení systémů v době před jeho uvedením do provozu. Můžeme tedy říci, že jsou to náklady v nultém roce provozu.

Hodnocení vychází z kapitol 2.3.3 a 2.4.3, kde jsou uvedeny komponenty pro oba navržené systémy. Navíc jsou započtené práce na instalaci jednotlivých částí systémů, případně prováděné zkoušky před uvedením do provozu. V tabulkách 4.4 a 4.5 je uveden přehled cen za pořízení obou systémů.

| Bivalentní kolektorový systém RF300 + OKC 300 NTR/SOL + 2,5 kW | | | | |
|---|--------------|-----------------|------------------------|-------------------|
| Položka | Počet | Jednotka | Cena/jedn. [Kč] | Cena [Kč] |
| Zařízení | | | | |
| Solární kolektor - plochý RF300 | 5 | ks | 8 800 | 44 000 |
| Nosná konstrukce | 5 | ks | 2 000 | 10 000 |
| Prostupový díl | 1 | ks | 1 450 | 1 450 |
| Vyrovnání střechy (latě, podložky, spojky, atd.) | 10 | m | 260 | 2 600 |
| Materiál pro uchycení kolektorů (dle počtu kolektorů) | 5 | ks | 200 | 1 000 |
| Plnicí armatura | 1 | ks | 1 030 | 1 030 |
| Nádrž expanzní pro primární okruh S 25/10 | 2 | ks | 2 430 | 4 860 |
| Ohřívač vody OKC 300 NTR/SOL + čerpadlová jednotka REGUSOL 130 + řídicí jednotka solárního okruhu | 1 | ks | 28 110 | 28 110 |
| Elektrická patrona (pro dohřev TUV), TJ G 6/4"-2,5 | 1 | ks | 2 618 | 2 618 |
| Trubka ochranná UV | 2 | m | 50 | 100 |
| Elektromateriál (rozváděč, výstroj, atp.) | 1 | ks | 2 500 | 2 500 |
| Rozvody primárního okruhu + práce - paušál do 30 m | 30 | m | 450 | 13 500 |
| Rozvody elektro + práce - paušál do 30 m | 30 | m | 200 | 6 000 |
| Kapalina nemrzoucí - paušál do 30 l | 30 | l | 80 | 2 400 |
| Práce | | | | |
| Kolektory | | | | 7 500 |
| Instalace technologie | | | | 6 400 |
| Elektro technologie | | | | 2 000 |
| Tlaková a topná zkouška - paušál | | | | 1 000 |
| Výsledná celková cena díla | | | | 137 068 Kč |

Tabulka 4.4 Investiční náklady systému se solárními kolektory

| Bivalentní fotovoltaický systém FE-240P + OKCE 300 NTR 3-6 kW + 2,5 kW | | | | |
|---|--------------|-----------------|------------------------|-------------------|
| Položka | počet | jednotka | Cena/jedn. [Kč] | Cena [Kč] |
| Zařízení | | | | |
| Fire Energy FE-240P | 15 | ks | 5 200 | 78 000 |
| Ohřívač vody OKCE 300 NTR 3-6 kW | 1 | ks | 27 115 | 27 115 |
| Elektrická patrona (pro dohřev TUV), TJ G 6/4"-2,5 | 1 | ks | 2 618 | 2 618 |
| Regulace (teplotní čidlo, stykač, rozvaděč) | 1 | ks | 1 000 | 1 000 |
| nosná konstrukce FV panelů | 1 | kpl | 18 000 | 18 000 |
| vodič 1 x 6 mm ² SOLAR | 60 | m | 48 | 2 880 |
| konektor SOLARLOK F- | 1 | ks | 50 | 50 |
| konektor SOLARLOK F+ | 1 | ks | 50 | 50 |
| konektor SOLARLOK M- | 1 | ks | 50 | 50 |
| konektor SOLARLOK M+ | 1 | ks | 50 | 50 |
| vodič CYA10 /H07V-K/ | 20 | m | 20 | 400 |
| Práce | | | | |
| vodič SOLAR pevně uložený do 1 x 16 | 60 | m | 80 | 4 800 |
| konektor SOLARLOK F- montáž | 1 | ks | 10 | 10 |
| konektor SOLARLOK F+ montáž | 1 | ks | 10 | 10 |
| konektor SOLARLOK M- montáž | 1 | ks | 10 | 10 |
| konektor SOLARLOK M+ montáž | 1 | ks | 10 | 10 |
| vodič Cu (-CY,CYA) pevně uložený do 1 x 35 | 20 | m | 100 | 2 000 |
| ukončení v rozvaděči včetně zapojení vodiče do 16 mm ² | 2 | ks | 1 500 | 3 000 |
| FV panel montáž | 15 | ks | 1 000 | 15 000 |
| Výsledná celková cena díla | | | | 155 053 Kč |

Tabulka 4.5 Investiční náklady FV systému

Výsledná cena systému s kolektory je **137 068 Kč**, cena fotovoltaického systému je mírně vyšší, **155 053 Kč**. Rozdíl je především v počtu aktivních solárních prvků, tj. počtu kolektorů/panelů. Cena za jeden kus je řádově srovnatelná – 8 800 Kč za kolektor RF300 oproti 5 200 Kč za panel FE-240P. Trojnásobný počet 15 fotovoltaických panelů ovšem zvýší celkovou cenu systému, přestože jinak systém obsahuje méně součástí. Cena obou ohřívačů vody je téměř totožná, u solárního systému je k ohřívači OKC 300 NTR/SOL dodávána čerpadlová i regulační jednotka, ohřívač fotovoltaického systému zase obsahuje kromě elektrického topného tělesa 3 – 6 kW i tepelný výměník použitelný pro jiné způsoby ohřevu TUV.

4.2.2 Návratnost systémů

Počítat návratnost systémů je záležitost poměrně složitá a nikdy nemůžeme získat 100% jistotu, že výsledky budou odpovídat realitě. Je mnoho proměnlivých faktorů, které vstupují do hry a které se téměř jistě budou v průběhu let měnit. Například cena elektřiny, u které je velká pravděpodobnost že v průběhu příštích let poroste, inflace, klimatické

podmínky, pokles výkonu panelů nebo případné vícenáklady mohou v průběhu let výrazně ovlivnit ekonomickou bilanci systémů.

Zde se pokusíme určit hrubý odhad návratnosti, ve kterém budeme vycházet z aktuálních podmínek platných v době návrhu, zanedbáme případné změny v cenách a v inflaci, a budeme uvažovat, že systémy budou pracovat bezporuchově. Životnost obou systémů budeme předpokládat 30 let, což je obecně udávaná životnost jak solárních kolektorů, tak fotovoltaických panelů.

