

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta Elektrotechnická

Elektrotechnika, energetika a management



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Nezávislá domácí dobíjecí stanice pro elektromobil

Vedoucí bakalářské práce: Vít Klein, Ph.D.

Autor bakalářské práce: Filip Krejčí

Praha 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Krejčí** Jméno: **Filip** Osobní číslo: **457019**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Nezávislá domácí dobíjecí stanice pro elektromobil

Název bakalářské práce anglicky:

An independent home recharging station for an electric car

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popis objektu pro projekt
- 2) Přehled technologií
- 3) Projektování
- 4) Ekonomické zhodnocení investice

Seznam doporučené literatury:

1. BARNES, Frank S. a Jonah G. LEVINE. Large energy storage systems handbook. Boca Raton, Fla.: CRC Press, c2011. ISBN 978-1-4200-8600-3.
2. LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Solární energie: fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. 2., dopl. vyd. V Praze: ČZU, 2006. ISBN 80-213-1488-5.
3. SYNEK, Miloslav. Manažerská ekonomika. 5., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3494-1.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Vít Klein, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **03.02.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: _____

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

Ing. Vít Klein, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen 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 studenta

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá alternativním stylem dobíjení elektromobilů v domácím prostředí. Jejím cílem je navrhnout domácí systém na fotovoltaické panely pro dobíjení elektromobilu a porovnání celkových nákladů s náklady na provoz spalovacího automobilu. Práce je rozdělena na několik částí. V první části je řešena problematika fotovoltaických panelů. V další části jsou sepsány vybrané komponenty pro fotovoltaický systém a jednotlivá vozidla vybrané pro porovnávání. Poslední část se zabývá ekonomickým zhodnocením jednotlivých variant.

Klíčová slova

elektromobil, nabíjecí stanice, fotovoltaický panel, akumulární systém, alternativní styl dopravy, ekonomické hodnocení

Abstract

This bachelor thesis deals with alternative style of charging an electric vehicle in home environment. Its goal is to design a home system on photovoltaic panels for charging an electric car and the cost of operating an automobile. The thesis is divided into several parts. In first part the problems of photovoltaic panels are solved. In next section the chosen parts for the photovoltaic system and individual vehicles selected for comparison are written. In the last part is an economic evaluation of individual variants.

Key words

electro mobile, charging station, photovoltaic module, accumulating systems, alternative traveling, economic evaluation

Prohlášení

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

V Praze dne 24.05.2019

Filip Krejčí

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Vítu Kleinovi, PhD. za odbornou pomoc při tvorbě práce a cenné rady při dokončování práce.

V Praze dne 24.05.2019

Filip Krejčí

Seznam použitých symbolů a zkratek

A	ampér
a.s.	akciová společnost
C	spotřeba elektromobilu
ČR	Česká republika
CU	roční úspora
DDS	domácí dobíjecí stanice
Ed	denní vyrobená energie
Em	měsíční vyrobená energie
eV	elektronvolt
FV	fotovoltaický
FVE	fotovoltaická elektrárna
IRR	vnitřní výnosové procento
J	joule
Kč	korun českých
Kg	kilogram
km	kilometr
ks	kus
kW	kilowatt
kWh	kilo watt hodina
kWp	kilo watt peak
l	litry
L	ujetá vzdálenost
Li-ion	lithium- iontové

m	metr
mm	milimetr
Mono	monokrystalický
MPPT	maximum power point tracking
MS	monokrystalický systém
MWh	mega watt hodina
Nm	nanometr
NPV	čistá současná hodnota
Polo	polykrystalický
ph	pohonné hmoty
PS	polykrystalický systém
Si	křemík
s.r.o.	společnost s ručením omezeným
V	volt
v.š.d.	výška, šířka, délka
VW	Volkswagen
W	watt
η	účinnost

Seznam obrázků

Obrázek 1 elektromagnetické spektrum slunečního záření	3
Obrázek 2 vysvětlení úhlu zenitu pro potřeby atmosférické masy	4
Obrázek 3 úhel deklinace	5
Obrázek 4 měsíční sluneční záření dopadající na povrch země	6
Obrázek 5 struktura vlastního polovodiče (Si)	7
Obrázek 6 struktura FV článku	8
Obrázek 7 druhy fotovoltaických článků	9
Obrázek 8 výnosy energie vzhledem k orientaci a natočení FV panelů pro ČR	10
Obrázek 9 tranzistorový střídač	11
Obrázek 10 pulzně šířková modulace 1 fáze	12
Obrázek 11 nosná konstrukce pro uchycení na rovnou střechu	13
Obrázek 12 princip Li-ion akumulátoru	15
Obrázek 13 řez synchronním motorem s permanentními magnety	20
Obrázek 14 letecký snímek objektu (Brtná, okres Pelhřimov)	26
Obrázek 16 grafická cash flow: varianta 1	48
Obrázek 17 grafická cash flow: varianta 2	49

Seznam tabulek

Tabulka 1 parametry jednotlivých druhů akumulčních článků.....	14
Tabulka 2 tabulka ujetých kilometrů elektromobilu.....	21
Tabulka 3 potřebná vyrobená energie pro provoz elektromobilu.....	22
Tabulka 4 technické údaje FV panelů	23
Tabulka 5 technické údaje solárního regulátoru	24
Tabulka 6 technické údaje bateriového uložení	24
Tabulka 7 ceník nosných konstrukcí pro FV panely	25
Tabulka 8 ceník spojovacího materiálu	25
Tabulka 9 tabulka předpokládaných výkonů FVE s monokrystalickými panely	29
Tabulka 10 předpokládané výkony FVE s polykrystalickými panely	30
Tabulka 11 náklady pro systém s monokrystalickými panely	32
Tabulka 12 náklady pro systém s polykrystalickými panely	32
Tabulka 13 tabulka ujetých kilometrů (denní).....	33
Tabulka 14 specifikace vybraných vozů, varianta 1	34
Tabulka 15 specifikace vybraných vozů, varianta 2	35
Tabulka 16 měsíční spotřebovaná energie elektromobilů	36
Tabulka 17 roční úspory FV systému pro vůz Volkswagen e-up!	38
Tabulka 18 roční úspory FV systému pro vůz BMW i3.....	39
Tabulka 19 roční náklady pro jednotlivé vozidla	40
Tabulka 20 cash flow: VW up!.....	40
Tabulka 21 cash flow: VW e-up! se stanicí s polykrystalickými panely.....	41
Tabulka 22 cash flow: VW e-up! se stanicí s monokrystalickými panely.....	42
Tabulka 23 cash flow: VW e-up! s nabíjením ze sítě.....	43
Tabulka 24 cash flow: Audi A1	44
Tabulka 25 cash flow: BMW i3 se stanicí s polykrystalickými panely.....	45
Tabulka 26 cash flow: BMW i3 se stanicí s monokrystalickými panely.....	46
Tabulka 27 cash flow: BMW i3 s nabíjením ze sítě	47
Tabulka 28 NPV jednotlivých variant	51

Obsah

0	Úvod.....	1
1	Přehled technologií	2
1.1	Slunce.....	2
1.1.1	Energie fotonu.....	2
1.1.2	Podmínky ovlivňující velikost dopadající energie na zemský povrch	4
1.2	Fotovoltaické články	7
1.2.1	Polovodič	7
1.2.2	Absorpce světla fotovoltaickým článkem.....	8
1.2.3	Typy článků	9
1.2.4	Podmínky ovlivňující výkon FV článku.....	10
1.3	Solární regulátory.....	11
1.3.1	Střídače napětí.....	11
1.4	Nosné konstrukce a kabeláž.....	13
1.5	Bateriové úložiště.....	14
1.5.1	Dělení elektrochemických akumulátorů	14
1.6	Elektromobilita.....	16
1.6.1	Dobíjecí stanice.....	16
1.6.2	Elektromobil	18
2	Projekt.....	21
2.1	Postup při projektování domácí dobíjecí stanice	21
2.1.1	Výpočet potřebné denní výroby energie.....	21
2.1.2	Výběr komponent pro FVE.....	22
2.2	Popis projektu.....	26
2.2.1	Využitelnost střechy pro FVE.....	27
2.2.2	Vnitřní prostory pro instalaci domácí dobíjecí stanice	28

2.2.3	Technické data FV systému	29
3	Ekonomické zhodnocení	31
3.1	Postup hodnocení projektu	31
3.1.1	Čistá současná hodnota	31
3.1.2	Doba návratnosti investice	31
3.2	Náklady pro výstavbu DDS	32
3.2.1	Náklady na systém s polykrystalickými panely	32
3.2.2	Náklady na systém s monokrystalickými panely	32
3.3	Vybrané elektromobily a automobily pro zkoumání	33
3.3.1	Varianta 1	34
3.3.2	Varianta 2	35
3.3.3	Propočet úspor FV systému	36
3.3.4	Varianta 1	40
3.3.5	Varianta 2	44
3.4	Celkové zhodnocení investic	48
3.4.1	Varianta 1	48
3.4.2	Varianta 2	49
4	Závěr	50
	Použitá Literatura	52
	Webové stránky	52
	Knihy	53
	Online knihy	53

0 Úvod

Jako téma své bakalářské práce jsem si zvolil návrh a zhodnocení domácí dobíjecí stanice pro elektromobil. Důvod výběru tohoto téma je, že elektromobilita začíná být významnou částí průmyslu a dopravy obecně.

Se zvyšujícím se počtem elektromobilů nastanou nové překážky pro ekologii provozu. Ekologičnost elektromobilu je přímo závislá na tom, z jakého zdroje elektrického proudu nabíjíme baterii elektromobilu. V České republice nemáme možnosti výstavby velkých elektráren na obnovitelné zdroje. Pokud by došlo k velkému nárůstu elektromobilů, nastal by nedostatek elektrické energie v naší rozvodné síti a další zdroje elektrické energie využívající fosilní paliva by musely být vystavěny nebo uvedeny do provozu.

Ve většině městech lze nalézt nějaké místo určené pro dobíjení elektromobilu, v mnohých případech i bezplatně. V obcích a na vesnicích ovšem tato možnost není a je nutnost dobíjet elektromobil z domácí zásuvky. Výstavbou lokálních dobíjecích stanic na fotovoltaické panely lze eliminovat nutnost spouštění nových velkých zdrojů elektrické energie.

Tato bakalářská práce se zabývá řešením domácí dobíjecí stanice pro konkrétní místo a osobu. V práci je popsáno několik variant a způsobů provedení této dobíjecí stanice a ekonomické porovnání s užíváním spalovacího automobilu.

1 Přehled technologií

1.1 Slunce

Slunce je jedna z miliard hvězd nacházejících se v naší galaxii a je složena z žhavých plynů, kterými jsou převážně hélium a vodík (asi 99 %). Další příměsové plyny jako například kyslík a dusík. Bez Slunce by jakákoliv forma života na naší planetě nebyla možná. Slunce je jediný zdroj energie, který má Země k dispozici. Přeměnou slunečního záření dopadajícího na povrch Země dochází ke vzniku všech druhů energií (větrná, chemická apod.).

Uvnitř Slunce neustále probíhá termonukleární reakce, při které se atomy vodíku přeměňují na atomy hélia. Během přeměny jsou vyzářeny vysoce energetické částice světla, fotony. Putují směrem od jádra Slunce k jeho povrchu. Postupně jsou opakovaně pohlcovány a znovu vyzařovány s nižší energií až do doby, než opustí plášť Slunce. Do vesmíru vstupují s až tisíckrát menší energií, než byla jejich energie v jádru. Zářivý výkon Slunce je $3 \cdot 10^{26}$ W. Avšak pouze zlomek této energie dopadne na zemský povrch. ^[1]

1.1.1 Energie fotonu

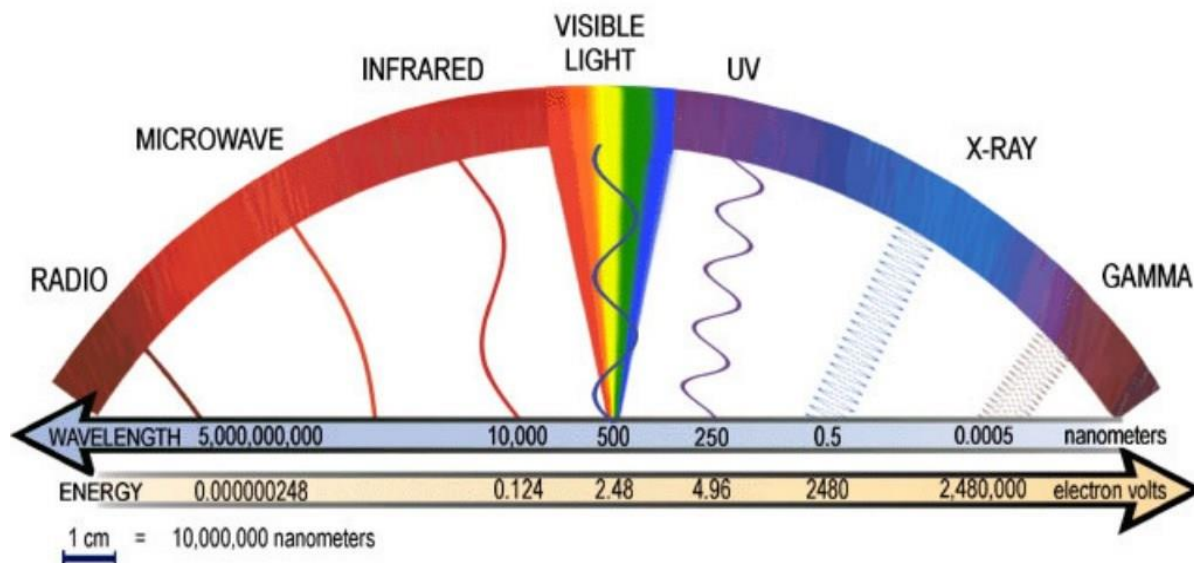
Sluneční záření dopadající na zem se skládá ze skupin kmitajících elektromagnetických částic (fotonů). Každá skupina fotonů kmitá s jinou frekvencí, rozdělujeme je podle vlnových délek do tzv. elektromagnetického spektra.

Existují 3 základní skupiny elektromagnetického spektra: Ultrafialové záření (< 380 nm), viditelné spektrum (380–780 nm) a záření infračervené (> 780 nm). Viditelné spektrum tvoří asi 50 % dopadajícího záření. Tento podíl velmi závisí na celkových atmosférických podmínkách ^[2].

Jednotlivé vlnové délky a jejich příslušná energie je znázorněna na Obrázku 1.

¹ KLECZEK, Josip. Slunce a jeho energie. *Tzbinfo* [online]. Astronomický ústav AV ČR, 2004 [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/teorie-obnovitelna-energie/1948-slunce-a-jeho-energie>

² MAJER, Dušan. Elektromagnetické spektrum. *Kosmonautix.cz* [online]. 2012 [cit. 2019-01-18]. Dostupné z: <http://www.kosmonautix.cz/2012/09/rentgenova-astronomie-1-dil/electromagnetic-radiation-electromagnetic-spectrum/>



Obrázek 1 elektromagnetické spektrum slunečního záření ^[3]

Energie fotonu je definovaná vztahem.

