



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Využití solární energie v podmínkách České republiky

Solar energy utilization in the Czech Republic

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Králík, Ph.D.

Šárka Jablonská

Praha 2018



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Jablonská** Jméno: **Šárka** Osobní číslo: **459941**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Využití solární energie v podmínkách ČR

Název bakalářské práce anglicky:

Solar energy utilization in the Czech Republic

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište technické možnosti využití solární energie se zaměřením na rozdíly mezi fotovoltaickými a termickými panely
- 2) V podmínkách ČR analyzujte energetické potřeby vybraného objektu
- 3) Pro vybraný objekt proveďte technicko-ekonomické porovnání fotovoltaických a termických panelů

Seznam doporučené literatury:

- 1) HABERLIN, Heinrich a Herbert EPEL. Photovoltaics: system design and practice [online]. Hoboken, N.J.: Wiley, 2012, xxix, 701 p. ISBN 9781119992851.
- 2) MURTINGER, Karel, Jirí BERANOVSKÝ a Milan TOMESĚ. Fotovoltaika, elektrina ze slunce. 1. vyd. Brno: ERA, 2007, vii, 81 s. 21. století. ISBN 9788073661007.
- 3) Michael Boxwell. Solar Electricity Handbook: 2017 Edition: A simple, practical guide to solar energy ? designing and installing solar photovoltaic systems: Greenstream Publishing; 2017 edition, ISBN-13: 978-1907670657

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Tomáš Králík, Ph.D., katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **26.01.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: _____

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

Ing. Tomáš Králík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

_____ podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Řípka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studentky

Prohlášení

Prohláším, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze 23.5.2018

í í í í í í ..í í í í í í í í
™rka Jablonská

Poděkování

Ráda bych podkovala vedoucímu mé práce Ing. Tomáši Králíkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které byly velmi užitečné pro řešení dané problematiky, a také za čas, který mi v rámci řešení mé bakalářské práce věnoval.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá využitím solární energie v podmínkách České republiky a to se zaměřením na porovnání fotovoltaických a fototermických panelů. Jsou zhodnoceny podmínky, které využití solárních technologií omezují, jako jsou zeměpisná šířka, nadmořská výška, proměnlivost počasí a problematika akumulace a také role státu, který instalaci takových systémů podporuje dotacemi z důvodu zvýšení podílu obnovitelných zdrojů na výrobě energie. Oba zmíněné systémy jsou dále navrženy na vybraný objekt za účelem ohřevu teplé užitkové vody a na základě získaných údajů je provedeno jejich technicko-ekonomické zhodnocení a porovnání.

Klíčová slova

Solární energie, solární systémy, solární kolektory, fotovoltaické panely, fotovoltaický ohřev vody, fototermický ohřev vody

Abstract

This bachelor thesis is focused on the solar energy utilization in the Czech Republic with the intention to compare two different technologies of photothermic and photovoltaic panels. There are several conditions discussed through the thesis which have a significant impact on the potential of mentioned technologies, such as latitude, altitude, weather variability or the matter of accumulation. There is also discussed the role of the state, which supports these technologies because of increasing the part of renewable natural resources on the energy production. Both of the mentioned systems are designed for a concrete object with the purpose of water heating. Based on the gained information these two systems are technically and economically evaluated and compared.

Key words

Solar energy, solar systems, solar collectors, photovoltaic panels, photovoltaic water heating, photothermic water heating

Obsah

1. Úvod	5
2. Slunce - zdroj solární energie.....	7
2.1. Vznik energie	7
2.2. Sluneční záření	7
2.2.1. Spektrum slunečního záření	7
3. Potenciál solární energie	9
3.1. Problematika proměnlivosti a predikce.....	9
3.2. Využití solární energie k pokrytí vlastní spotřeby	9
3.3. Závislost na zeměpisné šířce	10
3.4. Výhody solární energie	11
3.5. Parametry vázané na umístění objektu	12
3.5.1. Geografické podmínky	12
3.5.2. Přímé a difuzní záření.....	12
3.5.3. Překážky způsobující zastínění.....	13
3.6. Volitelné parametry.....	13
3.6.1. Sklon a orientace plochy	13
3.6.2. Technologie využívající solární energii.....	14
4. Analýza objektu.....	15
4.1. Konstrukční parametry	15
4.2. Současná realizace ohřevu.....	15
4.2.1. Energetické potřeby.....	16
4.2.2. Finanční analýza současné situace.....	16
4.3. Dopadající záření	16
4.3.1. Využitelnost dopadajícího záření.....	18
5. Realizace fototermického ohřevu vody.....	19
5.1. Technické řešení	19
5.1.1. Solární kolektory.....	19
5.1.2. Realizace oběhu.....	20
5.1.3. Zásobník	20
5.1.4. Optimalizace chodu	22
5.1.5. Průzkum trhu	22
5.2. Energetické zisky	23
5.2.1. Stanovení energetických zisků.....	23
5.2.2. Krajní případy.....	24
5.2.3. Měsíc červen.....	25
5.2.4. Vyrobená energie.....	25

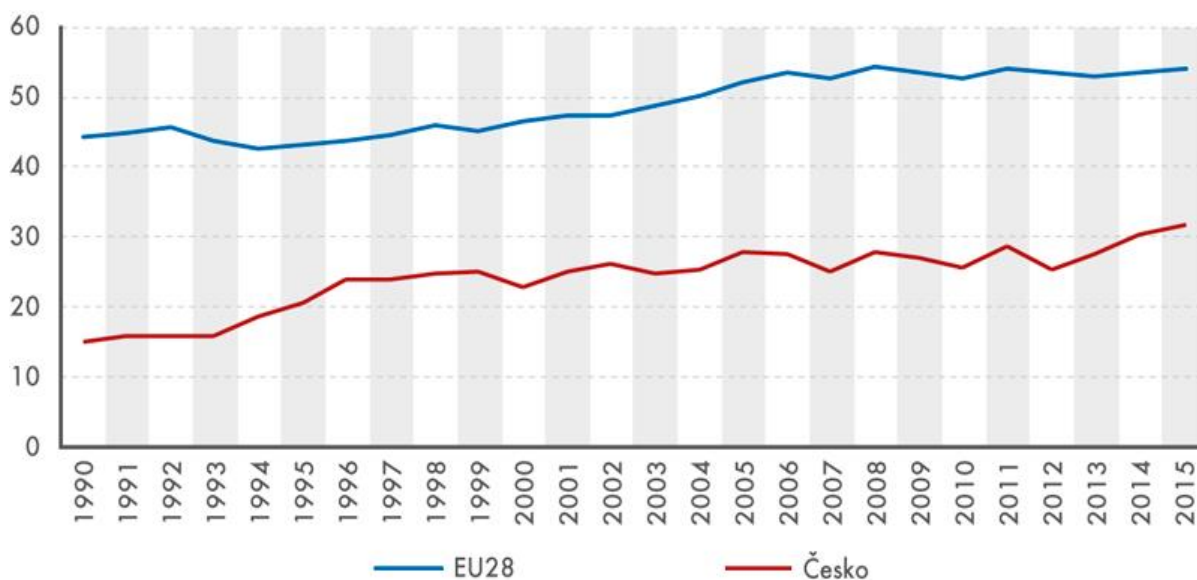
5.2.5.	Pokles účinnosti	26
6.	Realizace fotovoltaického ohřevu vody.....	27
6.1.	Technické řešení	27
6.1.1.	Fotovoltaické panely	27
6.1.2.	Přenos energie.....	28
6.1.3.	Zásobník	28
6.1.4.	MPPT regulátor.....	28
6.1.5.	Průzkum trhu	29
6.2.	Energetické zisky	29
6.2.1.	Stanovení energetických zisků.....	29
6.2.2.	Měsíc červen.....	30
6.2.3.	Pokles účinnosti	31
7.	Podpora státu – Nová zelená úsporám	32
7.1.	Solární termické systémy	32
7.2.	Fotovoltaické systémy	32
8.	Ekonomické zhodnocení variant	34
8.1.	Stanovení diskontu	34
8.2.	Společné náklady	34
8.3.	Nulová varianta – pouze zemní plyn.....	35
8.3.1.	Výdaje.....	35
8.3.2.	Vývoj ceny zemního plynu.....	35
8.3.3.	RCF	35
8.4.	Varianta 2 – fototermický ohřev	35
8.4.1.	Výdaje.....	35
8.4.2.	Dotace	36
8.4.3.	RCF	36
8.5.	Varianta 3 – fotovoltaický ohřev	36
8.5.1.	Výdaje.....	36
8.5.2.	Dotace	36
8.5.3.	RCF	36
8.6.	Shrnutí.....	37
9.	Citlivostní analýza.....	38
9.1.	Citlivostní analýza ceny zemního plynu	38
9.2.	Citlivostní analýza hodnoty diskontu	38
9.3.	Citlivostní analýza výše dotací.....	39
10.	Závěr.....	40
	Zdroje	42
	Seznam použitých zkratk	44
	Seznam použitých obrázků	45

Seznam použitých tabulek.....	45
Seznam příloh.....	46

1. Úvod

Otázka spotřeby elektrické energie se v dnešní době stále týká každého z nás. Díky neustálému technologickému pokroku se množství spotřebované energie stále zvyšuje (1) a spotřeba elektřiny se tak navíc stává významným ukazatelem vývoje daného státu. Aby mohla být energie spotřebována, musí být nejprve vyrobena, resp. přeměněna z jiné formy na formu elektrickou. Možností se nabízí hned několik a jejich zastoupení se v každé zemi liší v závislosti na přírodních i klimatických podmínkách, dostupnosti nerostných surovin atd. Energetický mix je pro každý stát individuální. V České republice tvoří největší podíl (54 %) parní elektrárny spalující fosilní paliva, zpravidla hnědé uhlí, které řadíme mezi zdroje, jejichž dostupnost s jejich těžbou klesá. Jedná se o neobnovitelné zdroje. Na druhém místě se nachází jaderné elektrárny s podílem 29 % (2), (3).

Dodávaná elektřina tedy vzniká přeměnou primárních energetických zdrojů, jako je například výměrné hnědé uhlí, ale i energie v tuzemské vodě. Elektrickou energii lze využít i pro výrobu tepla, avšak existují i další primární energetické zdroje, jako například zemní plyn nebo ropa (také pouze výjimečně), které jsou pro tyto účely používány. Česká republika bohužel spoustou primárních zdrojů nedisponuje. Na území Moravy se sice nachází malá ložiska ropy a zemního plynu, jejich průběh je však oproti světové produkci zanedbatelný (4). Je tedy nutné je dovážet z okolních zemí. Tím se závislost domácností na distributorech energie přeusouvá na závislost celé země na jiných zemích. Největší dovozce pro ČR představuje zdroj bohaté Rusko. Zemní plyn a ropa jsou na našem území dopravovány přes Ukrajinu. Jelikož ani jedna z těchto zemí nemůže nazvat stabilním systémem, vznikají zde určitá rizika a nejistoty. Na těchto zemích však není závislá jen Česká republika, ale i většina ostatních států Evropské unie. Přestože v EU patříme k zemím, které jsou spíše ve spodním řetězku na stupnici energetické závislosti, není podíl dovozu energetických zdrojů zanedbatelný. Jedná se o více než 30 % a trend této závislosti je spíše rostoucí, jak se můžeme přesvědčit na následujícím obrázku, který zachycuje nárůst závislosti dovozu energií v období 1990–2015. Za tuto dobu se závislost přibližně zdvojnásobila.



Obrázek 1.1: Energetická závislost ČR a EU (v %) (5)

Energetická závislost není jediný problém, kterým je výroba a spotřeba energií zatížena. Kvůli výměrným tepelným elektrárnám, které tvoří hlavní podíl výroby energie v České republice, se do ovzduší dostává velké množství nečistot, což má vysokou pravděpodobnost škodlivé a končí množstvím spalin například v podobě oxidu uhličitého, čímž dochází k jeho znečištění. Jaderné elektrárny jsou sice považovány za čistý zdroj energie, nicméně stále není zcela vyřešena otázka, co se bude dít s nahromaděným vyhořelým palivem. Navíc kvůli obavám z možné ekologické katastrofy je bezpečnost

provozu jaderných elektráren, na kterými státy stále více zpochybnována a diskutována. Na které (Německo, Francie) jejich provoz dokonce zastavují nebo v blízké budoucnosti zastavit plánují (6).

Vidina zvýšení energetické nezávislosti spojená s uvolněním síly obnovitelných zdrojů fosilních paliv a rostoucím tlakem na fluktuální prostředí vede k vyvíjení nejrozličnějších alternativních řešení, které rozšiřují oblasti využití obnovitelných zdrojů energie. Využití, na kterých takových zdrojů je však v našich klimatických podmínkách omezené. Kvůli velmi proměnlivé dostupnosti nelze výrobu bez přítomnosti akumulací provádět. Akumulace v takovém množství elektrické energie je však nákladná, proto tyto zdroje nachází své využití spíše jako dodatekové. I přes určitá omezení však tyto technologie nachází své zastoupení, a vzhledem k energetické politice Evropské unie, která klade velký důraz na OZE, se navíc Česká republika v této oblasti dostává značné podpory. V rámci tohoto programu má EU do roku 2020 stanovenou dosáhnout podílu energie z OZE ve výši 20 %. Pro ČR tak plyne dílčí hodnota ve výši 13 % (7).

Nejvíce energie v domácnostech připadá na vytápění a ohřev teplé vody, na které zdroje uvádí až 80 % (8). Proto se v této práci budu zabývat alternativními způsoby ohřevu teplé vody. Z nabídky OZE se v našich podmínkách pro tento účel jeví jako nejzajímavější využití energie slunečního záření. V některých případech by tak tyto technologie mohly nahradit nebo doplnit využívané neobnovitelné zdroje, které je nutné dovážet ze zmíněných nestabilních politických systémů, a tím tak přispět nejen v rámci domácnosti, ale i celému státu.

V této práci se tedy budu zabývat podmínkami pro instalaci takových systémů. Nejprve zhodnotím klimatické podmínky na území České republiky jako celku, spolu s dalšími faktory, které přímo ovlivňují energetické zisky solárních systémů. Tyto poznatky následně aplikuji pro konkrétní objekt, kde na základě souhrnné spotřeby energie pro ohřev teplé vody a jejího odhadnutého budoucího vývoje navrhnou dva různé druhy provedení. Jedná se o první ohřev pomocí solárních kolektorů a ohřev pomocí výroby elektřiny, která vznikla pomocí slunečního záření dopadajícího na fotovoltaické panely. Zohledním také postoj státu, a to zejména z ekonomické stránky, tedy jakým způsobem motivuje domácnosti (spotřebitele) k tomu, aby do takovýchto systémů investovali. Na základě všech získaných dat v podobě souhrnné spotřeby, teoretických energetických zisků, zohlednění dotací apod. pak porovnáím navrhovaná řešení se souhrnně realizovaným.

2. Slunce - zdroj solární energie

Velmi zjednodušeně můžeme říci, že se jedná o energii získanou ze Slunce, nám nejbližší a nejvýznamnější hvězdy. Bez sporu se jedná o nejdříve formu energie vůbec, jelikož Slunce, jakožto střed naší planetární soustavy, je v podstatě zdrojem života na Zemi. Nutno podotknout, že Slunce nepředstavuje jen zdroj solární energie jako takové. Jeho energie dala za vznik většině energetických zdrojů, které lidstvo využívá, ať už se jedná o fosilní paliva, která vznikla přeměnou odumřelých rostlin a živočichů před miliony let, nebo koloběžky vody zalomené na výparu a následné kondenzaci. Dokonce i větrná energie vzniká v důsledku nerovnoměrného ohřívání zemského povrchu, kde dochází ke snaze vyrovnání tlaků. Všechny tyto druhy energií jsme bez pochyby také schopni využít, a kolik na první pohled nemusí být jasné, že jejich původ je právě ve Slunci (9).

2.1. Vznik energie

Slunce je tvořeno dvěma hlavními prvky – vodíkem (70 %) a heliem (28 %). Zbýlá 2 % ostatních prvků jsou oproti těmto dvěma zanedbatelná. Všechny prvky jsou zastoupeny ve skupenství plazmy. V jeho nitru neustále dochází k tzv. termojaderné reakci (jaderné fúzi), která spojuje v průměru několik milionů lehkých jader vodíku na těžší jádra helia a uvolní velkého množství energie (řádově až 10^{26} J). Na zemský povrch pak dopadá v podobě slunečního (elektromagnetického) záření (10).

K této přeměně dochází již několik miliard let a podle výpočtů by je to přibližně stejnou dobu docházet mlo. Právě díky této skutečnosti můžeme Slunce z hlediska perspektivy lidstva považovat za obnovitelný energetický zdroj.

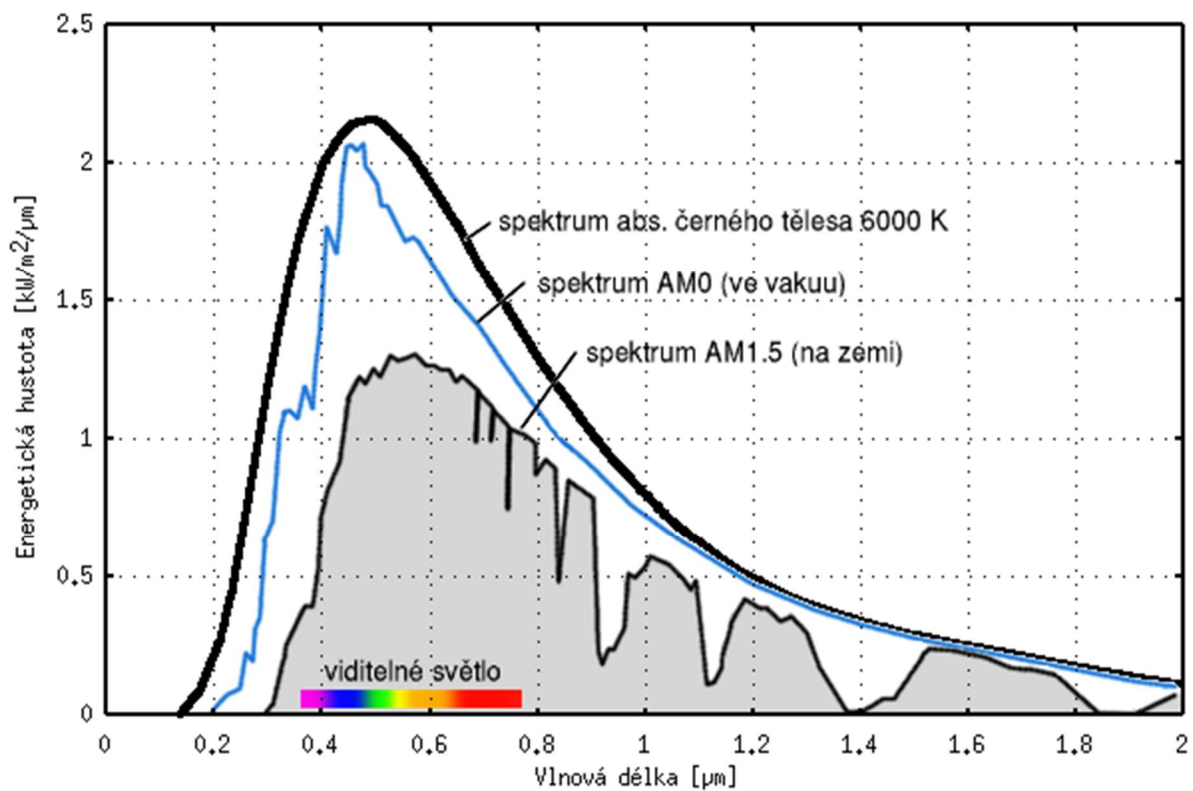
2.2. Sluneční záření

Energie se z nitra Slunce uvolňuje ve formě rentgenových fotonů směrem k povrchu. Ty však s rostoucí vzdáleností svou energii ztrácí a přímým pohybem o rychlosti 300 000 km dosáhnou zemského povrchu (9).

2.2.1. Spektrum slunečního záření

Slunce vyzařuje v širokém spektru vlnových délek, které zachycuje obrázek 2.1. Pro zohlednění vlivu průchodu atmosférou zavádíme koeficient $\beta_{\text{Air mass}}$ následovaný indexem. Pokud by paprsky dopadaly kolmo, pracovali bychom s AM1. Pro vymezení spektra dopadajícího na zemský povrch je nejuniversalnější AM1.5, což znamená odklon od normály dopadajícího záření asi 48° . Pro nás energeticky nejvýznamnějším je viditelné záření o vlnových délkách 380–780 nm. Platí, že s rostoucí energií vlnová délka klesá. Aby mohla být energie využita například fotovoltaickým článkem, musí mít velikost alespoň 1,12 eV, což odpovídá hranici infračerveného záření o (mezní) vlnové délce asi 1105 nm (11).

S každým přenosem energie jsou spojeny také určité ztráty, a na Zemi tedy nedopadne veškeré záření. Část je odrazena a část pohlcena. Ultrafialové nebo dlouhovlnné infračervené záření je atmosférou zadržováno. V tomto případě tedy ztráty představují i pozitivní dopad, pokud by totiž veškeré UV záření proniklo až na zemský povrch, znamenalo by to fatální následky. Dopadající záření může být navíc rozptýleno vlivem klimatických podmínek, jako je například oblačnost. Více o rozptýlení viz kapitola 3.5.2.



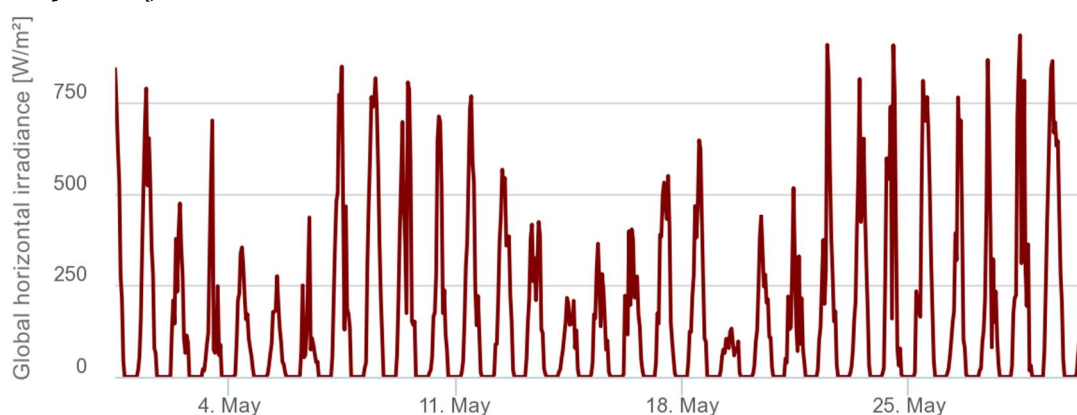
Obrázek 2.1: Spektrum slune ního zá ení (12)

3. Potenciál solární energie

Ztráty vlivem rozptylu světla nejsou jediným faktorem, který snižuje potenciál solární energie. Existují i další faktory, jejichž vliv se projeví nejen na území České republiky. V následujících kapitolách se tak budu vnovat výhodám a nevýhodám, které představují využití solárních systémů.