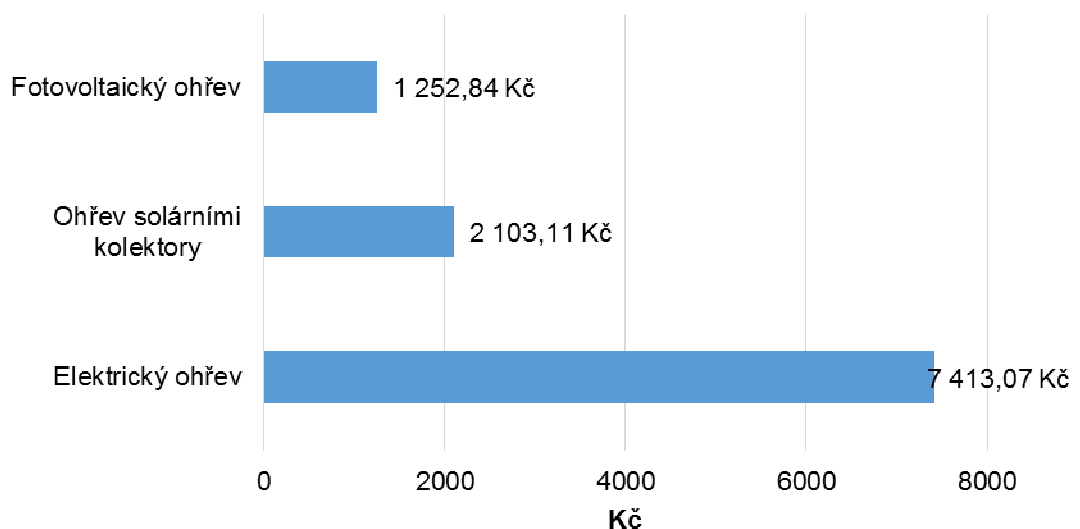
I s těmito zjednodušeními vyvstává otázka ohledně ceny elektřiny, podle které budeme návratnost počítat. Na trhu je několik sazeb s různými cenami od různých dodavatelů. Současný dodavatel elektřiny do objektu je skupina ČEZ a použitá sazba je D 25d, při které je TUV ohřívána nízkým tarifem, který je zajištěn po dobu 8 hodin denně, obvykle v nočních hodinách (tzv. noční proud). Při tomto způsobu ohřevu je TUV ohřívána pozdě večer/v noci a spotřebovaná následující den. V tepelném zásobníku jsou pochopitelně ztráty a to současně s odběrem TUV přes den způsobuje v některých dnech, kdy je vysoká spotřeba, nedostatek vody na večerní sprchování, kdy je spotřeba nejvyšší.

Ideální z hlediska spotřeby je ohřev přes den tak, aby voda byla k dispozici především večer. To je případ solárního ohřevu (oba naše navržené systémy). Ekvivalentem solárního ohřevu je tedy vysoký tarif (tzv. denní proud), který je ovšem pro ohřev TUV blokován dodavatelem. Pro domácnosti, které využívají dva tarify cen elektřiny pro ohřev TUV nebo například vytápění jsou k dispozici obvykle dvě sazby, již zmíněná D 25d a dále D 35d, kdy je nižší tarif garantován po dobu 16 hodin denně. Jeho výhoda spočívá v tom, že ohřev může začít již v brzkých večerních hodinách a voda připravena na večerní sprchování.

V tabulce 4.6 je uvedena roční ekonomická bilance obou systémů vztažená k čistě elektrickému ohřevu, který je v objektu instalován v současné době, a to při použití nízkého tarifu sazby D 35d. Ceny za elektrický ohřev pro všechny tři případy jsou pak znázorněny v obrázku 4.5. Aktuální cena pro rok 2014 je 2,21125 Kč za kilowatthodinu, včetně složky za silovou elektřinu i distribučního složky [12].

| Roční ekonomická bilance, použití nízkého tarifu D35 | | | | | | | | |
|--|--|----------------|--|----------------|----------------|--|----------------|----------------|
| | Elektrický ohřev | | Ohřev solárními kolektory | | | Fotovoltaický ohřev | | |
| | Spotřeba el. energie [kWh _e] | Cena [Kč] | Spotřeba el. energie [kWh _e] | Cena [Kč] | Úspora [Kč] | Spotřeba el. energie [kWh _e] | Cena [Kč] | Úspora [Kč] |
| Leden | 200,80 | 444,02 | 198,27 | 438,41 | 5,61 | 120,19 | 265,77 | 178,25 |
| Únor | 181,37 | 401,05 | 127,16 | 281,18 | 119,87 | 0,00 | 0,00 | 401,05 |
| Březen | 200,80 | 444,02 | 0,00 | 0,00 | 444,02 | 0,00 | 0,00 | 444,02 |
| Duben | 332,85 | 736,02 | 17,03 | 37,67 | 698,35 | 0,00 | 0,00 | 736,02 |
| Květen | 343,95 | 760,55 | 0,00 | 0,00 | 760,55 | 0,00 | 0,00 | 760,55 |
| Červen | 332,85 | 736,02 | 8,99 | 19,88 | 716,14 | 0,00 | 0,00 | 736,02 |
| Červenec | 343,95 | 760,55 | 5,76 | 12,74 | 747,81 | 17,32 | 38,29 | 722,25 |
| Srpen | 343,95 | 760,55 | 0,00 | 0,00 | 760,55 | 0,00 | 0,00 | 760,55 |
| Září | 332,85 | 736,02 | 0,00 | 0,00 | 736,02 | 0,00 | 0,00 | 736,02 |
| Říjen | 343,95 | 760,55 | 218,61 | 483,41 | 277,14 | 157,69 | 348,69 | 411,85 |
| Listopad | 194,33 | 429,70 | 174,47 | 385,80 | 43,90 | 126,33 | 279,35 | 150,35 |
| Prosinec | 200,80 | 444,02 | 200,80 | 444,02 | 0,00 | 145,04 | 320,72 | 123,30 |
| Rok | 3352,44 | 7413,07 | 951,09 | 2103,11 | 5309,97 | 566,57 | 1252,84 | 6160,24 |

Tabulka 4.6 Roční ekonomická bilance systémů při nízkém tarifu sazby D 35d (1. 1. 2014 - 2,21125 Kč za kWh)



Obrázek 4.5 Roční cena za elektřinu při nízkém tarifu D35

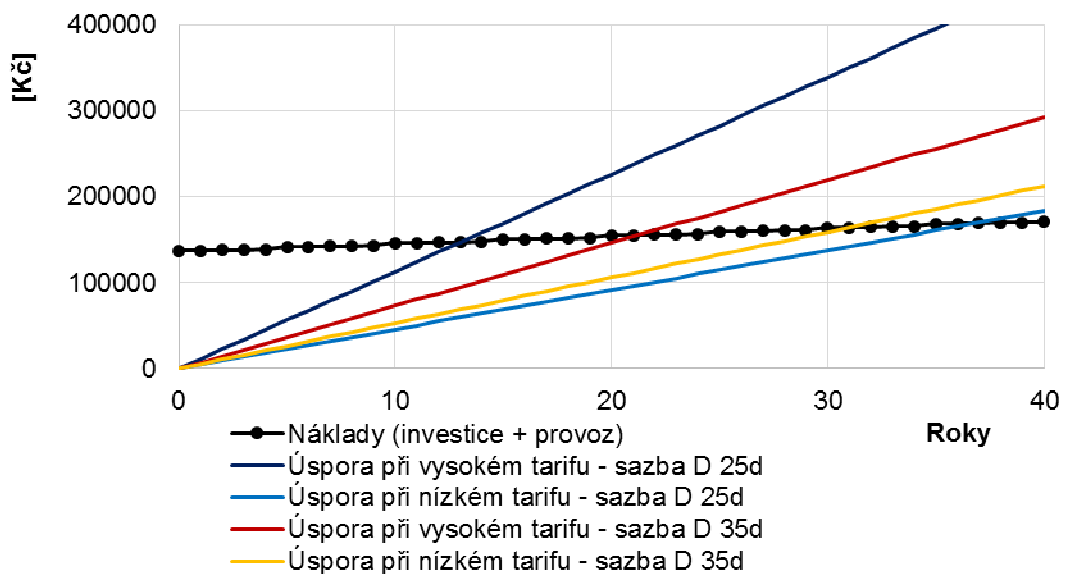
Na základě roční úspory, která je v tabulce 4.6 uvedena pro oba systémy, můžeme naznačit hrubý odhad návratnosti systémů. V případě systému se solárními kolektory je potřeba zahrnout také provozní náklady, tedy náklady za pravidelnou výměnu teplotnosné kapaliny, která by měla být provedena každých 5 let a náklady na chod čerpadla. Podle tabulky 4.4 je cena za kapalinu 2 400 Kč. Každý pátý rok je tak třeba k nákladům přičíst tuto částku. Čerpadlo má příkon 45 W, je v provozu přibližně 6 hodin denně, 356 dní v roce. Jeho