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (1)$$

energie fotonu (E [J]), vlnová délka (λ [m]), Planckova konstanta ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ J·s), rychlost světla ($c = 3 \cdot 10^8$ m·s⁻¹) ^[4].

Energie fotonu se zvyšuje s jeho klesající vlnovou délkou. V modrém světle (krátká vlnová délka) se nachází fotony s vysokou energií, kdežto červené světlo (dlouhá vlnová délka) tvoří fotony s nízkou energií.

Energie fotonu se pro potřebu elektrotechniky vyjadřuje v elektronvoltech (eV – energie potřebná pro pohyb 1 elektronu přes napětí 1 volt). Proto je třeba rovnici 1 převést na vhodné jednotky. Přepočební konstanta: $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19}$ J

$$h \cdot c = 6,623 \cdot 10^{38} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ J} \cdot \text{m} = 1,99 \cdot 10^{-25} \text{ J} \cdot \text{m}. \quad (2)$$

$$1,99 \cdot 10^{-25} \cdot \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-19}} \cdot 10^6 \text{ eV} \cdot \mu\text{m} = 1,24 \text{ eV} \cdot \mu\text{m} \quad (3)$$

³ MAJER, Dušan. Elektromagnetické spektrum. Kosmonautix.cz [online]. 2012 [cit. 2019-01-18]. Dostupné z: <http://www.kosmonautix.cz/2012/09/rentgenova-astronomie-1-dil/electromagnetic-radiation-electromagnetic-spectrum/>

⁴ Tamtéž

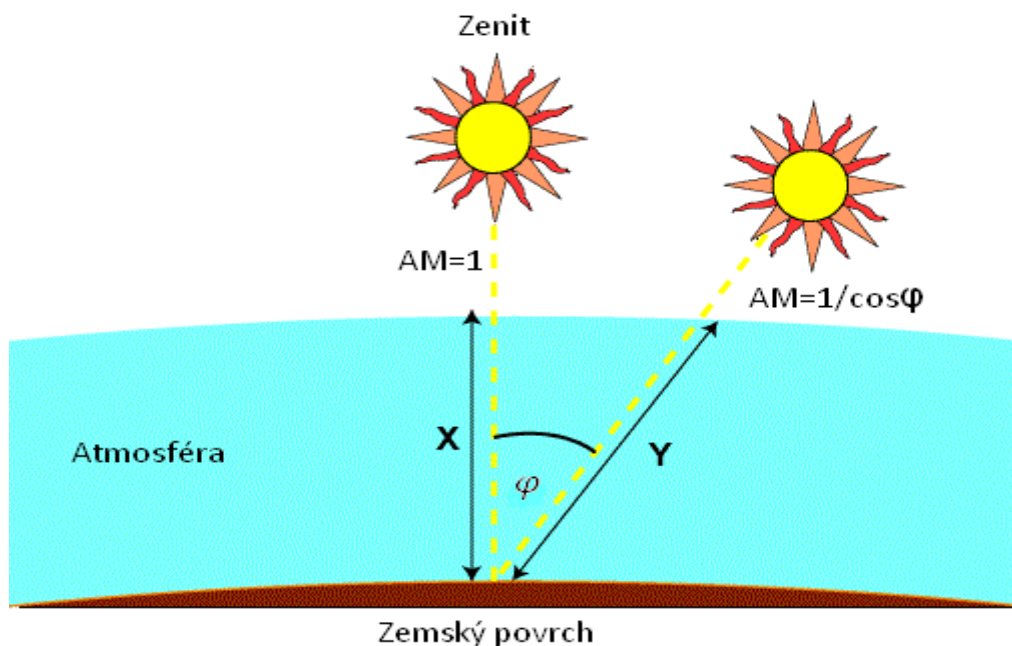
$$E(eV) = \frac{1,24}{\lambda(\mu\text{m})} \quad (4)$$

1.1.2 Podmínky ovlivňují velikost dopadající energie na zemský povrch

Průměrně na 1 m² zemské atmosféry dopadá záření o výkonu 1 367 W. Pouze část dopadá na povrch Země v podobě přímého a difuzního záření. Zbytek je pohlcen při průchodu atmosférou, čímž způsobí její ohřátí ^[5].

Velikost energie dopadající na zemský povrch závisí na několika podmínkách: koeficientu atmosférické masy (AM), ročním období.

Koeficient atmosférické masy vyjadřuje odchylku Slunce od zenitu, což je úhel mezi kolmicí vedenou od zemského povrchu a spojnici zemského povrchu se Sluncem (viz Obrázek 2).



Obrázek 2 úhel zenitu vzhledem k Zemi ^[6]

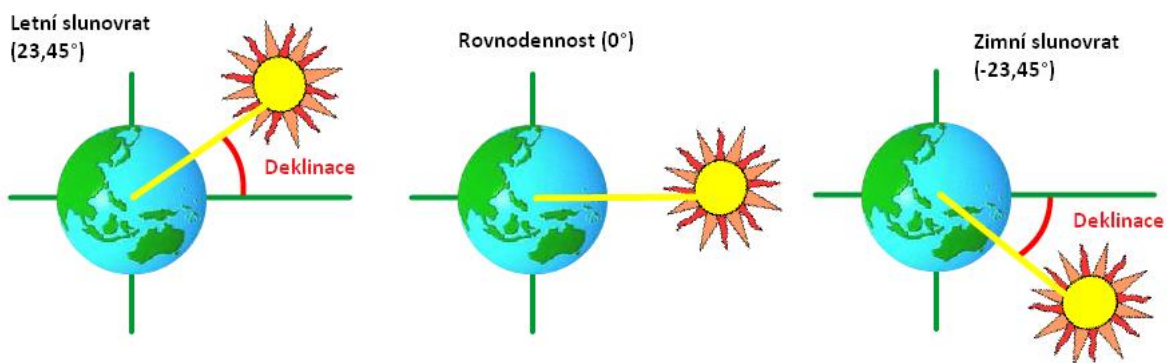
⁵ Elektromagnetické spektrum. PVEducation [online]. 2012 [cit. 2019-01-18]. Dostupné z: <http://pveducation.org/pvc/drom/properties-of-sunlight/air-mass>

⁶ Tamtéž

Pokud sluneční záření dopadá na povrch Země pod úhlem 90° , prostupuje tudíž nejmenší možnou tloušťkou atmosféry. Výkon záření je největší možný. Se zvyšující se odchylkou od pravého úhlu roste tloušťka atmosféry a dochází k většímu pohlcování sluneční energie. Nutností je tedy zavést tzv. koeficient atmosférické masy, který vyjadřuje podíl výšky atmosféry při dopadu pod úhlem φ (Y) a dopadu pod úhlem 90° (X) ^[7]. Toto je vyznačeno na obrázku 2.

$$AM = \frac{Y}{X} = \frac{1}{\cos\varphi} \quad (5)$$

Koeficient atmosférické masy není konstantní po celý rok. Způsobuje to vychýlení zemské osy. Zavádí se tzv. úhel deklinace, který vyjadřuje odchylku Slunce od kolmice vedené od osy otáčení Země. Odchylna se pohybuje v rozmezí $23,45^\circ$ až $-23,45^\circ$. Při rovnodennosti je rovna nule, při slunovratech rovna maximální či minimální hodnotě ^[8].



Obrázek 3 úhel deklinace Slunce ^[9]

Z obrázku je patrné že koeficient atmosférické masy je závislý na dni v roce, neboť se měří z jednoho bodu na zemi, jehož poloha vůči Slunci je během roku proměnná. Deklinaci lze vyjádřit podle vztahu:

$$\delta = -23,45^\circ \cdot \cos\left[\frac{360}{365} \cdot (d + 10)\right] \quad (6)$$

úhel deklinace (δ [°]), pořadové číslo dne v roce (d).

⁷ Tamtéž [5]

⁸ Declination Angle. PVEducation.org [online]. PVEducation, 2011 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/declination-angle>

⁹ Tamtéž

S koeficientem atmosférické masy také úzce souvisí podíl přímého a difuzního záření. Přímé záření je záření, které přímo prošlo atmosférou a dopadá na zemský povrch pod místem průchodu. Difúzní záření je naopak v atmosféře rozptýleno a zasažený zemský povrch je větší. Čím větší je podíl difuzního záření, tím menší výkon dopadá na zemský povrch ^[10].

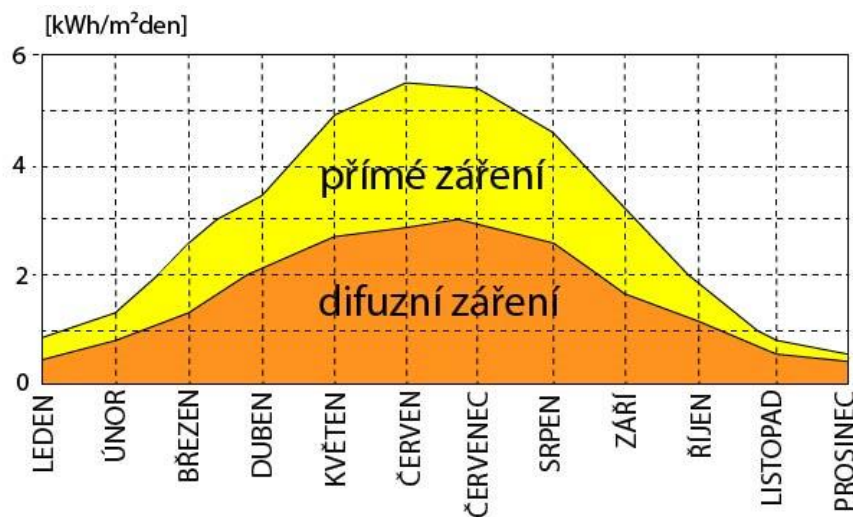
Závislost na ročním období

Jelikož se Země rotuje okolo Slunce v eliptické dráze, vzdálenost od Slunce je proměnná a závisí na konkrétním dni v roce. V zimě je Země vzdálena nejvíce, v létě naopak nejméně. Intenzitu dopadajícího záření lze vyjádřit podle vztahu:

$$H = H_{konst} \cdot \left\{ 1 + 0,033 \cos\left[\frac{360(d-2)}{365}\right] \right\} \quad (7)$$

intenzita dopadající na atmosféru (H [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]), solární konstanta ($H_{konst} = 1\,353 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), den v roce (d) ^[11].

V průběhu roku se mění jak intenzita dopadajícího záření, tak i jeho podíl difuzní složky. Přes zimní období je poměr difuzního záření největší a intenzita záření nejmenší, v letních obdobích je tomu právě naopak. Tento jev je znázorněn na Obrázku 4.



Obrázek 4 denní sluneční záření dopadající na povrch země ^[12]

¹⁰ Declination Angle. PVEducation.org [online]. PVEducation, 2011 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/declination-angle>

¹¹ CHMEL, Ladislav. Fotovoltaika, Fototermika [online]. Brno: publi.cz, 2016 [cit. 2019-01-31]. ISBN 978-80-88058-02-1. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/Cover.html>

¹² Tamtéž

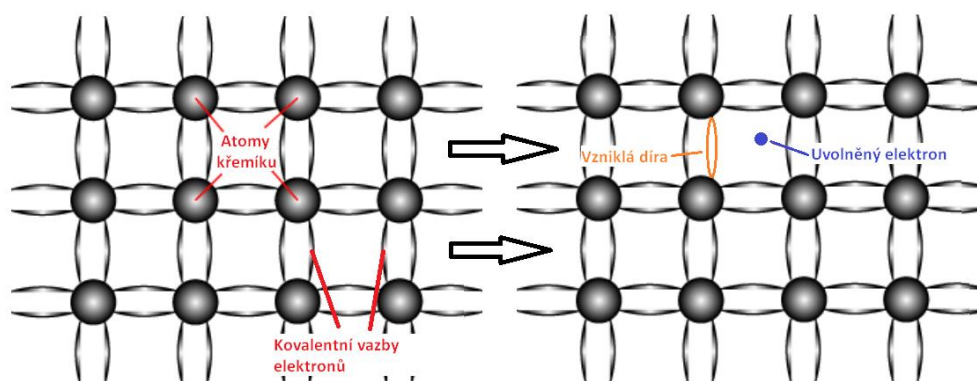
1.2 Fotovoltaické články

1.2.1 Polovodič

Polovodiče jsou materiály, které vedou elektrický proud pouze za určitých vnějších podmínek (teplota, osvětlení, tlak...) nebo při změně vnitřních podmínek, což jsou příměsi v materiálu. Nejčastěji používaným polovodičem je křemík (Si).

1.2.1.1 Vlastní vodivost materiálů

Čisté polovodičové prvky mají při teplotě absolutní nuly všechny valenční elektrony pevně umístěny v krystalické mřížce bez možnosti pohybu strukturou. Pokud tomuto prvku dodáme energii v podobě tepla, začnou se z kovalentní vazby uvolňovat elektrony a volně se pohybovat strukturou. Při tomto jevu vzniká v mřížce volné místo, které může zaujmout jiný volně se pohybující elektron. Tento jev se nazývá rekombinace. Volné místo po elektronu je označeno jako díra, při vlastní vodivosti vzniká díra vždy, když vznikne volný elektron ^[13].



Obrázek 5 struktura vlastního polovodiče (Si) ^[14]

1.2.1.2 Příměsová vodivost materiálů

Volné elektrony a díry lze v materiálu vytvořit i trvale za pomoci příměsí do materiálu. Pokud do křemíku budeme dotovat prvek s 5 valenčními elektrony (fosfor, arsen, antimon), vznikne polovodič typu N (donor). Kovalentní vazbu s křemíkovou strukturou mohou zaujmout pouze 4 elektrony. Pátý elektron zůstává pouze velmi malou silou vázán v atomu. Pro jeho uvolnění stačí minimální energie. Stává se volným a začíná se podílet na vedení elektrického proudu ^[15].

¹³ Semiconductor structure. PVEducation.org [online]. Honsberg [cit. 2019-01-18]. Dostupné z: <https://pveducation.org/pvc/drom/semiconductor-structure>

¹⁴ Tamtéž

¹⁵ Tamtéž

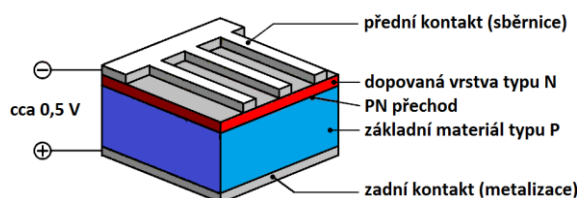
Pokud křemík bude dotován prvkem s 3 valenčními elektrony (bor, hliník, galium), vznikne polovodič typu P (akceptor). Pro vznik kovalentních vazeb s okolními atomy však nemá dostatek elektronů a vytvoří vazbu pouze se 3 atomy. Tím vznikne díra v místě vazby se 4 atomy. Do této díry jsou přitahovány okolní elektrony tak, aby se vazba zaplnila, čímž se snižuje potřebná energie k uvolnění elektronu z vazby.

U obou typů nevlastních polovodičů (typu P a N) se objevuje zároveň s příměsovou vodivostí i vodivost vlastní. Tento jev je způsoben teplotou, při které součástka pracuje. Čím větší bude teplota součástky, tím je vyšší podíl vlastní vodivosti. Vlastní vodivost tvoří pouze velmi malou část proudu.