3.1. Problematika proměnlivosti a predikce

Jednou ze zásadních nevýhod je problematika predikce dodávky sluneční energie. Na základě dlouhodobých statistických údajů můžeme pro delší období (měsíce) stanovit průměrné úhrny dopadajícího záření, avšak reálné časové rozložení v průběhu tohoto období se liší každý rok. Pro kratší časové úseky se sice nabízí předpověď, ta je však spolehlivá jen na den, dva dny, ale z hlediska delšího časového úseku ji nelze považovat za spolehlivý zdroj informací. Práv kvůli velké proměnlivosti předpovědi v průběhu roku slunečné a zatažené dny v rámci kratších časových úseků (týdny), nemůžeme solární technologie používat samostatně a spoléhat tak pouze na ně, ale zpravidla je nutné mít v záloze jiný zdroj energie, resp. právě solární technologie se často stávají spíše doplňkovým zdrojem.



Obrázek 3.1: Typický průběh dostupnosti záření během měsíce květen (13)

Není tedy možné (resp. vhodné) při návrhu systému pracovat například s průměrnými ročními hodnotami. Naopak je více než vhodné vycházet z dat za jednotlivé měsíce, ať už se jedná o dostupnost energie, nebo naopak spotřebu.

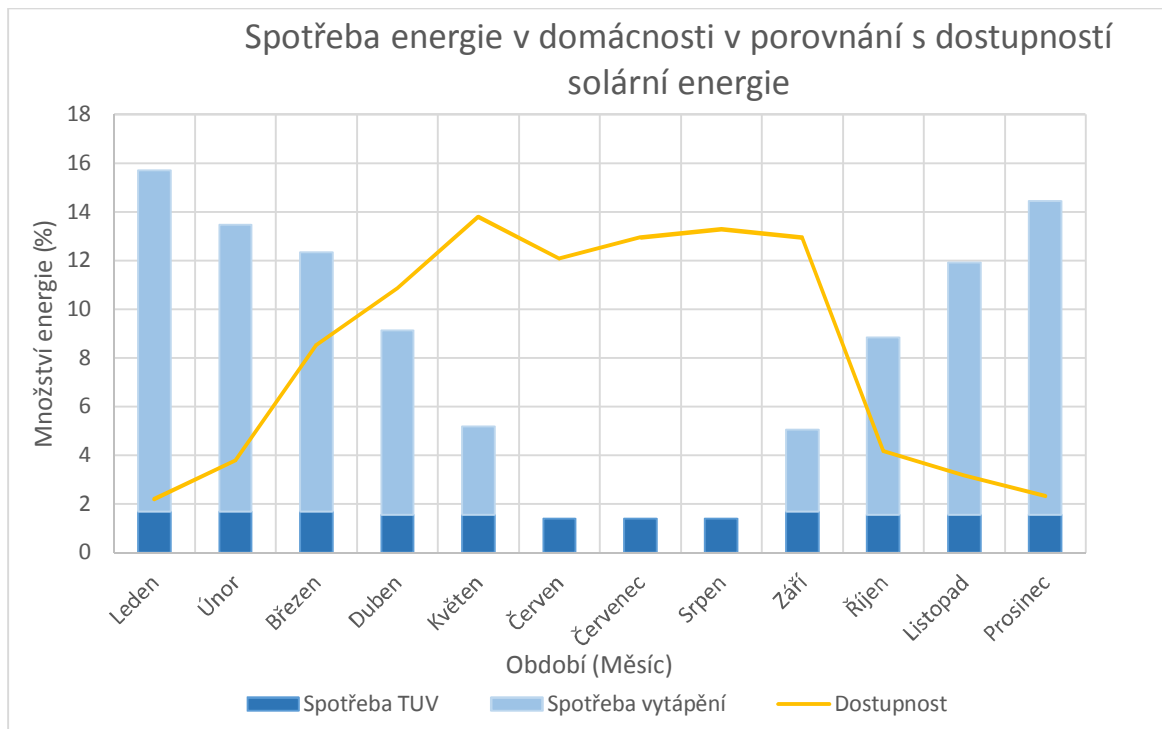
Kolísavost dostupného množství solární energie je možné do jisté míry kompenzovat pomocí její akumulace v době, kdy je jí přebytek. Tyto systémy jsou však velmi omezené. V současné době nejsme příliš schopni (hlavně z finančního hlediska) efektivně akumulovat velké množství energie po delší dobu. Pro zajištění spolehlivého chodu jsme tak nuceni mít k dispozici v dobách nedostatku slunečního svitu doplňkový zdroj energie.

3.2. Využití solární energie k pokrytí vlastní spotřeby

S proměnlivostí v našich zeměpisných šířkách souvisí také značné rozdíly dostupnosti záření mezi zimou a létem. Poloha slunce na obloze, které je v zimě nížle, spolu s kratším dnem způsobují mnohem menší dostupnost záření než v létě. Problematická však mohou být obě tato období. S tím je spojen i fakt, který zachycuje následující obrázek, a to naprosto opačný průběh spotřeby energií, (v tomto případě teplé vody v etn. vytápění), a její výroby pomocí solárních technologií v průběhu roku. Každý měsíc je převeden na procentuální část vzhledem k celoročnímu množství energie. Filutův kvíz znázorňuje dostupnost slunečního záření během roku, modré sloupce naopak potřebu elektrické energie pro ohřev teplé vody v domácnosti, kde světlejší odstín představuje spotřebu pro vytápění, tmavší spotřebu teplé užitkové vody. Graf zachycuje typickou problematickou situaci pro Českou republiku, kde se v obdobích nejméně potřeby v letních měsících setkáváme s nejvyšší dostupností, a naopak v dobách nejvyšší potřeby zejména z hlediska vytápění, je úhrn slunečního záření nejméně. Se

zvýšujícími se požadavky na komfort dochází v letních měsících k vyuffití p ebytk v oblasti chladících zařízení, zejména tak v podob klimatizací.

Spot eba energií na vytáp ní a oh ev TUV je úmysln odd lená. Spot eba energie pro vytáp ní je zatífena zna nými rozdíly v pr b hu roku, oproti spot eb TUV, kde obecn platí, fle její spot eba je v pr b hu roku vícemén konstantní, s výjimkou letních m síc , kdy je mírn sníffená. Na tuto tematiku následn navazuje kapitola 4.2.1.



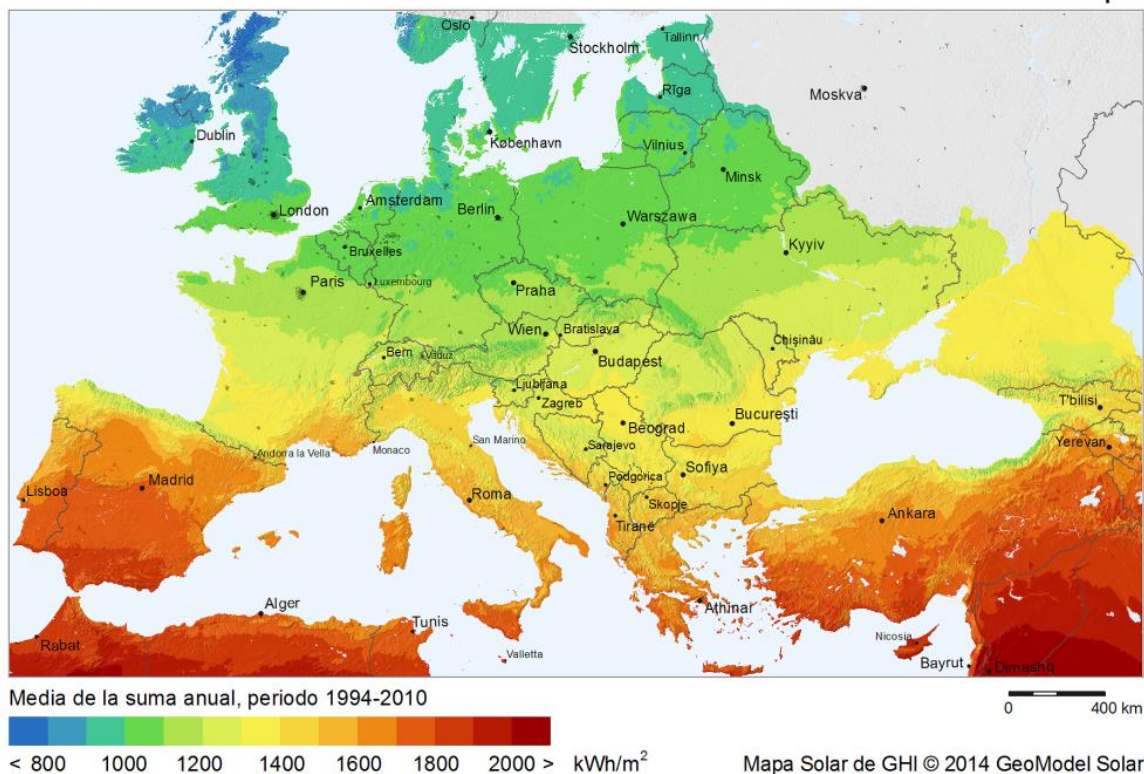
Obrázek 3.2: Zná zorn ní opa ných pr b h spot eby a dostupnosti energie, data z (14; 8)

Také u fotovoltaických panel dochází k ur itým vzájemn se nepodporujícím skute nostem. V zim totifl mají díky chladnému vzduchu mnohem v t-í ú innost nefl v lét . P ísun slune ního svitu je ale v na-ích podmínkách samoz ejm mnohem men-í nefl v letních m sících, takfle vyrobená energie je i p es vysokou ú innost mnohem níff-í (15).

3.3. Závislost na zeměpisné šířce

Za nevýhodu lze považovat i fakt, fle i p estofle je tato energie prakticky celoplo-n dostupná, variabilita podmínek nap í zem koulí zap í i uje zna nou rozdílnost v možnostech jejího vyuffití. Tato skute nost je patrná z následujícího obrázku 3.3, který zachycuje rozdílnost ro ních dávek slune ního zá ení nap í Evropou. Porovnáme-li tak nap íklad ro ní úhrn zá ení v Praze a v Madridu, obdrffíme afl dvojnásobný rozdíl hodnot dostupného slune ního zá ení. Závislost na zeměpisné -í ce se projeví ufl i na mnohem men-ím území, jako je eská republika, viz kapitola 3.5.1.

Nemáme tedy takový potenciál celoro ního provozu jako ve Třpan lsku, nicmén jak jifl bylo nazna eno v úvodu, solární energie by mohla znamenat alespo p íblíffení se k v t-í energetické nezávislosti nejen domácností, ale i celé zem , cofl je z hlediska politických d vod velmi významný faktor. Tím se tedy od nevýhod dostáváme k d vod m, které naopak vyuffití solárních systém podporují.



Obrázek 3.3: Ro ní dávky slune ního zá ení v Evrop (13)

3.4. Výhody solární energie

K výhodám solární energie také patří její jídl íve zmín ná obnovitelnost. Její zdroj, jak víme, m fleme chápat z pohledu pot eb ná-í civilizace a délky existence lidstva jako prakticky nevy erpatelný. S tím souvisí i minimální dopad na životní prostředí b hem provozu¹ solárních systém , jelikož nedochází k produkci škodných spalin i jiných škodlivých látek a odpad na rozdíl nap íklad od uhelných elektrárn.

Zanedbatelná není ani skute nost, fle je k dispozici zadarmo, což je bohužel vykompenzováno vysokými investicemi výdaji do technologií pot ebných k jejímu zúžitkování v podob nap íklad fotovoltaických i fototermických lánk , resp. panel , kterými se budu podrobn jí zabývat v dal-ích kapitolách této práce.

Oblíbenosti p ídávají také pom rní dlouhé životnosti v rozmezí 20-35 let, kde u FV panel výrobci garantují maximální pokles ú činnosti na 80 %, u termických kolektorů se pokles ú činnosti téměř neprojeví (11). Navíc i po uplynutí této garantované doby m fle být panel stále v provozu za p edpokladu, fle jeho provozní náklady nep ekró í výnosy. Dal-ím podp rným faktorem je také relativní technická jednoduchost solárních systém , jak z hlediska sériové výroby, tak z pohledu instalace u koncového zákazníka (v porovnání nap . s v t-ími elektrárnami) a pot eby minimální údržby b hem svého provozu. S tím souvisí i velká volitelnost umíst ní systém . Díky možnosti instalací na st echu je tak m fleme vid t i na budovách v centru m st í jakékoliv jiné husté zástavbě nebo naopak v odlehlých oblastech. Není tedy nutnost nap . zastavovat zemědělské plochy, i plochy um le vytvá et kácením les ů apod., což se bohužel na ná-ém území v minulých letech d lo a výsledkem toho jsou solárními elektrárnami zastav ná pole.

¹ Spojení šb hem provozu má v této souvislosti velký význam, jelikož p í výrob fotovoltaických i solárních panelů dochází k zanechání zna né uhlíkové stopy.

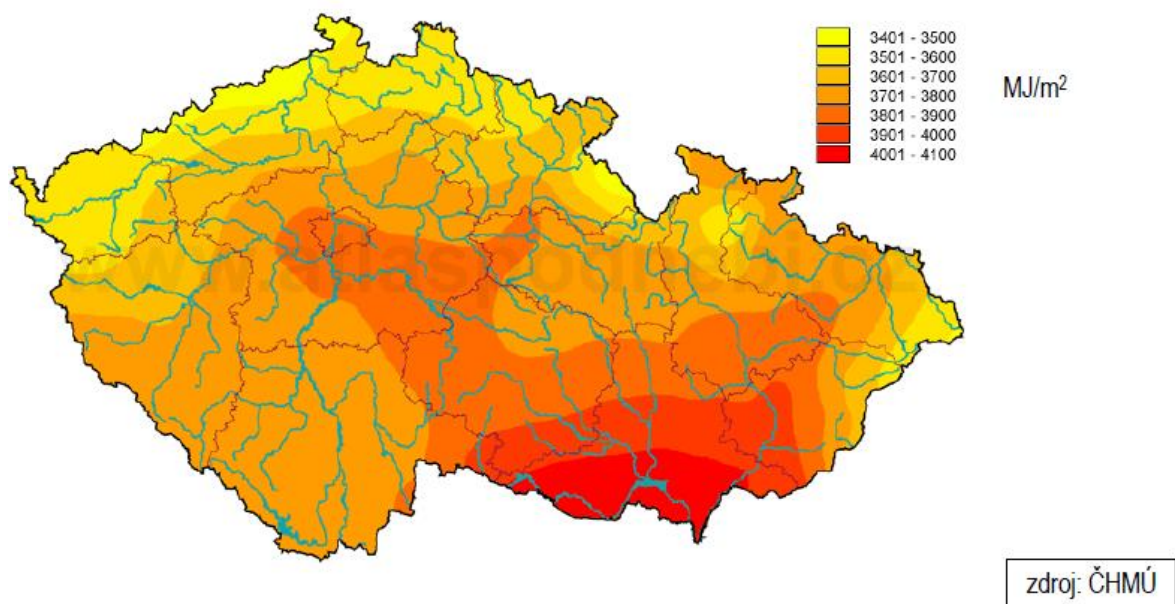
Tak jako s sebou každý systém nese své výhody a nevýhody, souvisí s ním i parametry, které mají dopad na jeho provoz. Před instalací jakéhokoliv solárního systému je proto třeba provést důkladnou analýzu podmínek, ve kterých bude solární energie využívána a na základě toho také zjistit možnosti jejího využití v podobě správného technického řešení, zajistí optimálního dimenzování, a ušetří bezpečenostních důvodů i ekonomiky provozu.

3.5. Parametry vázané na umístění objektu

Při návrhu solárního systému jsme omezeni parametry, které nemůžeme nijak ovlivnit, zejména pokud se jedná o již postavený dům. Jedná se o geografickou polohu, která je charakterizována zeměpisnou šířkou a nadmořskou výškou, s čímž úzce souvisí i klimatické podmínky, které předurčí množství dopadajícího záření. S polohou také souvisí okolní podmínky, které mohou způsobit nečekané zastínění panelů (11).

3.5.1. Geografické podmínky

Prvním z výše zmíněných parametrů, kterým se budu zabývat, je **zeměpisná šířka**. V České republice pro většinu území platí, čím více na jih, tím lépe. Můžeme se tak přesvědčit na následujícím obrázku 3.4, který zachycuje intenzitu slunečního záření na našem území. Výjimkou jsou střední části, které díky nížší oblačnosti, a tím menšímu rozptylu světla, dosahují v určitém množství dopadajícího slunečního záření. Nejlepší předpoklad dosahuje červeně vyznačená oblast v jižní Moravě, kde na 1 m² vodorovné plochy dopadá za jeden rok celkové množství sluneční energie kolem 1100 kWh (1 kWh = 3,6 MJ).



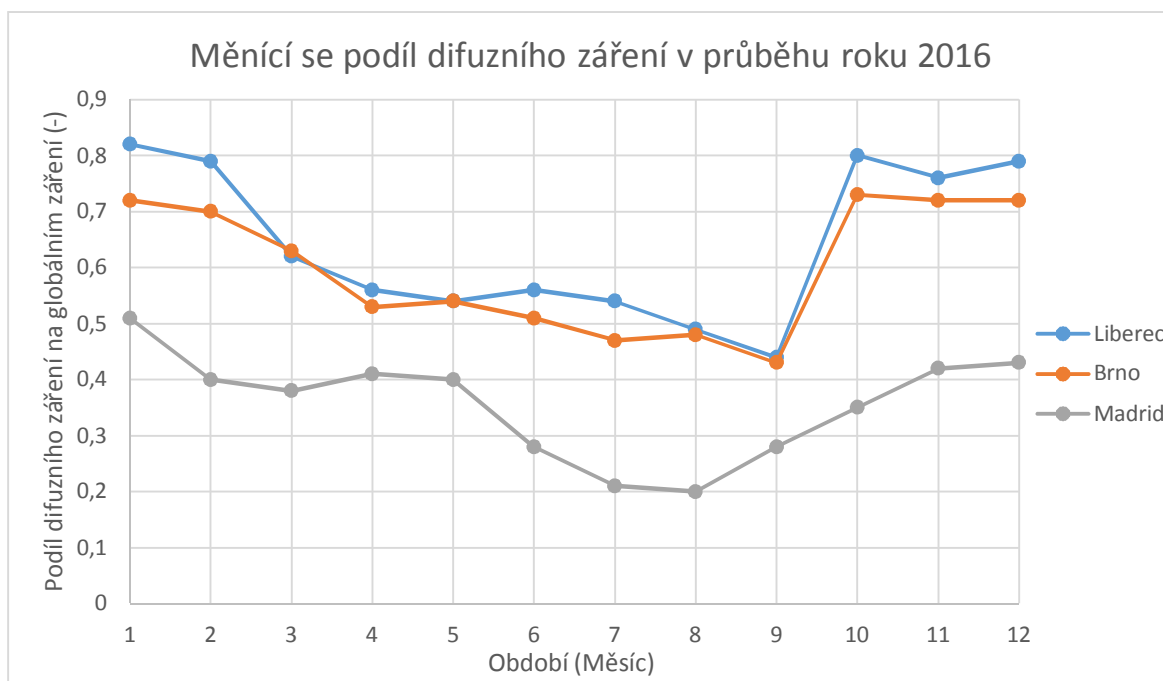
Obrázek 3.4: Roční dávky slunečního záření na vodorovnou plochu v ČR v MJ/(m².rok), převzato z ČHMÚ

V kategorii geografických podmínek se spolu se zeměpisnou šířkou uplatňuje také **nadmořská výška**, například kvůli možné inverzi, kdy pak vzniklá oblačnost omezuje pronikání světla do nížších oblastí, zatímco ve vyšších oblastech nad zkonzenzovanou párou a vzniklou mlhou je situace zcela opačná. Vzhledem k rozmanité vertikální členitosti povrchu České republiky je tento jev poměrně častý.

3.5.2. Přímé a difuzní záření

Záření, které není bezprostředně dopadu na zemský povrch zatíffeno řádným rozptylem, se nazývá **přímé záření**. Pokud je tedy jasná obloha, je dopadající záření tvořeno především přímým, které nemění světelnou dráhu. Právě kvůli přímému záření je pro nás tak důležitý úhel dopadu. Ten se musíme snažit tak, aby energetické zisky byly co nejvyšší.

Pr chodem atmosférou však dochází ke značnému rozptýlení vlivem oblak a znečištění ovzduší a záření tak nedopadá v jednom směru, nazýváme ho **difuzní**. Do této skupiny můžeme zahrnout i odrazy z povrchů objektů v podobě budov apod. Společně s přímým zářením tak tvoří **globální záření** (16).



Obrázek 3.5: Mění se podíl difuzního záření během roku na různých místech. R v porovnání s jižní situovaným městem, data z (14)

Přestože z přímého záření dosahujeme v těchto energetických zisků, zejména u fototerických panelů, existují i systémy mezi fotovoltaickými panely, které umí velmi dobře zúžit záření difuzní, a v celoročním úhrnu tak dopadají lépe než ostatní technologie. Poměr přímého a difuzního záření tak představuje faktor, na základě kterého je možné zvolit druh fotovoltaického panelu (viz kap. 6.1.1).

3.5.3. Překážky způsobující zastínění

Vlivem měnící se polohy slunce nad obzorem dochází k tomu, že se během dne a také během roku (v zimě je slunce mnohem níže než v létě), mění úhel, pod kterým sluneční záření dopadá. Proto je třeba brát v úvahu také okolní objekty, ať už se jedná o blízké budovy nebo vysoké stromy, ale dokonce i objekty namontované se solárními panely, jako komíny, antény apod. U fotovoltaických elektráren může zastínění v některých případech způsobit výpadek celého fotovoltaického panelu (15).

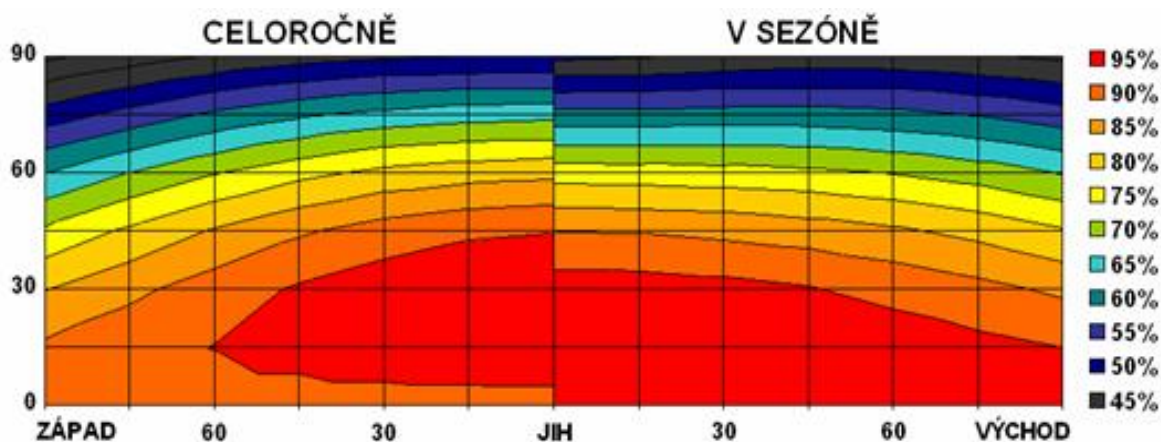
3.6. Volitelné parametry

Na druhé straně existují i parametry, které můžeme ovlivnit a díky nimž můžeme systém optimalizovat a zajistit tak spolehlivý, účinný a ekonomicky racionální provoz.