roční spotřeba el. energie je cca 98,6 kWh, což při sazbě D 02d, která bude pravděpodobně využívána v objektu, pokud bude ohřev realizován solárním systémem, přibližně 420,22 Kč (4,264 Kč za kWh). Tuto částku je nutné k nákladům připočítat každý rok.

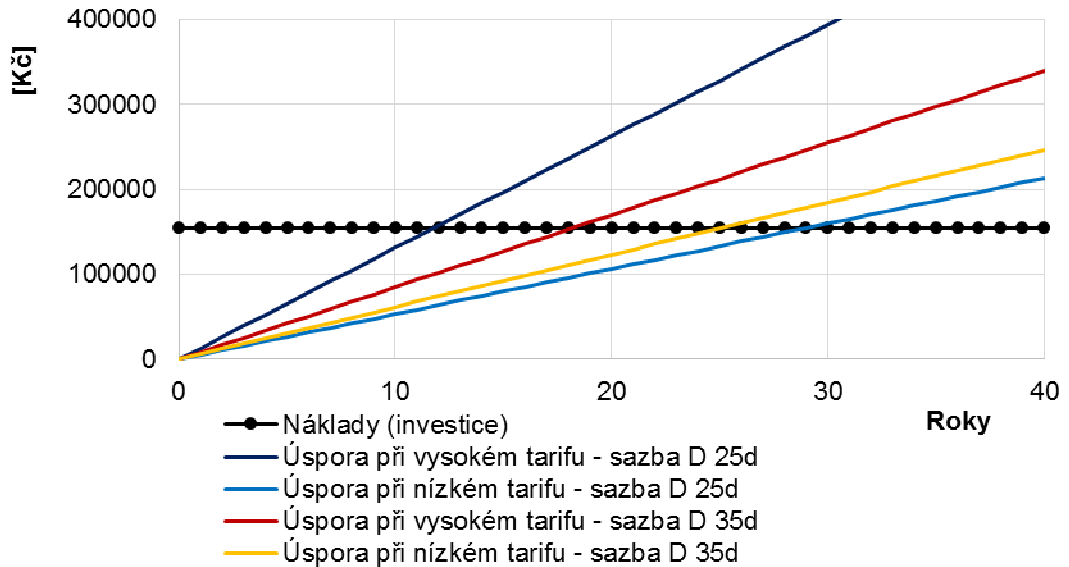
Po 30 letech provozu se tak dostáváme k nákladům 164 074 Kč. Fotovoltaický systém, pokud je bezporuchový, žádné další provozní náklady nemá. Po třiceti letech provozu tak v nákladech systém se solárními kolektory převýší fotovoltaický systém.

Z obrázků 4.6 a 4.7 je možné vyčíst hrubý odhad návratnosti systémů. Jsou zde uvedeny náklady obou systémů a úspora při obou tarifech sazeb D 25d a D 35d. Ceny za kWh jsou následující:

- nízký tarif D 25d – 1,91359 Kč, vysoký tarif D 25d – 4,71057 Kč,
- nízký tarif D 35d – 2,21125 Kč, vysoký tarif D 35d – 3,04694 Kč [12].



Obrázek 4.6 Návratnost systému se solárními kolektory



Obrázek 4.7 Návrh návratnosti fotovoltaického systému

Je vidět, že fotovoltaický systém vychází ve výsledku ekonomičtěji. Návratnost při uvažování nízkého tarifu D 25d je v případě fotovoltaických panelů na hranici životnosti systému (29 let), v případě solárního systému je již za hranicí životnosti (37 let). Naopak, budeme-li uvažovat, že TUV je ohřívána vysokým tarifem D 25d, který spíše odpovídá svým charakterem solárnímu ohřevu v průběhu dne (v reálu nemožné kvůli blokaci dodavatele), je návratnost bude někde kolem 12 roku systému.

Jako nelepší ekvivalent solárního ohřevu lze považovat nízký tarif D 35d, při jeho uvažování je ekonomická návratnost 30 let v případě systému se solárními kolektory a 25 let v případě fotovoltaického systému.

Nutno dodat, že je to velmi hrubý odhad, v reálu budou návratnosti systémů nejspíše podstatně kratší vzhledem tomu, že za posledních 10 let cena elektřiny v ČR vzrostla cca o 50 % [12]. Také hraje roli určitý komfort, který je vyšší u solárních systémů především v letním období, protože dovedou průběhu ohřevu vody rozložit do dne lépe a situací, kdy večer dojde teplá voda, nastane méně.

4.3 Environmentální dopad provozu

Šetrnost k životnímu prostředí může být vedle ekonomického hlediska další motivací pro pořízení některého ze solárních systémů. Jejich předností je výroba energie bez produkce škodlivých látek. Na rozdíl od výroby energie hnědouhelnou elektrárnou nejsou produkovány škodlivé plyny ani žádný odpad v podobě popela nebo jiné vedlejší produkty. Jaderné

elektrárny zase produkují radioaktivní odpad a jsou určitou bezpečnostní hrozbou. Provoz solárních systémů je však zcela bezzávadný a bezpečný.