1.2.2 Absorpce světla fotovoltaickým článkem

Při interakci fotonu s FV článkem dochází k několika druhům absorpce v závislosti na místě interakce a energii dopadajícího fotonu. Nízkoenergetické fotony jsou absorbovány krystalickou mřížkou a způsobují přeměnu veškeré energie na teplo. Vysokoenergetické fotony reagují dvěma způsoby v závislosti způsobu interakce. Při interakci s volnými elektrony dochází pouze k přeměně na teplo. Při kontaktu s vázanými elektrony se část energie fotonu předá elektronu, který tak získá dostatek energie k překonání vazebních sil. Vznikne pár elektron-díra a zbytková přebytečná energie je přeměněna na teplo ^[16].

Pokud foton s dostatečně velkou energií dopadne na dopovanou vrstvu typu N a článek je zároveň připojen k vnějšímu uzavřenému obvodu, dojde ke generaci volného elektronu. Vygenerovaný elektron prochází přes sběrnici do obvodu. Zde je jeho energie předána pro vykonání práce. Mezitím se vzniklá díra pohybuje směrem k zadnímu kontaktu přes polovodič typu P. Po průchodu obvodem se elektron vrátí zadním kontaktem do polovodiče typu P, kde rekombinuje s dírou. Tímto se obvod uzavře.



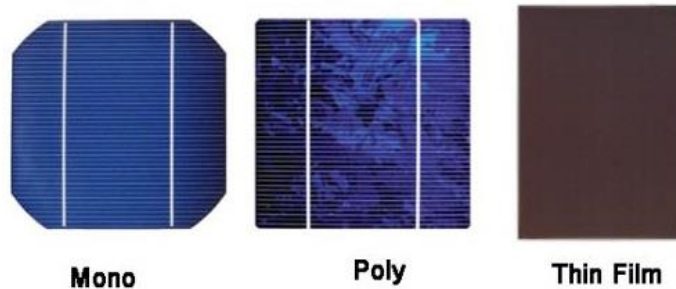
Obrázek 6 struktura FV článku ^[17]

¹⁶ Nejčastější pojmy ve fotovoltaice. Tzbinfo [online]. Bechník, 2014 [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice>

¹⁷ Tamtéž

1.2.3 Typy článků

Fotovoltaické články se dělí podle technologie výroby na 3 skupiny: monokrystalické, polykrystalické a amorfni.



Obrázek 7 druhy fotovoltaických článků ^[18]

Monokrystalické články jsou vyrobeny z jednoho taženého krystalu křemíku. Mají největší účinnost pohybující se okolo 16 %. Povrch článků je jednotvárný, bez skvrn. Při stárnutí monokrystalického článku nedochází k tak velkému poklesu výkonu jako u ostatních druhů a jejich závislost na pracovních podmínkách je vyšší ^[19].

Polykrystalické články mají účinnost pohybující se okolo 14 %. Oproti monokrystalickým článkům mají značně jednodušší a levnější výrobu. Není zde kladen důraz na jednotvárný krystal křemíku. Články jsou vyrobeny ze slisovaných úlomků krystalů. Výhodou oproti monokrystalickým článkům je rovnoměrnější výroba energie, nižší závislost na pracovních podmínkách a nižší cena ^[20].

Speciálním druhem panelů jsou amorfni (tenkovrstvé) panely, která mají odlišnou výrobu od krystalických. Vznikají postupným napařováním sloučenin prvků o požadovaných vlastnostech na podložku, kterou je nejčastěji sklo nebo fólie. Díky velmi tenkým vrstvám lze tuto technologii uplatnit i na pružné materiály. Jejich účinnost se pohybuje mezi 6-10 % v závislosti na použitých materiálech. Náročnost výroby, je mnohem nižší než u krystalických panelů. Panel je schopen pracovat i při nepříznivých pracovních podmínkách ^[21].

¹⁸ Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny. CNE [online]. Plzeň: Czech Nature Energy [cit. 2019-01-18]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>

¹⁹ Tamtéž

²⁰ Tamtéž

²¹ Tamtéž

1.2.4 Podmínky ovlivňující výkon FV článku

Nejzásadnější podmínka ovlivňující výkon FV článku je momentální úroveň osvětlení, která byla vysvětlena v části 1.1.2. Dalším velmi důležitým aspektem je úhel natočení mezi rovinou panelu a Sluncem a orientace panelu. Tyto údaje uvádí poměr přímého, difuzního a odraženého záření, které bude panel schopen pohltit. Pro ČR je nejvhodnějším úhlem natočení roviny panelu ku rovině Země asi 35°. Změna celkového výkonu vzhledem k natočení a orientaci je znázorněn na Obrázku 8 [22].



Obrázek 8 výnosy energie vzhledem k orientaci a natočení FV panelů pro ČR [23]

Nejvyšší podíl výroby energie vzniká při orientaci panelu na jižní stranu s odchylkou $\pm 15^\circ$. Tyto hodnoty jsou závislé na tom, jakou polohu na Zemi zaujímají. Liší se místo od místa [24].

²² Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů. TZBinfo [online]. Topinfo s.r.o, 2014 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>

²³ Tamtéž

²⁴ Tamtéž

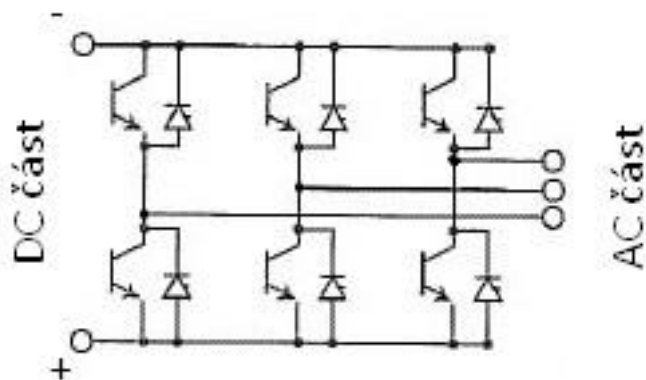
1.3 Solární regulátory

Solární regulátor je řídicím prvkem celého FV systému. Jeho funkcí je regulování toků výkonu mezi FV polem, akumulátorem, spotřebičem a rozvodnou sítí. Optimální podmínky pro akumulátor jsou zabránění přebíjení a hlubokého vybíjení, omezení nárazových nabíjecích a vybíjecích proudů, to vše zajišťuje regulátor. Hlavní parametry regulátorů jsou systémové napětí, maximální pracovní proud a princip regulace výkonu v systému.

Solární regulátor slouží jako ochrana celého systému. Zajišťuje komunikaci mezi čidly a senzory v systému. Vyhodnocuje jejich stav a predikuje případné systémové chyby (hluboké vybití baterie, poruchový stav na panelech, zkrat). Součástí regulátoru často bývá i střídač, který slouží k přeměně stejnosměrného proudu na proud střídavý o síťové frekvenci a napětí.

1.3.1 Střídače napětí

Střídače napětí jsou přístroje využívající plně řízených polovodičových součástek ke změně stejnosměrného proudu na proud střídavý. Pro fotovoltaické instalace se používají tranzistorové střídače s pulsně šířkovou modulací.

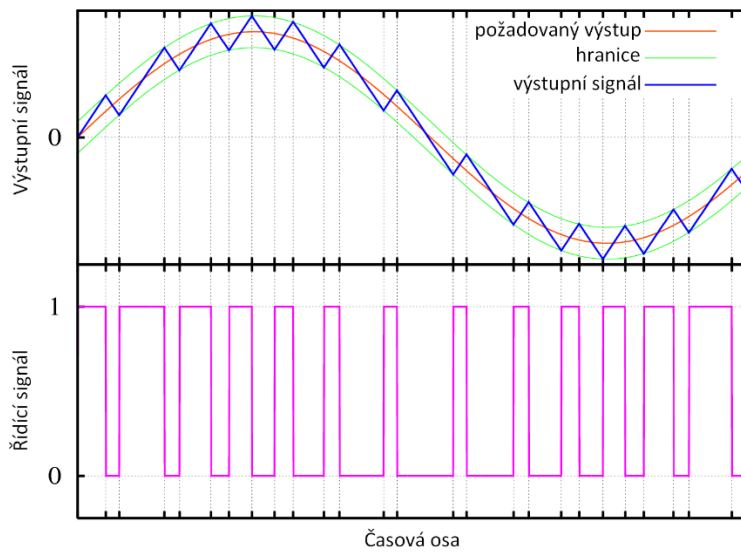


Obrázek 9 tranzistorový střídač ^[25]

Principiálně jde o 3 výstupní větve, jak je znázorněno na Obrázku 9. Každá větev má svou dvojici spínacích prvků, které jsou vysokofrekvenčně spínány v krátkých

²⁵ Princip - Frekvenční měnič s pulsně šířkovou modulací. Pohonnatechnika.cz [online]. 2007 [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/frekvencni-menice/princip-frekvencniho-menice/princip-pwm-menice>

impulzech. Impulzy jsou postupně měněny v závislosti na požadované frekvenci a amplitudě. Střídače jsou využívány k zajištění střídavého proudu ^[26].



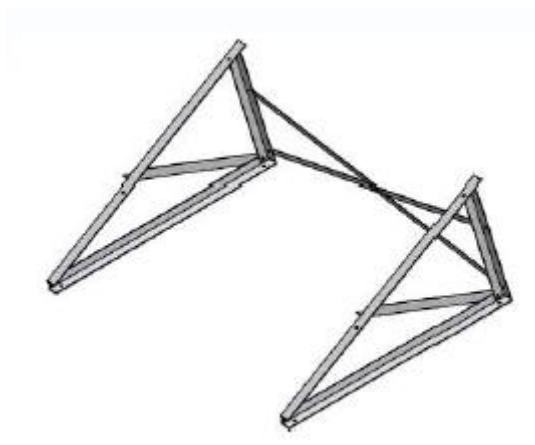
Obrázek 10 pulzně šířková modulace 1 fáze ^[27]

Střídače napětí ve fotovoltaice se dělí na střídače centrální, střídače řetězcové a střídače modulové. Centrální střídače jsou nejlevnější variantou. Jejich nevýhodou je horší řízení bodu maximálního výkonu. Řetězcové střídače jsou používány pro jednotlivé větve FV panelů. Výhodou je snazší řízení bodu maximálního výkonu. Modulové střídače nacházející se u jednotlivých panelů jsou nejlepší ale zároveň nejdražší variantou.

²⁶ Tamtéž

²⁷ Mylms [online]. Petr, 2016 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/zapojeni-a-zakladni-nastaveni-frekvencniho-menice/>

1.4 Nosné konstrukce a kabeláž



Obrázek 11 nosná konstrukce pro uchycení na rovnou střechu ^[28]

Nosné konstrukce FV panelů se dělí dle konstrukce na konstrukce pevné, konstrukce s nastavitelnou jednou osou a konstrukce s nastavitelnými dvěma osami. Pevné konstrukce se dále dělí na konstrukce pro zapaštění do země, konstrukce pro uchycení na střešní krytinu, konstrukce na plochou střechu a konstrukce pro úchyt na stěnu. Nevýhodou pevných konstrukcí je nižší zisk energie ze slunečního záření.

Nastavitelné nosné konstrukce se dělí dle nastavování na jednoosé a dvouosé. Při jednoosém nastavování se natáčí pouze po horizontálním směru a při dvouosém i ve směru vertikálním. Nastavitelné konstrukce mohou zvýšit zisk energie až o 30 %. Nevýhodou jsou celkové náklady na provoz a pořizovací cena ^[29].

Kabely pro fotovoltaiku jsou konstruovány s posílenou izolací. Musí být odolné proti UV záření a mechanickému namáhání, které může vzniknout při nepříznivých klimatických podmínkách.

Konektory musí být odolné proti UV záření a být rozebíratelné bez nutnosti použití nástrojů, kvůli výměnám poškozených panelů a jejich případné opravě.

²⁸ Sada trojúhelníků 35°. SVP Solar [online]. SVP Solar, 2011 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/sada-trojuhelniku-30/>

²⁹ Upevňovací konstrukce pro fotovoltaické panely. Tzbinfo [online]. Topinfo, 2009 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/5993-upevnovaci-konstrukce-pro-fotovoltaicke-panely>

1.5 Bateriové úložiště

Bateriové úložiště je soustava akumulátorů pospojovaná do velkého akumulátorového pole, jehož celková kapacita, vstupní a výstupní hodnoty jsou dány počtem akumulátoru a stylem jejich propojení (sériově, sérioparalelně).

1.5.1 Dělení elektrochemických akumulátorů

Existuje několik různých druhů elektrochemických akumulátorů, které se liší pouze použitým materiálem na výrobu elektrod a složením elektrolytu. Nejznámějším a nejvíce užívaným druhem je lithium-iontový (Li-ion) akumulátor. Má vyšší cenu, nejvyšší hustotu energie. Dalším druhem jsou olovené akumulátory, které jsou velmi levné a odolné vůči rázovým proudům. Posledními využívanými akumulátory jsou tzv. nikel-metal hydridové (NiMH) akumulátory ^[30].

Tabulka 1 parametry jednotlivých druhů akumuláčnických článků ^[31]

Typ akumulátoru	Hustota energie [Wh/L]	Nominální napětí [V]	Životnost [cykly]
Li-ion	400	3,7	1000
Olovený	70	2,1	300
NiMH	240	1,4	800

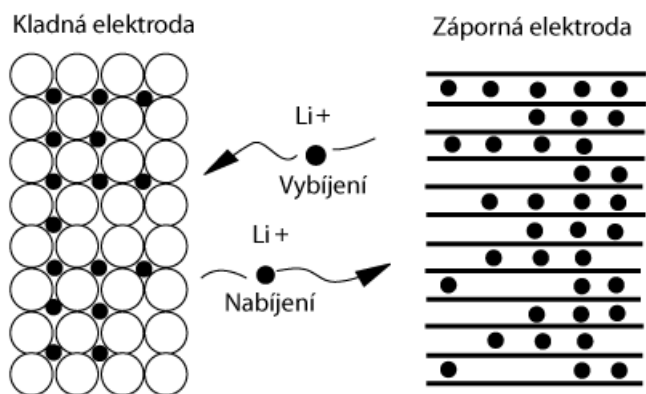
1.5.1.1 Lithium-iontové akumulátory

Elektrody jsou vyrobeny z uhlíku a oxidu kovů. Elektrolytem je lithiová sůl v rozpouštědle. Li-ion baterie jsou nejvhodnějším chemickým akumulátorem energie, i přes jeho vyšší cenu, a to hlavně díky velké účinnosti akumulace a hustotě energie, která dovoluje malé rozměry baterie pro přenosné zařízení a elektromobily. Jsou velmi citlivé na úplné vybití, při kterém dochází k poškození struktury a rychlejšímu stárnutí baterie. Pro ochranu proti úplnému vybití se baterie vybavují ochranným obvodem, který baterii odpojí při dosažení hraničního napětí a opět ji aktivuje po nabití ^[32].