3.6.1. Sklon a orientace plochy

S měnícím se úhlem dopadu paprsků souvisí i energetické zisky, které jsou závislé také na sklonu a orientaci plochy. Základním požadavkem je, aby plocha byla orientována na jih, jelikož se nacházíme na severní polokouli. Nejvyššího zisku dosahujeme při kolmém prostupu. Ideální by tedy bylo, pokud by námi instalované panely měly během dne možnost naerpat co nejvíce energie. Optimální sklon pro celoroční provoz v našich podmínkách činí 35° pro maximální zisky fotovoltaických panelů, 45° pro fototerické panely. Na obrázku 3.6, kde horizontální osa představuje odchylku orientace od jihu, vertikální pak sklon panelu, můžeme zaznamenat lehký pokles úhlu při provozování systému pouze za sezónními úhly. V tomto případě se jedná o léto, kdy takový systém

může sloužit například ohřevu bazénové vody, případně provozu stále více fládaných klimatizací. Pro sezonní provoz v zimě je naopak vhodný vyšší úhel. Na druhou stranu pro celoroční provoz nejsou v rozmezí 10-60° rozdíly ročního úhrnu energie výrazné, liší se pouze o 5%. Je však nutné si uvědomit, že se jedná o celoroční úhrn a z předchozí kapitoly 3.1 víme, že dostupnost energie je během roku velmi proměnlivá a tento údaj není zcela smírodatný.



Obrázek 3.6: Roční úhrny energie slunečního záření v závislosti na orientaci a sklonu plochy (17)

3.6.2. Technologie využívající solární energii

Dvoudobou pro celou analýzu provádět, je samotný výběr solárního systému. Zde se nám dostává dvou základních možností. První z nich je využívat **fototermických kolektorů**, díky kterým tak na základě přeměny energie ze slunce získáme tepelnou energii, kterou můžeme následně využít pro ohřev vody i vytápění. Jako druhá varianta se nabízí přeměna slunečního záření pomocí **fotovoltaických panelů**. Ty solární energii transformují na energii elektrickou, jejíž způsob využití závisí na spotřebiteli.

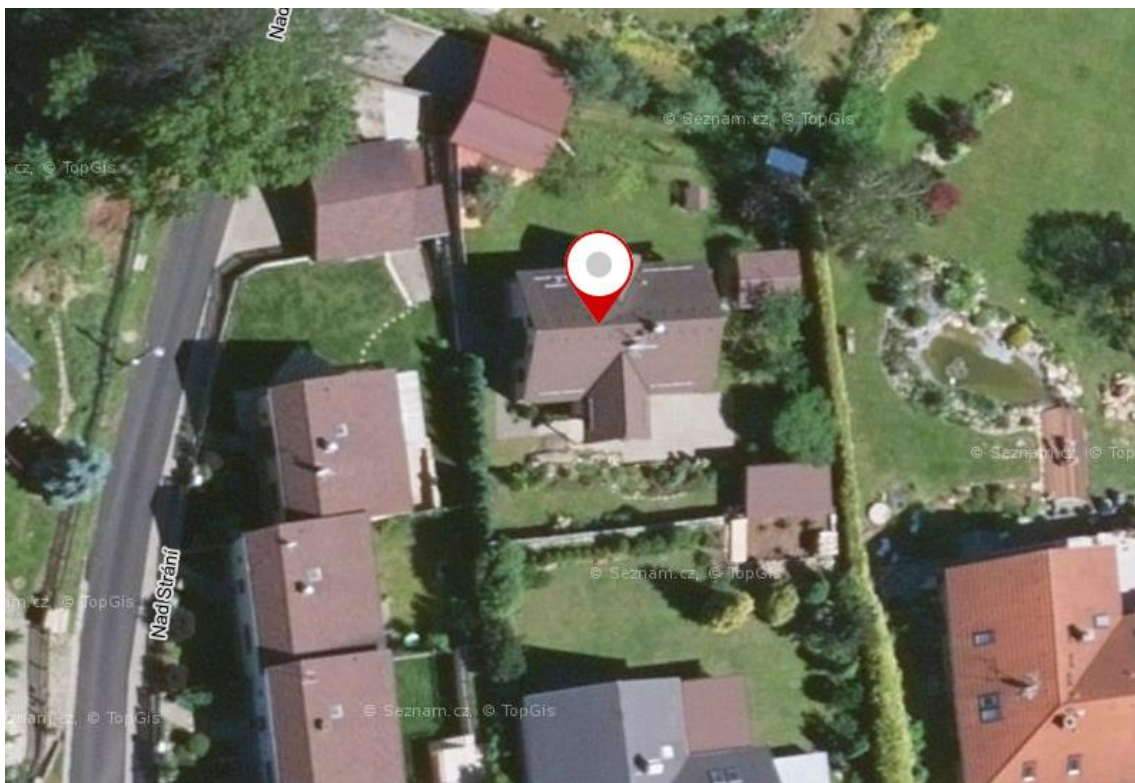
Obě tyto technologie mají své výhody a zároveň jsou zatíženy i nevýhodami. Fototermické panely jsou pro spotřebitele lákavé svou vysokou účinností (kolem 80%), za kterou však zaplatíme daleko více než u fotovoltaických panelů, a to jen výroby tepla. Na rozdíl od fotovoltaických panelů navíc nejsou v tichou schopny přeměnit vyfoukné záření (18).

Fotovoltaické panely naopak díky výrobě elektrické energie mají nižší účinnost, které je však zatíženo mnohem nižší účinností (kolem 15%) a navíc jsou zatíženy v tichou poklesy účinnosti v průběhu životnosti vlivem degradace panelů (viz obrázek 6.4).

Kromě těchto dvou zmíněných technologií existuje i způsob (19), jak nepřímou přeměnit elektrickou energii z energie tepelné, kde se elektrický proud vytvoří na základě Seebeckova jevu, kde v případě přítomnosti dvou materiálů různé teploty vzniká v uzavřeném obvodu elektrický proud. K této přeměně dochází pomocí solárních sbírateľů, v jejichž ohnisku je umístěn tepelný motor nebo termolána. Pro účely mé práce však tato metoda není vhodná, jedná se o finančně poměrně náročný způsob využití slunečního záření, navíc se nejedná o technologii používanou ke komerčním účelům, proto se jí nebudu zabývat.

4. Analýza objektu

Za účelem porovnání dvou výše zmíněných systémů jsem vybrala dvoupatrový rodinný dům nacházející se ve Vratslavicích nad Nisou v Libereckém kraji, tedy v severní části České republiky. Přesné souřadnice domu jsou 50.7386256N, 15.0835644E, nachází se v nadmořské výšce 417 m.



Obrázek 4.1: Umístění vybraného rodinného domu (20)

4.1. Konstrukční parametry

Střešní konstrukce rodinného domu je navržena jako průnik dvou sedlových střešních s použitou taškovou krytinou TONDACH. Pro aplikaci solárních technologií má smysl uvažovat pouze jižní část střešních, jejíž rozměry jsou 11 m x 6 m. Celková plocha 66 m² se bohužel zredukuje kvůli výklenku, střešnímu oknu a komínu o celkové ploše přibližně 9,14 m². K dispozici tak bude necelých 57 m². Vyufitelná plocha se kvůli obdélníkovému tvaru panelů je třeba trochu zmenšit, což je započítáno do trojúhelníkovým výřezem na střeše. Dlefité bude tedy správně rozmístění panelů, a to i z důvodu nevládnoucího zastínění komínem (zejména u FV panelů).

4.2. Současná realizace ohřevu

Zabývat se budu pouze energiemi spotřebovanými pro ohřev teplé vody. V současné situaci je ohřev teplé vody realizován pomocí soustavy s plynovým kondenzačním kotlem značky *Immergas Victrix Pro 120* o výkonu 11626 kW. Celá soustava obsahuje kromě kotle také čerpadlo a zásobník teplé vody. Zásobník představuje bojler o objemu 120 l.

Zemního plynu je navíc využíváno i pro ohřev vody na vytápění, jejíž oběh však probíhá v samostatném okruhu; dále za účelem vaření na plynovém sporáku. Proto jsem musela stanovit jeho množství pro ohřev vody zvlášť. Pro ohřátí plného objemu boileru (tedy 120 l) na 60 °C jsem na základě měření stanovila potřebné množství na 0,68 m³ zemního plynu, což odpovídá přibližně energii o velikosti 7,25 kWh.

4.2.1. Energetické potřeby

D m je b hem pracovních dn trvale obýván t emi dosp lými osobami, o víkendu zde pravideln p obývají osoby 4. Z tohoto d vodu budu vycházet z týdenní spot eby, která byla na základ m ení stanovena na 720 l vody o teplot 60 °C.

Teplo pot ebné k oh evu vody nezaznamenává v pr b hu roku takové výkyvy jako pot eba tepla na vytáp ní, nicmén í zde se projeví ur ité rozdíly v závislosti na ásti roku. V literatu e (16) se uvádí pokles v letním období v rozmezí 25-40 %. V letních m sících nap . p evafluje spí-e šosv flující sprcha o na rozdíl od šhorké vany o, lov k nemá tendenci zde setrávat tak dlouho. Dal-ím d vodem jsou odjezdy na letní dovolené. Rodina vybraná k ú el m mé práce pravideln odjíždí na týdenní dovolenou v ervnu. Ke snížení p íspívá i vy-í vstupní teplota studené vody v d sledku vy-ích teplot ovzdu-í.

4.2.2. Finanční analýza současné situace

Na základ faktury za rok 2016 a zm ené týdenní spot eby jsem stanovila p íblílné m sí ní energetické pot eby a jim odpovídající pen flní výdaje na oh ev teplé užitkové vody na teplotu 60 °C. P í spot eb zemního plynu je k samotné spot eb nutné navíc uvařovat náklady spojené s její distribucí. Fixní výdaje jsem neuvařovala, jelikož je zemní plyn využíván i pro vytáp ní a va ení, a z tohoto d vodu musí být stálé platby zaplacené bez ohledu na úbytky spot eby, které budou p edm tem e-ení této bakalá ské práce. Cena za 1 kWh tedy byla stanovena jako sou et cen za spot ebu, služby a cena OTE².

U m síc vyzna ených erven je zahrnut vliv letních m síc na spot ebu podle p edchozí kapitoly. V m síci erven jsem uvařovala pokles o 40 %, zbylé dva m síce pak o 35 %.

Měsíc	Spotřeba TUV	Spotřeba ZP	Spotřeba ZP	Spotřeba	Služby	Cena OTE	Cena ZP
	(l)	(m ³)	(kWh)	(Kč/kWh)	(Kč/kWh)	(Kč/kWh)	(Kč)
Leden	3454	19,6	208,8	0,73	0,22014	0,00240	199
Únor	3120	17,7	188,6	0,73	0,22014	0,00240	180
Březen	3454	19,6	208,8	0,73	0,22014	0,00240	199
Duben	3343	18,9	202,0	0,73	0,22014	0,00240	192
Květen	3454	19,6	208,8	³		0,00240	203
Červen	2006	11,4	121,2	0,775	0,21723	0,00262	121
Červenec	2245	12,7	135,7	0,775	0,21723	0,00262	135
Srpen	2245	12,7	135,7	0,775	0,21723	0,00262	135
Září	3343	18,9	202,0	0,775	0,21723	0,00262	201
Říjen	3454	19,6	208,8	0,775	0,21723	0,00262	208
Listopad	3343	18,9	202,0	0,775	0,21723	0,00262	201
Prosinec	3454	19,6	208,8	0,775	0,21723	0,00262	208
Celkem	36916	209,2	2231,1				2181

Tabulka 4.1: M sí ní výdaje za spot ebu ZP pro oh ev TV

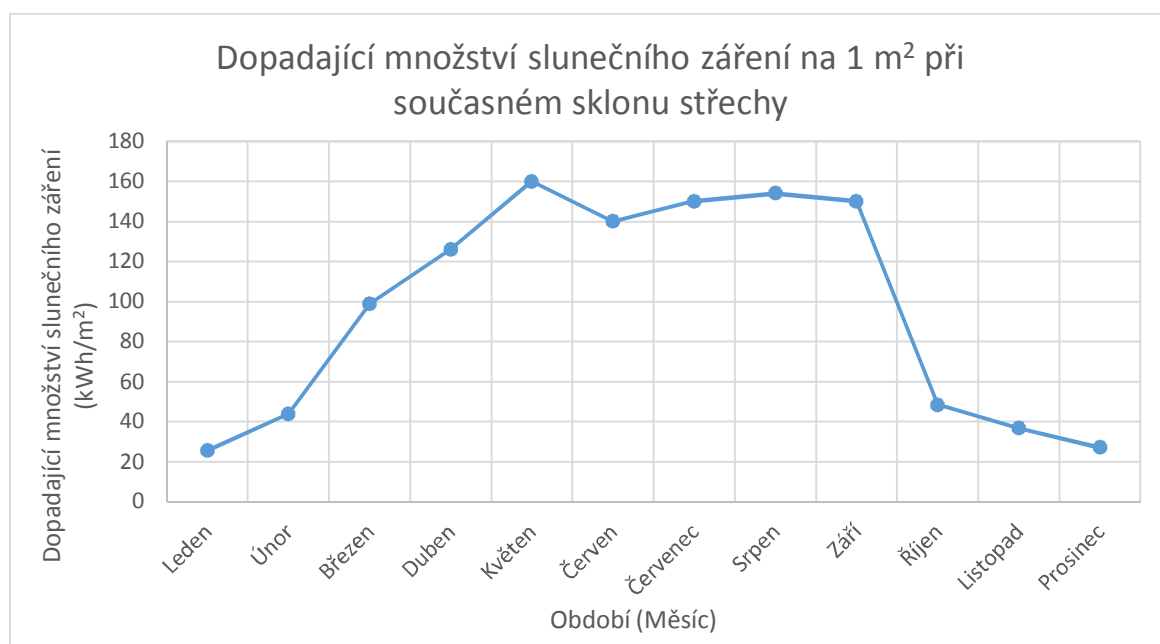
4.3. Dopadající záření

Na základ informací dostupných z (14) je o ekávané množství dopadajícího slune ního zá ení znázorn no na následujícím obrázku. Jedná se o mořné m sí ní zisky dopadající na plochu 1 m² p í sou asném sklonu st echy 45 °. M fme zaznamenat zna ný pokles od íjna do února, kde n které

²Cena OTE ó cena operátora trhu

³ M síc kv ten je p elomový m síc, kde období 1.-15.5. vychází z cen pro duben a 16.5. z cen pro erven, proto jsou jeho místa v tabulce prázdná.

hodnoty poklesnou afl pod 30 kWh/m². Pro úplnost je p ilofena tabulka 4.2, která obsahuje konkrétní hodnoty pro jednotlivé m síce.

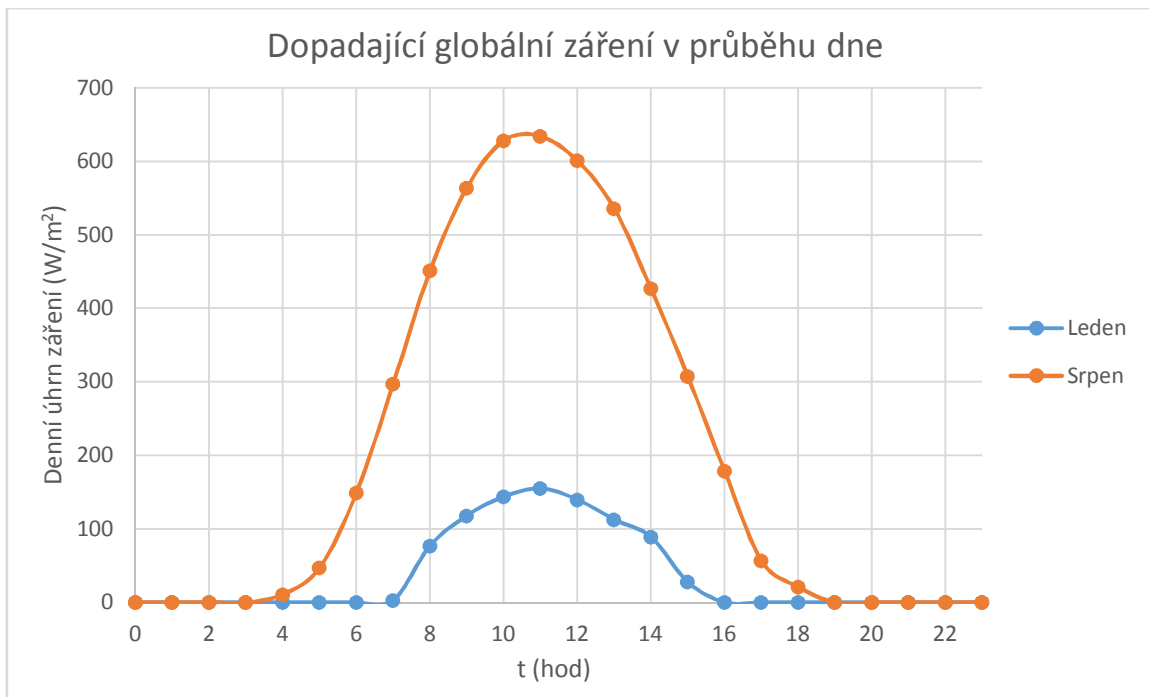


Obrázek 4.2: Dopadající množství slunečního záření na objekt p i současném sklonu 45°, data z (14)

M síc	Dopadající zá ení (kWh)
Leden	25,4
Únor	43,9
B ezen	98,8
Duben	126
Kv ten	160
erven	140
ervenec	150
Srpen	154
Zá í	150
íjen	48,3
Listopad	36,7
Prosinec	27

Tabulka 4.2: O ekávané dopadající množství energie na 1 m² v pr b hu roku p i sklonu 45°, data z (14)

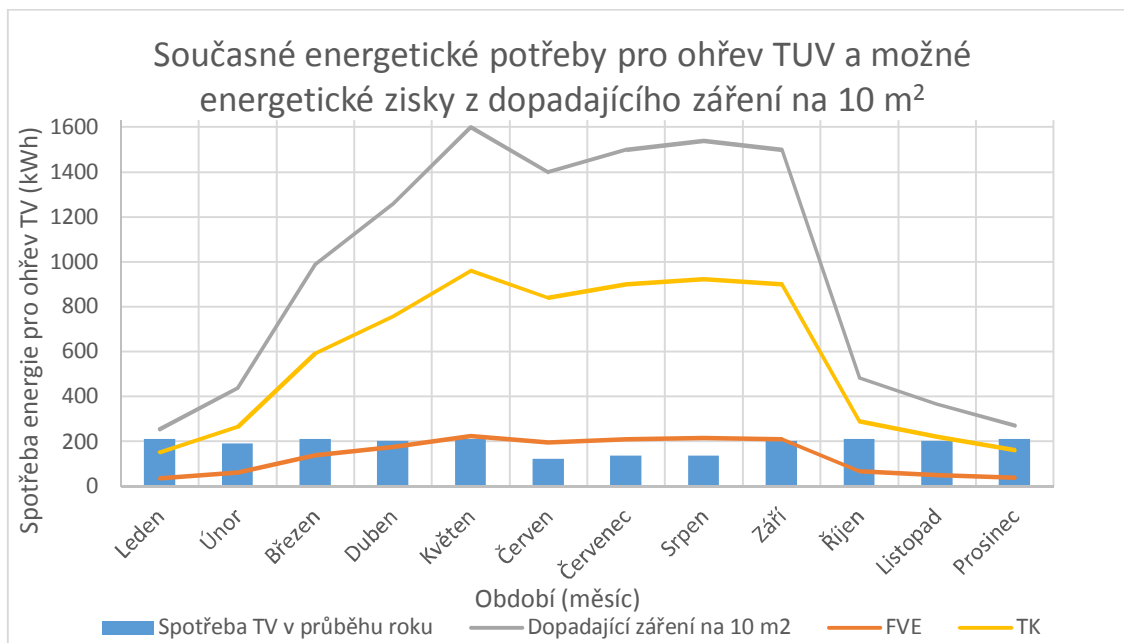
Rozdílnost dopadajícího zá ení na objekt v jednotlivých m sících se projeví nejen na intenzit , ale i do b jeho trvání. Z obrázku 4.3 je patrný rozdíl trvání slune ního svitu p es den v lednu a v srpnu, kde v srpnu m fleme energii ze slunce erpat afl o 8 hodin déle nefl v lednu. V zimních m sících tak m fle vyuffívání teplé vody v ranních hodinách vzhledem k pozd ji vycházejícímu slunci p edstavovat problém i z tohoto hlediska.



Obrázek 4.3: Dopadající globální záření v průběhu dne pro protichůdná období, data z (14)

4.3.1. Využitelnost dopadajícího záření

Obrázek 4.4 zaznamenává současné energetické potřeby domu za jednotlivé měsíce v průběhu roku. Tyto výsledky jsou proložené těmito křivkami představujícími možné energetické zisky při respektování současného sklonu stěchy 45° . Předivá křivka představuje množství dopadajícího záření na plochu 10 m^2 . V tomto případě však neuvažujeme ztráty, které v závislosti na účinnosti technologií způsobí značný pokles (FVE 14 %, TK 60 %). Je vidět, že z uvedené plochy termických kolektorů by byly energetické zisky nevyužitelné a zbytek velkého, na rozdíl od FVE, kde vzniká lehký přebytek v letních měsících, jindy naopak nedostatek. Abychom dosáhli podobných hodnot pro TK jako pro FVE, stačily by nám pouhé 2 m^2 . Nutno také poznamenat, že se jedná pouze o orientační hodnoty, které budou dále kladněji zpracovány v následujících kapitolách.



Obrázek 4.4.: Současné energetické potřeby pro ohřev TUV proložené možnými energetickými zisky z 10 m^2 , (14)

5. Realizace fototermického ohřevu vody

Na základě výše zmíněné analýzy se v souladu s touto bakalářskou prací budu zabývat dvěma způsoby, jak solární energii v oblasti ohřevu teplé vody zefektivnit. Jeden z nich bude fototermický ohřev a druhý fotovoltaický ohřev vody. Obě tyto možnosti budou zpracovány a následně porovnány z technicko-ekonomického hlediska.