V následující tabulce 4.7 jsou uvedeny emise typické hnědouhelné elektrárny. Uvažuje se 65% odsíření SO₂ a 98% odlučivost částic.

| Emise při výrobě el. energie hnědouhelnou elektrárnou [kg/kWh _e] | | | | |
|--|-----------------|-----------------|---------|-----------------|
| Tuhé látky | SO ₂ | NO _x | CO | CO ₂ |
| 0,003 | 0,0052 | 0,0077 | 0,00065 | 1,213 |

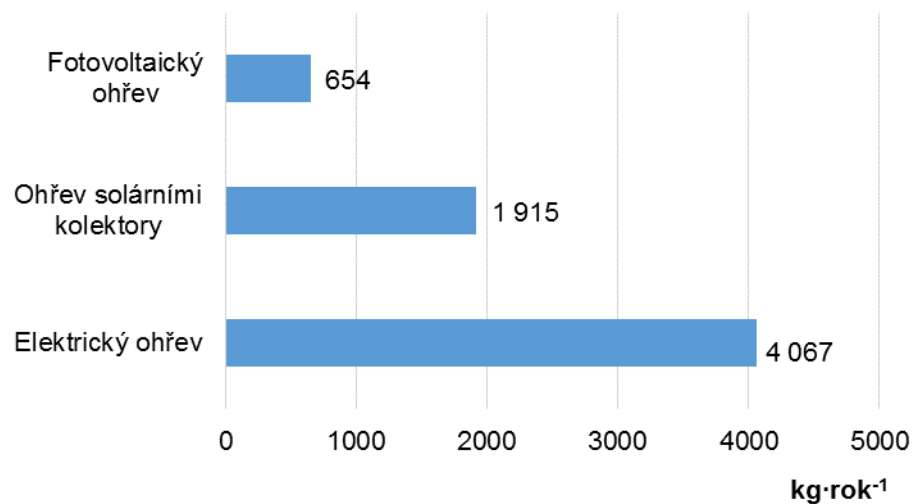
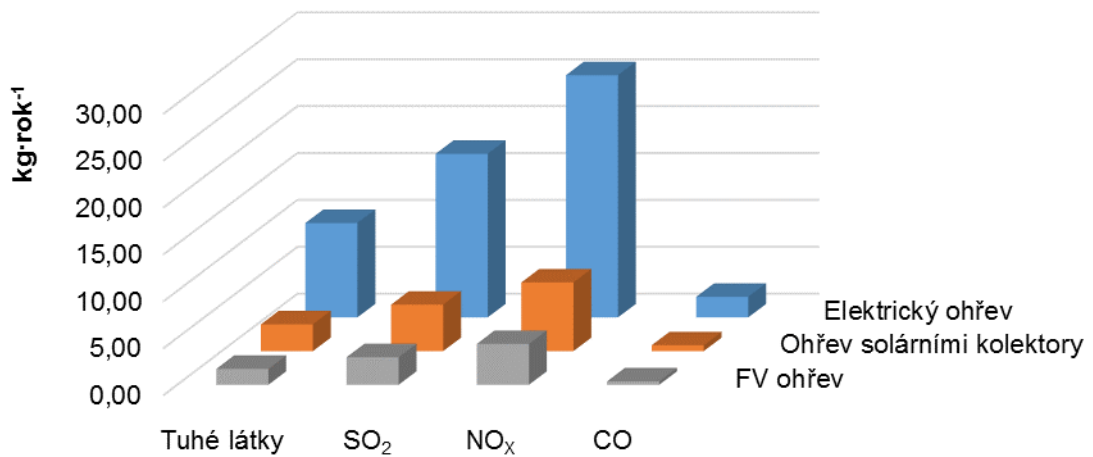
Tabulka 4.7 Emise hnědouhelné elektrárny, data převzata z [13]

Pokud uvážíme, že naše systémy na ohřev TUV spotřebují elektřinu produkovanou takovouto hnědouhelnou elektrárnou (hnědouhelné elektrárny jsou dominantní producenti elektřiny v ČR), je možné dostat se k následující tabulce, která udává roční produkci emisí jednotlivých způsobů ohřevu TUV.

| Roční ekologická bilance [kg·rok ⁻¹] | | | |
|--|------------------|---------------------------|---------------------|
| | Elektrický ohřev | Ohřev solárními kolektory | Fotovoltaický ohřev |
| Spotřeba el. energie [kWh _e] | 3352,44 | 951,09 | 566,57 |
| Tuhé látky | 10,06 | 2,85 | 1,70 |
| SO ₂ | 17,43 | 4,95 | 2,95 |
| NO _x | 25,81 | 7,32 | 4,36 |
| CO | 2,18 | 0,62 | 0,37 |
| CO ₂ | 4066,51 | 1153,68 | 687,25 |

Tabulka 4.8 Teoretická produkce emisí systémy na ohřev TUV

Podle této tabulky je možné udělat si představu, o kolik kg méně daných látek bude vypuštěno do ovzduší za rok provozu navržených systémů. Například v případě provozu systému se solárními kolektory bude ročně vypuštěno do ovzduší o 12,49 kg méně SO₂, o 18,49 kg méně NO_x nebo o 2912,83 kg méně CO₂. Provoz navrženého FV systému je pak k životnímu prostředí ještě šetrnější díky vyššímu pokrytí spotřeby. Na obrázcích 4.8 a 4.9 je grafická interpretace těchto dat.

Obrázek 4.8 Produkce CO₂

Obrázek 4.9 Produkce ostatních znečišťujících látek

Tato analýza se vztahuje k samotnému provozu. Pro plné posouzení environmentálního přínosu solárních systémů by bylo třeba použít LCA metodu, tj. posouzení životního cyklu všech komponentů systémů, což je poměrně náročná záležitost a námět pro jinou práci.

Závěr

Po teoretickém rozboru jsou v práci navrženy dva systémy na ohřev teplé užitkové vody, fototermický se solárními kolektory a fotovoltaický. Návrhy vycházejí ze vstupních podmínek určených pro sledovaný objekt a z podrobné analýzy energetického potenciálu lokality, ve které se objekt nachází.

Pro objekt s denní spotřebou 160 litrů TUV v období duben – říjen a 80 litrů v období listopad – březen byl navržen systém s 5 plochými kolektory typu RF300 o celkové ploše 8,90 m². Dalšími stěžejními navrženými částmi systému jsou ohřívač vody na 300 litrů se solárním tepelným výměníkem a přídavnou elektrickou patronou o příkonu 2,5 kW, čerpadlová a regulační jednotka, které jsou dodávány jako součást ohřívače a expanzní nádrž o objemu 25 litrů.

Fotovoltaický systém byl navržen s 15 polykrystalickými panely s označením FE-240P. Jejich celková plocha je 24,55 m². Větší plocha je daná nižší účinností přeměny energie slunečního záření, nicméně parametry objektu jsou takové, že panely mohou být na střechu s rezervou instalovány. Dále byl navržen elektrický ohřívač vody o objemu 300 litrů s příkonem 3 – 6 kW, vodiče a jednoduchá regulace sestávající se z teplotního čidla, stykače a rozvaděče.

Z obecného porovnání vychází lépe fotovoltaický systém. Je podstatně jednodušší, přenos energie není zajištěn hydraulicko-mechanicky, ale elektricky. Primární okruh je v podstatě jednoduchý elektrický obvod o zdroji, spotřebiči a spínači. Má tedy méně komponent, méně prvků náchylných na selhání a náročných na konstrukci. Složitá instalace potrubí je nahrazena kabely, které je možno táhnout na větší vzdálenosti s libovolným počtem záhybů bez ztrát energie. I uložení kabelů je jednodušší. Musí ovšem být zajištěna elektrická bezpečnost okruhu.

Provoz fotovoltaického systému je zcela bez nákladů, není třeba žádný servis v podobě výměny kapaliny a pro jeho chod není třeba další energie. U systému s kolektory je třeba pohánět čerpadlo, a přestože jeho příkon je nízký, za dobu životnosti systému (cca 30 let) vzrostou náklady v součtu s pravidelnou výměnou teplotnosné kapaliny až o několik desítek tisíc korun.

