

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



Bakalářská práce

NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU RODINNÉHO DOMU

MAREK BISTŘICKÝ

Program: ELEKTROTECHNIKA, ENERGETIKA A MANAGEMENT

Obor: ELEKTROTECHNIKA A MANAGEMENT

Vedoucí: ING. MGR. VÍT KLEIN, PH.D.

5/2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bistřický** Jméno: **Marek** Osobní číslo: **473720**
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:

Návrh fotovoltaického systému rodinného domu

Název bakalářské práce anglicky:

Design of photovoltaic system of family house

Pokyny pro vypracování:

1. Princip fotovoltaické elektrárny a její typy.
2. Využití fotovoltaických elektráren a potenciál solární energie.
3. Návrh fotovoltaické elektrárny.
4. Ekonomické zhodnocení realizace.

Seznam doporučené literatury:

- 1) MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMĚŠ. Fotovoltaika, elektřina ze slunce. Brno: ERA, 2007. 21. století. ISBN 978-80-7366-100-7.
- 2) MESSENGER, Roger A., Jerry VENTRE a Milan TOMĚŠ. Photovoltaic systems engineering. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2004. 21. století. ISBN 08-493-1793-2.
- 3) SYNEK, Miloslav. Manažerská ekonomika. 5., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-802-4734-941.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **27.01.2020** Termín odevzdání bakalářské práce: **22.05.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

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

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
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

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

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce, panu Vítu Kleinovi, Ph.D., za cenné rady a připomínky v průběhu vypracovávání této práce, stejně jako za jeho rady a pomoc ohledně studia. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a svým blízkým, bez kterých by to nebylo vůbec možné.

Abstrakt

Tato bakalářská práce pojednává o obnovitelných zdrojích energie, zejména pak o energii solární. Nejprve je probírán potenciál solární energie a způsob jejího získávání, tedy popis principu a základních komponent fotovoltaické elektrárny. Pro rodinný dům je vytvořen návrh takového střešního systému včetně ekonomického zhodnocení pro posouzení výhodnosti investice.

Klíčová slova: Obnovitelné zdroje energie, solární energie, fotovoltaická elektrárna, návrh fotovoltaické elektrárny, zhodnocení investice, čistá současná hodnota

Abstract

This bachelor thesis deals with renewable energy sources, especially with solar energy. At first, a potential of solar energy and the way of getting solar energy, which means a description of the principle and basic components of photovoltaic plant, is explained. A roof photovoltaic system design has been made for a family house including economic evaluation for investment analysis.

Key Words: Renewable energy sources, solar energy, photovoltaic power plant, design of photovoltaic power plant, investment evaluation, net present value

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Obnovitelné zdroje energie	2
2.1	Legislativa pro OZE	3
3	Solární energie	6
3.1	Výhody a nevýhody solární energie.....	8
3.2	Potenciál solární energie	10
4	Princip fungování fotovoltaické elektrárny	12
4.1	Polovodiče.....	12
4.1.1	PN přechod	13
4.2	Fotoelektrický jev.....	13
4.3	Fotovoltaický článek	14
5	Solární elektrárna.....	17
5.1	Využití solárních elektráren	17
5.2	Grid-On elektrárna	19
5.3	Ostrovní elektrárna.....	20
5.4	Hybridní elektrárna	20
5.5	Solární panel.....	20
5.5.1	Monokrystalický solární panel.....	21
5.5.2	Polykrystalický solární panel.....	22
5.5.3	Tenkvrstvý solární panel.....	22
5.6	Invertor	23
5.7	Bateriové úložiště.....	25
5.8	Ostatní komponenty	26
6	Návrh solární elektrárny	28
6.1	Popis objektu.....	28
6.2	Příprava projektu.....	29
6.3	Návrh solární elektrárny.....	33
7	Ekonomické zhodnocení projektu	39
7.1	Produkce elektrické energie	39
7.2	Náklady	41
7.2.1	Náklady na vyrobenou kilowatthodinu.....	42
7.3	Cash flow	44