V této kapitole se budu věnovat variantě, která zahrnuje termické kolektory. Při návrhu celé soustavy je však kromě výběru samotných kolektorů nutno myslet i na ostatní prvky, bez kterých by se celý systém z technických důvodů neobešel, a uhlí z hlediska funkčnosti nebo zvýšení účinnosti. Nicméně všechny sestavy, ze kterých probíhal výběr, byly tzv. šňůrkové, nebylo tedy nutné vybírat ostatní komponenty zvlášť a ověřovat jejich vzájemnou kompatibilitu apod. Tuto cestu jsem zvolila hlavně z důvodu pohodlnosti zákazníka, a uhlí se jedná o kompletaci všech komponent, záruku i případnou reklamaci. Součástí nabídky je navíc i instalace. Jak již bylo zmíněno, solární sestava zahrnuje kromě solárních kolektorů i další prvky. Nejprve bylo tedy nutné navrhnout sestavu tak, aby měla smysl po technické stránce a poté jsem hledala odpovídající nabídky a porovnávala jejich energetické zisky.

5.1. Technické řešení

Jak již bylo naznačeno v kapitole 4.2, má smysl se zabývat pouze ohřevem teplé užitkové vody, který nezahrnuje vytápění. Sluneční záření je velmi proměnlivý zdroj energie (viz kap. 3.1). Bude tedy nezbytné uvažovat v rámci technického řešení také další zdroj, který v případě nedostatku energie dodané solární soustavou vodu ohřeje na požadovanou teplotu. S přihlédnutím k poměrně nízkým cenám zemního plynu jsem tak došla k závěru, že nejvýhodnější bude zemní plyn pro vytápění ponechat a využít ho tak zároveň jako záložní zdroj při nedostatku tepla pomocí solárních kolektorů (18).

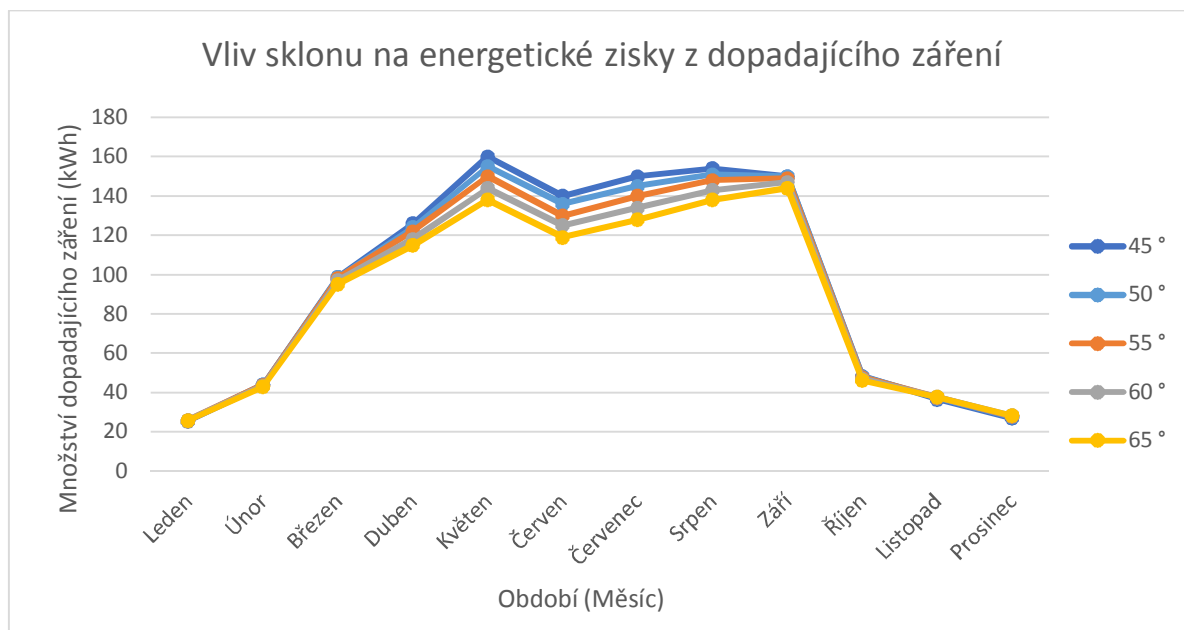
5.1.1. Solární kolektory

Tím se tedy dostáváme k jednotlivým prvkům soustavy, počinaje výběrem solárních kolektorů. Na trhu existuje několik druhů, jejichž konstrukční vlastnosti se liší dle oblasti použití. V našem případě je prvním střídním kritériem zvolit kolektory určené pro celoroční provoz, nikoliv sezónní (například ohřev bazénové vody). Existuje několik způsobů, jak například solární kolektor podmínkám, pro které je určen, nicméně je zde důležité zohlednit faktor výkon/cena, jelikož se zvýšením účinnosti je samozřejmě spojen nárůst ceny.

V České republice se tak nejčastěji setkáváme s **plochými kolektory** s jednou vrstvou zasklení, která sice způsobí, že část záření se odrazí, na druhé straně však značně omezí tepelné ztráty, což má při celoročním provozu mnohem větší vliv.

Vzhledem ke klimatickým podmínkám Libereckého kraje jsem zvažovala i **trubicové vakuové kolektory**, které se vyznačují právě vyšší účinností za nepříznivého počasí oproti kolektorům plochým. To je dáno jednak izolací pomocí vakua, a jednak právě jejich tvarem, který umožňuje lepší prostup světla během dne, kdy se menší úhel dopadu slunce. To vše je však spojeno s již zmíněným výrazným nárůstem poizovací ceny, tedy ovlivněním faktoru výkon/cena. Kromě vysoké ceny mají vakuové kolektory oproti kolektorům plochým i další nevýhodu. Jsou velmi křehké, a tak často dochází k jejich mechanickému poškození například vlivem silných dešťů, což v závislosti na propojení trubic může vést i k výpadku celého kolektoru (21).

Výkonnost solárního kolektoru je značně ovlivněna jeho absorpční plochou, která pohlcuje dopadající záření (viz kap. 5.2.1). Pokud bychom porovnali cenu plochého a trubicového kolektoru o stejných energetických ziscích, cena trubicového kolektoru by zpravidla odpovídala dvojnásobku ceny plochého kolektoru. Trubicové kolektory tedy mohou být vhodné pro objekty s malou střešní plochou, což však není případ mnou vybraného objektu. Vzhledem k vysokým poizovacím cenám tak nečekávám, že by tento druh kolektorů byl součástí některé z diskutovaných sestav.



Obrázek 5.1: Vliv sklonu kolektoru na energetické zisky z dopadajícího záření, data z (14)

Součástí solární sestavy musí být také nosná konstrukce panelu, která zajistí bezpečné a funkční uchycení na střešní krytinu. Pomocí této konstrukce je možné i určit přesné sklonu (viz obrázek 5.1) panelu a tím zvýšení celoročního výnosu, resp. přesného provozu, kde pro zvýšení letních zisků volíme menší sklon a pro zimní provoz naopak větší (maximálně však 90°). V tomto případě se sklon bude odpovídat souasnému sklonu střechy, tedy 45°.

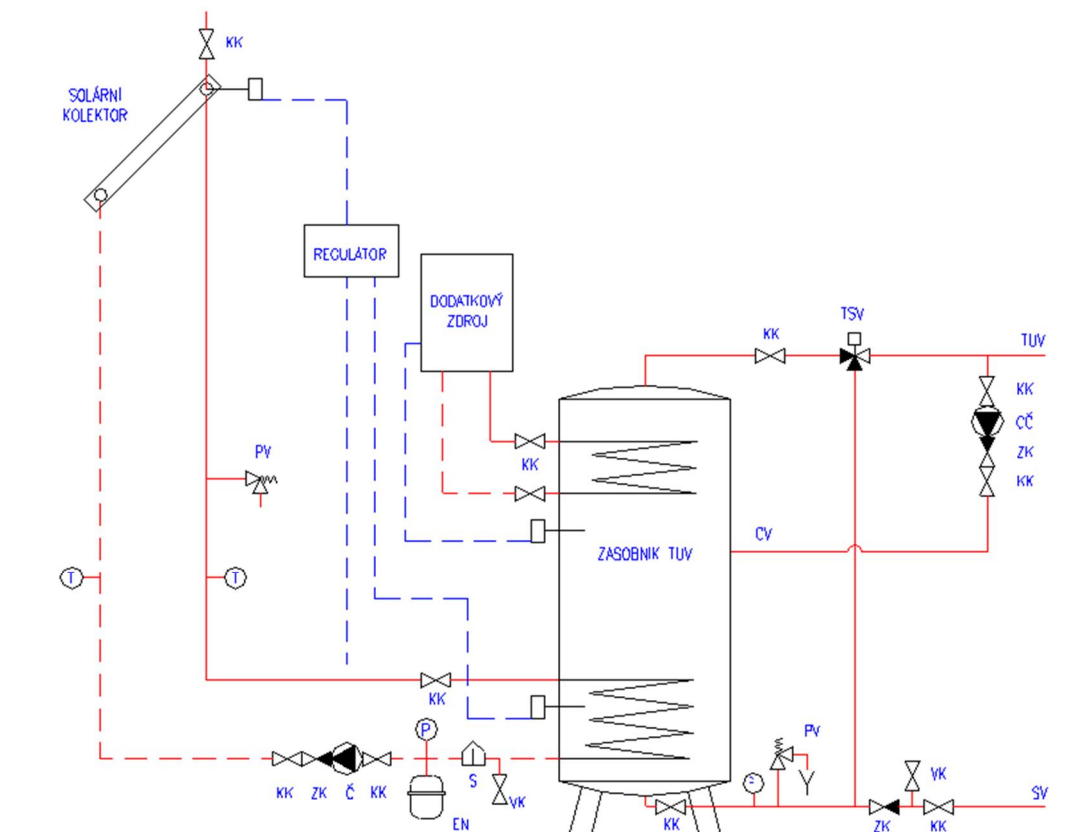
5.1.2. Realizace oběhu

Princip fototermického ohřevu vody je založen na výměně tepla, která je realizována pomocí **teplonosné kapaliny**. První tepelná výměna probíhá mezi absorberem kolektoru a mřížovými trubkami, které se nacházejí na jeho spodní straně. Vzhledem k celoročnímu provozu soustavy je důležité, aby se jednalo o nemrznoucí směs na bázi propylenglykolu, která tak zajistí spolehlivý chod i v zimních měsících. Pro minimalizaci ztrát je vhodné, aby rozvodní potrubí bylo co nejkratší, jinak by se snížila účinnost, aby solární kolektory byly umístěny co nejblíže místu spotřeby. Jelikož se jedná o nucený oběh, soustava musí být doplněna o **erpadlovou skupinu**, která zajistí oběh teplonosné kapaliny přes kolektory (22).

Erpadlo je umístěno na vstupu kolektorů za nemrznoucí expanzní nádobou. Ta slouží k oddělení teplonosné kapaliny a případného vzduchu a také umožňuje změnu jejího objemu vlivem změny teploty. Pro celoroční provoz musí být dimenzována vzhledem k teplotnímu rozdílu daného minimální teplotou v zimě a maximální teplotou v létě. Soustava tak zpravidla bývá provozována za nízkého tlaku, který se stanoví na základě rozdílu výšek umístění expanzní nádoby a solárních kolektorů. Nejčastěji se setkáme s provozními hodnotami v rozmezí 200-600 kPa (16).

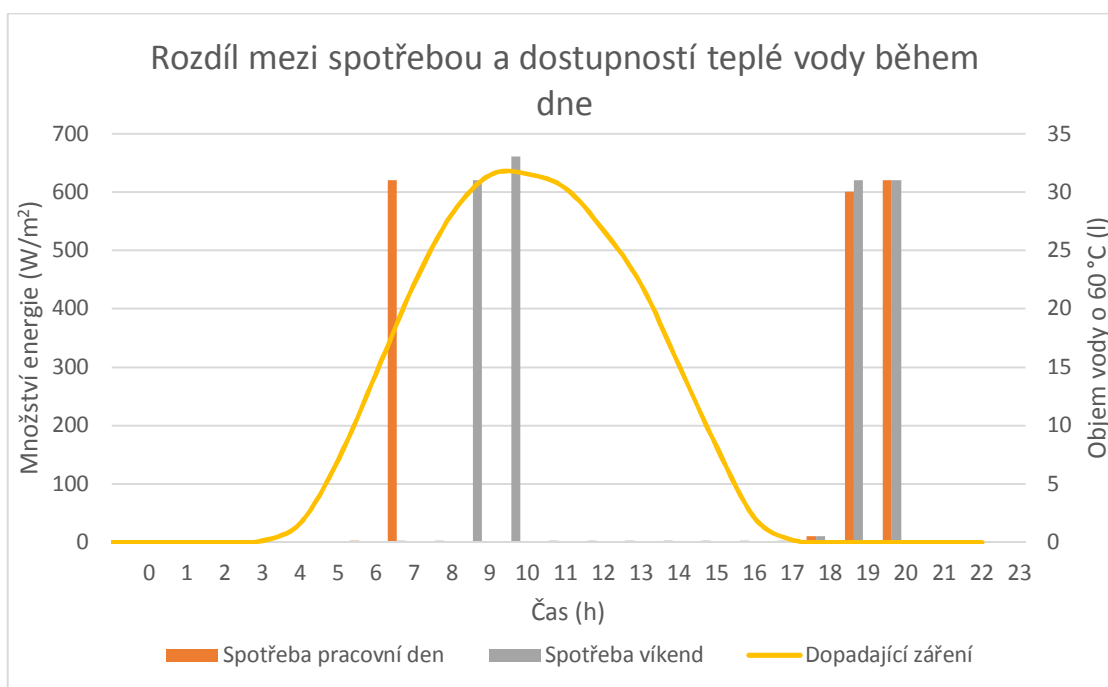
5.1.3. Zásobník

Ohřátá teplonosná kapalina pak své teplo předává ve **výměníku** tepla, který je součástí **zásobníku**. Zásobník vody představuje akumulační prvek soustavy, čímž významně snižuje jedno ze zásadních omezení efektivního využití solární energie. Akumulační nádrže mohou být realizovány buď jako monovalentní (předávací) nebo bivalentní. Vždy musí být v pohotovosti záložní zdroj tepla, jako plynový kotel, pro případ, že voda není ohřátá na požadovanou teplotu. Obrázek 5.2 zachycuje princip výměny tepla pomocí teplonosné kapaliny mezi kolektory a bivalentním zásobníkem, a souasně i nejzákladnější prvky solární soustavy, z nichž některé budou popsány a ilustrovány v následujících odstavcích.



Obrázek 5.2: Sestava pro realizaci fototermického oh evu vody, (18)

Pro ur ení objemu zásobníku na jifl uřiváný objekt je vhodn j-í místo asto uvád ných vzorc vycházet ze známé spot eby. V kap. 4.2.1 je zaznamenán rozdíl mezi denní spot ebou v pracovních dnech (94 l) a spot ebou o víkendu (125 l). Nejv t-í pot eba teplé vody je v ranních a ve erních hodinách, coř v-ak není v souladu s dostupností solární energie. Proto je t eba mít zásobník teplé vody v t-í, coř spolu s tepelnou stratifikací zajistí, fe teplá voda bude k dispozici del-í dobu. Ke stejnému ú elu m fe v t-í zásobník posloufít i nap . v p ípad , fe po slune ných dnech bude obloha del-í dobu zatařena. V t-í objem je vhodný i z hlediska v t-ích energetických zisk v lét , kdy je tak nádrř schopna akumulovat v t-í množství energie. Obecn je doporu eno, aby objem zásobníku byl p iblířn dvakrát v t-í než denní spot eba. Výkonnost solárních systém je totiž pom rn nízká a oh ev tak trvá déle oproti plynovým i elektrickým kotl m, které jsou schopny dodat pot ebnou energii v ádech minut. Proto je t eba energii akumulovat do v t-ího objemu. Pokud je navíc umořn no v letních m sících vyuřít p ebytky pro oh ev bazénu, objem zásobníku m fe být díky tomuto o n co niř-í, než pokud tomu tak není. Vybraný objekt v-ak bazénem nedisponuje. Vhodný objem jsem tedy stanovila na hodnotu 200 l. Vzhledem k prostorovým omezením a rozdílné spot eb v pr b hu týdne, kterou zachycuje obrázek 5.3, jsem se rozhodla zvolit variantu s bivalentním zásobníkem, kde dodatkovým zdrojem tepla bude plynový kotel, který vodu oh eve v p ípad , fe její teplota nebude po oh átí teplonosnou kapalinou dostate ná.



Obrázek 5.3: Rozdíl mezi spotřebou a dostupností teplé vody v průběhu dne

5.1.4. Optimalizace chodu

Pro zajištění optimálního chodu např. z hlediska rychlosti průtoku teplotonosné kapaliny musí být sestava doplněna o **regulační jednotku a idlo**. Jedno idlo je umístěno na výstupu kapaliny za solárním kolektorem, druhé snímá teplotu vody v zásobníku. V okamžiku, kdy regulační jednotka vyhodnotí, že je teplota v kolektoru vyšší než v zásobníku, spustí oběhové čerpadlo, které dopraví teplé medium do zásobníku, kde dojde k výměně tepla. S prvky, které zajišťují správný chod souvisí také **pojistný ventil** (PV na obr. 5.2), což je zařízení, které chrání primární okruh solární soustavy před nedovoleným tlakem. Je tedy úzce spjat s expanzní nádobou. Je dimenzován na nejslabší prvek okruhu (z hlediska tlakové odolnosti), což zpravidla bývá kolektor či výměník. Hodnoty otevíracího tlaku ventilu se pohybují kolem 300 kPa (22).

5.1.5. Průzkum trhu

Na základě předchozích podkapitol již lze stanovit základní požadavky pro posuzování vhodnosti soustav z hlediska jejich energetických zisků. Jak již bylo řečeno, výběr probíhá ze soustav na klíč, které obsahují výše zmíněné komponenty a tvoří tak dohromady jeden celek. Pro další analýzu byly sestaveny následující varianty, které se liší zejména parametry solárních kolektorů. Společným prvkem všech je bivalentní zásobník o objemu 200 l. Varianta 3 jako jediná neobsahovala instalaci a dopravu jako součást nabídky, jejíž peněžní výši jsem odhadla na 12 000 Kč. Ústky a podmínky dotací budou podrobněji popsány v kapitole 7.

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Kolektory	2 x KPA 1	1 x TS 300	1 x Sun Wing T4 Alu
Výrobce kolektorů	Regulus	ThermoSolar	TWI
Typ kolektoru	plochý, vysoce sel.	plochý, vysoce sel.	plochý, vysoce sel.
Plocha	3,7 m ²	1,8 m ²	2,66 m ²
Životnost kolektoru	25 let	25 - 30 let	25 - 30 let
Zásobník	200 l	200 l	200 l
Instalace a doprava	12 000 Kč	v ceně	v ceně
Cena s DPH	53 000 Kč	68 000 Kč	70 000 Kč
Dotace	max. 32500 Kč	max. 34000 Kč	max. 35000 Kč

Tabulka 5.1: Vybrané sestavy pro následné zhodnocení energetických zisků

5.2. Energetické zisky

Energetické zisky jsou jedním z klíčových parametrů při rozhodování, kvůli kterým se celá analýza provedla. Je zřejmé, že výsledky jsou teoretického charakteru a mohou se rok od roku určitě procento lišit (podle (14) se měsíční výkyvy pohybují v rámci 6 %), stejně tak se měsíčně liší i spotřeba při vytváření závěrů, protože tento fakt neopomíjet.

5.2.1. Stanovení energetických zisků

Výpočty energetických zisků pro jednotlivé měsíce byly realizovány na základě následujících vzorců:

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot n \cdot H_{T,den} \cdot A_k \cdot (1 - p),$$

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \left(\frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} \right) - a_2 \cdot \left(\frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} \right)^2,$$

kde

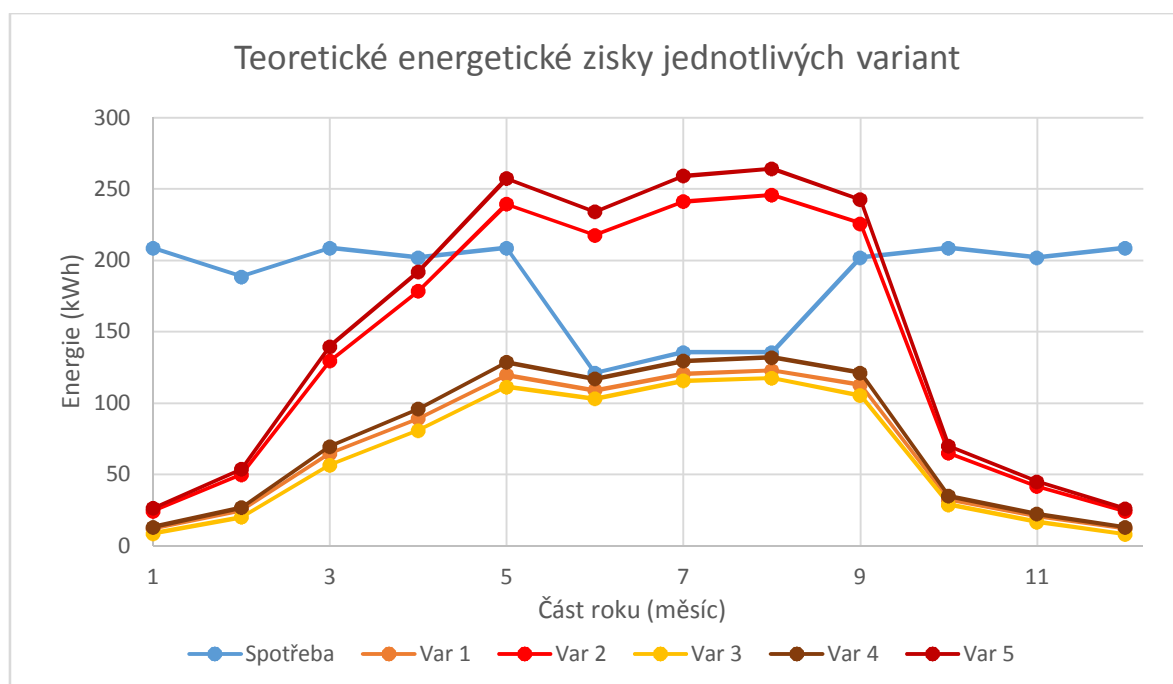
η_0 (-)	je optická účinnost kolektoru;
a_1 (W/(m ² .K))	lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru;
a_2 (W/(m ² .K ²))	kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru;
$t_{k,m}$ (°C)	střední denní teplota teplonosné kapaliny v solárních kolektorech v průběhu dne, 40 °C dle normy;
$t_{e,s}$ (°C)	střední venkovní teplota v době slunečního svitu;
$G_{T,m}$ (W/m ²)	střední denní sluneční ozáření uvařované plochy solárních kolektorů;
A_k (m ²)	celková plocha apertury;
$H_{T,den}$ (kWh/(m ² .den))	skutečná denní dávka slunečního ozáření;
p (-)	hodnota srážky z tepelných zisků vlivem tepelných ztrát solární soustavy, do 10 m ² uvařujeme 0,2.