Co se týče energetické bilance, pokryje systém se solárními kolektory 71,63 % spotřeby TUV, zatímco fotovoltaický systém pokryje 83,10 %. To je především díky tepelným ziskům v zimním období, kdy kolektory nemají téměř žádnou výtěžnost, zatímco FV panely pracují

dokonce s vyšší účinností než v létě. Alespoň část spotřeby TUV tím pádem pokryjí, přestože energie slunečního záření je nízká. Zbytek spotřeby je u obou systémů pokryt elektřinou ze sítě.

Cena za oba systémy je podobná, přibližně 137 tisíc korun jsou investiční náklady kolektorového systému, které za 30 let předpokládané životnosti vzrostou díky provozním nákladům na zhruba 164 tisíc korun. Náklady na fotovoltaický systém jsou cca 155 tisíc korun a během provozu systému nevzrůstají.

Určení návratnosti systémů je velmi náročné a vždy zatížené velkou nejistotou vzhledem k měnícím se podmínkám. Byl proveden hrubý odhad na základě srovnání s čistě elektrickým ohřevem TUV. Ten může být realizován při různých cenách elektřiny. Při uvažování několika různých sazeb a tarifů vychází návratnost systému se solárními kolektory 13 – 37 let, v případě FV systému pak 12 – 29 let. Vždy hraje roli uvažovaná cena za kilowatthodinu elektrické energie, která se ale bude v budoucnu určitě měnit, téměř jistě poroste. Lze tak celkem s jistotou konstatovat, že návratnost, která v práci vyšla relativně vysoká, bude ve výsledku kratší.

Environmentální dopad je analyzován na základě ušetřené elektrické energie na ohřev. Pokud za zdroj elektřiny považujeme průměrnou hnědouhelnou elektrárnu, lze na základě přepočtu z měrných emisí elektrárny určit, že kolektorový systém odlehčí atmosféře o téměř 3000 kg CO₂ ročně, FV systém pak téměř o 3400 kg. Další látky jako SO₂, NO_x, CO nebo tuhé látky jsou také vyčísleny, jedná se vždy o úsporu v řádu kilogramů ročně. Pro detailnější rozbor environmentálního dopadu systémů by bylo vhodné provést LCA analýzu, to je však poměrně náročné a může to být námět pro jinou práci.

Při zvážení všeho, co bylo uvedeno, vychází navržený fotovoltaický systém jako lepší volba pro ohřev TUV v daném objektu. I v současné době je mnoha lidmi zabývajícími se obnovitelnými zdroji energie preferován ohřev TUV fotovoltaickými panely, a to proto, že jak bylo zmíněno v úvodu, poklesla jejich cena tak, že jejich použití je velmi výhodné. Navíc je zde prostor pro další vývoj, neboť výzkum efektivnějších FV článků stále pokračuje, zatímco oblast kolektorových systémů spíše stagnuje. Fotovoltaické systémy se tak stávají čím dál využívanější. Proti nim však hovoří téměř trojnásobná potřeba plochy pro instalaci. Ne každý objekt je k tomu vhodný. Na závěr je tak třeba říci, že volba je vždy závislá na konkrétním objektu a daných podmínkách určitě stále bude mnoho případů, kdy kolektory budou lepší volbou.

Použitá literatura

- [1] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Praha: T. Malina, 2005. ISBN: 80-900759-5-9
- [2] ESCHNER, Jiří. *Návrh solárního systému pro zásobování objektu TUV*. Plzeň, 2008. Diplomová práce. Západočeská univerzita. Fakulta elektrotechnická. Katedra energetiky a ekologie.
- [3] THEMEßL, Armin, WEISS, Werner. *Solární systémy - Návrhy a stavba svépomocí*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0589-3
- [4] TRIER, Daniel. *Solar collectors* [online]. Solar district heating, 2012- [cit. 8. 3. 2014]. Dostupné z: http://www.solar-district-heating.eu/Portals/0/Factsheets/SDH-WP3_FS-7-1_SolarCollectors_version3.pdf
- [5] Intersekce. *Energie Slunce* [online]. Plzeň. [Cit. 12. 3. 2014] Dostupné z: http://www.intersekce.cz/images/pdf/energie_slunce.pdf
- [6] TZB INFO. *Optimalizace fotovoltaického systému pro přípravu teplé vody* [online]. [Cit. 12. 3. 2014]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/10697-optimalizace-fotovoltaickeho-systemu-pro-pripravu-teple-vody>
- [7] BAŘINKA, Radim, *Fotovoltaika a fotovoltaické systémy v ČR a jejich navrhování: Solární články, panely a fotovoltaické systémy* [online]. Česká energetická agentura, 1998- [cit. 12. 3. 2014]. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/dokument/98_8050.pdf
- [8] TZB INFO. *Vybrané výpočetní vztahy pro vlastnosti vody* [online]. [Cit. 28. 3. 2014]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/41-vybrane-vypocetni-vztahy-pro-vlastnosti-vody>
- [9] Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 4. 4. 2014]. Dostupné z: <http://www.chmi.cz/>
- [10] STAŇEK, Kamil. *Efektivní účinnost FV systémů pro budovy* [online]. [Cit. 6. 4. 2014]. České vysoké učení technické. Fakulta stavební. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/pdf/Sekce_1.4/Stanek_Kamil_CL.pdf
- [11] PVGIS. *Photovoltaic geographical information system*. [Cit. 6. 4. 2014]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [12] ČEZ. *Ceník elektřiny skupiny ČEZ 2014* [online]. [Cit. 20. 4. 2014]. Dostupný z: http://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2014/cez_cz_ele_cenikmoo_2014_sdruzeny.pdf

- [13] SRDEČNÝ, Karel, TRUXA, Jan. *Obnovitelné zdroje energie v jižních Čechách a horním Rakousku*. Praha: EkoWATT, 2000. ISBN: 80-238-6584-6

Přílohy

A Data a výpočty – energetický potenciál lokality

| Výška slunce nad obzorem h v jednotlivých hodinách [°] | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Měsíc | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Prosinec | | | | | 6,43 | 11,88 | 15,35 | 16,55 |
| Listopad a Leden | | | | | 9,50 | 15,20 | 18,75 | 20,00 |
| Říjen a Únor | | | | 9,33 | 17,02 | 23,13 | 27,12 | 28,50 |
| Září a Březen | | | 9,58 | 18,75 | 27,03 | 33,86 | 38,33 | 40,00 |
| Srpen a Duben | | 8,78 | 18,40 | 27,88 | 36,73 | 44,27 | 49,57 | 51,50 |
| Červenec a Květen | 6,07 | 15,18 | 24,73 | 34,62 | 43,57 | 51,72 | 57,72 | 60,00 |
| Červen | 8,75 | 17,75 | 27,23 | 36,85 | 46,20 | 54,52 | 60,97 | 63,55 |
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
| Prosinec | 15,35 | 11,88 | 6,43 | | | | | |
| Listopad a Leden | 18,75 | 15,20 | 9,50 | | | | | |
| Říjen a Únor | 27,12 | 23,13 | 17,02 | 9,33 | | | | |
| Září a Březen | 38,33 | 33,86 | 27,03 | 18,75 | 9,58 | | | |
| Srpen a Duben | 49,57 | 44,27 | 36,73 | 27,88 | 18,40 | 8,78 | | |
| Červenec a Květen | 57,72 | 51,72 | 43,57 | 34,62 | 24,73 | 15,18 | 6,07 | |
| Červen | 60,97 | 54,52 | 46,20 | 36,85 | 27,23 | 17,75 | 8,75 | |