7.4	Čistá současná hodnota a vnitřní výnosové procento	47
7.5	Doba návratnosti investice	50
7.6	Citlivostní analýza.....	50
8	Závěr	54
9	Seznam použité literatury a pramenů.....	57
	Seznam použitých zkratk	62
	Seznam obrázků, tabulek a grafů	63
	Příloha 1 – Produktový list solárního panelu.....	65
	Příloha 2 – Produktový list střídače	67
	Příloha 3 – Cenové nabídky komponentů FVE	69
	Příloha 4 – Cash flow.....	70
	Příloha 5 – Výpočet NPV a IRR	72

1 Úvod

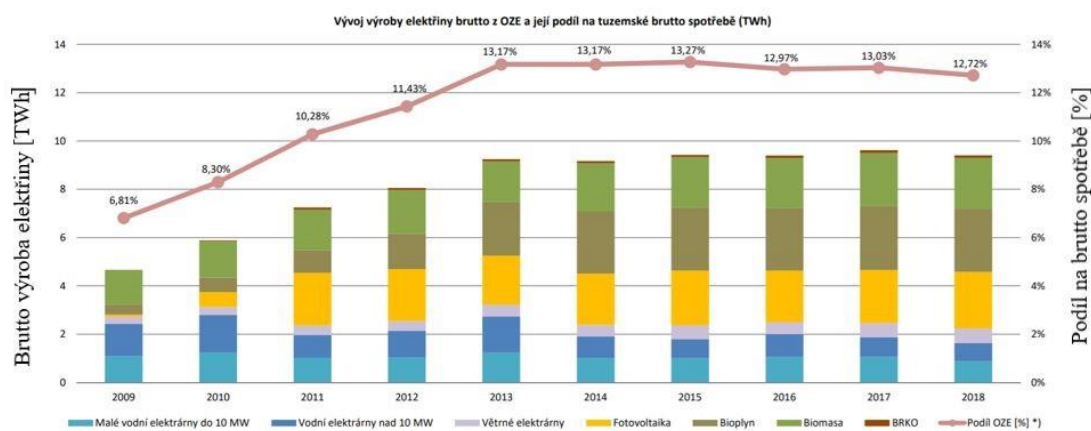
V průběhu let se lidstvo stalo závislé na využívání různých forem energie. Po příchodu průmyslové revoluce v 19. století došlo k masivnímu nárůstu využívání primárních energetických zdrojů, zejména uhlí; o sto let později se přidala ropa a zemní plyn. S technologickým pokrokem se dominantní formou energie stala energie elektrická. Množství elektrické energie potřebné pro každodenní život se neustále zvyšuje, s čímž je spojená i snaha hledat nové možnosti výroby. Výše zmíněná fosilní paliva ale nekorrespondují s vizí čistého ovzduší a životního prostředí. Hrubou posledních let je tedy energie z tzv. obnovitelných zdrojů energie, kam patří například solární a větrná energie. Potenciál těchto energetických zdrojů není stále vyčerpán. Získávání solární energie může být užitečné hned v několika smyslech, ať už jako metoda decentralizace energetické soustavy, nezávislost na dodávce elektrické energie nebo jen prostý způsob, jak na energii ušetřit.

Česká energetika je orientována na parní elektrárny, jejichž roční produkce se pohybuje kolem 45 TWh. Aby bylo možné uvažovat o nahrazování konvenčních energetických zdrojů obnovitelnými zdroji, musíme se bavit o výstavbě značného množství takovýchto nových elektráren. Zde není řeč jen o systémových elektrárnách připojených do přenosové a distribuční sítě. Realizovat se budou muset i solární mikrozdroje na střechách obytných objektů pro vlastní využití vyrobené energie s případnými přetoky do sítě.

Tato bakalářská práce se bude zabývat obnovitelnými zdroji energie, a právě realizací fotovoltaické elektrárny na střechu rodinného domu. Text je rozdělen na část teoretickou a praktickou. První z nich pojednává o obnovitelných zdrojích jako celku, zejména pak o solární energii, a fotovoltaických elektrárnách, jejich formách a komponentech. Tento oddíl bude sloužit jako podklad pro vypracování praktické části. V praktické části je proveden návrh střešní fotovoltaické elektrárny. Návrh pokrývá zhodnocení lokality, co se vhodnosti realizace týče a základní informace o objektu. Po samotném technickém návrhu je provedeno ekonomické vyhodnocení investice, které zahrnuje výpočet cash flow projektu, čisté současné hodnoty a např. provedení citlivostní analýzy. Ekonomická výhodnost je stále velmi důležité kritérium pro instalaci takového systému, jelikož OZE často nejsou schopné konkurovat klasickým zdrojům energie.