Na základě předcházejícího vzorce jsem určila energetické zisky a celkový podíl na roční spotřebě. Nejen ze vzorce je zřejmé, že energetické zisky jsou úzce spjaty s parametry kolektorů, tedy s jeho účinností, lineárním a kvadratickým součinitelem tepelných ztrát a samozřejmě plochou, která absorbuje sluneční záření. V tabulce 5.1 byly uvažovány pouze 3 různé varianty sestav, v grafu (obrázek 5.4) níže jich je však vyneseno 5. Přestože se jedná o spotřebu TUV, která se v průběhu roku příliš nemění, pokles v letních měsících pro analyzovaný objekt je poměrně značný. Tato skutečnost přispívá k tomu, že energetické zisky kolektorů nabízených společnostmi Regulus a TWI nebyly i přes své nejvyšší celoroční pokrytí vyhovující. Takto vysoké přebytky energie v letních měsících totiž není možné využít (objekt by musel disponovat například bazénem). Docházelo by tedy k rychlé degradaci teplonosné kapaliny a tím znehodnocování celého systému.

Parametr	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4	Var 5
Kolektor	1x KPA1	2x KPA1	TS 300	1,8x SW	2,66x SW
a₁ (W/(m².K))	3,35	3,35	4,843	3,56	3,56
a₂ (W/(m².K²))	0,016	0,016	0,0185	0,015	0,015
η₀ (-)	0,75	0,75	0,81	0,824	0,824
A_k (m²)	1,85	3,7	1,8	1,81	2,66

Tabulka 5.2: Parametry vybraných kolektorů

Rozdílení po těchto variantách tedy vzniklo pouze nahrazením původních kolektorů za kolektory menší plochy (viz tabulka 5.1). Po vyloučení přebytkových variant, které jsou reprezentovány červenými křivkami, lze výběr omezit na zbylé tři varianty. Ty představují velmi podobné pokrytí. Právě na základě malých rozdílů energetických zisků jsem při rozhodování zahrнула i další faktory jako dle vyhodnotil výrobce, poskytované záruky, životnost kolektorů, i ekonomickou stránku.



Obrázek 5.4: Srovnání energetických zisků jednotlivých variant, data z (12)

Společnost ThermoSolar se řadí mezi přední prodejce na českém (slovenském) trhu, avšak energetické pokrytí této varianty jsem vyhodnotila jako příliš nízké. Společnost TWI s.r.o. má na českém trhu dlouholetou tradici, velmi dobré recenze a na své výrobky i provedené instalace poskytuje oproti dalším společnostem delší záruční lhůtu. Nakonec jsem se tak naklonila k **variantě 4** a ve všech dalších analýzách v rámci fototermického ohřevu tak budu uvažovat ufljen tuto. Podrobněji je sestava sepsána v tabulce 5.3.

Ks	Komponent	Poznámky
1	Solární kolektor Sun Wing T4 Alu	1,81 m ² (1,9 m ²)
1	Al nosná konstrukce na střechu	
1	Solární zásobník OKC 200 NTRR/SOL	200 l, max. 95°C
1	Čerpadlová skupina s nízkoenergetickým čerpadlem Wilo Yonos Para ST	
1	Solární regulace + 2 ks čidel	
2	Expanzní nádoba pro pitnou vodu a solární systém	2 x 12 l
2	Připojovací ventil a držák expanzní nádoby	
1	Odvzdušňovací ventil s jímkou	
1	Solární kapalina - antikorozi, koncentrát do -30 °C	25 l
1	Termostatický směšovací ventil pro TUV - ESBE 35°-60°	
1	Dvojitě nerezové potrubí v izolaci 13 mm	10 m

Tabulka 5.3: Seznam komponent vybrané sestavy na klíč, (23)

5.2.2. Krajní případy

Při dimenzování soustavy pro fototermický ohřev vody nestačí vycházet pouze z měsíčních zisků. Měsíční energetické zisky jsou pouze průměrnými denními zisky v daném měsíci, které se navíc každý rok liší. Reálná situace může vypadat například tak, že celý týden je jasná obloha a slunečního záření dostatek, případně i přebytek. Oproti tomu mohou naopak nastat dny, kdy se z dodatkového zdroje stane zdroj hlavní. Druhý případ (tedy nedostatek záření) není nijak nebezpečný a z hlediska provozu znamená pouhý nedostatek dodatkového zdroje tepla.

První možnost však může představovat komplikaci a rozhodně nesmí být opomenuta. Proto jsem vybranou variantu otestovala pro krajní případ, ve kterém jsem vycházela z předpokladu, kdy by po dobu jednoho týdne bylo dostupné nadprůměrné množství energie. Díky většímu objemu zásobníku tento fakt nepředstavoval až do sedmého dne problém. Vstupní předpoklady pro výpočet byly

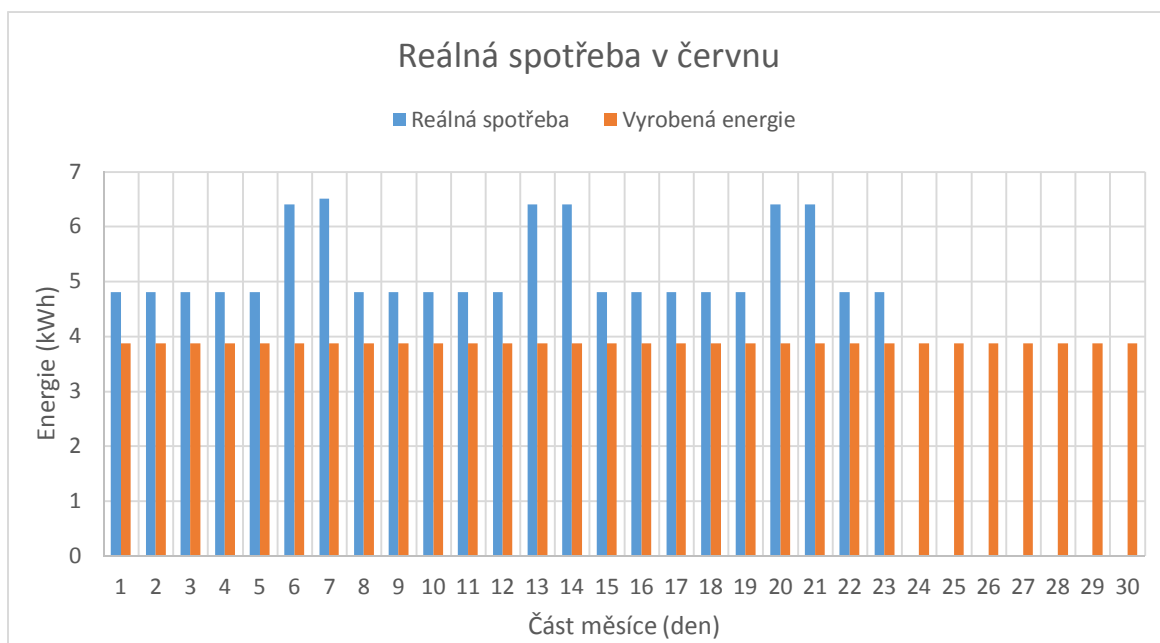
maximální teplota zásobníku 95 °C, teplota studené vody na vstupu 12 °C nadpr m rné energetické zisky a pr m rná spot eba v pr b hu týdne v srpnu. Zásobník je tak maximáln schopon pojmout energii 19,27 kW. Právý sloupec tabulky 5.4 p edstavuje práv kumulované teplo z p ebytk z p edchozích dn . Tepelné ztráty zásobníku nebyly uvařovány, ty jsou zohledn ny jifi v samotných výpo tech energetických zisk soustavy.

Den	Q _{vyr} (kWh)	Q _{spotř} (kWh)	Q _{kum} (kWh)
1	7	3,95	3,05
2	7	3,95	6,10
3	7	3,95	9,15
4	7	3,95	12,20
5	7	3,95	15,25
6	7	5,26	16,99
7	7	5,26	18,73
8	7	3,95	21,78
9	7	3,95	24,83

Tabulka 5.4: Ov ení kapacity zásobníku

5.2.3. Měsíc červen

Energetické zisky jsou dimenzovány pro letní m síce, aby nedocházelo k nevyužitelným p ebytk m, které jsou zároveň nebezpe né pro chod celého systému. Z hlediska celkového p ísp vku energie je v-ak t eba se pozastavit nad jedním z t chto m síc ó a to konkrétn nad m sícem erven. V této dob totiř rodina pravideln odjířdí na týdenní dovolenou. Po celou tuto dobu tedy nedochází k odb ru teplé vody a docházelo by ke stagnaci celého systému, což v tomto p ípad znamená jedinou možnosť ó p eru-ení provozu. To zp sobí, ře p vodních 41 % poklesne na 40% p ísp vek pokrytí ze solárního systému. Proto je m síc erven v tabulce 5.5 zobrazen ervenou barvou. Tato hodnota je d řefitá pro vytvo ení záv ru z hlediska ekonomiky provozu.



Obrázek 5.5: Reálná spotřeba v červnu, (14)

5.2.4. Vyrobená energie

Na základ vý-e zmín ných podkapitol jsem sestavila tabulku 5.5, která zaznamenává energetické zisky v jednotlivých m sících a její poslední sloupec p edstavuje procentuální solární pokrytí. Ve v t-ín p ípadech, zejména v zim , není p em n á solární energie dostate ná. Z toho

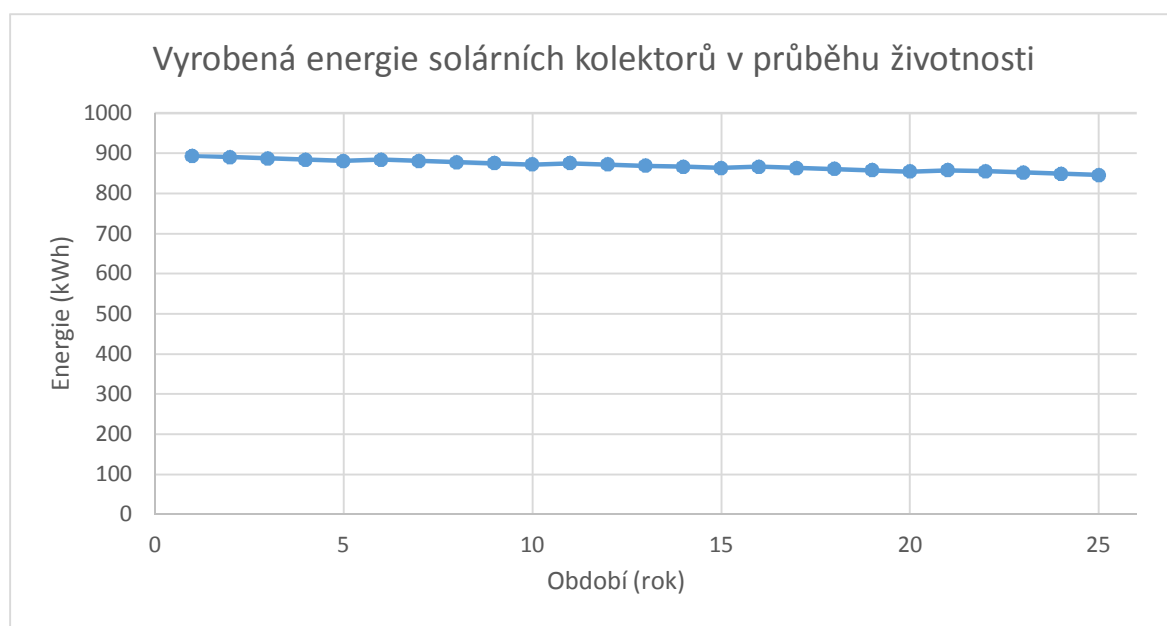
d vod u bude pro dosažení požadované teploty pot eba využívat záložního zdroje tepla v podob zemního plynu, k emufl je p izp soben i bivalentní zásobník. P ed korekcí ervnového zisku bylo celoro ní pokrytí 41 %. Nyní v–ak budeme vycházet z reáln j–í hodnoty 40 %. Tato pom rn nízká hodnota je dána hlavn tím, fle systém musí být kv li poklesu spot eby v letních m sících poddimenzován. Tato hodnota bude výchozí pro vytvá ení ekonomických záv r .

Měsíc	Počet dní	t_{es} °C	n_k	$G_{stř}$ W/m ²	$H_{m,s}$ kWh/m ²	$H_{d,s}$ kW/(m ² .den)	$Q_{spotř}$ kWh	Q_{vyr} kWh	min ($Q_s; Q_v$) kWh	f %
Leden	31	-0,51	0,42	418	25,4	0,82	208,77	13,91	13,91	6,7
Únor	28	0,34	0,49	489	43,9	1,57	188,56	27,86	27,86	14,8
Březen	31	4,80	0,56	535	98,8	3,19	208,77	71,46	71,46	34,2
Duben	30	9,93	0,60	527	126	4,20	202,03	97,72	97,72	48,4
Květen	31	13,95	0,63	521	160	5,16	208,77	130,63	130,63	62,6
Červen	30	16,90	0,65	517	140	4,67	121,22	118,49	90,84	74,9
Červenec	31	19,62	0,67	512	150	4,84	135,70	130,99	130,99	96,5
Srpen	31	18,97	0,67	515	154	4,97	135,70	133,62	133,62	98,5
Září	30	14,57	0,63	516	150	5,00	202,03	123,10	123,10	60,9
Říjen	31	9,06	0,57	488	48,3	1,56	208,77	35,81	35,81	17,2
Listopad	30	4,82	0,49	427	36,7	1,22	202,03	23,30	23,30	11,5
Prosinec	31	0,01	0,39	387	27	0,87	208,77	13,87	13,87	6,6
						Celkem	2231,09		893,12	40%

Tabulka 5.5: Energetické zisky z fototermického oh evu, data z (14)

5.2.5. Pokles účinnosti

Na rozdíl od fotovoltaických panel , kde je vliv degradace pom rn zna ný, u absorp ní vrstvy solárních kolektor nebyl na základ zkou–ek podobný jev vícemén zaznamenán. Je v–ak t eba pohlíftet na sestavu jako na celek. Zde se projeví ur ité snížení ú innosti vlivem degrada ních vlastností teponosné kapaliny. Tu je v–ak každých 5 let nutno obm nit, což zap í ní ur ité zvý–ení výkonnosti. Pro mé dlouhodobé výpo ty tedy uvafluji cyklické zm ny v ú innosti. Meziro ní zm ny íní 0,35 %, po vým n kapaliny uvafluji zvý–ení ú innosti odpovídající 99 % výkonnosti systému od poslední vým ny.



Obrázek 5.6: Vyrobena energie solárních kolektorů v průběhu životnosti

6. Realizace fotovoltaického ohřevu vody

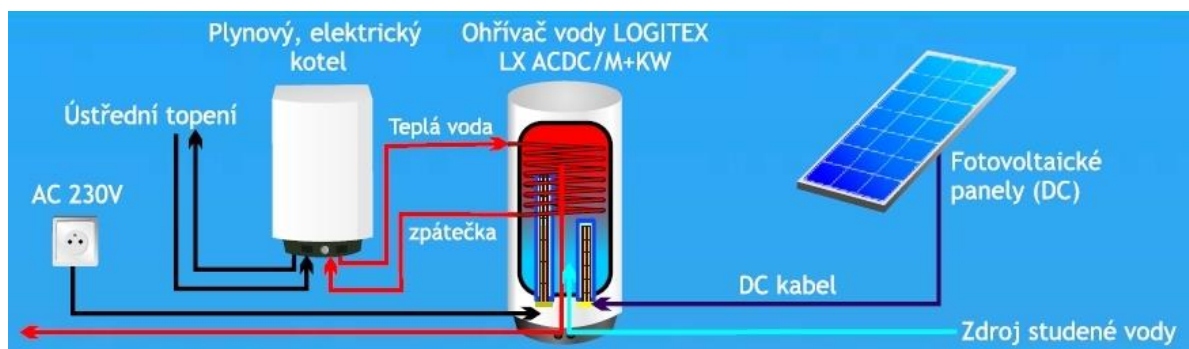
V této kapitole se budou v novat fotovoltaickému ohřevu vody, který představuje druhou možnost snížení spotřeby zemního plynu, tentokrát však pomocí přeměny slunečního záření na elektrickou energii. Stejně jako u fototermického ohřevu (kap. 5) probíhal výběr pouze mezi variantami na klíč. I v tomto případě se opět nevystačíme jen s fotovoltaickými panely, ale pro správný chod systému budou zapotřebí další prvky, které budou popsány v dalších podkapitolách.

Pro přehlednost a možnost porovnání dvou analyzovaných způsobů ohřevu se budou držet stejného postupu jako v kapitole předchozí. Po zajištění chodu po technické stránce budou stanoveny a porovnány energetické zisky vybraných soustav, a z nich vybrána ta nejvhodnější.

6.1. Technické řešení

Pomocí fotovoltaických panelů lze na principu fotovoltaického jevu vyrábět elektřinu. Soustava vyrábějící elektřinu zahrnuje několik dalších prvků jako například baterie. V našem případě, tedy ohřevu teplé vody, je však situace poněkud jednodušší, jelikož se jedná o fotovoltaický ohřev. Nebudou potřeba prvky jako baterie, jelikož akumulace energie probíhá právě do zásobníku vody, stejně tak systém nebude opatřen stávkou, jelikož bude vyfukován přímo stejnosměrný proud. Další ulehčující okolností je z oblasti legislativy. Nejedná se o výrobu elektřiny jako takové, soustava tak není připojena na síť a zároveň nehrozí flákné přetoky energie, což znamená, že není potřeba vlastnit flákné povolení (24).

I zde předpokládám na základě obrázku 3.2 nedostatky energie, a to zejména v zimních měsících. Za tímto účelem bude stejně jako u fototermického ohřevu potřeba dodatečný zdroj v podobě plynového kotle. Obrázek 6.1 naznačuje zjednodušené technické schéma, jehož podrobnosti na hlavní komponenty budou popsány v následujících kapitolách. V našem případě však nebude fláknoucí ohřev pomocí elektřiny.

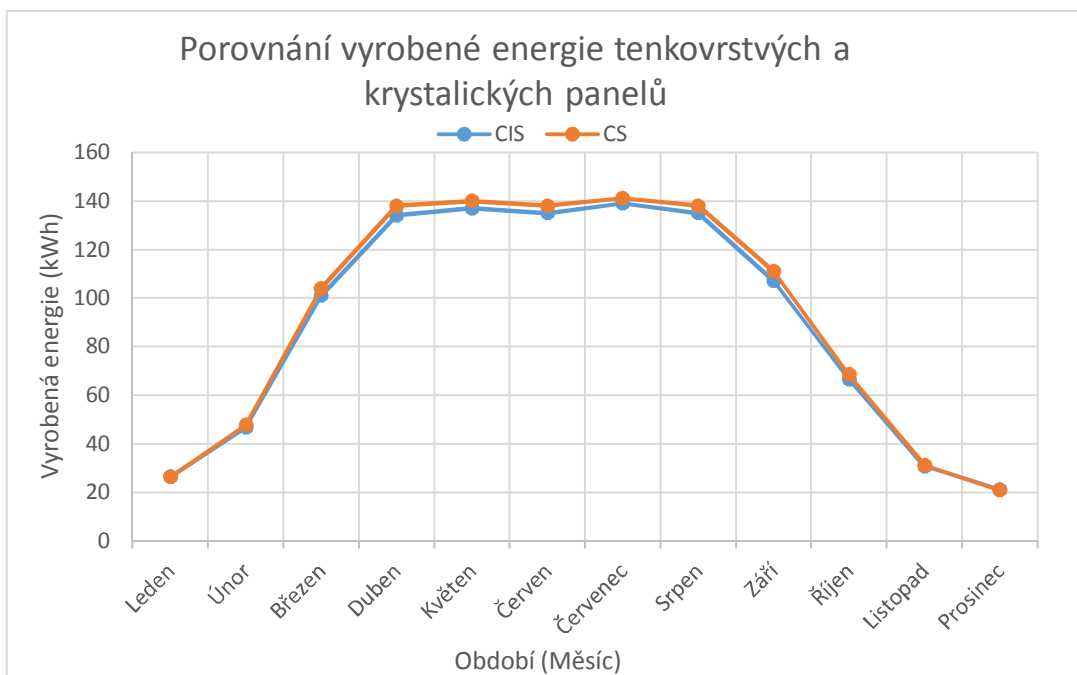


6.1.1. Fotovoltaické panely

Stejně jako solárních kolektorů i fotovoltaických panelů existuje více druhů. Mezi hlavní typy patří panely z monokrystalického a polykrystalického křemíku, které se liší způsobem uspořádání krystalů. Obecně lze říci, že monokrystalický látek má lepší účinnost, za určitých klimatických podmínek, navíc s přihlédnutím k malému rozsahu instalace, však dospějeme u obou technologií k velmi podobným hodnotám. Podle (26) jsou polykrystalické panely vhodné pro systémy, kde není zaručen optimální sklon a orientace, jelikož umí lépe zefektivnit difuzní záření, což lze aplikovat na vybraný objekt, proto (a také z důvodu větší nabídky na trhu), výběr probíhal z polykrystalických panelů. Polykrystalické panely se navíc na trhu vyskytují delší dobu, což znamená, že je o nich více dostupných informací, a lze tak s větší přesností určit jejich spolehlivost.

Existují také tenkovrstvé (amorfní) panely, které se od krystalických panelů liší způsobem výroby. Vyrábí se napařením vrstvy amorfního křemíku na sklenou tabuli ve vakuové komoře za teploty kolem 200 °C. Účinnost těchto panelů je asi poloviční oproti předchozím dvěma panelům, umí však nejlépe zefektivnit difuzní záření a v létě nejsou vlivem vysokých teplot zatíženy takovým

poklesem úinnosti. Podle (13) se pro mnou vybraný objekt v rámci celoročního úhrnu nejedná o zásadní rozdíly, krystalické panely o instalovaném výkonu 1 kWp, při sklonu 45° (bez uvařování ztrát systému) vyrobí ročně 1105 kWh, amorfní panely 1079 kWh. Pro takový instalovaný výkon by v případě tenkovrstvých panelů musela být použita přibližně dvojnásobná plocha, s čímž roste například riziko zastínění panelů. Pro aplikace na měřené objekty tento druh technologií nebude uvažovat.



Obrázek 6.2: Porovnání energetických zisků pro tenkovrstvé a krystalické panely, data z (13)

6.1.2. Přenos energie

K zajištění přenosu tepla z fotovoltaických panelů neslouží teplotně vodivá kapalina, jejíž oběh je u fototermického ohřevu realizován pomocí čerpadla. Ohřev vody je realizován díky stejnosměrnému proudu, který je přenesen pomocí kabelového vedení a ve výměníku ohřívá topnou spirálu, která bývá zpravidla umístěna ve spodní polovině zásobníku.

Jelikož se jedná o přenos elektřiny, soustavy jsou z bezpečnostních důvodů opatřeny zemnicím kabelem.