Tabulka A.1 Výška slunce nad obzorem, data převzata z [1]

| Součinitel ε v jednotlivých hodinách | | | | | | | | |
|--|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Měsíc | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Prosinec | | | | | 2,08 | 2,99 | 3,57 | 3,77 |
| Listopad a Leden | | | | | 2,59 | 3,54 | 4,14 | 4,35 |
| Říjen a Únor | | | | 2,56 | 3,85 | 4,86 | 5,52 | 5,74 |
| Září a Březen | | | 2,60 | 4,14 | 5,50 | 6,60 | 7,29 | 7,55 |
| Srpen a Duben | | 2,47 | 4,08 | 5,64 | 7,04 | 8,19 | 8,96 | 9,23 |
| Červenec a Květen | 2,02 | 3,54 | 5,13 | 6,72 | 8,08 | 9,26 | 10,07 | 10,37 |
| Červen | 2,46 | 3,97 | 5,54 | 7,06 | 8,47 | 9,64 | 10,50 | 10,82 |
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
| Prosinec | 3,57 | 2,99 | 2,08 | | | | | |
| Listopad a Leden | 4,14 | 3,54 | 2,59 | | | | | |
| Říjen a Únor | 5,52 | 4,86 | 3,85 | 2,56 | | | | |
| Září a Březen | 7,29 | 6,60 | 5,50 | 4,14 | 2,60 | | | |
| Srpen a Duben | 8,96 | 8,19 | 7,04 | 5,64 | 4,08 | 2,47 | | |
| Červenec a Květen | 10,07 | 9,26 | 8,08 | 6,72 | 5,13 | 3,54 | 2,02 | |
| Červen | 10,50 | 9,64 | 8,47 | 7,06 | 5,54 | 3,97 | 2,46 | |

Tabulka A.2 Součinitel ε , vypočteno podle vzorce (2.3)

| Intenzita přímého záření na normálovou plochu I_{Pn} v jednotlivých hodinách [$W \cdot m^{-2}$] | | | | | | | | |
|---|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Měsíc | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Prosinec | | | | | 321,62 | 498,16 | 586,85 | 613,75 |
| Listopad a Leden | | | | | 426,80 | 583,36 | 658,70 | 681,97 |
| Říjen a Únor | | | | 421,35 | 623,81 | 733,99 | 789,57 | 806,47 |
| Září a Březen | | | 429,34 | 658,70 | 788,43 | 863,00 | 901,27 | 913,90 |
| Srpen a Duben | | 403,41 | 651,90 | 799,01 | 888,36 | 942,75 | 972,86 | 982,51 |
| Červenec a Květen | 308,45 | 582,89 | 757,58 | 870,02 | 938,33 | 983,57 | 1009,71 | 1018,39 |
| Červen | 402,42 | 638,93 | 790,96 | 889,36 | 954,38 | 996,41 | 1021,90 | 1030,73 |
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
| Prosinec | 586,85 | 498,16 | 321,62 | | | | | |
| Listopad a Leden | 658,70 | 583,36 | 426,80 | | | | | |
| Říjen a Únor | 789,57 | 733,99 | 623,81 | 421,35 | | | | |
| Září a Březen | 901,27 | 863,00 | 788,43 | 658,70 | 429,34 | | | |
| Srpen a Duben | 972,86 | 942,75 | 888,36 | 799,01 | 651,90 | 403,41 | | |
| Červenec a Květen | 1009,71 | 983,57 | 938,33 | 870,02 | 757,58 | 582,89 | 308,45 | |
| Červen | 1021,90 | 996,41 | 954,38 | 889,36 | 790,96 | 638,93 | 402,42 | |

Tabulka A.3 Intenzita přímého záření na normálovou plochu, vypočteno podle vzorce (2.2)

| Azimut slunce a v jednotlivých hodinách [°] | | | | | | | | |
|---|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| Měsíc | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Prosinec | | | | | -40,77 | -27,95 | -14,25 | 0,00 |
| Listopad a Leden | | | | | -42,35 | -29,13 | -14,88 | 0,00 |
| Říjen a Únor | | | | -59,32 | -46,43 | -32,20 | -16,55 | 0,00 |
| Září a Březen | | | -78,40 | -66,17 | -52,55 | -37,00 | -19,28 | 0,00 |
| Srpen a Duben | | -97,43 | -86,00 | -73,77 | -59,83 | -43,17 | -23,02 | 0,00 |
| Červenec a Květen | -114,10 | -103,17 | -92,67 | -81,43 | -66,50 | -49,10 | -27,08 | 0,00 |
| Červen | -116,28 | -105,57 | -94,70 | -83,17 | -69,60 | -52,20 | -29,30 | 0,00 |
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
| Prosinec | 14,25 | 27,95 | 40,77 | | | | | |
| Listopad a Leden | 14,88 | 29,13 | 42,35 | | | | | |
| Říjen a Únor | 16,55 | 32,20 | 46,43 | 59,32 | | | | |
| Září a Březen | 19,28 | 37,00 | 52,55 | 66,17 | 78,40 | | | |
| Srpen a Duben | 23,02 | 43,17 | 59,83 | 73,77 | 86,00 | 97,43 | | |
| Červenec a Květen | 27,08 | 49,10 | 66,50 | 81,43 | 92,67 | 103,17 | 114,10 | |
| Červen | 29,30 | 52,20 | 69,60 | 83,17 | 94,70 | 105,57 | 116,28 | |

Tabulka A.4 Azimut slunce, převzato z [1]

| Cos(γ) v jednotlivých hodinách | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Měsíc | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Prosinec | | | | | 0,50 | 0,67 | 0,80 | 0,86 |
| Listopad a Leden | | | | | 0,52 | 0,70 | 0,82 | 0,89 |
| Říjen a Únor | | | | 0,33 | 0,56 | 0,74 | 0,87 | 0,94 |
| Září a Březen | | | 0,11 | 0,36 | 0,59 | 0,78 | 0,91 | 0,98 |
| Srpen a Duben | | | 0,13 | 0,37 | 0,60 | 0,78 | 0,91 | 0,98 |
| Červenec a Květen | | | 0,13 | 0,36 | 0,59 | 0,76 | 0,89 | 0,96 |
| Červen | | | 0,14 | 0,37 | 0,58 | 0,75 | 0,87 | 0,94 |
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
| Prosinec | 0,87 | 0,81 | 0,70 | | | | | |
| Listopad a Leden | 0,90 | 0,84 | 0,72 | | | | | |
| Říjen a Únor | 0,95 | 0,89 | 0,77 | 0,59 | | | | |
| Září a Březen | 0,99 | 0,93 | 0,80 | 0,62 | 0,40 | | | |
| Srpen a Duben | 0,99 | 0,93 | 0,81 | 0,63 | 0,41 | 0,17 | | |
| Červenec a Květen | 0,96 | 0,91 | 0,79 | 0,61 | 0,40 | 0,18 | | |
| Červen | 0,95 | 0,89 | 0,78 | 0,61 | 0,41 | 0,18 | | |