³⁰ Lithiové akumulátory. Tzbinfo [online]. Topinfo, 2015 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://oze.tzbinfo.cz/akumulace-elekriny/13612-lithiove-akumulatory>

³¹ Tamtéž

³² Tamtéž



Obrázek 12 princip Li-ion akumulátoru ^[33]

Princip Li-ion akumulátoru je založen na vratné elektrochemické přeměně energie. Při nabíjení článku jsou hromaděny ionty elektrolytu na záporné elektrodě, dochází tak k rozdílu potenciálu na elektrodách. Při vybití jsou ionty nuceny migrovat k opačně nabitě elektrodě, čímž dochází ke vzniku elektrického proudu ^[34].

³³ Li-ion baterie: principy, provoz, rady (1.část). Cnews.cz [online]. cnews, 2011 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.cnews.cz/Li-ion-baterie-principy-provoz-rady-1-cast/>

³⁴ Tamtéž

1.6 Elektromobilita

Elektromobilita je v poslední době dynamicky se rozšiřující odvětví automobilismu. Nároky na „ekologicky“ čistý způsob dopravy vedou automobilový průmysl k elektrifikaci. Při provozování elektromobilů nevznikají žádné přímé emise CO₂ a při užití elektřiny z obnovitelných zdrojů se považuje provoz elektromobilu za „absolutně čistý“. Nevýhodou je velmi nízká dojezdová vzdálenost a malá hustota dobíjecích stanic. To komplikuje cestování na delší vzdálenosti ^[35].

1.6.1 Dobíjecí stanice

Elektromobil lze dobít různými způsoby. Nejčastěji je dobíjen z běžné domácí zásuvky nezávisle na počtu fází. Dobíjení přes domácí zásuvku je velmi pomalé z důvodu malého dostupného výkonu. Plné dobití baterie trvá několik hodin v závislosti na celkové kapacitě baterie vozu. Veřejné dobíjecí stanice jsou stavěny poblíž transformátorových a velkých čerpacích stanic. Rychlonabíjecí stanice je schopna dobít elektromobil výkonem až desítky kW. Dobíjecí dobu lze zkrátit na několik minut ^[36].

Nejdůležitějším parametrem veřejných dobíjecích stanic je jejich dobíjecí výkon. Tento údaj určuje čas, který je potřeba pro opětovné dobití baterie. Při zanedbání nabíjecí charakteristiky baterie lze nabíjecí čas odvodit z rovnice 8.

$$E = P \cdot t \tag{8}$$

energie (E [Wh]), výkon (P [W]), čas (t [h]).

A pokud si pod energií představíme kapacitu baterie a za příkon budeme považovat výkon nabíječky, tak po dodání známé účinnosti ukládání energie do baterie lze vypočítat přibližnou dobu nabíjení. Jelikož baterie nemají lineární nabíjecí charakteristiku, z rovnice dostáváme pouze přibližné hodnoty.

³⁵ Figenbaum, E., Assum, T., & Kolbenstvedt, M. (2015). Electromobility in Norway: Experiences and Opportunities. *Research in Transportation Economics*, 50, 29–38. doi:10.1016/j.retrec.2015.06.004

³⁶ Nabíjecí stanice pro elektromobily, druhy a použití. Hybrid.cz [online]. Chamanne, 2014 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nabijeci-stanice-pro-elektromobily-druhy-pouziti-jak-venaletet>

$$t = \frac{E}{P \cdot \eta} \quad (9)$$

čas (t [h]), kapacita baterie (E [Wh]), výkon nabíječky (P [W]), účinnost ukládání energie (η [-]).

Veřejné dobíjecí stanice se dělí dle typu napětí na AC dobíjecí stanice a DC dobíjecí stanice.

1.6.1.1 AC dobíjecí stanice

Jelikož baterie v elektromobilu je stejnosměrným zdrojem energie, pro potřeby nabíjení baterií se využívá nabíječka, která je výrobcem uložena uvnitř vozu. Pro připojení k této nabíjecí stanici se používá kabelová propojka zásuvky elektromobilu a nabíjecí stanice. V tomto případě je tedy využívána nabíječka jako funkční součást vozu. Nabíječku tvoří usměrňovač, který usměrňuje síťové napětí. Výstup z usměrňovače je připojen k baterii vozu. Tyto nabíječky slouží většinou k záložnímu nabíjení pouze v případech, kdy není možné automobil nabíjet přes stejnosměrné nabíječky. Tento způsob dobíjení je nejvyužívanější, ale také nejpomalejší. Omezení při AC nabíjení představuje počet fází, na které je nabíječka stavěna, a tedy i výkonově dimenzována.

Střídavé nabíječky mají nižší nabíjecí výkony (maximálně 22 kW/32 A), ale ne vždy mohou užít dimenzovaný výkon. Dobíjecí výkon je při použití tohoto typu dobíjení závislý pouze na výkonu palubní nabíječky uvnitř auta. Například auto s 11 kW palubní nabíječkou využije pouze 11 kW výkonu z dostupných 22 kW. Aby se v tomto případě mohl využít plný výkon dobíjecí stanice, musely by být součástí elektromobilu dvě palubní nabíječky o výkonu 11 kW. Rychlejší řešení nabíjení je DC nabíječka, která ovšem není tak dostupná jako AC nabíječka. ^[37]

1.6.1.2 DC dobíjecí stanice

DC dobíjecí stanice se skládá z usměrňovače střídavého napětí sítě. Usměrněný proud se dále modifikuje na výstupní výkon a proud, který je dodáván přes připojovací vodiče přímo do baterie automobilu. Při tomto dobíjení je vynechána palubní nabíječka automobilu. Maximální dobíjecí výkon není závislý na maximálním výkonu palubní nabíječky, a je teoreticky možné nabíjet nekonečně velkým výkonem. Ale pouze za předpokladu, že by to dovozovala proudová zatížitelnost připojovacích kabelů,

³⁷ Nabíjecí stanice pro elektromobily, druhy a použití. Hybrid.cz [online]. Chamanne, 2014 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nabijeci-stanice-pro-elektromobily-druhy-pouziti-jak-venaletet>

struktura baterie atd. DC nabíječky jsou vyráběny s výkonem od 22 kW výše. Jelikož DC stanice mají velmi vysoký příkon, nacházejí se většinou poblíž nějaké transformační stanice (rozvodny, obchodní centra atd.)^[38].

1.6.1.3 Problémy spojené s veřejnými dobíjecími stanicemi

V České republice je elektromobilita teprve v počátcích, tak není k dispozici dostatek ideálně rozmístěných dobíjecích stanic tak, aby se uživatelé elektromobilu mohli neomezeně pohybovat po celé České republice. Dobíjecí stanice jsou zatím rozmístěny pouze v okolí velkých měst a na některých čerpacích stanicích nebo poblíž areálů distributorů elektrické energie. To je hlavní aspekt, který velmi limituje možnost pohybu elektromobilu. Dalším problémem je i počet dobíjecích míst u dobíjecí stanice. Jelikož se elektromobil dobíjí i více než hodinu, v závislosti na použitém typu nabíjení, je počet dobíjecích míst velmi důležitým atributem. Udává počet elektromobilů, které je dobíjecí stanice schopna za hodinu obsloužit.

1.6.2 Elektromobil

Elektromobil je vozidlo využívající pro svůj pohon elektrický motor. Principiálně se konstrukcí podobá běžným automobilům. U elektromobilu není třeba převodovky, protože motor má plynulé regulování otáček při stejném točivém momentu. Odpadá nutnost palivových a sacích filtrů a složitých mechanismů pro převod přímočarého pohybu na točivý.

1.6.2.1 Výhody elektromobilu

Hlavní výhodou elektromobilu oproti spalovacím automobilům je to, že nejsou přímým zdrojem emisí, které vznikají při provozu spalovacích motorů. Jediným zdrojem emisí jsou elektrárny, které elektřinu pro elektromobil vyrábějí. Další neopomenutelnou výhodou je velmi nízká hlučnost motoru. Účinnost přeměny elektrické energie na mechanickou je velmi odlišná oproti spalovacím motorům. U spalovacího motoru se pohybujeme okolo 35 %. U elektromobilu dosahujeme účinnosti až 90 %. U elektromobilu je také možná rekuperace což znamená, že při brzdění z kopce nebo z vysoké rychlosti lze motor převést do generátorového režimu a energii, která by se normálně přeměnila na tepelnou v brzděném soustrojí, přeměňovat zpět na elektrickou a ukládat elektřinu zpět do baterie, což významně sníží opotřebení brzděného soustrojí

³⁸ Tamtéž [37]

a zvýší dojezd elektromobilu. Auto je ovládáno elektronicky. Umožňuje to sledování veškerých funkcí elektromobilu, jejich diagnostiku a případné snazší řešení poruch. Elektromobil je téměř bezúdržbový. Není v něm potřeba měnit olej, filtry a podobné věci jako u spalovacích motorů. Je pouze nutné doplnění vody do ostříkovačů a pravidelná kontrola stavu elektropříslušenství a baterií.

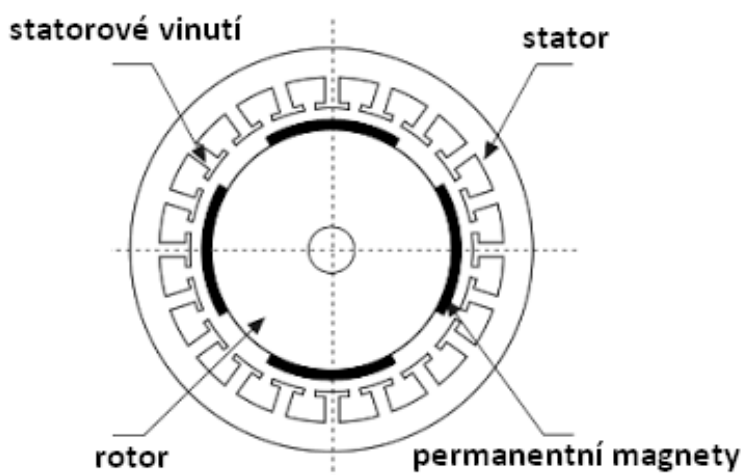
1.6.2.2 Nevýhody elektromobilu

Nejzásadnější nevýhodou elektromobilu je jednoznačně dojezd, baterie sice nyní zažívají velký technologický rozmach a jejich kapacita se stále zvyšuje, ale stále není k dispozici taková baterie, která by měla rozměry a váhu takovou, aby se dala použít pro elektromobil a zároveň mohla poskytnout energie pro stejný dojezd elektromobilu jako u průměrného spalovacího auta. Elektronika v autě musí být velmi kvalitní, a hlavně odolná proti mechanickým a chemickým vlivům což zvyšuje nároky a také cenu vozidel. Baterie v elektromobilu také rychle degraduje, pokud se o ní majitel nestará patřičným způsobem. Po skončení životního cyklu je nákladná likvidace automobilu kvůli baterii. V zimě se objevuje další velká nevýhoda elektromobilu, a to je vytápění auta, nevzniká zde totiž žádné odpadové teplo v motoru, je tedy nutno teplo vytvářet přímou přeměnou z elektrické energie, což zvyšuje spotřebu vozidla a zkracuje dojezd.

1.6.2.3 Princip elektromotoru

V elektromobilech se využívá střídavých synchronních motorů, kvůli jejich dobré zatěžovací charakteristice a frekvenční říditelností. Motor se stále točí synchronní rychlostí nezávisle na zátěžném momentu a pracuje s jistým skluzem δ , který je závislý na zátěžném momentu. Po překročení hodnoty $\delta_{\max} = \pi/2$ přestává být synchronní a není schopen dále bezpečně pracovat. Stator synchronního motoru je složen ze soustavy třífázových vinutí navzájem geometricky posunutých o 120° a rotor je tvořen permanentními magnety^[39].

³⁹ KRAJÁNEK, Vladimír. Návrh synchronního motoru s permanentními magnety pro pohon elektromobilu. Plzeň, 2016. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.



Obrázek 13 řez synchronním motorem s permanentními magnety ^[40]

Průchodem proudu cívkami statorových vinutí se vytvoří točivé elektromagnetické pole, které do sebe vtáhne permanentní magnet na rotoru. Tím se začne točit. Moment, kterým je rotor poháněný, je přímo závislý na úhlu mezi rotorovým a statorovým magnetickým polem ^[41].

1.6.2.4 Baterie

Baterie je nejdražší část elektromobilu a zároveň jedna z nejdůležitějších komponentů. Její kapacita, která je udávána v kWh, stanovuje maximální dojezd elektromobilu. Ten je nejvíce probíraným aspektem, co se elektromobilů týká. Převážně kvůli dojezdu je o elektromobilitu nízký zájem. Dojezd elektromobilu je spotřebiteli často srovnáván s dojezdy automobilů se spalovacími motory, i když oba druhy vozidel mají odlišný způsob praktického využití v provozu. V elektromobilech se využívá výhradně Li-ion baterií, které mají díky své hustotě kapacity kompaktní rozměry. Princip Li-ion baterií byl vysvětlen v kapitole 1.3.

⁴⁰ KRAJÁNEK, Vladimír. Návrh synchronního motoru s permanentními magnety pro pohon elektromobilu. Plzeň, 2016. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.

⁴¹ Tamtéž

2 Projekt

2.1 Postup při projektování domácí dobíjecí stanice

Pro návrh domácí dobíjecí stanice je nejdůležitějším aspektem potřebná denní energie pro dobíjení elektromobilu. Údaj se odvíjí hlavně od běžně ujeté vzdálenosti, například do práce nebo za koníčky. Nepočítá se s delšími trasami kvůli maximálnímu dojezdu elektromobilu. Dále je to velmi závislé na roční době, protože v zimě si musíme auto vytopit. Kvůli absenci odpadového tepla z motoru se musí teplo vyrábět přímo z baterie, tím se spotřeba o něco zvyšuje. V létě s klimatizací nastává obdobný problém. Jelikož budeme vyrobenou energii skladovat do velkokapacitních baterií, je potřeba mít kapacitu úložné baterie alespoň tak velkou, jako je kapacita baterie ve vozu.

Velmi důležitý je také výběr fotovoltaických panelů. Panely budou umístěny pouze na omezenou plochu střechy. Při umístění nízko účinných tenkovrstvých panelů bude denní vyrobená energie velmi nízká a bude tedy nutné brát velké množství energie pro dobíjení z distribuční sítě. Pokud zvolíme vysoce účinné monokrystalické panely, můžeme se dostat až do bodu, kdy potřebná energie ze sítě bude nulová. Tento stav je považován za ideální pro domácí dobíjecí stanice.

2.1.1 Výpočet potřebné denní výroby energie

Ke zjištění denní spotřeby energie elektromobilem je třeba znát průměrnou spotřebu energie elektromobilu a denní ujetou vzdálenost.

V našem případě uživatelka jezdí denně do práce vzdálené 16 km a jednou za dva dny do stáje vzdálené 20 km. Vzdálenost mezi prací a stájí je 10 km a o víkendu jezdí za přáteli do města vzdáleného 18 km.