6.1.3. Zásobník

Na rozdíl od fototermického ohřevu se zde u volby zásobníku mnohem častěji setkáme s monovalentním typem, který se tak zařadí mezi zdroj studené vody a stávající zásobník, a přivede teplou vodu, která je následně předávána na vstupu zásobníku s dodatkovým zdrojem tepla. Z prostorových důvodů však není tato možnost pro vybranou domácnost vhodná, proto budou opět volit 1. zásobník o objemu 200 l (na základě podobných úvah jako v kap. 5.1.3). Ve výše uvedených případech se předpokládá dodatkový ohřev elektřinou, a proto je bojler připojen na síť, kde si sám zákazník nastaví podmínky pro využití energie ze sítě z fotovoltaických panelů (25). V našem případě však jakýkoliv ohřev elektřinou není z hlediska ekonomiky provozu žádoucí. Provozování zásobníku tedy musí umožňovat nastavení výhradního ohřevu DC proudem (nikoliv ze sítě) a v případě potřeby doplnkový zdroj v podobě plynového kotle. Tuto možnost nabízí zásobníky společnosti DZ Draffice, které mají v rámci fotovoltaického ohřevu výhradní postavení na trhu.

6.1.4. MPPT regulátor

Velmi důležitým prvkem pro optimalizaci chodu je tzv. MPPT⁴ regulátor, který na základě sledování maximálního výkonu dokáže zvýšit výnosy fotovoltaické elektrárny až o 30 %, a to i za

⁴ MPPT – Maximum power point tracker

nepříznivých podmínek, kterými je Liberecký kraj často zatížen. Tento prvek sice není povinný (je však povinný pro obdržení dotací) a často ani nebyl součástí nabídek sestav, avšak vzhledem k velkému přínosu v podobě zvýšení energetických zisků je žádoucí, aby byl v sestavě zahrnut.

6.1.5. Průzkum trhu

Situace nabídek fotovoltaických soustav pro ohřev vody je odlišná od fototermitických. Není zde takový rozdíl mezi soustavami. Liší se především použitými panely, které jsou charakterizovány jejich typickými výkony. Navíc společným prvkem těchto soustav (u varianty 3 musí být zakoupen zvlášť) byl tzv. hybridní fotovoltaický ohřev, který zastává funkci bivalentního zásobníku, o objemu 200 l od společnosti Draffice. Tyto zásobníky v sobě mají zabudovanou univerzální topnou spirálu pro připojení fotovoltaických panelů o maximálním instalovaném výkonu 2 kW. Přívodní nabídky (var. 1, 2, 4) neobsahovaly MPPT, tento prvek značky Logitex byl přidán externě a je pro všechny tyto soustavy shodný.

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Zásobník	200 l	200 l	200 l	200 l
Výrobce panelů	BenQ	Amerisolar	Canadian Solar	Amerisolar
Typ panelů	polykrystal.	polykrystal.	polykrystal.	polykrystal.
Špičkový výkon 1 panel	250 Wp	275 Wp	250 Wp	275 Wp
Počet panelů	4	4	6	6
Celkový špičkový výkon	1 kWp	1,1 kWp	1,5 kWp	1,65 kWp
MPPT	Logitex	Logitex	Kerberos	Logitex
Instalace, doprava	12 000 Kč	12 000 Kč	V ceně	12 000 Kč
Cena s DPH	63 000 Kč	62 000 Kč	110 000 Kč	73 500 Kč

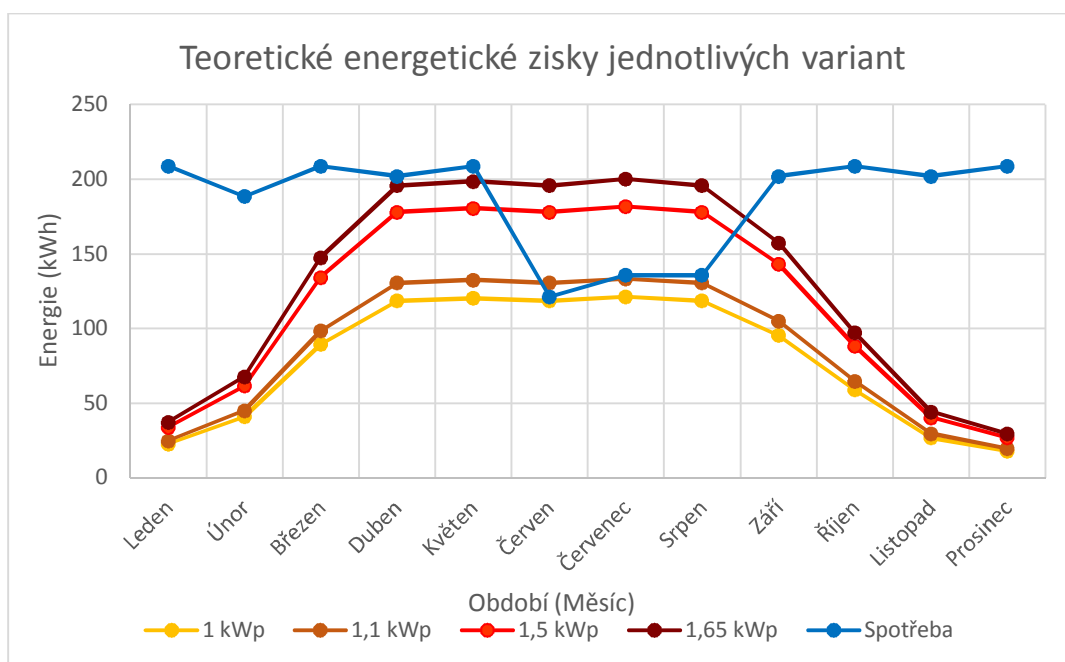
Tabulka 6.1: Varianty pro fotovoltaický ohřev

6.2. Energetické zisky

Stejně jako u solárních kolektorů, i pro fotovoltaický ohřev budou stanoveny měsíční energetické zisky pro 4 vybrané varianty, a z nich následně příspěvek v rámci úspor energie za celý rok.

6.2.1. Stanovení energetických zisků

Energetické zisky byly tentokrát přímo převzaty z (14) na základě použitého typu fotovoltaického panelu s krystalického chemie. Porovnávala jsem 4 možných varianty, které se lišily zejména parametry panelů (a použitým MPPT). Vidíme, že u variant 3 a 4 obdržíme v letních měsících přebytky. Z funkčního i bezpečnostního hlediska nepředstavují na rozdíl od fototermitických panelů tyto přebytky problém, panely jednoduše přestanou energii dodávat. Je však evidentní, že tato energie nemůže být nijak zúčtována, jelikož systém není vybaven akumulacím prvkem elektrické energie v podobě baterie. Varianty 3 a 4 se však od zbylých dvou variant liší jedním zásadním faktem. Jejich pokrytí dosahuje více než 50 %, a splní tedy podmínku pro obdržení dotací (viz kap. 7.2). Díky této investici podpoře se tak vyplatí soustavu naddimenzovat. Na základě posledního řádku tabulky, který zachycuje výši nutné investice do systému, jsem se nakonec rozhodla pro poslední variantu 4.



Obrázek 6.3: Teoretické energetické zisky jednotlivých variant, data z (14)

Zvolená varianta obsahuje následující komponenty:

Ks	Komponent	Poznámky
6	FV moduly Amerisolar, 275 Wp	Polykrystalické
1	DC rozvaděč	
4	Nosná konstrukce	
1	Rozvodný kabel	20 m
1	Zemnicí kabel	10 m
1	FV ohřívač Dražice LX ACDC/L + K	200 l, max 75 °C
	Konektory	
1	MPPT regulátor	Logitex

Tabulka 6.2: Seznam komponent pro fotovoltaický oh ev, (27)

6.2.2. Měsíc červen

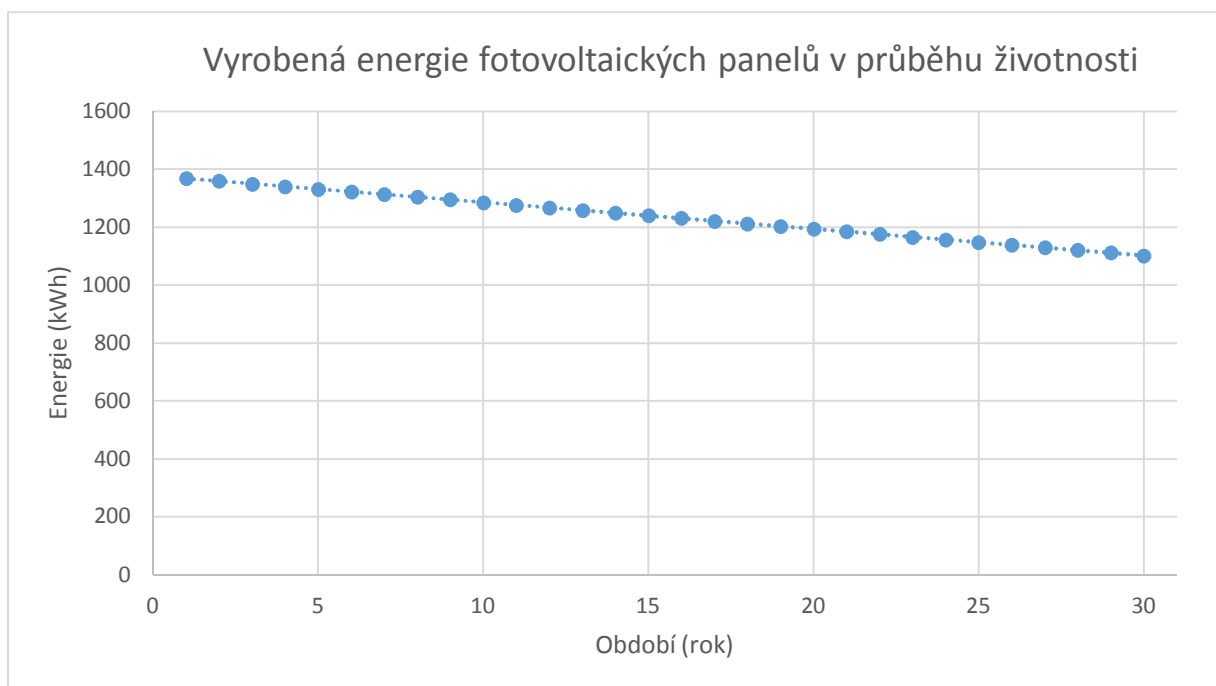
V rámci celoročního provozu nesmí být opomenut fakt, že v červnu nebude po dobu jednoho týdne docházet k odběru energie, tedy reálná spotřeba bude vypadat podobně jako na obrázku 5.5. Lišit se bude pouze množstvím vyrobené energie, které bude v tomto případě vyší (4,67 kWh/den). Tento fakt opět sníží celkové roční energetické pokrytí. Znamnou výhodou provozování je, že nemusí dojít k fláknutí odpojení obsluhou, panely pouze nebudou energii vyrábět. Jednotlivé měsíční zisky pro variantu 4 jsou shrnuty v následující tabulce, ze které je vidět, že pokrytí je 61 %.

Měsíc	Počet dní	t_{es} °C	$H_{skut\ den}$ kWh/den	$Q_{vyr\ 1\ kWp}$ kWh/měsíc	Q_{vyr} kWh	$Q_{spotř}$ kWh	$\min(Q_V; Q_S)$ kWh	f %
Leden	31	-0,51	0,73	22,62	37,32	208,77	37,32	17,88
Únor	28	0,34	1,47	41,02	67,69	188,56	67,69	35,90
Březen	31	4,80	2,89	89,44	147,58	208,77	147,58	70,69
Duben	30	9,93	3,96	118,68	195,82	202,03	195,82	96,93
Květen	31	13,95	3,88	120,40	198,66	208,77	198,66	95,16
Červen	30	16,90	3,96	118,68	195,82	121,22	121,22	161,54
Červenec	31	19,62	3,91	121,26	200,08	135,70	135,70	147,44
Srpen	31	18,97	3,83	118,68	195,82	135,70	135,70	144,31
Září	30	14,57	3,18	95,46	157,51	202,03	157,51	77,96
Říjen	31	9,06	1,90	58,91	97,20	208,77	97,20	46,56
Listopad	30	4,82	0,89	26,83	44,27	202,03	44,27	21,91
Prosinec	31	0,01	0,58	17,97	29,66	208,77	29,66	14,21
				Celkem	1567,43	2231,094	1368,32	61%

Tabulka 6.3: Energetické zisky z 1,65 kWp FVE, data z (14)

6.2.3. Pokles účinnosti

Teoretické energetické zisky byly určeny za souasných podmínek po dobu jednoho roku. U fotovoltaických panelů se však setkáváme s poměrně značnou degradací. Výrobce vybraných panelů značky Amerisolar garantuje po 12 letech pokles účinnosti na 91,2 % a na konci životnosti panelů, tedy po 30 letech, udává hodnotu 80,6 %, což v průměru představuje pokles o necelých 0,7 % ročně.



Obrázek 6.4: Vyrobena energie fotovoltaických panelů v průběhu životnosti

7.Podpora státu – Nová zelená úsporám

Před ekonomickým zhodnocením projektu na základě předchozích kapitol je třeba se pozastavit nad tím, jakým způsobem Česká republika motivuje (zejména finančně) spotřebitele pro instalaci solárních systémů. Již v minulosti, jakofitotermické země Evropské unie, není lhostejné, a díky energetické politice EU se nám tak v této oblasti dostává poměrně značné podpory v podobě dotací, a to nejen v oblasti využití solární energie. Tyto dotace jsou poskytovány v rámci 3.výzvy programu Nová zelená úsporám (NZÚ) v období 2015-2021 a jsou rozděleny do několika podoblastí. Pro účely mé bakalářské práce se jedná o podoblast C.3 - Instalace solárních termických a fotovoltaických (FV) systémů (28). Následující tabulka shrnuje výše podpory pro různé varianty využití solárních systémů. Pokud se dle mě nachází v Ústeckém či Moravskoslezském kraji, dotace jsou navýšeny o 10 %. V obou případech je navíc možné získat příspěvek v hodnotě 5 000 Kč na zpracování odborného posudku a projektu.

Podoblast	Typ systému	Výše podpory
C.3.1	Solární termický systém na přípravu teplé vody	35 000 Kč
C.3.2	Solární termický systém na přípravu teplé vody a přitápění	50 000 Kč
C.3.3	FV systém pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem	35 000 Kč

Tabulka 7.1: Podpora v oblasti solárních technologií, (28)

7.1.Solární termické systémy

Nejprve se zaměřím na dotace poskytované v rámci instalací solárních termických systémů, tedy pro snížení investičních výdajů nutných pro realizaci fototermitického ohřevu. Velikost podpory v oblasti C.3.1 odpovídá maximálně 50 % z sobilých výdajů, zároveň však tato částka nesmí být vyšší než 35 000 Kč (viz tabulka 7.1). O dotace je nutno zařádat, nejsou uznávány automaticky. Pro úplnost jsou součástí tabulky i možnosti zahrnující vytápění, pro účely mé bakalářské práce je však odpovídající podoblast C.3.1.

Při získání dotací je navíc podmínkou splnění určitých požadavků v podobě minimálního pokrytí, měsíčního využitelného zisku a velikosti akumulací nádoby vzhledem k ploše apertury, které jsou shrnuty v následující tabulce. Pokrytí v rámci navrženého systému je menší než požadovaných 50 % (tabulka 5.5), tato podmínka tedy nebude splněna.

Sledovaný parametr	Označení	C.3.1	C.3.2
Vypočtený celkový využitelný zisk solární soustavy	$Q_{ss,u}$	Bez požadavku	≥ 2200
	(kWh/rok)		
Vypočtený měrný využitelný zisk solární soustavy	$q_{ss,u}$	≥ 350	≥ 280
	(kWh/(m ² .rok))		
Dosažení minimálního pokrytí potřeby teplé vody	(%)	≥ 50	Bez požadavku
Instalace akumulací zásobníku tepla o měrném objemu vztaženému k celkové ploše apertury	(l/m ²)	≥ 45	≥ 45

Tabulka 7.2: Podmínky pro získání dotací pro solární termický systém, (21)

7.2.Fotovoltaické systémy

Maximální výše dotací je pro fotovoltaický ohřev vody stejná, jako pro ohřev fototermitický 35 000 Kč. Fotovoltaické panely jsou charakterizovány jinými parametry než solární kolektory, emul jsou také upraveny podmínky pro obdržení dotací, které jsou shrnuty v následující tabulce. Opět je

pofadavek na dosažení minimálního pokrytí pot eby teplé vody alespo 50 %, velikost zásobníku je v-ak místo plochy apertury vztafena na instalovaný výkon.

Sledovaný parametr	Označení	C.3.3
Dosažení minimálního pokrytí potřeby teplé vody	(%)	≥ 50
Minimální měrný objem akumulčního zásobníku tepla vztažený k instalovanému výkonu solárního systému	(l/kWp)	≥ 80

Tabulka 7.3: Podmínky pro získání dotací pro fotovoltaický systém, (28)

8. Ekonomické zhodnocení variant

Finanční analýza je dleflitou součástí každého projektu. V této kapitole budou po ekonomické stránce zhodnoceny 3 následující varianty o tzv. nulová varianta (pokračování souasnou realizací), fototermický oh ev a fotovoltaiický oh ev vody. Kritérií ekonomické efektivity investic existuje celá sada. Existují 4 základní druhy a jejich kombinace o relativní, absolutní, zohledující a nezohledující asovou cenu pen z. Asi nejast j-í a nejbezpe n j-í poufivanou metodou bývá NPV, tedy ístá sou asná hodnota, která je dána sou tem v-ech (diskontovaných) hotovostních tok v pr b hu fivotnosti projektu. Navíc zohleduje í asovou cenu pen z v podob diskontu. Pro investice, které se li-í délkou fivotnosti a nemají vhodný spole ný násobek (p íli- vysoký), musí být tato metoda modifikována.

fivotnosti projekt v rámci této práce jsou 15, 25 a 30 let. e-ení pomocí NPV na základ hledání spole ného násobku a cyklického opakování by tak bylo asov náro né a nep ehledné. K objektivnímu porovnání investic o r zných fivotnostech se poufije modifikovaná metoda - faktor RCF (ro ní ekvivalentní pen íní tok), který vychází z následujícího vzorce:

$$RCF = \frac{q^n \cdot (q-1)}{q^n - 1} \cdot NPV, \text{ kde}$$

RCF	je ro ní ekvivalentní pen íní tok;
NPV	ístá sou asná hodnota;
$q = 1+r$, kde	r je diskont;
n	po et období (doba fivotnosti projektu).

Porovnávat projekty v-ak budu pouze z hlediska nákladových, NPV tedy bude zohled ovat CF náklad , jedinými o ekávanými p íjmy jsou dotace. Z finan ního hlediska tak bude nejvýhodn j-í projekt s nejnií-ím RCF. CF náklad také zp sobí opa ná znaménka, tedy fle výdaje jsou reprezentovány kladnými ísly, zatímco p íjmy p edstavují ísla záporná. V-echny o ekávané výdaje a p íjmy jsou navíc zatííeny inflací o hodnot 2 % ro n , na základ dlouhodobého cíle NB.

8.1. Stanovení diskontu

Pro výpo et RCF na základ p edchozího vzorce je třeba stanovit hodnotu diskontu, který reprezentuje na-e o ekávané zhodnocení investice. Do diskontu zahrnujeme vliv inflace, rizikovitost a také tzv. športunity cost, tedy cenu u-ílé p ííílosti, která m fle nap íklad znamenat zhodnocení pen z v podob dlouhodobého spo ení. Po zohledn ní inflace a rizikovosti jsem stanovila pro následující výpo ty diskont 3 % a uvaíuji ho pro v-echny investice shodný.

8.2. Společné náklady

Pro realizaci jakéhokoliv e-ení bude nezbytné realizovat investici v podob nového plynového kotle. Primární ú el odebírání zemního plynu je v-ak vytáp ní objektu, na které je pot eba mnohem v t-í množství energie neí na oh ev TUV. Navíc je zemní plyn vyuffíván í pro va ení, emufl je uzp soben plynový va í . Celková ro ní spot eba za rok 2016 tak byla 12 172 kWh. Bez ohledu na to, jakým ze t í nabízených zp sob bude oh ev vody realizován, vytáp ní í va ení z stane pomocí zemního plynu. Koupí nového kotle a dal-í náklady spojené s jeho chodem (revize, servis, montáí) tedy povafují za utopené náklady, p estofle je-t uhrazeny nebyly, av-ak jejich zapo ítání by mohlo vést ke zkršení výsledk a následn ípatnému rozhodnutí.

Navíc p edpokládám, fle po desátém roce dojde k poklesu spot eby teplé vody o 20 % (osamostatn ní druhého díte). Na snííené spot eb v letních m sících se v-ak tento p edpoklad tém neprojeví, jelikoí byl tento pokles dán zejména absencí student na spot eb kv í prázdninám. Dojde tedy ke zvý-ení celoro ního pokrytí pomocí solárních technologií.

8.3. Nulová varianta – pouze zemní plyn

V případě, že by z jakýchkoliv důvodů nebyla uskutečněna ani jedna varianta podporující obnovitelné zdroje energie, nabízí se tzv. nulová varianta, tedy pokračování v současné realizaci ohřevu teplé vody výhradně pomocí zemního plynu.

8.3.1. Výdaje

Považování výše zmíněných nákladů za utopené způsobí, že jedinou uvažovanou investicí tohoto projektu je pořízení nového zásobníku teplé užitkové vody o objemu 120 l, jehož cenu na základě internetových nabídek uvažuji 12 000 Kč. V rámci dalších výdajů je zahrnuta spotřeba elektrické energie erpadla, které je součástí plynového kotle. Tato spotřeba byla odhadnuta na 126 kWh za rok, což při uvažované ceně elektřiny 3 Kč/kWh způsobí peněžní náklad o hodnotě 378 Kč.

8.3.2. Vývoj ceny zemního plynu

Kromě zejména peněžních výdajů je třeba zachytit i další skutečnosti, mezi které patří například vývoj ceny zemního plynu, který jsem stanovila následovně. Data z (23) od roku 2009 až do současnosti jsem spojila s předpokladem, kdy následujících 5 let nepředpokládám žádné výrazné změny. Tyto hodnoty jsem lineárně proložila, díky čemuž jsem mohla následně určit přibližný procentuální růst cen zemního plynu (Kč/kWh), který po roce 2023 činí necelá 0,3 % ročně. Stanovení budoucí ceny pouze na základě cen historických však představuje značné riziko. Proto jsem svůj předpoklad porovnála s několika internetovými zdroji (30), (31), které se víceméně shodují na tom, že zemní plyn bude stoupat mnohem více, a to v průměru o 3 % ročně. Nakonec tedy ve výpočtech uvažuji meziroční růst cen o 3 %, avšak až po 3. roce (od 4. roku).

8.3.3. RCF

Všechny výše zmíněné skutečnosti byly zohledněny a sestaveny do tabulky (viz příloha 1), která zachycuje CF nákladů v jednotlivých letech provozování investice. Na základě těchto výpočtů, pak byly stanoveny následující hodnoty:

$$NPV = 43\,733\text{ Kč}, a = 0,08, RCF = 3\,663\text{ Kč}.$$

To tedy znamená, že pokud by ohřev TUV nadále probíhal pouze pomocí zemního plynu, roční náklady se stanoveným diskontem 3 % činí 3 663 Kč.

8.4. Varianta 2 – fototermický ohřev

První ze dvou možností, jak snížit náklady za zemní plyn na základě kapitoly 5.2.4, je fototermický ohřev. Životnost tohoto projektu je tentokrát dána životností samotných kolektorů, kterou výrobce garantuje 25/30 let. Uvažuji raději pesimistickou variantu, tedy 25 let.