Tabulka A.5 Cos(γ), vypočteno podle vzorce (2.5)

| Intenzita přímého záření na vodorovnou plochu I_{ph} v jednotlivých hodinách [$W \cdot m^{-2}$] | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Měsíc | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Prosinec | | | | | 36,02 | 102,55 | 155,35 | 174,83 |
| Listopad a Leden | | | | | 70,44 | 152,95 | 211,73 | 233,25 |
| Říjen a Únor | | | | 68,31 | 182,59 | 288,33 | 359,93 | 384,81 |
| Září a Březen | | | 71,45 | 211,73 | 358,31 | 480,84 | 558,96 | 587,44 |
| Srpen a Duben | | 61,58 | 205,77 | 373,63 | 531,28 | 658,08 | 740,54 | 768,92 |
| Červenec a Květen | 32,62 | 152,63 | 316,93 | 494,28 | 646,74 | 772,09 | 853,66 | 881,95 |
| Červen | 61,22 | 194,79 | 361,91 | 533,37 | 688,83 | 811,39 | 893,51 | 922,83 |
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
| Prosinec | 155,35 | 102,55 | 36,02 | | | | | |
| Listopad a Leden | 211,73 | 152,95 | 70,44 | | | | | |
| Říjen a Únor | 359,93 | 288,33 | 182,59 | 68,31 | | | | |
| Září a Březen | 558,96 | 480,84 | 358,31 | 211,73 | 71,45 | | | |
| Srpen a Duben | 740,54 | 658,08 | 531,28 | 373,63 | 205,77 | 61,58 | | |
| Červenec a Květen | 853,66 | 772,09 | 646,74 | 494,28 | 316,93 | 152,63 | 32,62 | |
| Červen | 893,51 | 811,39 | 688,83 | 533,37 | 361,91 | 194,79 | 61,22 | |

Tabulka A.6 Intenzita přímého záření na vodorovnou plochu, vypočteno podle vzorce (2.7)

| Intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu I_{Dh} v jednotlivých hodinách [$W \cdot m^{-2}$] | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Měsíc | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Prosinec | | | | | 38,37 | 58,55 | 67,54 | 70,15 |
| Listopad a Leden | | | | | 50,83 | 67,20 | 74,39 | 76,53 |
| Říjen a Únor | | | | 50,22 | 71,11 | 81,15 | 85,81 | 87,16 |
| Září a Březen | | | 51,11 | 74,39 | 85,72 | 91,38 | 93,89 | 94,63 |
| Srpen a Duben | | 48,18 | 73,76 | 86,57 | 93,08 | 96,11 | 97,25 | 97,49 |
| Červenec a Květen | 36,69 | 67,15 | 83,17 | 91,86 | 95,91 | 97,51 | 97,73 | 97,63 |
| Červen | 48,07 | 72,54 | 85,92 | 93,14 | 96,61 | 97,71 | 97,56 | 97,29 |
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | |
| Prosinec | 67,54 | 58,55 | 38,37 | | | | | |
| Listopad a Leden | 74,39 | 67,20 | 50,83 | | | | | |
| Říjen a Únor | 85,81 | 81,15 | 71,11 | 50,22 | | | | |
| Září a Březen | 93,89 | 91,38 | 85,72 | 74,39 | 51,11 | | | |
| Srpen a Duben | 97,25 | 96,11 | 93,08 | 86,57 | 73,76 | 48,18 | | |
| Červenec a Květen | 97,73 | 97,51 | 95,91 | 91,86 | 83,17 | 67,15 | 36,69 | |
| Červen | 97,56 | 97,71 | 96,61 | 93,14 | 85,92 | 72,54 | 48,07 | |

Tabulka A.7 Intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu, vypočteno podle vzorce (2.8)

| Teoretická energie dopadající na aktivní solární plochu za průměrný den $Q_{S \text{ den teor}}$ [$kWh \cdot m^{-2}$] | | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|------|-------|----------|----------|
| Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec |
| 3,60 | 5,26 | 6,94 | 8,02 | 8,44 | 8,54 | 8,44 | 8,02 | 6,94 | 5,26 | 3,60 | 3,01 |

Tabulka A.8 Teoretické dopadající teplo, vypočteno podle vzorce (2.10)

| Teoretická doba slunečního svitu pro 50° s.š. t_{teor} [h] | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|-------|--------|----------|----------|
| | Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec |
| za den | 8,26 | 10,12 | 12,00 | 13,90 | 15,70 | 16,34 | 15,70 | 13,90 | 12,00 | 10,12 | 8,26 | 7,85 |
| za měsíc | 256,06 | 283,36 | 372 | 417 | 486,7 | 490,2 | 486,7 | 430,9 | 360 | 313,72 | 247,8 | 243,35 |

Tabulka A.9 Teoretická doba slunečního svitu, převzato z [1]

| Skutečná doba slunečního svitu pro 50° s.š. za měsíc t_{skut} [h] | | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|----------|----------|
| Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec |
| 51,4 | 97,4 | 183,5 | 199,4 | 283,6 | 203,8 | 188,1 | 226,3 | 187,8 | 105,5 | 44,9 | 40,8 |

Tabulka A.10 Skutečná doba slunečního svitu, data z meteorologické stanice Plzeň – Mikulka

| Poměrná doba slunečního svitu pro 50° s.š. t_P [h] | | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|------|-------|----------|----------|
| Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec |
| 0,20 | 0,34 | 0,49 | 0,48 | 0,58 | 0,42 | 0,39 | 0,53 | 0,52 | 0,34 | 0,18 | 0,17 |

Tabulka A.11 Poměrná doba slunečního svitu, vypočteno podle vzorce (2.11)

B Data a výpočty – návrh solárních kolektorů

| Střední teplota $t_{stř}$ v Plzeňském kraji za posledních 5 let [°C] | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|----------|----------|
| | Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec |
| 2013 | -1,20 | -2,00 | -1,00 | 7,60 | 10,90 | 15,20 | 19,40 | 17,00 | 11,80 | 8,20 | 3,30 | 0,80 |
| 2012 | 0,40 | -4,80 | 5,60 | 8,00 | 14,20 | 16,50 | 17,20 | 17,90 | 12,70 | 7,00 | 3,90 | -0,60 |
| 2011 | -1,10 | -1,80 | 3,80 | 10,20 | 13,00 | 16,40 | 15,50 | 17,40 | 14,30 | 7,60 | 2,40 | 2,20 |
| 2010 | -4,60 | -2,00 | 2,40 | 7,70 | 10,90 | 16,20 | 19,70 | 16,10 | 10,70 | 5,80 | 3,90 | -5,10 |
| 2009 | -4,30 | -1,30 | 3,00 | 11,50 | 13,10 | 14,70 | 17,50 | 18,00 | 14,20 | 7,00 | 5,40 | -1,30 |
| průměr | -2,16 | -2,38 | 2,76 | 9,00 | 12,42 | 15,80 | 17,86 | 17,28 | 12,74 | 7,12 | 3,78 | -0,80 |