Z těchto údajů nám vyplyne následující tabulka denních najetých kilometrů

Tabulka 2 tabulka ujetých kilometrů elektromobilu

Druh cesty	Pondělí	Úterý	Středa	Čtvrtek	Pátek	Sobota	Neděle
Práce [km]	16	16	16	16	16	-	-
Stáje [km]	10	-	10	-	10	-	20
Domů [km]	20	16	20	16	20	18+18	20
Celkem [km]	46	32	46	32	46	36	40

Rovnice pro potřebnou denní výrobu energii pro provoz elektromobilu:

$$\frac{E}{\eta} = C \cdot \frac{s}{100} \quad (10)$$

Potřebná energie (E [kWh]), účinnost FV systému (η), Spotřeba elektromobilu (C [kWh·100 km⁻¹]), ujetá vzdálenost (s [km]).

K výpočtu potřebné energie pro dobití elektromobilu použijeme rovnici 12. Po dosazení do rovnice 12 nám vyjde tabulka potřebné denní výroby energie pro provoz elektromobilu. Pro potřebu výpočtu jako průměrnou spotřebu energie použijeme hodnotu 0,15 kWh·km⁻¹. Ztráty v systému akumulací, přenosem a teplem jsou 10 % (účinnost 0,9). Pro započtení vlivu klimatizace (v letních měsících) a vytápění (v zimních měsících) budeme počítat se zvýšenou spotřebou o 20 %.

Tabulka 3 potřebná vyrobená energie pro provoz elektromobilu

	Pondělí	Úterý	Středa	Čtvrtek	Pátek	Sobota	Neděle
Ujetá vzdálenost [km]	46	32	46	32	46	36	40
Potřebná energie jaro/podzim [kWh]	7,7	5,4	7,7	5,4	7,7	6	6,6
Potřebná energie léto/zima [kWh]	9,2	6,5	9,2	6,2	9,2	7,2	7,9

Z vypočtených hodnot potřebné energie vyplývá, že systém budeme navrhovat tak, aby denní výroba energie v zimním období byla 8 kWh. Jelikož v zimě je výroba FV elektrárny nejnižší a spotřeba auta nejvyšší, v tomto období by veškerá vyrobená elektřina byla spotřebována na provoz elektromobilu. V letním období, kdy naopak je výroba FV elektrárny několikanásobně vyšší, se přebytečná energie spotřebovává na provoz budovy.

2.1.2 Výběr komponent pro FVE

2.1.2.1 Fotovoltaické panely

Důležitý je výběr druhu panelu. Porovnáme technické parametry monokrystalických FV panelů a polykrystalických panelů.

Tabulka 4 technické údaje FV panelů ^[42], ^[43]

Název panelu	Q.PEAK DUO-G5 330 Wp	Amerisolar 285 Wp
Typ panelu	Monokrystalický	Polykrystalický
Výkon	330 Wp	285 Wp
Jmenovité napětí	33,98 V	31,7 V
Jmenovitý proud	9,71 A	9 A
Účinnost	19,3 %	17,52 %
Rozměry (v, š, d)	1 685 mm, 1 000 mm, 32 mm	1 640 mm, 992 mm, 40 mm
Hmotnost	18,7 kg	18,5 kg
Cena	6 043 Kč	3 360 Kč

Porovnat ekonomický dopad zvoleného panelu v tuto chvíli je nemožné, protože se to bude odvíjet od celkové ušetřené energie a spotřebě elektromobilu. Lze však porovnat výtěžnost z jednotky plochy a cenu. Pro monokrystalický panel je výtěžnost z jednotky plochy $195,85 \text{ Wp}\cdot\text{m}^{-2}$ při ceně $18,31 \text{ Kč}\cdot\text{W}^{-1}$. Pro polykrystalický panel je výtěžnost z jednotky plochy $175,18 \text{ Wp}\cdot\text{m}^{-2}$ při ceně $11,79 \text{ Kč}\cdot\text{W}^{-1}$. Cena za výkon je u polykrystalického panelu asi o třetinu nižší než u monokrystalického panelu. Výtěžnost z plochy polykrystalického panelu je nižší pouze o desetinu. Z tohoto pohledu je výhodnější systém s polykrystalickými panely.

2.1.2.2 Solární regulátor

Solární regulátory se dělí na dva typy. Regulátor nabíjení a hybridní regulátor s vestavěným střídačem. Regulátor nabíjení řídící pouze toky proudů mezi baterií, FV systémem a spotřebiči. Hybridní regulátory s vestavěným střídačem napětí mohou transformovat stejnosměrný proud na proud střídavý, který lze použít pro potřebu dodávání energie do sítě nebo domácího rozvodu elektrické energie. Z hlediska jednodušší konstrukce, řešení a ceny využijeme hybridní regulátor s vestavěným střídačem.

⁴² FV panel Q.PEAK DUO-G5 330Wp. SVP Solar [online]. SVP Solar, 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/fv-panel-q-peak-duo-g5-330wp/>

⁴³ FV panel Amerisolar 325Wp. SVP Solar [online]. SVP Solar, 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/fv-panel-amerisolar-325wp/>

Tabulka 5 technické údaje solárního regulátoru ^[44]

Název regulátoru	Solax X3-Hybrid 10.0T
Napětí baterie	170-500 V
Maximální výkon FV pole	10 000 W
maximální napětí FV pole	1 000 V
Max. AC výstupní výkon	8 kW
Max. výstupní proud (AC)	12,8 A
Účinnost	97,8 %
Rozměry (v, š, d)	456 mm, 655 mm, 228 mm
Hmotnost	40 kg
Cena	84 746 Kč

2.1.2.3 Bateriové úložiště

Jako bateriové úložiště zvolíme vysokonapěťovou baterii od firmy Solax, která je kompatibilní s použitým regulátorem a umožňuje rozšíření kapacity.

Tabulka 6 technické údaje bateriového úložiště ^[45]

Název baterie	Triplepower 9kWh
Kapacita	9 kWh
Jmenovité napětí	201,6 V
Hloubka vybíjení	90 %
Počet cyklů	6 000
Hmotnost	120 kg
Rozměry (v, š, d)	693 mm, 464 mm, 193 mm
Cena	140 550 Kč

2.1.2.4 Nosné konstrukce a spojovací materiál

FV systém bude umístěn na šikmé taškové střeše. Panely budou umístěny na pevnou nosnou konstrukci bez upravení sklonu. Cena této konstrukce se odráží od počtu panelů, které lze na nosnou konstrukci umístit. Ceník nosných konstrukcí je v tabulce 7.

⁴⁴ SolarniStavebnice.cz [online]. SolarniStavebnice.cz, 2009 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.solarnistavebnice.cz/zbozi.jsp?f=d&n=Solax-X3-Hybrid-10.0T&gid=275&caid=33&scid=23>

⁴⁵ SolarniStavebnice.cz [online]. SolarniStavebnice.cz, 2009 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.solarnistavebnice.cz/zbozi.jsp?f=d&n=Lithiova-baterie-Triplepower-9.0kWh&gid=284&caid=34>

Tabulka 7 ceník nosných konstrukcí pro FV panely ^[46]

Počet panelů [ks]	Cena [Kč]
1	1 768
2	2 840
3	3 914
4	5 009
6	7 372
8	9 540

Balení nosných konstrukcí obsahuje úchytky pro Al profil do střešních tašek, Al profily pro montáž panelů a veškerý potřebný spojovací materiál a krytky. Balení je kompletní a není třeba žádných dalších doplňkových investic.

Ceník kabelů a příslušných konektorů pro spojení panelů je sepsán v tabulce 8.

Tabulka 8 ceník spojovacího materiálu ^[47]

Produkt	Cena [Kč·m ⁻¹], [Kč·ks ⁻¹]
Solární kabel	24
Konektor Multicontact	64
Zásuvka Multicontact	64

⁴⁶ Nosná konstrukce na šikmou taškovou střechu. SVP Solar [online]. SVP Solar, 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/nosna-konstrukce-na-sikmou-taskovou-strechu/#6360>

⁴⁷ Kabely, konektory. SVP Solar [online]. SVP Solar, 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/c/fotovoltaika-1/elektro-prislusenstvi/>

2.2 Popis projektu

Objekt pro projektování domácí samostatné dobíjecí stanice je dvoupatrový rodinný dům (novostavba) spojený se starou kolnou a dílnou. Dům je vytápěný tepelným čerpadlem a vybaven klimatizací. Je zde tedy možnost užití přebytečné energie tímto způsobem. V suterénu se nachází garáž a venku přístřešek pro stání vozidla. Jsou zde tedy dvě místa, kde je možné umístit přípojku k nabíjení elektromobilu. Z bezpečnostního hlediska bude umístěna v garáži. Objekt je situovaný v Brtné (Vysočina, okres Pelhřimov)



Obrázek 14 letecký snímek objektu (Brtná, okres Pelhřimov) ^[48]

Rodinný dům (1.), stodola (2.), dílna (3.).

⁴⁸ *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz, 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.2132729&y=49.5095702&z=19&base=ophoto&source=ward&id=785>

2.2.1 Využitelnost střechy pro FVE

Objekt má 3 vhodné možnosti pro umístění FV panelů a těmi jsou 3 střechy:

- Rodinného domu
- Stodoly
- Dílny

Střecha domu je situovaná na jihozápad a severovýchod. Komíny na střeše jsou nefunkční, protože vytápění je zde řešeno tepelným čerpadlem. Střecha stodoly je situovaná na jih, ale jelikož je ze severu značně zastíněna stromy a jedná se o starší budovu, nevyhovovala by pro velký počet panelů z hlediska pevnosti střechy.

Dílna má plochou střechu se sklonem pouze pár stupňů pro odtok vody. Dá se tedy považovat za plochou a počítat s případnou instalací panelů jako na rovinnou plochu. Jelikož je ale střecha velmi malá tak by byla vhodná pouze pro pár panelů.

2.2.1.1 Údaje využitelné plochy pro FVE na rodinném domě:

Rozměry: 12 200 mm x 5400 mm

Azimut: 60 °

Sklon střechy: 35 °

Zastínění: žádné

2.2.1.2 Údaje využitelné plochy pro FVE na stodole:

Rozměry: 8 300 mm x 5 200 mm

Azimut: -10 °

Sklon střechy: 40 °

Zastínění: ze severní části velkými stromy, ze západní části částečně zastíněna vedlejší budovou při nížce položeném slunci.

2.2.1.3 Údaje využitelné plochy pro FVE na dílně:

Rozměry: 3 500 mm x 3 600 mm

Zastínění: ze západní části vedlejší budovou, z východní části rodinným domem.

2.2.2 Vnitřní prostory pro instalaci domácí dobíjecí stanice

V budově jsou 2 patra a suterén. V suterénu se nachází několik místností, a to garážové stání pro jeden automobil, sklad nářadí a kotelna. Sklad nářadí je velmi prostorná a čistá místnost vhodná pro umístění akumulčního systému pro systém domácí dobíjecí stanice. Suterén je částečně pod zemí. Je zde velmi stálá teplota i v horkých letních dnech což je velmi příznivé pro životnost a funkčnost akumulčního systému. Přípojka pro elektromobil bude umístěna ve vedlejší garáži a propojení s regulačním systémem bude provedeno přes zeď. Rozvaděč je umístěný v prostoru schodiště v přízemním patře.

2.2.3 Technické data FV systému

Při rozměrech využitelné střechy na rodinném domě 12 200 mm x 5 400 mm a rozměrech zvolených panelů 1685 x 1000 mm, 1640 mm x 992 mm můžeme na střechu položit FV pole o velikosti 12x3 (36 panelů). Jmenovitý výkon pole na rodinném domu při použití monokrystalických panelů 11,88 kWp a při použití polykrystalických panelů bude jmenovitý výkon 10,26 kWp.

2.2.3.1 Specifika pole s monokrystalickými panely

Jmenovitý výkon pole: 11,88 kWp

Počet stringů: 9

Počet panelů na string: 4

Jmenovité napětí stringu: 135,92 V

Azimut: 60 °

Sklon střechy: 35 °

Ztráty v systému (tepelné, účinnost střídače, účinnost akumulace...): 14 %

Tabulka 9 tabulka předpokládaných výkonů FVE s monokrystalickými panely ^[49]

Měsíc	E _d (kWh)	E _m (kWh)
Leden	7,72	239
Únor	14,7	410
Březen	27,9	865
Duben	40	1200
Květen	41,6	1290
Červen	43,6	1310
Červenec	42	1300
Srpen	38	1180
Září	29,3	879
Říjen	20,4	631
Listopad	9,79	294
Prosinec	6,73	209

Celková roční energie: 9 807 kWh

⁴⁹ *Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps* [online]. Institute for Environment and Sustainability, 2009 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

2.2.3.2 Specifika pole s polykrystalickými panely

Jmenovitý výkon pole: 10,26 kWp

Počet stringů: 9

Počet panelů na string: 4

Jmenovité napětí stringu: 126,8 V

Azimut: 60 °

Sklon střechy: 35 °

Ztráty v systému (tepelné, účinnost střídače, účinnost akumulace...): 14 %

Tabulka 10 předpokládané výkony FVE s polykrystalickými panely ^[50]

Měsíc	E _d (kWh)	E _m (kWh)
Leden	6,67	207
Únor	12,7	354
Březen	24,1	747
Duben	34,5	1040
Květen	35,9	1110
Červen	37,6	1130
Červenec	36,3	1130
Srpen	32,8	1020
Září	25,3	759
Říjen	17,6	545
Listopad	8,46	254
Prosinec	5,81	180

Celková roční energie: 8 576 kWh

⁵⁰ *Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps* [online]. Institute for Environment and Sustainability, 2009 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

3 Ekonomické zhodnocení

3.1 Postup hodnocení projektu

Pro samotné zhodnocení projektu je nejprve potřeba si definovat ekonomické nástroje, kterými budeme projekt hodnotit, jako je třeba „Čistá současná hodnota“ a „reálná doba návratnosti“.

3.1.1 Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota (NPV) je ekonomický nástroj, který je používán jako hlavní kritérium při hodnocení výnosnosti projektů a investic. Je to nástroj, který hodnotí všechny peněžní toky v diskontovaném tvaru (časově proměnná hodnota peněz).

Vzorec pro NPV:

$$NPV = \sum \frac{CF}{(1+r)^n} \quad (11)$$

čistá současná hodnota (NPV [Kč]), Cash flow (CF [Kč]), úroková míra (i [-]), počet let od počátku projektu (n [-]).^[51]

3.1.2 Doba návratnosti investice

Nejzákladnějším nástrojem pro zjišťování doby návratnosti investice je prostá doba návratnosti, která nezohledňuje časovou změnu peněz, a proto se v praxi moc nepoužívá. Lze ji vypočítat jednoduchým následujícím vzorcem: $T_s = \frac{IN}{CF}$ (12)

T_s – prostá doba návratnosti, IN – investiční náklady, CF – Cash Flow (roční tok peněz)

Reálná doba návratnosti (diskontovaná) je doplňujícím kritériem pro hodnocení výnosnosti projektů a investic. Jelikož zohledňuje časovou proměnu hodnoty peněz je velmi užívaná v praxi jako doplňující kritérium o tom, kdy investovaný peněžní obnos začne „vydělat“. Vzorec pro reálnou dobu návratnosti je:

$$\sum_{t=1}^{T_{sd}} CF_t \cdot (1+r)^{-t} = IN \quad (13)$$

T_{sd} – reálná doba návratnosti, CF_t – cash flow za konkrétní rok „t“, r – diskontní sazba, IN – investiční náklady. ^[52]

⁵¹ Čistá současná hodnota (NPV - Net Present Value). ManagementMania.com [online]. Wilmington (DE) [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/cista-soucasna-hodnota>

3.2 Náklady pro výstavbu DDS

Oba systémy mají stejné komponenty pouze s rozdílem FV panelů. Sestavíme tedy pro každou variantu jednu tabulku komponent a spočteme celkovou cenu systému se kterou budeme dále počítat.