8.4.1. Výdaje

První nedílnou investicí je pořízení solární sestavy v hodnotě 68 000 Kč⁵ zahrnující navíc dopravu a instalaci. Tato varianta se v podstatě liší sníženou spotřebou zemního plynu, která je způsobena právě energetickými úspěchy fototermické soustavy. Ohřev vody pomocí zemního plynu je navíc zatížen spotřebou elektrické energie erpadla. Díky solárnímu ohřevu sice dochází ke snížení této spotřeby, avšak pro zajištění oběhu teplotosné kapaliny je také potřeba erpadlo, čímž je spotřeba elektrické energie opět navýšena. V rámci této varianty tak uvažuji stejnou spotřebu elektrické energie jako u předchozích variant. Pro zajištění bezpečnosti a správné funkčnosti navíc každé dva roky uvažuji revizi celého systému, jejíž cenu jsem odhadla na 1 000 Kč.

Přestože životnost tohoto projektu je 25 let, obsahuje dílčí komponenty, které tak dlouhou životností nedisponují. Jedná se o erpadlo a teplotosnou kapalinu. Životnost erpadla uvažuji 15 let. V roce 16 je tak zaznamenán výdaj v podobě pořízení nového oběhového erpadla. U teplotosné kapaliny je situace o něco složitější, jelikož se vlivem degradace musí nejméně každých 5 let obměňovat.

⁵ Tato cena je oproti povodním 70 000 Kč snížená, 2000 Kč odpovídají výměnám kolektorů za menší.

V nákladových CF však tento fakt není zaznamenán, jelikož objem kapaliny, která je součástí nabídky, je dostačující pro celou životnost projektu.

Při pořízení solárního systému je majitel vystaven určitému riziku (odcizení, vandalismus, firemní i provozní škody), proto jsem se rozhodla uvážit také pojistění. Soustava se nepojistí jako samostatný objekt, ale v rámci pojistění nemovitosti. Tuto částku jsem na základě (32) stanovila na 200 Kč ročně.

8.4.2. Dotace

Vzhledem k nízkému podílu pokrytí (viz kapitola 7.1) nebyla splněna podmínka pro obdržení dotací, které tak mohly představovat jediný peněžní příjem této varianty.

8.4.3. RCF

Všechny výše zmíněné části peněžních toků jsem opět zahrнула do tabulky (příloha 2), která je součástí příloh. Podle očekávání je hodnota RCF pro tuto variantu vyšší než pro variantu předchozí, a to o více než 3 000 Kč. Z tabulky, která je součástí příloh je zřejmé, že tato investice se nemůže vyplatit, jelikož náklady na její provoz jsou téměř identické s těmi, které tato varianta za spotřebu má.

$$NPV = 117\,464\,K, a = 0,057, RCF = 6\,746\,K.$$

8.5. Varianta 3 – fotovoltaický ohřev

Z ekonomického hlediska zbývá zhodnotit ještě poslední variantu, a to fotovoltaický ohřev, který lze opět chápat jako prostředek pro snížení spotřeby zemního plynu, nikoliv jako samostatnou variantu. Životnost tohoto projektu je uváděna 30 let, což odpovídá garantované životnosti fotovoltaických panelů značky Amerisolar.

8.5.1. Výdaje

Početné investice této varianty se skládá z 73 500 Kč za sestavu obohacenou o MPPT regulátor, dále 12 000 Kč za dopravu a instalaci. Celková výše investice je tedy 85 500 Kč. Oproti fototerminickému ohřevu jsou výdaje za dodatečný ohřev zemním plynem nižší, navíc uvažují i sníženou spotřebu erpadla kotle o 60 %. V rámci bezpečnosti (zejména kvůli prevenci požárů) uvažují každé 3 roky pravidelnou revizi v hodnotě

Pro fotovoltaický ohřev sice není potřeba obhospodňovat erpadlo, které navíc spotřebovává energii, součástí sestavy je však technologie MPPT (jehož spotřebu neuvažují), která nedosahuje takové délky životnosti jako celý projekt. Stanovila jsem ji na 15 let, po této době bude třeba pořízení nového regulátoru výkonu, což v součinnosti odpovídá částce 9 000 Kč.

Stejně jako u solárních kolektorů, i zde se vyskytují výše zmíněná rizika, na základě kterých jsem se rozhodla zahrnout také pojistění, jehož roční výše byla podle (26) stanovena přibližně na 250 Kč.

8.5.2. Dotace

Z důvodu získání dotací byla zvolena naddimenzovaná varianta, díky čemuž jsou splněny všechny podmínky pro jejich obdržení. Částka 40 000 Kč (35 000 + 5 000 Kč) by na základě informací z (33) měla být obdržena nejdříve 9. týden po jejich schválení (uvažují tedy během 1. roku).

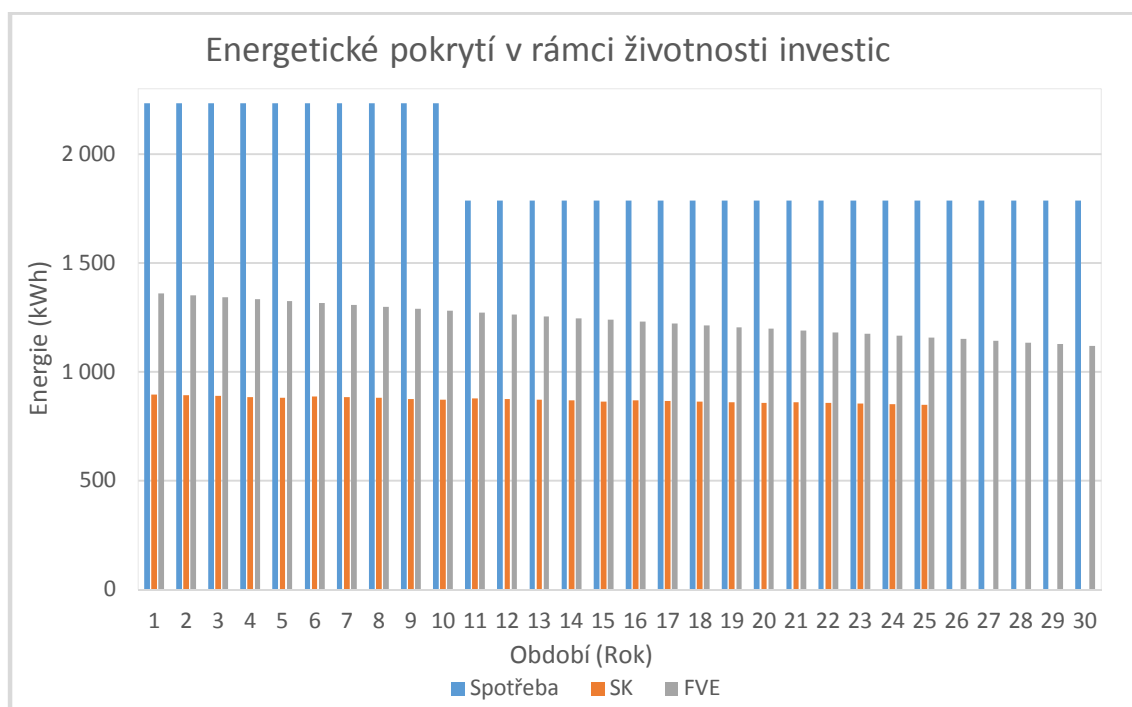
8.5.3. RCF

Všechny výše zmíněné výdaje i příjmy jsou opět zahrnuty v tabulce, která je součástí příloh (příloha 3), a zázoruje mimo jiné i kumulované Cash flow v průběhu životnosti projektu. RCF této varianty je vyšší než pro nulovou variantu, zároveň však nižší oproti fototerminickému ohřevu, i přes výrazný pokles úrovně, což odpovídá v rámci pokrytí a také obdržení dotací.

$$NPV = 97\,325\,K, a = 0,051, RCF = 4\,965\,K.$$

8.6. Shrnutí

Analyzovaným objektem byl rodinný dům v Liberci s nepravidelným režimem obývání v rámci týdne s 3 osobami během pracovních dnů, 4 dny o víkendu. V současnosti je ohřev TUV realizován pomocí zemního plynu, který je navíc využíván pro vytápění a vaření. Analýza probíhala za účelem posouzení vhodnosti instalace solárních systémů pro snížení nákladů na ohřev teplé užitkové vody. První analyzovanou možností oproti stávajícímu řešení byl fototermický ohřev, druhou fotovoltaický ohřev. Následující graf zobrazuje teoretické výsledky na základě stanovených předpokladů spotřeby (po 10. roce snížena o 20 %) a stanovených předpokladů ze dvou nabízených solárních systémů.



Obrázek 8.1: Energetické přínosy analyzovaných sestav

Z důvodu nízkého pokrytí v případě fototermického ohřevu nejsou splněny podmínky pro obdržení dotací (minimální požadavek 50 %). V rámci fotovoltaického ohřevu byla zvolena naddimenzovaná varianta, právě z důvodu dosažení dotací.

	Pouze zemní plyn	Fototermický ohřev (+ZP)	Fotovoltaický ohřev (+ZP)
Pokrytí sol. tech.	0 %	40 %	61 %
Pokrytí ZP	100 %	60 %	39 %
Výše investice	12 000 Kč	68 000 Kč	85 500 Kč
Životnost	15 let	25 let	30 let
RCF náklady	3 663 Kč	6 746 Kč	4 965 Kč
Dotace	Ne	Ne	Ano – 40 000 Kč
Poznámky	Některé náklady považovány za utopené	Nutné odstavení v červnu, závislost na dodávce el.	Vysoké přebytky v létě, ohřev i při výpadku el.

Tabulka 8.1: Stručný pohled analyzovaných variant

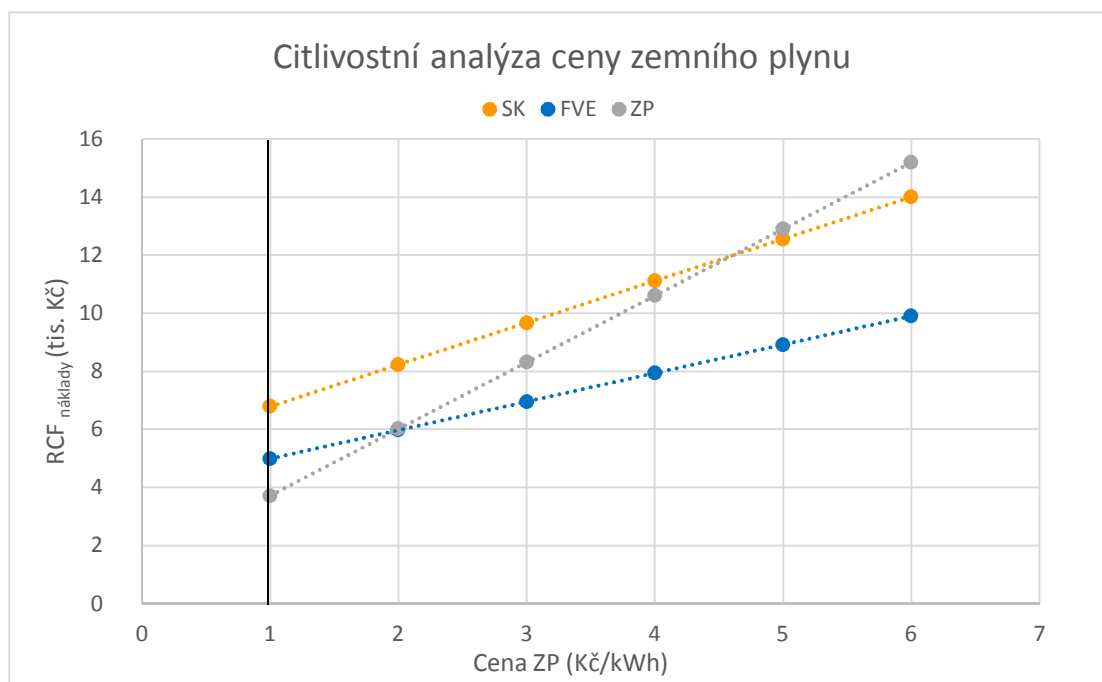
Na základě ekonomického zhodnocení pomocí metody RCF jsem došla k závěru, že investice do solárních technologií není za současných podmínek výhodná. Nejvíce se tak vyplatí pokračovat v ohřevu pomocí zemního plynu. Fotovoltaický ohřev se oproti zemnímu plynu vyplatí méně, avšak zároveň má nižší roční ekvivalentní peněžní tok než fototermický ohřev, který se tak vyplatí nejméně.

9. Citlivostní analýza

Za podmínek stanovených v rámci této bakalářské práce bychom investice do solárních systémů prohlásili za ekonomicky nevýhodné. Existuje však nkolik vstupních parametrů, které výhodnost investice zna n ovliv ují ó po izovací cena, cena zemního plynu, diskont aj. V rámci citlivostní analýzy tedy n kterým z nich v nuji tuto kapitolu.

9.1. Citlivostní analýza ceny zemního plynu

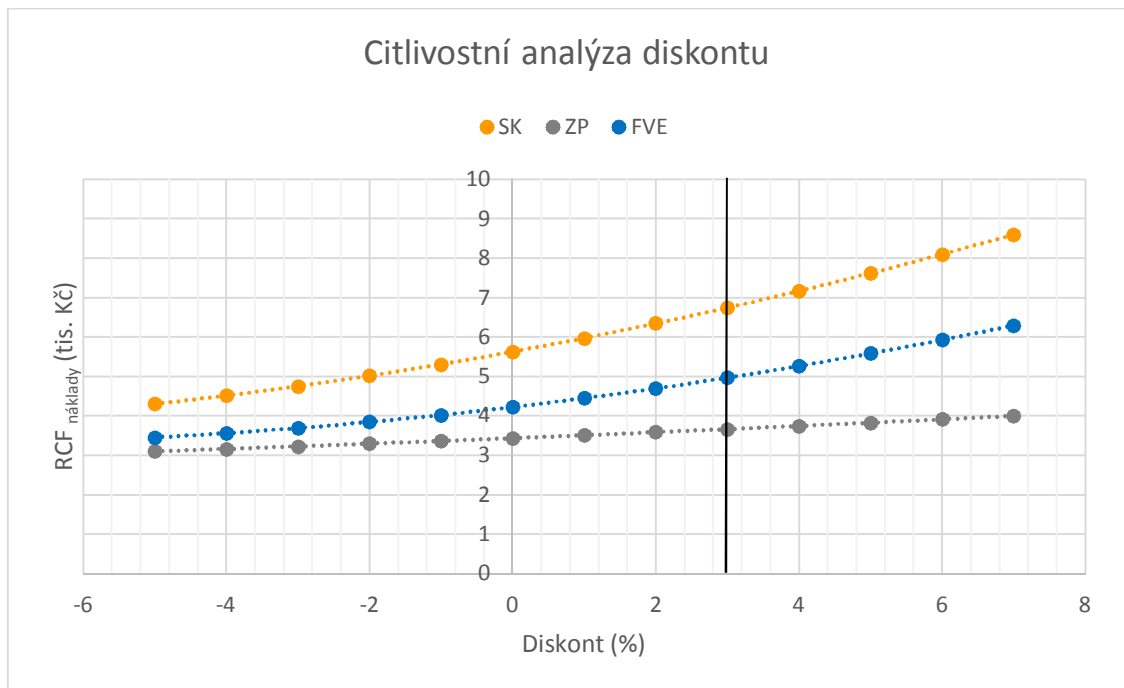
Pro sou asnou cenu zemního plynu, která odpovídá p iblifn 0,98 Kč /kWh se vyplatí dále oh ívat TUV výhradn za pouflití zemního plynu. Z následujícího obrázku 9.1 je vid t, do jaké míry cena zemního plynu ovliv uje po adí variant. (Nutno p ipomenout, že RCF p edstavuje náklady). P i cenách do 2 Kč /kWh je je-t stále výhodn j-í oh ívat vodu pouze plynovým kotlem. Za touto cenou ufl se v-ak vyplatí investice do fotovoltaického oh evu. Za p iblifn 4,7 Kč /kWh se jífl dokonce vyplatí investice do solárních kolektorů . Cena zemního plynu, se kterou se v této práci po ítalo, byla ze zmín ných d vod (kap. 4.2.2) spo ítána pouze na základ variabilních slofk. Pokud bychom v-ak uvařovali i slofky fixní, což by znamenalo, že by zemní plyn byl vyuříván jen pro oh ev TUV, to by zp sobilo zna ný nár st ceny za 1 kWh. V takovém p ípad by se tedy rozdíl RCF mezi fotovoltaickým oh evem a oh evem pomocí zemního plynu je-t více snížil a instalace by tak mohla být zajímavá ne z d vod ekonomických, ale z d vodu sob sta nosti.



Obrázek 9.1: Citlivostní analýza ceny zemního plynu

9.2. Citlivostní analýza hodnoty diskontu

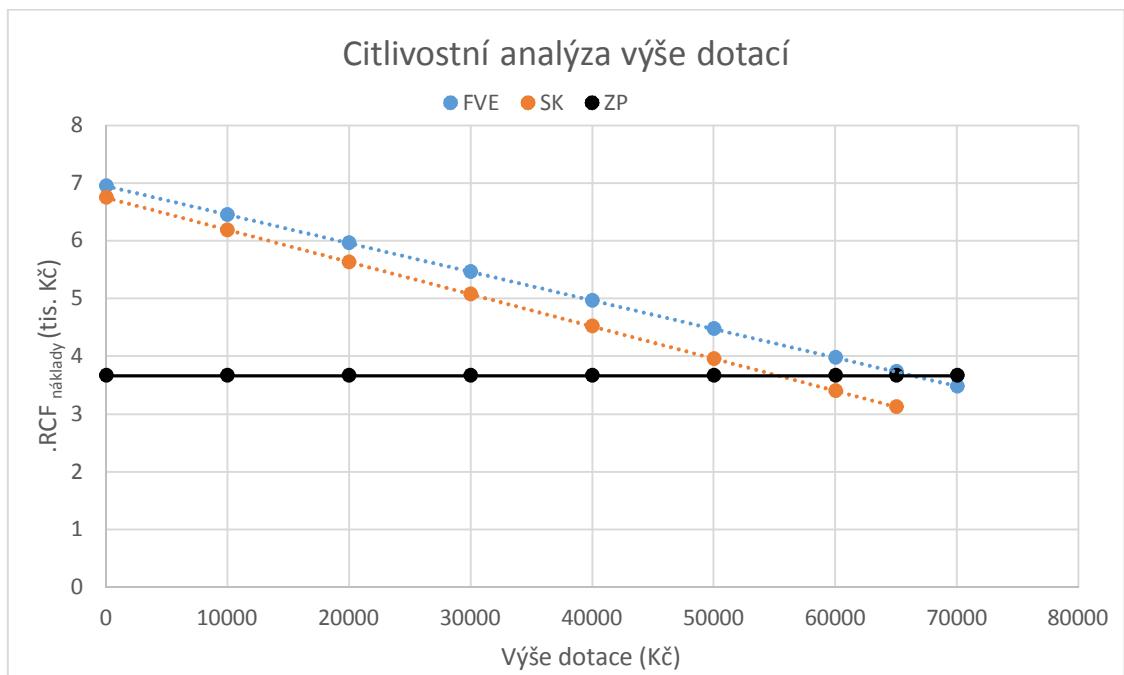
Z následujícího grafu je patrné, že ani p i záporných hodnotách diskontu se po adí variant nem ní. Záporné hodnoty diskontu navíc v na-ích podmínkách nemají smysl. Proto m fme íci, že hodnoty diskontu neovliv ují po adí variant a vždy bude nejvýhodn j-í oh ev pomocí zemního plynu, následovaný fotovoltaickým oh evem. Nejmén se vyplatí investice do fototerických kolektorů .



Obrázek 9.2: Citlivostní analýza diskontu

9.3. Citlivostní analýza výše dotací

Posledním analyzovaným faktorem v rámci citlivostní analýzy je velikost poskytnuté dotace, která tak ovlivňuje výši investice. Pro solární kolektory nebyla z důvodu nízkého pokrytí dotace uznána, což představuje bod o výši dotace 0 Kč. Aby se za současných podmínek a předpokladů investice do fototermického ohřevu vyplatila, bylo by nutné obdržet dotaci ve výši 56 000 Kč, to je téměř 81 % výše investice. Pro fotovoltaický ohřev byla uvažována dotace ve výši 35 000 Kč, aby se však vyplatila více než ohřev zemním plynem, musela by výše dotace dosahovat výše necelých 67 000 Kč, což odpovídá přibližně 78 % investované částky. V obou případech je podíl dotací velmi vysoký, což je způsobeno nízkou cenou zemního plynu a také nízkou investicí, jelikož náklady spojené s pořízením nového plynového kotle byly považovány za utopené a investice probíhala pouze do nového zásobníku.



Obrázek 9.3: Citlivostní analýza výše dotace při stanoveném diskontu 3 %

10. Závěr

Podmínkami této bakalářské práce bylo využití solární energie v podmínkách České republiky. Za tímto účelem byla nejprve provedena analýza faktorů, které ovlivňují (snižují) potenciál solární energie. V našich zeměpisných šířkách se jedná o velmi proměnlivý zdroj energie, a to jak z dlouhodobého (léto, zima), tak i z krátkodobého (slunečné a oblačné dny) hlediska. Z těchto důvodů nemohou být solární technologie brány jako plnohodnotný zdroj energie, ale spíše jako zdroj dodatekový, resp. pro zajištění spolehlivé dodávky energie musí být k dispozici ještě další zdroj energie. Průměrné roční úhrny dopadajícího záření na 1 m² kolmé plochy se pohybují kolem 1000 kWh. Nejvyšších úhrnů dosahuje jižní část Moravy s hodnotou 1100 kWh.

V rámci práce byly následně porovnány dvě technologie využívané solární energii. První z nich byly solární kolektory, které sluneční záření přeměňují na energii tepelnou, druhou technologií byly fotovoltaické panely, které dopadající záření přeměňují na elektrický proud na základě fotovoltaického jevu.

Pro aplikaci těchto technologií byl vybrán rodinný dům nacházející se v Liberci. Vzhledem k omezeným možnostem dostupnosti solární energie a její potřeby byl návrh proveden v rámci úspor pro ohřev teplé užitkové vody, tedy nikoliv v oblasti vytápění. V současné situaci je ohřev realizován pomocí zemního plynu, což je komodita, kterou musíme dovážet z cizích zemí, což způsobuje energetickou závislost nejen ČR, ale i celé Evropské unie na jejím dovozu z jiných zemí. Byla provedena analýza současné spotřeby, a to na základě měření a také na základě faktury z roku 2016. Roční spotřebované množství zemního plynu pro ohřev TUV tak odpovídá 2231 kWh. Zemní plyn je využíván i pro vytápění, proto byla cena za 1 kWh stanovena pouze na základě variabilních složek a odpovídá přibližně 0,98 Kč/kWh. Předpokládá se, že se jedná o spotřebu TUV, která není zatížena takovými rozdíly jako vytápění, pro tento rodinný dům byl v letních měsících zaznamenán pokles až o 40 %, který je způsoben odjezdy na dovolenou, kdy v červnu po dobu jednoho týdne objekt není obýván, tedy nedochází k odběru teplé vody. Byly tak prodiskutovány a porovnány celkem tři varianty ohřevu pouze pomocí zemního plynu, fototermický ohřev a fotovoltaický ohřev. V obou případech solárních technologií byl jako dodatekový zdroj uvažován právě zemní plyn. V rámci životnosti projektu nebyla spotřeba uvažována konstantní, po 10. roce byl zaveden předpoklad jejího snížení o 20 %.