Tabulka B.1 Průměrná teplota v Plzeňském kraji, převzato z [9]

| Předpokládaný rozdíl mezi minimální a maximální teplotou Δt_{max} [°C] | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|----------|----------|--|
| Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec | |
| 10,00 | 10,00 | 11,00 | 13,00 | 15,00 | 16,00 | 16,00 | 16,00 | 15,00 | 13,00 | 11,00 | 10,00 | |

Tabulka B.2 Rozdíl mezi minimální a maximální denní teplotou, převzato z [1]

| Průběh teploty t [°C] | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hodina | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Časový úhel ψ [°] | -180 | -165 | -150 | -135 | -120 | -105 | -90 | -75 | -60 | -45 | -30 | -15 | 0 |
| Leden | -6,49 | -6,99 | -7,16 | -6,99 | -6,49 | -5,70 | -4,66 | -3,45 | -2,16 | -0,87 | 0,34 | 1,38 | 2,17 |
| Únor | -6,71 | -7,21 | -7,38 | -7,21 | -6,71 | -5,92 | -4,88 | -3,67 | -2,38 | -1,09 | 0,12 | 1,16 | 1,95 |
| Březen | -2,00 | -2,55 | -2,74 | -2,55 | -2,00 | -1,13 | 0,01 | 1,34 | 2,76 | 4,18 | 5,51 | 6,65 | 7,52 |
| Duben | 3,37 | 2,72 | 2,50 | 2,72 | 3,37 | 4,40 | 5,75 | 7,32 | 9,00 | 10,68 | 12,25 | 13,60 | 14,63 |
| Květen | 5,92 | 5,18 | 4,92 | 5,18 | 5,92 | 7,12 | 8,67 | 10,48 | 12,42 | 14,36 | 16,17 | 17,72 | 18,92 |
| Červen | 8,87 | 8,07 | 7,80 | 8,07 | 8,87 | 10,14 | 11,80 | 13,73 | 15,80 | 17,87 | 19,80 | 21,46 | 22,73 |
| Červenec | 10,93 | 10,13 | 9,86 | 10,13 | 10,93 | 12,20 | 13,86 | 15,79 | 17,86 | 19,93 | 21,86 | 23,52 | 24,79 |
| Srpen | 10,35 | 9,55 | 9,28 | 9,55 | 10,35 | 11,62 | 13,28 | 15,21 | 17,28 | 19,35 | 21,28 | 22,94 | 24,21 |
| Září | 6,24 | 5,50 | 5,24 | 5,50 | 6,24 | 7,44 | 8,99 | 10,80 | 12,74 | 14,68 | 16,49 | 18,04 | 19,24 |
| Říjen | 1,49 | 0,84 | 0,62 | 0,84 | 1,49 | 2,52 | 3,87 | 5,44 | 7,12 | 8,80 | 10,37 | 11,72 | 12,75 |
| Listopad | -0,98 | -1,53 | -1,72 | -1,53 | -0,98 | -0,11 | 1,03 | 2,36 | 3,78 | 5,20 | 6,53 | 7,67 | 8,54 |
| Prosinec | -5,13 | -5,63 | -5,80 | -5,63 | -5,13 | -4,34 | -3,30 | -2,09 | -0,80 | 0,49 | 1,70 | 2,74 | 3,53 |
| Hodina | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | | |
| Časový úhel ψ [°] | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 | 135 | 150 | 165 | | |
| Leden | 2,67 | 2,84 | 2,67 | 2,17 | 1,38 | 0,34 | -0,87 | -2,16 | -3,45 | -4,66 | -5,70 | -0,16 | |
| Únor | 2,45 | 2,62 | 2,45 | 1,95 | 1,16 | 0,12 | -1,09 | -2,38 | -3,67 | -4,88 | -5,92 | -0,59 | |
| Březen | 8,07 | 8,26 | 8,07 | 7,52 | 6,65 | 5,51 | 4,18 | 2,76 | 1,34 | 0,01 | -1,13 | 1,70 | |
| Duben | 15,28 | 15,50 | 15,28 | 14,63 | 13,60 | 12,25 | 10,68 | 9,00 | 7,32 | 5,75 | 4,40 | 4,50 | |
| Květen | 19,66 | 19,92 | 19,66 | 18,92 | 17,72 | 16,17 | 14,36 | 12,42 | 10,48 | 8,67 | 7,12 | 5,80 | |
| Červen | 23,53 | 23,80 | 23,53 | 22,73 | 21,46 | 19,80 | 17,87 | 15,80 | 13,73 | 11,80 | 10,14 | 7,47 | |
| Červenec | 25,59 | 25,86 | 25,59 | 24,79 | 23,52 | 21,86 | 19,93 | 17,86 | 15,79 | 13,86 | 12,20 | 8,50 | |
| Srpen | 25,01 | 25,28 | 25,01 | 24,21 | 22,94 | 21,28 | 19,35 | 17,28 | 15,21 | 13,28 | 11,62 | 8,64 | |
| Září | 19,98 | 20,24 | 19,98 | 19,24 | 18,04 | 16,49 | 14,68 | 12,74 | 10,80 | 8,99 | 7,44 | 6,81 | |
| Říjen | 13,40 | 13,62 | 13,40 | 12,75 | 11,72 | 10,37 | 8,80 | 7,12 | 5,44 | 3,87 | 2,52 | 4,34 | |
| Listopad | 9,09 | 9,28 | 9,09 | 8,54 | 7,67 | 6,53 | 5,20 | 3,78 | 2,36 | 1,03 | -0,11 | 2,90 | |
| Prosinec | 4,03 | 4,20 | 4,03 | 3,53 | 2,74 | 1,70 | 0,49 | -0,80 | -2,09 | -3,30 | -4,34 | 0,55 | |

Tabulka B.3 Průběh denní teploty, vypočteno podle vzorce (2.15)

| Střední teplota v době slunečního svitu pro Plzeňsko t_v [°C] | | | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|----------|----------|
| Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec |
| 1,40 | 0,67 | 6,00 | 12,49 | 15,66 | 19,42 | 21,61 | 22,02 | 17,91 | 12,11 | 8,47 | 3,13 |

Tabulka B.4 Střední teplota v době slunečního svitu, vypočteno podle vzorce (2.17)

| Střední intenzita slunečního záření během dne $I_{stř}$ [kW·m ⁻²] | | | | | | | | | | | |
|---|-------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|----------|----------|
| Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec |
| 0,436 | 0,520 | 0,579 | 0,577 | 0,538 | 0,523 | 0,538 | 0,577 | 0,579 | 0,520 | 0,436 | 0,383 |

Tabulka B.5 Střední intenzita, vypočteno podle vzorce (2.18)

C Data a výpočty – návrh fotovoltaických panelů

| Provozní teplota modulu t_p [°C] | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|----------|----------|
| Leden | Únor | Březen | Duben | Květen | Červen | Červenec | Srpen | Září | Říjen | Listopad | Prosinec |
| 16,67 | 18,87 | 26,26 | 32,69 | 34,48 | 37,72 | 40,42 | 42,22 | 38,17 | 30,31 | 23,74 | 16,53 |

Tabulka C.1 Provozní teplota FV panelů, vypočteno podle vzorce (2.23)