3.2.1 Náklady na systém s polykrystalickými panely

Tabulka 11 náklady pro systém s monokrystalickými panely

	cena [Kč·ks ⁻¹]	počet [ks]	celková cena [Kč]
FV panel Q.PEAK DUO-G5 330Wp	6 043	36	217 548
konektor Multicontact	64	40	2 560
zásuvka Multicontact	64	40	2 560
solární kabel	24	100	2 400
nosná konstrukce pro 6 panelů	7 372	6	44 232
baterie Triplepower 9kWh	140 550	1	140 550
regulátor Solax X3-Hybrid 10.0T	84 746	1	84 746
garážová přípojka	5 589	1	5 589
montážní práce	25 000	1	25 000
vyhotovení projektu	20 000	1	20 000
celková cena FV systému			545 185

3.2.2 Náklady na systém s monokrystalickými panely

Tabulka 12 náklady pro systém s polykrystalickými panely

	cena [Kč·ks ⁻¹]	počet [ks]	celková cena [Kč]
FV panel Amerisolar 325Wp	3 360	36	120 960
konektor Multicontact	64	40	2 560
zásuvka Multicontact	64	40	2 560
solární kabel	24	100	2 400
nosná konstrukce pro 6 panelů	7 372	6	44 232
baterie Triplepower 9kWh	140 550	1	140 550
regulátor Solax X3-Hybrid 10.0T	84 746	1	84 746
garážová přípojka	5 589	1	5 589
montážní práce	25 000	1	25 000
vyhotovení projektu	20 000	1	20 000
celková cena FV systému			448 597

⁵² Doba návratnosti (Payback Period). ManagementMania.com [online]. Wilmington (DE) [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/doba-navratnosti>

3.3 Vybrané elektromobily a automobily pro zkoumání

Pro zkoumání projektu jsem zvolil styl porovnání několika elektromobilů oproti jejich spalovacím ekvivalentům. Elektromobily budou vybrány od nejlevnějších možných variant až po dražší a komfortnější druhy elektromobilů. Jejich ekvivalenty budou vybrány, pokud možno jako automobily od stejné značky a se stejným výkonem motoru.

Jako první věc, která je třeba znát pro počítání je vůbec kolik kilometrů automobil/elektromobil najede za den potažmo týden a kolik energie na tuto cestu elektromobil spotřebuje. Pro tyto potřeby použijeme tabulku z kapitoly 2.1.1.

Tabulka 13 tabulka ujetých kilometrů (denní)

Druh cesty	Pondělí	Úterý	Středa	Čtvrtek	Pátek	Sobota	Neděle
Práce [km]	16	16	16	16	16	-	-
Stáje [km]	10	-	10	-	10	-	20
Domů [km]	20	16	20	16	20	18+18	20
Celkem [km]	46	32	46	32	46	36	40

Jelikož každý elektromobil má jinou spotřebu elektrické energie budeme přesnou spotřebu dopočítávat u každé varianty zvlášť. Přepočteme si ale hodnotu denních ujetých kilometrů na hodnotu měsíčního průměrného nájezdu jednoduchou rovnicí.

$$\frac{L_{po} + L_{út} + L_{st} + L_{čt} + L_{pá} + L_{so} + L_{ne}}{7} \cdot \frac{365}{12} = L_m \quad (14)$$

Ujetá vzdálenost v daný den (L_x [km]), průměrná měsíční ujetá vzdálenost (L_m [km])

Průměrnou měsíční ujetou vzdálenost dosadíme do vzorce pro průměrnou měsíční spotřebu:



$$Q_m = \frac{L_m \cdot Q}{100 \cdot \eta} = 12,01 \cdot Q \quad (15)$$

měsíční spotřeba paliva (Q_m [kWh; l], průměrná spotřeba paliva (Q [kWh·100 km⁻¹; l·100 km⁻¹], průměrná měsíční ujetá vzdálenost (L_m [km]), účinnost systému (η [-]).

3.3.1 Varianta 1

Jako nejlevnější variantu jsem vybral elektromobil Volkswagen e-up!, jelikož se jedná o malý a velmi dostupný elektromobil s nejnižší cenou na trhu při zachování všech potřebných systémů a doplňků. Zároveň má svůj benzínový protějšek, oproti kterému můžeme udělat porovnání výhodnosti a to Volkswagen up!. K oběma vozům lze přikoupit 5-letý servisní balíček za 15 500 Kč pro vůz VW e-Up! a pro vůz VW up! za cenu 21 000 Kč.

Tabulka 14 specifikace vybraných vozů, varianta 1 ^[53], ^[54]

Automobil	Volkswagen e-Up!	Volkswagen Up!
		
Typ pohonu	Synchronní elektromotor	Benzínový motor
Cena	639 900 Kč	326 458 Kč
Cena 5letého servisu	15 500 Kč	21 000 Kč
Kapacita baterie / nádrže	18,7 kWh	35 l
Spotřeba	11,7 kWh·100 km ⁻¹	4,2 l·100 km ⁻¹
Dojezd	160 km	800 km
Výkon motoru	60 kW	55 kW
Max. rychlost	130 km·h ⁻¹	172 km·h ⁻¹
Zrychlení (0 -> 100 km·s ⁻¹)	12,4 s	13,2 s
Hmotnost	1 214 kg	840 kg
Objem kufru	250 l	251 l



⁵³ Volkswagen Up 1.0 75hp BlueMotion Technology move up!. *Autonoto.cz* [online]. Autonoto, 2016 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://autonoto.cz/katalog/detail/volkswagen-up-1-0-75hp-bluemotion-technology-move-up>

⁵⁴ HORČÍK, Jan. Volkswagen e-Up! - cena, dojezd, specifikace. *Hybrid.cz* [online]. Chamanne, 2015 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/volkswagen-e-cena-dojezd-specifikace>

3.3.2 Varianta 2

Jako střední cestu jsem vybral elektromobil BMW i3, je to velmi rozšířený a oblíbený elektromobil po celé České republice. Navíc se prodává i ve verzi “Range extender“ což znamená verze s prodloužením dojezdu, a to až na dvojnásobnou hodnotu dojezdu. Není to však verze s větší kapacitou baterie. Je to verze, která má v sobě schovanou malou nádrž na palivo spojenou s diesel generátorem, který v průběhu jízdy dodává energii do baterie. Tím se ovšem popírá veškerý smysl elektromobilů, a tak zde budeme uvažovat klasickou verzi BMW i3. Bohužel obdobný automobil značka BMW nevyrobí tak jsem zvolil automobil od značky Audi s podobnými parametry jako BMW i3, a to Audi A1 Sportback.

Tabulka 15 specifiky vybraných vozů, varianta 2^[55], ^[56]

Automobil	BMW i3	Audi A1 Sportback
		
Typ pohonu	elektrický	Benzínový motor
Cena	1 049 100 Kč	552 900 Kč
Cena 5letého servisu	17 000 Kč	31 000 Kč
Kapacita baterie / nádrže	33,2 kWh	45 l
Spotřeba	13,1 kWh·100 km ⁻¹	5,8 l·100 km ⁻¹
Dojezd	240 km	750 km
Výkon motoru	125 kW	85 kW
Max. rychlost	150 km·s ⁻¹	200 km·s ⁻¹
Zrychlení (0 -> 100 km·s ⁻¹)	7,3 s	9,5 s
Hmotnost	1 320 kg	1 250 kg
Objem kufru	240 l	270 l

⁵⁵ BMW i3. *BMW.cz* [online]. BMW Česká republika 2018 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.bmw.cz/cs/all-models/bmw-i/i3/2017/technicke-udaje.html#tab-0>

⁵⁶ Audi A1 Sportback Technická data. *Audi.cz* [online]. Porsche Česká republika, 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.audi.cz/a1/a1-sportback/technicka-data>

3.3.3 Propočet úspor FV systému

Tabulka 16 měsíční spotřebovaná energie elektromobilů

měsíc [-]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ujetá vzdálenost	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201	1201
průměrná spotřeba VW e-up!	14,0	11,7	11,7	11,7	11,7	14,0	14,0	14,0	11,7	11,7	11,7	14,0
celková spotřeba VW e-up! [kWh]	186	155	155	155	155	186	186	186	155	155	155	186
průměrná spotřeba BMW i3	15,7	13,1	13,1	13,1	13,1	15,7	15,7	15,7	13,1	13,1	13,1	15,7
celková spotřeba BMW i3	208	173	173	173	173	208	208	208	173	173	173	208

Roční spotřebovaná elektrická energie VW e-up! (Q_{rVW}): 2 010 kWh

Roční spotřebovaná elektrická energie BMW i3 (Q_{rBMW}): 2 250 kWh

Životnost FV systému je 30 let. Životnost jednotlivých automobilů je 20 let. Baterie v elektromobilech se vymění po 10 letech užívání. Automobily v 10 roku projdou větší servisní opravou. Cena pneumatik je 1000 Kč a interval výměny pneumatik je 4 roky. Zimní pneumatiky se opotřebovávají pomaleji tak jejich interval výměny je 8 let. Hodnota diskontu investice je 5 %. Cena pohonných hmot (p_h) byla stanovena na 30 $kč \cdot l^{-1}$.

Cena elektrické energie bude přepočítávána tak aby odpovídala úspoře dle tarifu „D 27 d“ od společnosti E.ON z ceníku „komplet elektřina PRO 36 Říjen 2018“. Elektromobil se dobíjí ve většině případech v nočních hodinách. Elektrickou energii spotřebovanou elektromobilem budeme tedy počítat dle ceny nízkého tarifu. Cena elektrická energie pro potřeby budovy bude brána dle vysokého tarifu. Cena vysokého tarifu je 4 155,66 $Kč \cdot MWh^{-1}$ a cena nízkého tarifu 1 846,24 $Kč \cdot MWh^{-1}$.^[57]

Pro potřebu hodnocení investice je nutné zjistit kolik energie za rok bude z FV systému spotřebováno pro potřeby budovy. Hodnoty energií budou odlišné pro každou variantu použitých panelů a použitých elektromobilů. Výkon panelů se časem snižuje. Údaj snížení výkonu za rok je těžké odhadnout a bude stanoven na pokles 1 % za rok.

⁵⁷ Ceník Komplet elektřina 36 Říjen 2018 - distribuční území E.ON. In: *E.on* [online]. E.ON Energie, 2018 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/-a164699---rOXKqNEK/cenik-komplet-elektřina-36-rijen-2018-distribucni-uzemi-e-on-distribuce-2019-pdf>

Jednotlivé hodnoty vyrobené energie, spotřebované energie a energie dodané do budovy jsou zapsány v tabulce 17 pro variantu 1 a v tabulce 18 pro variantu 2.

Celková roční úspora je počítána podle rovnice

$$CU_x = (E_{rx} - Q_{rx}) \cdot 4,16 + Q_{rx} \cdot 1,85 \quad (16)$$

Roční úspora v daném roce (CU_x [Kč]), roční výroba elektrické energie v daném roce (E_{rx} [kWh]), roční spotřebovaná elektrická energie pro daný vůz (Q_{rx} [kWh]).

Tabulka 17 roční úspory FV systému pro vůz Volkswagen e-up!

rok	výroba PS	výroba MS	spotřeba VW e-up!	přebytek PS	přebytek MS	celková úspora PS	celková úspora MS
jednotky	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	Kč	Kč
1	8 576	9 807	2 010	6 566	7 797	30 997	36 113
2	8 490	9 709	2 010	6 480	7 699	30 641	35 705
3	8 405	9 612	2 010	6 395	7 602	30 288	35 302
4	8 321	9 516	2 010	6 311	7 506	29 938	34 902
5	8 238	9 421	2 010	6 228	7 411	29 593	34 507
6	8 156	9 326	2 010	6 146	7 316	29 250	34 115
7	8 074	9 233	2 010	6 064	7 223	28 911	33 728
8	7 993	9 141	2 010	5 983	7 131	28 576	33 344
9	7 913	9 049	2 010	5 903	7 039	28 244	32 964
10	7 834	8 959	2 010	5 824	6 949	27 915	32 588
11	7 756	8 869	2 010	5 746	6 859	27 589	32 216
12	7 678	8 781	2 010	5 668	6 771	27 267	31 847
13	7 602	8 693	2 010	5 592	6 683	26 948	31 482
14	7 526	8 606	2 010	5 516	6 596	26 632	31 121
15	7 450	8 520	2 010	5 440	6 510	26 319	30 763
16	7 376	8 435	2 010	5 366	6 425	26 010	30 409
17	7 302	8 350	2 010	5 292	6 340	25 703	30 059
18	7 229	8 267	2 010	5 219	6 257	25 400	29 712
19	7 157	8 184	2 010	5 147	6 174	25 099	29 368
20	7 085	8 102	2 010	5 075	6 092	24 802	29 028
21	7 014	8 021	0	7 014	8 021	29 149	33 333
22	6 944	7 941	0	6 944	7 941	28 858	33 000
23	6 875	7 862	0	6 875	7 862	28 569	32 670
24	6 806	7 783	0	6 806	7 783	28 284	32 343
25	6 738	7 705	0	6 738	7 705	28 001	32 020
26	6 671	7 628	0	6 671	7 628	27 721	31 700
27	6 604	7 552	0	6 604	7 552	27 444	31 383
28	6 538	7 476	0	6 538	7 476	27 169	31 069
29	6 472	7 402	0	6 472	7 402	26 897	30 758
30	6 408	7 328	0	6 408	7 328	26 628	30 451

Tabulka 18 roční úspory FV systému pro vůz BMW i3

rok	výroba PS	výroba MS	spotřeba BMW	přebytek PS	přebytek MS	celková úspora PS	celková úspora MS
jednotky	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	Kč	Kč
1	8 576	9 807	2 250	6 326	7 557	30 443	35 558
2	8 490	9 709	2 250	6 240	7 459	30 086	35 151
3	8 405	9 612	2 250	6 155	7 362	29 734	34 747
4	8 321	9 516	2 250	6 071	7 266	29 384	34 348
5	8 238	9 421	2 250	5 988	7 171	29 038	33 952
6	8 156	9 326	2 250	5 906	7 076	28 696	33 561
7	8 074	9 233	2 250	5 824	6 983	28 357	33 173
8	7 993	9 141	2 250	5 743	6 891	28 022	32 790
9	7 913	9 049	2 250	5 663	6 799	27 689	32 410
10	7 834	8 959	2 250	5 584	6 709	27 361	32 034
11	7 756	8 869	2 250	5 506	6 619	27 035	31 661
12	7 678	8 781	2 250	5 428	6 531	26 713	31 293
13	7 602	8 693	2 250	5 352	6 443	26 394	30 928
14	7 526	8 606	2 250	5 276	6 356	26 078	30 567
15	7 450	8 520	2 250	5 200	6 270	25 765	30 209
16	7 376	8 435	2 250	5 126	6 185	25 455	29 855
17	7 302	8 350	2 250	5 052	6 100	25 149	29 505
18	7 229	8 267	2 250	4 979	6 017	24 845	29 158
19	7 157	8 184	2 250	4 907	5 934	24 545	28 814
20	7 085	8 102	2 250	4 835	5 852	24 248	28 474
21	7 014	8 021	0	7 014	8 021	29 149	33 333
22	6 944	7 941	0	6 944	7 941	28 858	33 000
23	6 875	7 862	0	6 875	7 862	28 569	32 670
24	6 806	7 783	0	6 806	7 783	28 284	32 343
25	6 738	7 705	0	6 738	7 705	28 001	32 020
26	6 671	7 628	0	6 671	7 628	27 721	31 700
27	6 604	7 552	0	6 604	7 552	27 444	31 383
28	6 538	7 476	0	6 538	7 476	27 169	31 069
29	6 472	7 402	0	6 472	7 402	26 897	30 758
30	6 408	7 328	0	6 408	7 328	26 628	30 451