2 Obnovitelné zdroje energie

Trendem současné energetiky je snaha o snižování dopadu výroby energie na životní prostředí. Z energetického mixu České republiky vyplývá, že jsme zemí zcela závislou na výrobě energie pomocí fosilních paliv, na kterou připadá téměř 57 % z celkové produkce. Druhou nejvýznamnější složkou je energie jaderná, která tvoří 37 %. Zbytek výroby energie na našem území je tvořen tzv. obnovitelnými zdroji energie.¹ Popis OZE je složitý a více než slovní definice se využívá tzv. definice výčtová, která uvádí, jaké zdroje jsou považovány za OZE. Nejvýznamnějšími jsou sluneční, větrná, vodní, geotermální a přílivová energie a energie vyrobená pomocí biomasy (dřevo a dřevěná štěrka, tuhý odpad, bioplyn, ...). Dalo by se říci, že obnovitelné zdroje energie jsou takové zdroje, které se „přirozeně znovu doplňují, zato jejich přísun je omezený, stejně jako množství energie, které je možné pomocí nich vyrobit za jednotku času.“² Evropa je momentálně závislá na fosilních palivech, jelikož podíl energie vyrobené v Evropě pomocí OZE je pouze 13,2 %³. Snahou je zbavit se této závislosti a snížit uhlíkovou stopu. Jednou z cest by měly být právě OZE.



Obrázek 1: Výroba elektřiny brutto z OZE a její podíl na brutto spotřebě v ČR (upraveno)⁴

¹ OTE. *Národní energetický mix* [online]. Praha: OTE. [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>

² Renewable energy explained: What is renewable energy?. U.S. Energy Information Administration [online]. [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/energyexplained/renewable-sources/>

³ OTE. *Národní energetický mix* [online]. Praha: OTE. [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>

⁴ ERÚ. *Roční zpráva o provozu ES ČR 2018* [online]. Energetický regulační úřad, Praha, 2019. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z:

http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c

Obnovitelné zdroje zaznamenaly v ČR značný rozmach po roce 2008 díky zavedení výhodných dotací a zaručení vysoké výkupní ceny vyrobené elektřiny z fotovoltaických elektráren. Z ostatních uvedených zdrojů je třeba vyzdvihnout významnou výrobu elektrické energie pomocí biomasy a bioplynu, které mají největší podíl na celkové produkci pomocí OZE. Navíc má ze všech uvedených zdrojů největší potenciál využití, co se našich podmínek týče. Potenciál vodních zdrojů je v ČR téměř zcela vyčerpán a na významnější využití větrných elektráren nejsou v naší krajině příhodné povětrnostní podmínky a v lokalitách pro tento účel vhodných nelze z důvodu chráněných oblastí soustavy Natura 2000, kde výstavba není vůbec možná nebo je získání povolení velmi přísné. V ČR se jedná přibližně o 14 % našeho území, včetně právě pro větrné elektrárny příhodné oblasti Krušných hor, Krkonoš i třeba Šumavy.⁵ Lze tedy soudit, že abychom byli schopni zvyšovat výrobu pomocí OZE, bude nutné používat zdroje využívající biomasu nebo solární elektrárny.⁶