Nejprve byl na rodinný dům navrhnout systém pro fototermický ohřev vody. Zároveň byly stanoveny technické požadavky na vhodnou soustavu, následně byly na základě průzkumu trhu stanoveny energetické zisky odpovídajících variant. Jedním z technických požadavků byl objem zásobníku, který byl stanoven na 200 l. Z těchto variant byla na základě několika faktorů zvolena jedna, jejíž pokrytí dosahovalo 40 %. Kromě nízkého pokrytí je nevýhodou tohoto způsobu ohřevu také nutné odstavení v době, kdy nedochází k odběru teplé vody.

V případě FVE byla zvolena naddimenzovaná varianta, jejíž celkové roční pokrytí dosáhlo 61 % současné spotřeby. Tato varianta byla zvolena z důvodu dosažení dotací, které jsou poskytovány v rámci programu Nová zelená úsporám, kterým se Česká republika, jako člen EU, snaží motivovat spotřebitele k pořízení solárních technologií a tím tak podporovat využití obnovitelných zdrojů energie v rámci energetické politiky EU.

Na základě ekonomického zhodnocení nabízených variant lze prohlásit, že pro vybraný objekt se za současných podmínek a předpokladů investice do solárních technologií nevyplácí, a to ani při vysokém pokrytí a obdržené dotaci v případě fotovoltaického ohřevu. Toto zhodnocení bylo provedeno pomocí metody ročních ekvivalentních peněžních toků, v rámci které došlo k obrácení znamének, tedy výdaje byly uvažovány se znaménkem plus a naopak příjmy se znaménkem minus. Nejvyššího RCF dosáhl fototermický ohřev (6 746 Kč), následovaný fotovoltaickým ohřevem (4 965 Kč), nejnižší hodnoty dosáhl stávající způsob ohřevu pomocí zemního plynu (3 663 Kč).

Pro několik faktorů, které ovlivňují výsledky mé bakalářské práce, byla následně provedena citlivostní analýza. Aby se vyplatila investice do fotovoltaického ohřevu, musela by se cena zemního

plynu ze souasných 0,98 Kč/kWh zvýít na 2 Kč/kWh, tedy pibližn zdvojnásobit. Dalím analyzovaným faktorem byla výše diskontu, který byl stanoven na 3 %, avák ani p i hodnot -5 % nedošlo ke zm n po adí variant. Uvařování záporných hodnot diskontu navíc v našich ekonomických podmínkách nemá smysl. Jako poslední prob hla analýza výše investice, resp. výše poskytnutých dotací státem. Pro zm nu po adí výhodnosti variant by poskytované dotace musely v p ípad FVE dosahovat 78 % výše investice, tedy 67 000 Kč , v p ípad termického oh evu dokonce 81 %, což odpovídá ástce 56 000 Kč .

Zdroje

1. MARTNIEC, Lukáš. ENERGIE BUDOUCNOSTI. *SlidePlayer*. [Online] 19. říjen 2015. [Citace: 2. Květen 2018.] <http://slideplayer.cz/slide/11204574/>.
2. Elektřina. *ERÚ*. [Online] [Citace: 22. Prosinec 2017.] <https://www.eru.cz/cs/elektrina>.
3. REDDY, P. Jayarama. *Solar power generation: technology, new concepts & policy*. Leiden : CRC Press, 2012. 978-0-415-62110-6.
4. MAJLING, Eduard. Třeba ropy a zemního plynu v České republice ó historie a současnost. *oEnergetice*. [Online] 19. Prosinec 2016. [Citace: 10. Květen 2018.] <http://oenergetice.cz/ropa/tezba-ropy-a-zemniho-plynu-v-ceske-republice-historie-a-soucasnost/>.
5. RADEK, Daniel. Evropská unie si posvětila na energetiku. *Statistika&my*. [Online] Září 2017. [Citace: 21. Prosinec 2017.] <http://www.statistikaamy.cz/2017/09/evropska-unie-si-posvitila-na-energetiku/>.
6. KNÁPEK, Martin. EDF obhájí své plány na odstavování jaderných elektráren. *o Energetice*. [Online] 4. Únor 2017. [Citace: 2018. Květen 2.] <http://oenergetice.cz/elektrina/edf-obhajuje-sve-plany-odstavovani-jadernych-elektren/>.
7. Produkce a dovoz energie . *Eurostat Statistics Explained*. [Online] 18. Prosinec 2017. [Citace: 26. Prosinec 2017.] http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports/cs.
8. Spotřeba energie v domácnostech. *Vítejte na Zemi*. [Online] [Citace: 10. Prosinec 2017.] http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=spotreba_energie_v_domacnostech&site=energie.
9. KUSALA, RNDr. Jaroslav. O záření. *SOLÁRNÍ ENERGIE*. [Online] 2006. [Citace: 11. Listopad 2017.] <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/kap1.htm>.
10. CERMAN, Jiří. Termojaderná fúze ó energetická spása, nebo armageddon? *Nazeleno*. [Online] 15. Srpen 2008. [Citace: 27. Listopad 2017.] https://www.nazeleno.cz/energie/energetika/chap_85/termojaderna-fuze-energeticka-spasa-nebo-armageddon.aspx.
11. MURTINGER, Karel a TRUXA, Jan. *Solární energie pro vás – d m*. Brno : Computer Press, 2010. 978-80-251-3241-8.
12. Solární panely. *Micronix*. [Online] 2013. [Citace: 27. Listopad 2017.] <https://www.micronix.cz/solarix/zakladni-informace/solarni-panely>.
13. Solar, SolarGIS © 2014 GeoModel. File:SolarGIS-Solar-map-Europe-es.png. *Wikimedia Commons*. [Online] 1. Leden 2014. [Citace: 10. Prosinec 2017.] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SolarGIS-Solar-map-Europe-es.png#file>.
14. The European Commission's science and knowledge service. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). *EU Science Hub*. [Online] 6. červen 2016. [Citace: 17. Prosinec 2017.] <https://ec.europa.eu/jrc/en/scientific-tool/pvgis>.
15. HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava : HEL, 2011. 978-80-86167-33-6.
16. MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v p íkladech*. Praha : Grada, 2013. 978-80-247-3525-2.
17. BECHLÍK, Bronislav. P íprava teplé vody. *TZB - info*. [Online] 14. říjen 2013. [Citace: 22. Prosinec 2017.] <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/10453-priprava-teple-vody-fotovoltaika-nebo-solarni-tepelne-kolektory>.

18. KUSALA, Jaroslav. Solární kolektory. *SOLÁRNÍ ENERGIE*. [Online] 2006. [Citace: 17. Listopad 2017.] <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/solar.htm>.
19. MASTNÝ. *Slune ní energie*. [Prezentace] Brno : VUT.
20. *Mapy.cz*. [Online] [Citace: 20. Prosinec 2017.] <https://mapy.cz/zakladni?x=15.0653000&y=50.7639010&z=11>.
21. PRE. Vyuffití solární energie. *Solární energie.info*. [Online] 12. Srpen 2013. [Citace: 9. Listopad 2017.] <http://www.solarni-energie.info/vyuziti.php>.
22. MATUŠKA, Tomáš, SCHWARZER, Jan, TROUREK, Bo ivoj, Solární soustavy - teorie a schémata (III). *TZB-info*. [Online] 22. Srpen 2005. [Citace: 20. Duben 2018.] <https://www.tzb-info.cz/2653-solarni-soustavy-teorie-a-schemata-iii>.
23. Solární systémy. Solární systémy na p ípravu teplé vody. *Solární systémy*. [Online] [Citace: 15. B ezen 2018.] <http://www.solarni-system.eu/cenik>.
24. ZILVAR, Ji í. Solární energie v R 2016. *Fotovoltaika*. [Online] 3. Duben 2016. [Citace: 20. Listopad 2017.] <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13992-solarni-energie-v-cr-2016>.
25. Enerfin plus s.r.o. Fotovoltaický oh ev vody. *Enerfin plus*. [Online] [Citace: 20. Duben 2018.] <http://www.enerfinplus.cz/fotovoltaicky-ohrev-vody.html>.
26. TERMS a.s. Polykrystalické panely. *Eshop TERMS a.s.* [Online] 2018. [Citace: 30. Duben 2018.] <http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/c68829/polykrystalicke-panely.html>.
27. SVP Solar s.r.o. Fotovoltaický oh íva LX ACDC/M+K ABC 200, set. *SVP Solar*. [Online] 2018. [Citace: 20. Duben 2018.] <https://www.solar-eshop.cz/p/fotovoltaicky-ohrivac-lx-acdc-m-k-abc-200-set/>.
28. Ministerstvo flivotního prost edí. Podmínky oblasti podpory C. *Nová Zelená Úsporám*. [Online] 2014. [Citace: 12. Kv ten 2018.] <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/podminky-oblasti-podpory-c-3-vyzva/>.
29. Topinfo. Vývoj celkových cen zemního plynu. *Kalkulátor cen energií*. [Online] 8. Duben 2018. [Citace: 8. Duben 2018.] <https://kalkulator.tzb-info.cz/cz/vyvoj-celkovych-cen-zemniho-plynu?op=7.56-15>.
30. Statista. U.S. and European natural gas price 1980-2030. *Statista*. [Online] Statista 2018, říjen 2017. [Citace: 26. Duben 2018.] <https://www.statista.com/statistics/252791/natural-gas-prices/>.
31. Comesa. Natural Gas Prices Forecast: Long Term 2017 to 2030 | Data and Charts . *Comsat Data Portal*. [Online] 6. Duben 2018. [Citace: 26. Duben 2018.] <http://comstat.comesa.int/ncszerf/natural-gas-prices-forecast-long-term-2017-to-2030-data-and-charts>.
32. Klikpoji-t ní. Poji-t ní solárních panel ů poji-t ní nemovitosti. *Klikpoji-t ní*. [Online] [Citace: Kv ten. 13 2018.] <https://www.klikpojisteni.cz/pojisteni-solarnich-panelu/>.
33. Spl ůjete podmínky dotace Zelená úsporám? *Solární experti*. [Online] 13. erven 2017. [Citace: 20. Listopad 2017.] <https://www.solarniexperti.cz/zakladni-pravidla-ziskani-dotace-nova-zelena-usporam/>.

Seznam použitých zkratek

AM	air mass
CF	cash flow
CIS	copper indium selenid
CS	crystalline silicon
NB	eská národní banka
R	eská republika
DC	stejnosp rný
EU	Evropská unie
FV	fotovoltaický
FVE	fotovoltaická elektrárna
MPPT	maximum power point tracker
NPV	net present value
OTE	operátor trhu
OZE	obnovitelný zdroj energie
RCF	retained cash flow
SK	solární kolektor
TK	termický kolektor
TUV	teplá ufitková voda
UV	ultraviolet
ZP	zemní plyn

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1.1: Energetická závislost R a EU (v %) (5).....	5
Obrázek 2.1: Spektrum slunečního záření (12)	8
Obrázek 3.1: Typický průběh dostupnosti záření během měsíce květen (13)	9
Obrázek 3.2: Znárodních průběh spotřeby a dostupnosti energie, data z (14; 8)	10
Obrázek 3.3: Roční dávky slunečního záření v Evropě (13).....	11
Obrázek 3.4: Roční dávky slunečního záření na vodorovnou plochu v R v MJ/(m ² .rok), převzato z HMÚ.....	12
Obrázek 3.5: Měsíční se podíl difuzního záření během roku na různých místech R v porovnání s jasně situovaným městem, data z (14)	13
Obrázek 3.6: Roční úhrny energie slunečního záření v závislosti na orientaci a sklonu plochy (17)....	14
Obrázek 4.1: Umístění vybraného rodinného domu (20).....	15
Obrázek 4.2: Dopadající množství slunečního záření na objekt při současném sklonu 45°, data z (14)	17
Obrázek 4.3: Dopadající globální záření v průběhu dne pro protichůdná období, data z (14).....	18
Obrázek 4.4: Současně energetické potřeby pro ohřev TUV proložené možnými energetickými zisky z 10 m ² , (14).....	18
Obrázek 5.1: Vliv sklonu kolektoru na energetické zisky z dopadajícího záření, data z (14).....	20
Obrázek 5.2: Sestava pro realizaci fototermického ohřevu vody, (18).....	21
Obrázek 5.3: Rozdíl mezi spotřebou teplé vody a její dostupností v průběhu dne.....	22
Obrázek 5.4: Srovnání energetických zisků jednotlivých variant, data z (12)	24
Obrázek 5.5: Reálná spotřeba v červnu, (14)	25
Obrázek 5.6: Vyrobená energie solárních kolektorů v průběhu říjnovosti	26
Obrázek 6.1: Technické řešení fotovoltaického ohřevu vody, (25).....	27
Obrázek 6.2: Porovnání energetických zisků pro tenkovrstvé a krystalické panely, data z (13).....	28
Obrázek 6.3: Teoretické energetické zisky jednotlivých variant, data z (14).....	30
Obrázek 6.4: Vyrobená energie fotovoltaických panelů v průběhu říjnovosti.....	31
Obrázek 8.1: Energetické přínosy analyzovaných sestav.....	37
Obrázek 9.1: Citlivostní analýza ceny zemního plynu.....	38
Obrázek 9.2: Citlivostní analýza diskontu.....	39
Obrázek 9.3: Citlivostní analýza výše dotace při stanoveném diskontu 3 %	39

Seznam použitých tabulek

Tabulka 4.1: Měsíční výdaje za spotřebu ZP pro ohřev TV.....	16
Tabulka 4.2: Očekávané dopadající množství energie na 1 m ² v průběhu roku při sklonu 45°, data z (14).....	17
Tabulka 5.1: Vybrané sestavy pro následné zhodnocení energetických zisků	22
Tabulka 5.2: Parametry vybraných kolektorů	23
Tabulka 5.3: Seznam komponent vybrané sestavy na klíč, (23).....	24
Tabulka 5.4: Ověření kapacity zásobníku	25
Tabulka 5.5: Energetické zisky z fototermického ohřevu, data z (14).....	26
Tabulka 6.1: Varianty pro fotovoltaický ohřev	29
Tabulka 6.2: Seznam komponent pro fotovoltaický ohřev, (27)	30
Tabulka 6.3: Energetické zisky z 1,65 kWp FVE, data z (14)	31
Tabulka 7.1: Podpora v oblasti solárních technologií, (28).....	32
Tabulka 7.2: Podmínky pro získání dotací pro solární termický systém, (21)	32
Tabulka 7.3: Podmínky pro získání dotací pro fotovoltaický systém, (28).....	33
Tabulka 8.1: Stručný pohled analyzovaných variant	37

Seznam příloh

Příloha 1	Cash flow nulové varianty
Příloha 2	Cash flow fototermického ohřevu
Příloha 3	Cash flow fotovoltaického ohřevu
Příloha 4	Rozmístění panelů

Příloha 1 – Cash flow nulové varianty

ZEMNÍ PLYN														
Rok	0	1	2	3	4	5	6	7						
Spotřeba ZP (kWh)	0	2 231	2 231	2 231	2 231	2 231	2 231	2 231						
Výdaje														
Investice zásobník (Kč)	12 000	0	0	0	0	0	0	0						
Spotřeba ZP (Kč)		2 181	2 181	2 181	2 247	2 314	2 383	2 455						
Spotřeba elektřiny (Kč)		386	393	401	409	417	426	434						
CF (Kč)	12 000	2 574	2 582	2 656	2 731	2 809	2 889	2 971						
DCF (Kč)	12 000	2 499	2 434	2 430	2 427	2 423	2 420	2 416						
KDCF (Kč)	12 000	14 499	16 933	19 364	21 790	24 214	26 633	29 049						
Rok	8	9	10	11	12	13	14	15						
Spotřeba ZP (kWh)	2 231	2 231	2 231	1 785	1 785	1 785	1 785	1 785						
Výdaje														
Investice zásobník (Kč)	0	0	0	0	0	0	0	0						
Spotřeba ZP (Kč)	2 529	2 604	2 682	2 210	2 277	2 345	2 415	2 488						
Spotřeba elektřiny (Kč)	443	452	461	376	384	391	399	407						
CF (Kč)	3 056	3 143	2 586	2 660	2 736	2 814	2 895	415						
DCF (Kč)	2 413	2 409	1 925	1 922	1 919	1 916	1 914	266						
KDCF (Kč)	31 462	33 871	35 795	37 717	39 636	41 553	43 466	43 733						

Příloha 2 – Cash flow fototermického ohřevu

FOTOTERMICKÝ OHŘEV													
Rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Výroba energie (kWh)	-	893,1	890,0	886,9	883,8	880,7	884,2	881,1	878,0	874,9	871,9	875,3	872,3
Spotřeba ZP (kWh)	-	1338,0	1341,1	1344,2	1347,3	1350,4	1346,9	1350,0	1353,1	1356,2	1359,2	909,5	912,6
Výdaje													
(Re)investice soustava (Kč)	68 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Servis,revize soustavy (Kč)	0	0	1 040	0	1 082	0	1 126	0	1 172	0	1 219	0	1 268
Spotřeba ZP (Kč)	0	1 304	1 307	1 310	1 352	1 396	1 434	1 480	1 528	1 578	1 629	1 123	1 160
Spotřeba elektriny (Kč)	0	386	393	401	409	417	426	434	443	452	461	376	384
Pojštění (Kč)	0	204	208	212	216	221	225	230	234	239	244	249	254
Příjmy													
Dotace (Kč)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CF (Kč)	68 000	1 893	2 948	1 923	3 060	2 034	3 211	2 144	3 377	2 268	3 552	1 747	3 066
DCF (Kč)	68 000	1 838	2 779	1 760	2 719	1 755	2 689	1 744	2 666	1 739	2 643	1 262	2 150
KDCF (Kč)	68 000	69 838	72 617	74 377	77 096	78 850	81 540	83 283	85 949	87 688	90 331	91 593	93 743
Rok	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Výroba energie (kWh)	869	866	863	867	864	861	858	855	858	855	852	849	846
Spotřeba ZP (kWh)	916	919	922	918	921	924	927	930	927	930	933	936	939
Výdaje													
(Re)investice soustava (Kč)	0	0	0	4 118	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Servis,revize soustavy (Kč)	0	1 319	0	1 373	0	1 428	0	1 486	0	1 546	0	1 608	0
Spotřeba ZP (Kč)	1 199	1 239	1 280	1 314	1 358	1 403	1 450	1 498	1 538	1 589	1 642	1 696	1 753
Spotřeba elektriny (Kč)	391	399	407	415	423	432	441	449	458	468	477	486	496
Pojštění (Kč)	259	264	269	275	280	286	291	297	303	309	315	322	328
Příjmy													
Dotace (Kč)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CF (Kč)	1 849	3 221	1 957	7 495	2 061	3 549	2 182	3 731	2 299	3 911	2 434	4 113	2 577
DCF (Kč)	1 259	2 130	1 256	4 670	1 247	2 085	1 244	2 066	1 236	2 041	1 233	2 023	1 231
KDCF (Kč)	95 002	97 132	98 388	103 058	104 306	106 390	107 634	109 700	110 936	112 977	114 210	116 234	117 464

Příloha 3 – Cash flow fotovoltaického ohřevu

FOTOVOLTAICKÝ OHŘEV											
Rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Výroba energie (kWh)	-	1368,3	1359,1	1350,0	1340,8	1331,6	1322,5	1313,3	1304,1	1295,0	1285,8
Spotřeba ZP (kWh)	-	862,8	871,9	881,1	890,3	899,4	908,6	917,8	927,0	936,1	945,3
Výdaje											
(Re)Investice soustava (Kč)	73 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Servis, revize soustavy (Kč)	12 000	0	0	1561	0	0	1656	0	0	1757	0
Výdaje ZP (Kč)	0	843	852	861	896	932	970	1 009	1 050	1 092	1 136
Spotřeba elektriny kotel (Kč)	-	154	157	160	164	167	170	174	177	181	184
Pojištění (Kč)	0	255	260	265	271	276	282	287	293	299	305
Příjmy											
Dotace (Kč)	0	-40000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CF (Kč)	85 500	-38 748	1 269	2 847	1 330	1 375	3 078	1 470	1 520	3 329	1 625
DCF (Kč)	85 500	-37 619	1 196	2 606	1 182	1 186	2 578	1 195	1 200	2 551	1 205
KDCF (Kč)	85 500	47 881	49 077	51 683	52 864	54 051	56 628	57 824	59 024	61 575	62 784
Rok		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Výroba energie (kWh)		1 277	1 267	1 258	1 249	1 240	1 231	1 222	1 212	1 203	1 194
Spotřeba ZP (kWh)		508	517	527	536	545	554	563	572	582	591
Výdaje											
(Re)Investice soustava (Kč)		0	0	0	0	0	15 101	0	0	0	0
Servis, revize soustavy (Kč)		0	1 865	0	0	1 979	0	0	2 100	0	0
Výdaje ZP (Kč)		629	660	691	725	759	795	832	871	912	954
Spotřeba elektriny kotel (Kč)		150	153	156	160	163	166	169	173	176	180
Pojištění (Kč)		311	317	323	330	336	343	350	357	364	371
Příjmy											
Dotace (Kč)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CF (Kč)		1 090	2 995	1 171	1 214	3 237	16 405	1 352	3 501	1 452	1 505
DCF (Kč)		788	2 101	798	803	2 078	10 223	818	2 057	828	833
KDCF (Kč)		63 572	65 672	66 470	67 272	69 350	79 573	80 391	82 448	83 276	84 109

Rok	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Výroba energie (kWh)	1 185	1 176	1 167	1 157	1 148	1 139	1 130	1 121	1 112	1 102
Spotřeba ZP (kWh)	600	609	618	627	637	646	655	664	673	682
Výdaje										
(Re)Investice soustava (Kč)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Servis, revize soustavy (Kč)	2 229	0	0	2 365	0	0	2 510	0	0	2 664
Výdaje ZP (Kč)	998	1 043	1 091	1 140	1 192	1 245	1 301	1 358	1 418	1 481
Spotřeba elektřiny kotel (Kč)	183	187	191	195	198	202	206	211	215	219
Pojištění (Kč)	379	386	394	402	410	418	427	435	444	453
Příjmy										
Dotace (Kč)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CF (Kč)	3 789	1 617	1 676	4 102	1 800	1 866	4 444	2 004	2 077	4 817
DCF (Kč)	2 037	844	849	2 018	860	865	2 001	876	881	1 984
KDCF (Kč)	86 146	86 990	87 839	89 857	90 717	91 582	93 583	94 459	95 340	97 325

Příloha 4 – Rozmístění panelů