Tabulka 19 roční náklady pro jednotlivé vozidla

	jednotky	VW Up!	VW e-up!	Audi A1	BMW I3
pořizovací cena	Kč	326 458	639 900	552 900	1 049 100
předplacený servis	Kč	21 000	15 500	31 000	17 000
náklady na ph	Kč/rok	18 159	3 113	25 077	3 486
pneumatiky	Kč/ks	1 000	1 000	1 000	1 000
roční servis	Kč/rok	6 300	3 100	9 300	3 400
povinné ručení ^[58]	Kč/rok	2 966	2 922	3 995	3 123
10letá výměna	Kč	40 000	72 406	70 000	128 550

3.3.4 Varianta 1

3.3.4.1 Volkswagen up!

Tabulka 20 cash flow: VW up!

rok	Jednorázové Výdaje [Kč]	Palivo [Kč]	Servis [Kč]	Povinné Ručení [Kč]	Pneumatiky [Kč]	cash flow [Kč]
0	-326 458	0	-21 000	-2 966	0	-350 424
1	0	-18 159	0	-2 966	0	-21 125
2	0	-18 159	0	-2 966	0	-21 125
3	0	-18 159	0	-2 966	0	-21 125
4	0	-18 159	0	-2 966	-4 000	-25 125
5	0	-18 159	0	-2 966	0	-21 125
6	0	-18 159	-6 300	-2 966	0	-27 425
7	0	-18 159	-6 300	-2 966	0	-27 425
8	0	-18 159	-6 300	-2 966	-8 000	-35 425
9	0	-18 159	-6 300	-2 966	0	-27 425
10	-40 000	-18 159	-6 300	-2 966	0	-67 425
11	0	-18 159	-6 300	-2 966	0	-27 425
12	0	-18 159	-6 300	-2 966	-4 000	-31 425
13	0	-18 159	-6 300	-2 966	0	-27 425
14	0	-18 159	-6 300	-2 966	0	-27 425
15	0	-18 159	-6 300	-2 966	0	-27 425
16	0	-18 159	-6 300	-2 966	-8 000	-35 425
17	0	-18 159	-6 300	-2 966	0	-27 425
18	0	-18 159	-6 300	-2 966	0	-27 425
19	0	-18 159	-6 300	-2 966	0	-27 425
20	0	-18 159	-6 300	-2 966	0	-27 425
NPV						-704 079

⁵⁸ *Klik.cz* [online]. <https://www.klikpojisteni.cz/>, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.klikpojisteni.cz/>

3.3.4.2 Volkswagen e-up! Se stanicí s polykrystalickými panely

Tabulka 21 cash flow: VW e-up! se stanicí s polykrystalickými panely

rok	Jednorázové Výdaje [Kč]	Palivo [Kč]	Servis [Kč]	Povinné Ručení [Kč]	Pneumatiky [Kč]	cash flow [Kč]
0	-1 088 497	0	-15 500	-2 922	0	-1 106 919
1	0	30 997	0	-2 922	0	28 075
2	0	30 641	0	-2 922	0	27 719
3	0	30 288	0	-2 922	0	27 366
4	0	29 938	0	-2 922	-4 000	23 016
5	0	29 593	0	-2 922	0	26 671
6	0	29 250	-3 100	-2 922	0	23 228
7	0	28 911	-3 100	-2 922	0	22 889
8	0	28 576	-3 100	-2 922	-8 000	14 554
9	0	28 244	-3 100	-2 922	0	22 222
10	-212 956	27 915	-3 100	-2 922	0	-191 064
11	0	27 589	-3 100	-2 922	0	21 567
12	0	27 267	-3 100	-2 922	-4 000	17 245
13	0	26 948	-3 100	-2 922	0	20 926
14	0	26 632	-3 100	-2 922	0	20 610
15	0	26 319	-3 100	-2 922	0	20 297
16	0	26 010	-3 100	-2 922	-8 000	11 988
17	0	25 703	-3 100	-2 922	0	19 681
18	0	25 400	-3 100	-2 922	0	19 378
19	0	25 099	-3 100	-2 922	0	19 077
20	0	24 802	-3 100	-2 922	0	18 780
21	0	29 149	0	0	0	29 149
22	0	28 858	0	0	0	28 858
23	0	28 569	0	0	0	28 569
24	0	28 284	0	0	0	28 284
25	0	28 001	0	0	0	28 001
26	0	27 721	0	0	0	27 721
27	0	27 444	0	0	0	27 444
28	0	27 169	0	0	0	27 169
29	0	26 897	0	0	0	26 897
30	0	26 628	0	0	0	26 628
NPV						-879406

3.3.4.3 Volkswagen e-up! Se stanicí s monokrystalickými panely

Tabulka 22 cash flow: VW e-up! se stanicí s monokrystalickými panely

rok	Jednorázové Výdaje [Kč]	Palivo [Kč]	Servis [Kč]	Povinné Ručení [Kč]	Pneumatiky [Kč]	cash flow [Kč]
0	-1 185 085	0	-15 500	-2 922	0	-1 203 507
1	0	36 113	0	-2 922	0	33 191
2	0	35 705	0	-2 922	0	32 783
3	0	35 302	0	-2 922	0	32 380
4	0	34 902	0	-2 922	-4 000	27 980
5	0	34 507	0	-2 922	0	31 585
6	0	34 115	-3 100	-2 922	0	28 093
7	0	33 728	-3 100	-2 922	0	27 706
8	0	33 344	-3 100	-2 922	-8 000	19 322
9	0	32 964	-3 100	-2 922	0	26 942
10	-212 956	32 588	-3 100	-2 922	0	-186 390
11	0	32 216	-3 100	-2 922	0	26 194
12	0	31 847	-3 100	-2 922	-4 000	21 825
13	0	31 482	-3 100	-2 922	0	25 460
14	0	31 121	-3 100	-2 922	0	25 099
15	0	30 763	-3 100	-2 922	0	24 741
16	0	30 409	-3 100	-2 922	-8 000	16 387
17	0	30 059	-3 100	-2 922	0	24 037
18	0	29 712	-3 100	-2 922	0	23 690
19	0	29 368	-3 100	-2 922	0	23 346
20	0	29 028	-3 100	-2 922	0	23 006
21	0	33 333	0	0	0	33 333
22	0	33 000	0	0	0	33 000
23	0	32 670	0	0	0	32 670
24	0	32 343	0	0	0	32 343
25	0	32 020	0	0	0	32 020
26	0	31 700	0	0	0	31 700
27	0	31 383	0	0	0	31 383
28	0	31 069	0	0	0	31 069
29	0	30 758	0	0	0	30 758
30	0	30 451	0	0	0	30 451
NPV						-905326

3.3.4.4 Volkswagen e-up! (nabíjení ze sítě)

Tabulka 23 cash flow: VW e-up! s nabíjením ze sítě

rok	Jednorázové Výdaje [Kč]	Palivo [Kč]	Servis [Kč]	Povinné Ručení [Kč]	Pneumatiky [Kč]	cash flow [Kč]
0	-639900	0	-15500	-2922	0	-658322
1	0	-3113	0	-2922	0	-6035
2	0	-3113	0	-2922	0	-6035
3	0	-3113	0	-2922	0	-6035
4	0	-3113	0	-2922	-4000	-10035
5	0	-3113	0	-2922	0	-6035
6	0	-3113	-3100	-2922	0	-9135
7	0	-3113	-3100	-2922	0	-9135
8	0	-3113	-3100	-2922	-8000	-17135
9	0	-3113	-3100	-2922	0	-9135
10	-72406	-3113	-3100	-2922	0	-81541
11	0	-3113	-3100	-2922	0	-9135
12	0	-3113	-3100	-2922	-4000	-13135
13	0	-3113	-3100	-2922	0	-9135
14	0	-3113	-3100	-2922	0	-9135
15	0	-3113	-3100	-2922	0	-9135
16	0	-3113	-3100	-2922	-8000	-17135
17	0	-3113	-3100	-2922	0	-9135
18	0	-3113	-3100	-2922	0	-9135
19	0	-3113	-3100	-2922	0	-9135
20	0	-3113	-3100	-2922	0	-9135
NPV						-817792

3.3.5 Varianta 2

3.3.5.1 Audi A1

Tabulka 24 cash flow: Audi A1

rok	Jednorázové Výdaje [Kč]	Palivo [Kč]	Servis [Kč]	Povinné Ručení [Kč]	Pneumatiky [Kč]	cash flow [Kč]
0	-552 900	0	-31 000	-3 995	0	-587 895
1	0	-25 077	0	-3 995	0	-29 072
2	0	-25 077	0	-3 995	0	-29 072
3	0	-25 077	0	-3 995	0	-29 072
4	0	-25 077	0	-3 995	-4 000	-33 072
5	0	-25 077	0	-3 995	0	-29 072
6	0	-25 077	-9 300	-3 995	0	-38 372
7	0	-25 077	-9 300	-3 995	0	-38 372
8	0	-25 077	-9 300	-3 995	-8 000	-46 372
9	0	-25 077	-9 300	-3 995	0	-38 372
10	-70 000	-25 077	-9 300	-3 995	0	-108 372
11	0	-25 077	-9 300	-3 995	0	-38 372
12	0	-25 077	-9 300	-3 995	-4 000	-42 372
13	0	-25 077	-9 300	-3 995	0	-38 372
14	0	-25 077	-9 300	-3 995	0	-38 372
15	0	-25 077	-9 300	-3 995	0	-38 372
16	0	-25 077	-9 300	-3 995	-8 000	-46 372
17	0	-25 077	-9 300	-3 995	0	-38 372
18	0	-25 077	-9 300	-3 995	0	-38 372
19	0	-25 077	-9 300	-3 995	0	-38 372
20	0	-25 077	-9 300	-3 995	0	-38 372
NPV						-1 083 402

3.3.5.2 BMW i3 se stanicí s polykrystalickými panely

Tabulka 25 cash flow: BMW i3 se stanicí s polykrystalickými panely

rok	Jednorázové Výdaje [Kč]	Palivo [Kč]	Servis [Kč]	Povinné Ručení [Kč]	Pneumatiky [Kč]	cash flow [Kč]
0	-1 497 697	0	-17 000	-2 966	0	-1 517 663
1	0	30 443	0	-2 966	0	27 477
2	0	30 086	0	-2 966	0	27 120
3	0	29 734	0	-2 966	0	26 768
4	0	29 384	0	-2 966	-4 000	22 418
5	0	29 038	0	-2 966	0	26 072
6	0	28 696	-3 400	-2 966	0	22 330
7	0	28 357	-3 400	-2 966	0	21 991
8	0	28 022	-3 400	-2 966	-8 000	13 656
9	0	27 689	-3 400	-2 966	0	21 323
10	-269 100	27 361	-3 400	-2 966	0	-248 106
11	0	27 035	-3 400	-2 966	0	20 669
12	0	26 713	-3 400	-2 966	-4 000	16 347
13	0	26 394	-3 400	-2 966	0	20 028
14	0	26 078	-3 400	-2 966	0	19 712
15	0	25 765	-3 400	-2 966	0	19 399
16	0	25 455	-3 400	-2 966	-8 000	11 089
17	0	25 149	-3 400	-2 966	0	18 783
18	0	24 845	-3 400	-2 966	0	18 479
19	0	24 545	-3 400	-2 966	0	18 179
20	0	24 248	-3 400	-2 966	0	17 882
21	0	29 149	0	0	0	29 149
22	0	28 858	0	0	0	28 858
23	0	28 569	0	0	0	28 569
24	0	28 284	0	0	0	28 284
25	0	28 001	0	0	0	28 001
26	0	27 721	0	0	0	27 721
27	0	27 444	0	0	0	27 444
28	0	27 169	0	0	0	27 169
29	0	26 897	0	0	0	26 897
30	0	26 628	0	0	0	26 628
NPV						-1334513

3.3.5.3 BMW i3 se stanicí s monokrystalickými panely

Tabulka 26 cash flow: BMW i3 se stanicí s monokrystalickými panely

rok	Jednorázové Výdaje [Kč]	Palivo [Kč]	Servis [Kč]	Povinné Ručení [Kč]	Pneumatiky [Kč]	cash flow [Kč]
0	-1 594 285	0	-17 000	-2 966	0	-1 614 251
1	0	35 558	0	-2 966	0	32 592
2	0	35 151	0	-2 966	0	32 185
3	0	34 747	0	-2 966	0	31 781
4	0	34 348	0	-2 966	-4 000	27 382
5	0	33 952	0	-2 966	0	30 986
6	0	33 561	-3 400	-2 966	0	27 195
7	0	33 173	-3 400	-2 966	0	26 807
8	0	32 790	-3 400	-2 966	-8 000	18 424
9	0	32 410	-3 400	-2 966	0	26 044
10	-269 100	32 034	-3 400	-2 966	0	-243 433
11	0	31 661	-3 400	-2 966	0	25 295
12	0	31 293	-3 400	-2 966	-4 000	20 927
13	0	30 928	-3 400	-2 966	0	24 562
14	0	30 567	-3 400	-2 966	0	24 201
15	0	30 209	-3 400	-2 966	0	23 843
16	0	29 855	-3 400	-2 966	-8 000	15 489
17	0	29 505	-3 400	-2 966	0	23 139
18	0	29 158	-3 400	-2 966	0	22 792
19	0	28 814	-3 400	-2 966	0	22 448
20	0	28 474	-3 400	-2 966	0	22 108
21	0	33 333	0	0	0	33 333
22	0	33 000	0	0	0	33 000
23	0	32 670	0	0	0	32 670
24	0	32 343	0	0	0	32 343
25	0	32 020	0	0	0	32 020
26	0	31 700	0	0	0	31 700
27	0	31 383	0	0	0	31 383
28	0	31 069	0	0	0	31 069
29	0	30 758	0	0	0	30 758
30	0	30 451	0	0	0	30 451
NPV						-1360433

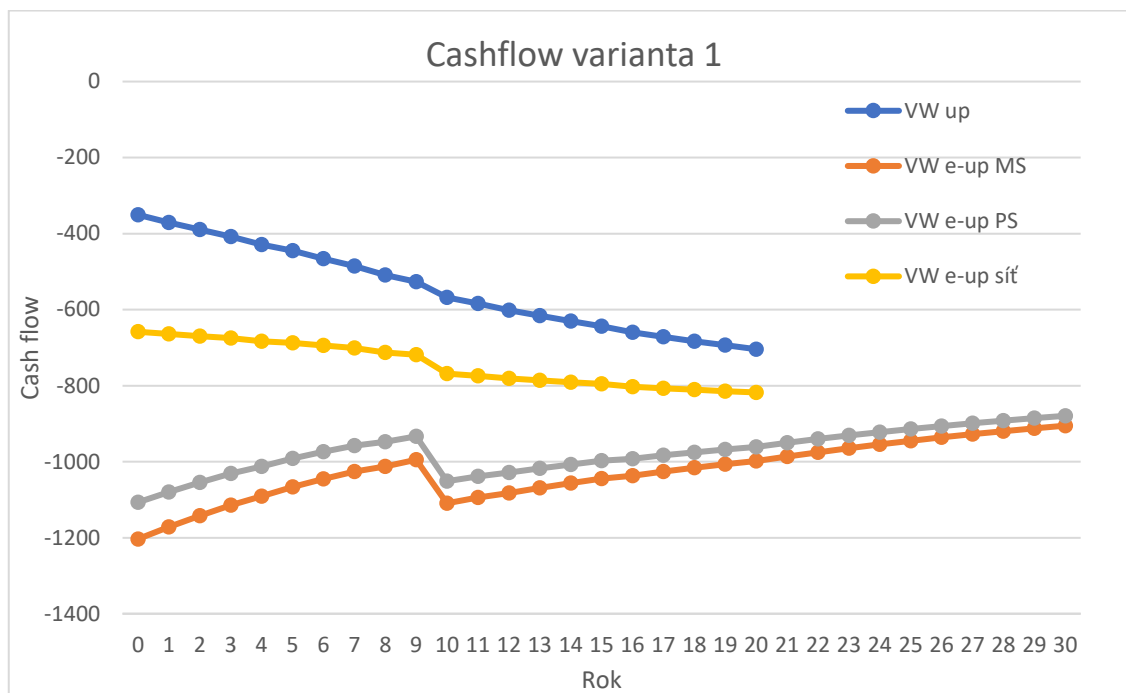
3.3.5.4 BMW i3 (nabíjení ze sítě)

Tabulka 27 cash flow: BMW i3 s nabíjením ze sítě

rok	Jednorázové Výdaje [Kč]	Palivo [Kč]	Servis [Kč]	Povinné Ručení [Kč]	Pneumatiky [Kč]	cash flow [Kč]
0	-1049100	0	-17000	-2966	0	-1069066
1	0	-3486	0	-2966	0	-6452
2	0	-3486	0	-2966	0	-6452
3	0	-3486	0	-2966	0	-6452
4	0	-3486	0	-2966	-4000	-10452
5	0	-3486	0	-2966	0	-6452
6	0	-3486	-3400	-2966	0	-9852
7	0	-3486	-3400	-2966	0	-9852
8	0	-3486	-3400	-2966	-8000	-17852
9	0	-3486	-3400	-2966	0	-9852
10	-128550	-3486	-3400	-2966	0	-138402
11	0	-3486	-3400	-2966	0	-9852
12	0	-3486	-3400	-2966	-4000	-13852
13	0	-3486	-3400	-2966	0	-9852
14	0	-3486	-3400	-2966	0	-9852
15	0	-3486	-3400	-2966	0	-9852
16	0	-3486	-3400	-2966	-8000	-17852
17	0	-3486	-3400	-2966	0	-9852
18	0	-3486	-3400	-2966	0	-9852
19	0	-3486	-3400	-2966	0	-9852
20	0	-3486	-3400	-2966	0	-9852
NPV						-1270640

3.4 Porovnání investic

3.4.1 Varianta 1

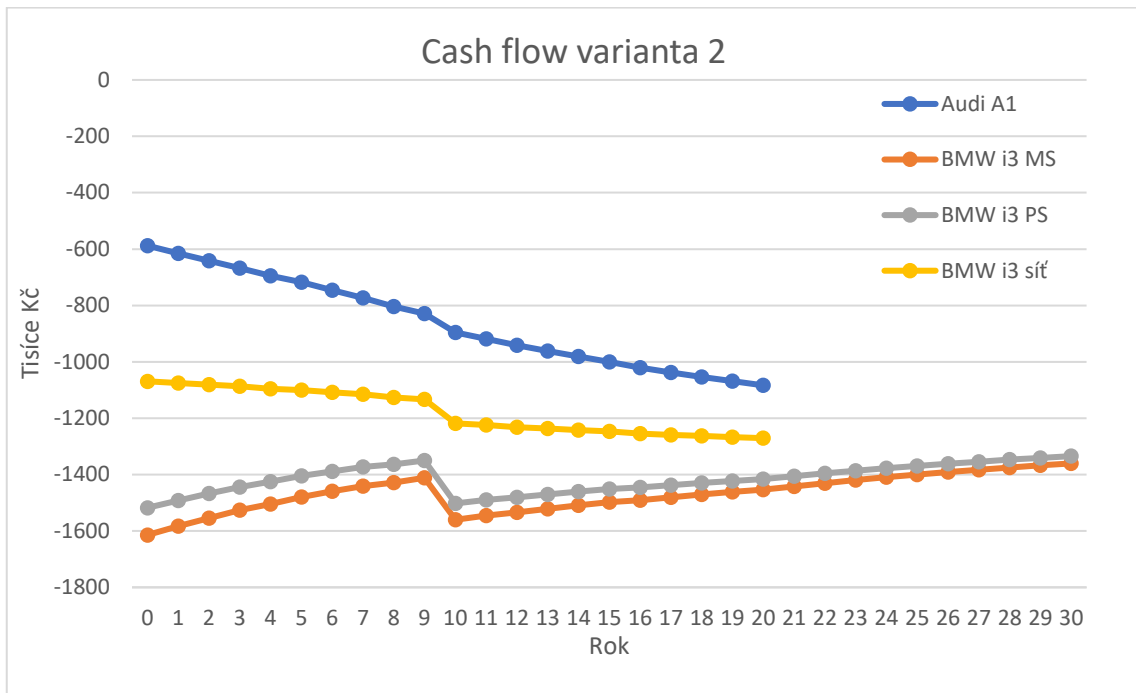


Obrázek 15 grafická cash flow: varianta 1

Investiční náklady pro domácí dobíjecí stanici s polykrystalickými panely a vozem VW e-up! jsou 879 406 Kč. Pro systém s monokrystalickými panely jsou investiční náklady 905 326 Kč. Rozdíl mezi FV systémem s monokrystalickými články a FV systémem s polykrystalickými články je téměř zanedbatelný vzhledem k celkové výši investice. Z Obrázku 16, který zobrazuje časový průběh cash flow pro jednotlivé druhy variant 1, lze vyčíst že investice do domácí dobíjecí stanice s fotovoltaickými panely se nevyplatí.

Při současných cenách jednotlivých komponent a bez dotace je tento projekt více ztrátový a rizikovější než provozování elektromobilu při nabíjení ze sítě. Investice do samotného elektromobilu bez dobíjecí stanice je o 70 000 Kč nižší. Nejlevnější variantou je provozování klasického spalovacího automobilu VW up!. Provoz spalovacího automobilu je levnější o 100 000 Kč oproti samotnému elektromobilu a pro srovnatelné celkové náklady s elektromobilem by musela být denní najetá vzdálenost alespoň dvojnásobně větší.

3.4.2 Varianta 2



Obrázek 16 grafická cash flow: varianta 2

Investiční náklady na systém domácí dobíjecí stanice s polykrystalickými panely a vozem BMW i3 jsou 1 334 513 Kč. Náklady na systém s monokrystalickými panely jsou 1 360 433 Kč. Rozdíl obou investic je zanedbatelný. Celková cash flow varianty 2 je shodná s cash flow varianty 1. Investice do dobíjecí stanice se za současných podmínek nevyplatí.

Náklady samostatného elektromobilu jsou nižší o 63 000 Kč a jeho investice je méně riziková než investice do elektromobilu s dobíjecí stanicí. Nejvýhodnější variantou je spalovací automobil, jehož celkové náklady jsou oproti nákladům na samostatný elektromobil nižší o 190 000 Kč.

4 Závěr

Hlavním bodem této bakalářské práce byl správný výběr komponentů pro domácí dobíjecí stanici s akumulačním systémem. Jednotlivé části FV systému byli vybírány tak, aby se dosáhlo hlavního předpokladu pro domácí dobíjecí stanici, a to je nezávislost na distribuční síti. Systém byl proto navržen na výkon 11 kWp, který je schopen dodat dostatek energie na každodenní dobítí spotřebované energie elektromobilem.

Bakalářská práce je rozdělena do 3 částí. Nejprve je v práci popsáno Slunce jako významný zdroj energie pro naši planetu a aspekty ovlivňující celkovou energii dopadající na Zemi. Dále je popsán princip fotovoltaického článku a podmínky ovlivňující jeho celkový výkon. Elektromobilita je rozebrána a rozdělena do dvou kategorií, kterými jsou elektromobil a dobíjecí stanice. Jejich jednotlivé části jsou popsány a přiblíženy k pochopení jejich funkce.

V druhé části jsou vybrány komponenty pro systém dobíjecí stanice a sepsány jejich technické parametry. Systém je rozdělen do dvou verzí. V první verzi jsou zvoleny dražší monokrystalické panely (MS) s výkonem 330 Wp. V druhé verzi jsou zvoleny polykrystalické panely (PS) s výkonem 285 Wp a přibližně poloviční pořizovací cenou, než mají panely monokrystalické. Další komponenty, pro obě verze společné, jsou vypsány jako například solární regulátor, nosná konstrukce a bateriové uložení. Nakonec je v této části počítána přibližná potřebná denní výroba energie pro provoz elektromobilu, jejíž hodnota je 9,2 kWh. Na tuto hodnotu jsem dimenzoval FV systém. Z dostupných rozměrů střech na objektu jsem vybral pouze střechu na rodinném domě. Ostatní střešní plochy nemají dostatečnou pevnost či orientaci pro umístění FV systému a střešní plocha by se mohla zhroutit. Rozměry střešní plochy na rodinném domě jsou 12 200 mm x 5 400 mm. Rozměry fotovoltaických panelů jsou: monokrystalické panely (1 685 mm x 1 000 mm), polykrystalické panely (1 640 mm x 992 mm). Na střechu je možné umístit 36 panelů o celkovém výkonu FV pole pro MS 11,88 kWp a pro PS 10,26 kWp. Bohužel ani jeden z těchto systémů není schopen zajistit úplnou nezávislost na distribuční síti přes zimní období, kdy se denní výroba energie pohybuje okolo 6 kWh.

V poslední části jsou vysvětleny základní ekonomická měřítka pro hodnocení investic a tabulky celkových nákladů na výstavbu obou dobíjecích stanic. Celkové investiční náklady na FV systém s monokrystalickými panely činí 545 185 Kč. Celkové investiční

náklady na FV systém s polykrystalickými panely činí 448 597 Kč. Dále jsou vybrány elektromobily pro zkoumání a těmi jsou Volkswagen e-up! (VW e-up!) s cenou 639 900 Kč a BMW i3 s cenou 1 049 100 Kč. Spolu s nimi jsou vybrány i jejich benzínové protějšky pro porovnání nákladů na dopravu mezi pohonem na elektřinu a benzín. Benzínové automobily jsou VW up! a Audi A1. Jednotlivé varianty jsou rozděleny tak, že pro každý elektromobil zkoumáme všechny dostupné varianty, tj. elektromobil s dobíjecí stanicí MS, elektromobil s dobíjecí stanicí PS, elektromobil nabíjený z rozvodné sítě a doprava benzínovým automobilem. Jednotlivé peněžní toky pro každou variantu jsou zapsány v jednotlivých tabulkách.

Protože FV systém má vyšší životnost, než elektromobil tak je nutné varianty zahrnující dobíjecí stanici hodnotit po dobu 30 let oproti variantě bez stanice, kterou hodnotíme po dobu 20 let. NPV pro jednotlivé varianty je zapsána v následující tabulce:

Tabulka 28 NPV jednotlivých variant

Varianta	NPV [Kč]
VW up!	-704 079
VW e-up!	-817 792
VW e-up! MS	-905 326
VW e-up! PS	-879 406
Audi A1	-1 083 402
BMW i3	-1 270 640
BMW i3 MS	-1 360 433
BMW i3 PS	-1 334 513

Jak vyplývá z tabulky 28 investice do dobíjecí stanice se ani v jednom případě nevyplatí. Provoz obou elektromobilů je výhodnější v režimu nabíjení ze sítě. Při absenci dobíjecí stanice se snižuje rizikovost investice. Nejlevnější variantou je však provozování spalovacího automobilu. Díky jeho nižším pořizovacím nákladům se ani po 20 letech životnosti nesrovnají celkové náklady a je to tedy nejvýhodnější způsob dopravy.

Za momentálních cenových podmínek se investice do domácí dobíjecí stanice nevyplatí. Pokud někdo provozuje elektromobil, je nejvýhodnější variantou nabíjení z distribuční sítě. Možným případem, kdy by se investice do solárního systému vyplatila by bylo, kdyby byla uznána dotace na výstavbu a provoz takovéto stanice.

Použitá Literatura

Webové stránky

Czech Nature Energy [online]. Plzeň: CNE Czech Nature Energy [cit. 2019-05-23].
Dostupné z: <http://www.cne.cz/hlavni-strana/>

Figenbaum, E., Assum, T., & Kolbenstvedt, M. (2015). Electromobility in Norway: Experiences and Opportunities. *Research in Transportation Economics*, 50, 29–38. doi:10.1016/j.retrec.2015.06.004

Hybrid.cz [online]. Chamanne, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/>

Klik.cz [online]. Klikpojisteni.cz, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.klikpojisteni.cz/>

Kosmonautix.cz [online]. Jihlava: Majer, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.kosmonautix.cz/>

KRAJÁNEK, Vladimír. Návrh synchronního motoru s permanentními magnety pro pohon elektromobilu. Plzeň, 2016. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.

MYLMS [online]. Petr, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/>

Photovoltaics Education Website [online]. Honsberg, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.pveducation.org/>

Pohonnatechnika.cz [online]. 2007-2019 [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/>

SVP Solar [online]. Praha: SVP Solar, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/>

Tzbinfo [online]. Praha: Topinfo, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.tzbinfo.cz/>

Knihy

BARNES, Frank S. a Jonah G. LEVINE. Large energy storage systems handbook. Boca Raton, Fla.: CRC Press, c2011. ISBN 978-1-4200-8600-3.

LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Solární energie: fotovoltaika – perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. 2., dopl. Vyd. V Praze: ČZU, 2006. ISBN 80-213-1488-5.

SYNEK, Miloslav. Manažerská ekonomika. 5., aktualiz. A dopl. Vyd. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3494-1.

Online knihy

CHMEL, Ladislav. *Fotovoltaika, fototermika* [online]. publi.cz, 2015 [cit. 2019-05-23]. ISBN 978-80-88058-02-1. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/Cover.html>