2.1 Legislativa pro OZE

Klimatické změny a sledování dopadu veškerých prováděných činností na životní prostředí se promítlo již i do segmentu obnovitelných zdrojů. Přijetím Pařížské dohody se Evropská unie v roce 2015 zavázala snížit do roku 2030 emise skleníkových plynů o 40 % oproti roku 1990.⁷ Jak Evropská unie, tak i jednotlivé členské státy, tak zahrnují do svých zákonů nejrůznější vyhlášky a zákony týkající se právě odvětví obnovitelných zdrojů. Nejaktuálnějším dokumentem vydaným EU je Směrnice Evropského parlamentu a Rady o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů z roku 2009. Tento dokument zavazuje všechny členské státy EU k diverzifikaci výroby energie pomocí OZE. Dle směrnice by podíl OZE na výrobě energie v Evropě měl dosáhnout alespoň 20 % v roce 2020. Dalším vyplývajícím nařízením je fakt, že by energie spotřebována na dopravu by měla být 10 % tvořena z OZE. Tato směrnice musela být přijata každým státem. EU ale vzala v potaz stav OZE v jednotlivých zemích a pomocí národních akčních plánů upravila požadavky a pravidla pro jednotlivé státy zvlášť. Vypracován je již plán pro rok 2030, kdy by podíl OZE na výrobě energie měl překročit alespoň 32 %.

⁵ ČR. *Natura 2000*. Praha: Ministerstvo životního prostředí. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/natura_2000

⁶ MPO - Česká energetická agentura. *Moderní využití biomasy: Technologické a logistické možnosti* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu – Energie efektivně. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf>

⁷ MZP. *Pařížská dohoda* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí. [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda

Národní akční plán pro obnovitelné zdroje energie stanovuje pro ČR podíl 13 %⁸ OZE na brutto spotřebě do roku 2020. V polovině prosince roku 2019 byla představena koncepce EU s názvem Zelená dohoda pro Evropu (European Green Deal), která reaguje na zhoršující se stav životního prostředí a klimatu. Pilířem této strategie je snaha o vytvoření EU, ve které se v roce 2050 nebudou produkovat žádné skleníkové plyny. Dále dohoda počítá s integrací čistších způsobů městské hromadné dopravy. Co se energetiky týče, Zelená dohoda počítá s její absolutní dekarbonizací.

Aby bylo možné dostát všem závazkům nařízeným EU, musela Česká republika přijít s formou podpory odvětví OZE. Pro území ČR se zdá být nejvýhodnější a nejpřístupnější způsob výroby energie sluneční. „*Fotovoltaické elektrárny jsou v ČR podporovány od roku 2002.*“⁹ Výkupní cena elektřiny a náklady na výstavbu fotovoltaické elektrárny ovšem neposkytovaly možnost výhodné investice. „*V roce 2006 vstoupil v platnost zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře využívání obnovitelných zdrojů, kterým Energetický regulační úřad (ERÚ) stanovil výši výkupní ceny vyplácené po 20 let od výstavby elektrárny na 15 Kč · kWh⁻¹.*“¹⁰ Započalo období masivní výstavby solárních elektráren, kdy instalovaný výkon byl v ČR v půlce roku 2009 65,7 MW a o dva roky později 1952,7 MW.¹¹ Jak je patrné z obrázku 1, solární dotace se zasadily o to, že požadavek Evropské komise na 13 % podílu OZE na spotřebě byl splněn již v roce 2013. Dne 27. 4. 2020 Vláda ČR schválila novelu zákona, který mění zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. Novela se zabývá překompenzovaností odvětví, tedy aby nedocházelo k vyplácení nepřiměřených výší dotací. Kontrola překompenzovanosti bude momentálně kontrolována pomocí vnitřního výnosového procenta, jehož hodnota bude pro solární elektrárny dle Ministerstva průmyslu a obchodu (MPO) snížena z původních 8,4 % na 6,3 %¹², přestože v poslední

⁸ MPO. *Národní akční plán pro obnovitelné zdroje energie* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2016. [cit. 2019-12-22] Dostupné z:

<https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/obnovitelne-zdroje/narodni-akcni-plan-pro-obnovitelne-zdroje-energie--169894/>

⁹ VOBOŘIL, David. Příčiny solárního boomu v České republice. In: O energetice [online]. 22.03.2015 [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/priciny-solarniho-boomu/>

¹⁰ VOBOŘIL, David. Příčiny solárního boomu v České republice. In: O energetice [online]. 22.03.2015 [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/priciny-solarniho-boomu/>

¹¹ ERÚ. Vývoj počtu provozoven a instalovaného výkonu podporovaných zdrojů energie kde dni 30. 6. 2019: Solární elektrárny [online]. Praha: Energetický regulační úřad. [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/463106/SLE_19_06.pdf/4ed38812-1945-4455-b1d7-b65027d5c7a6

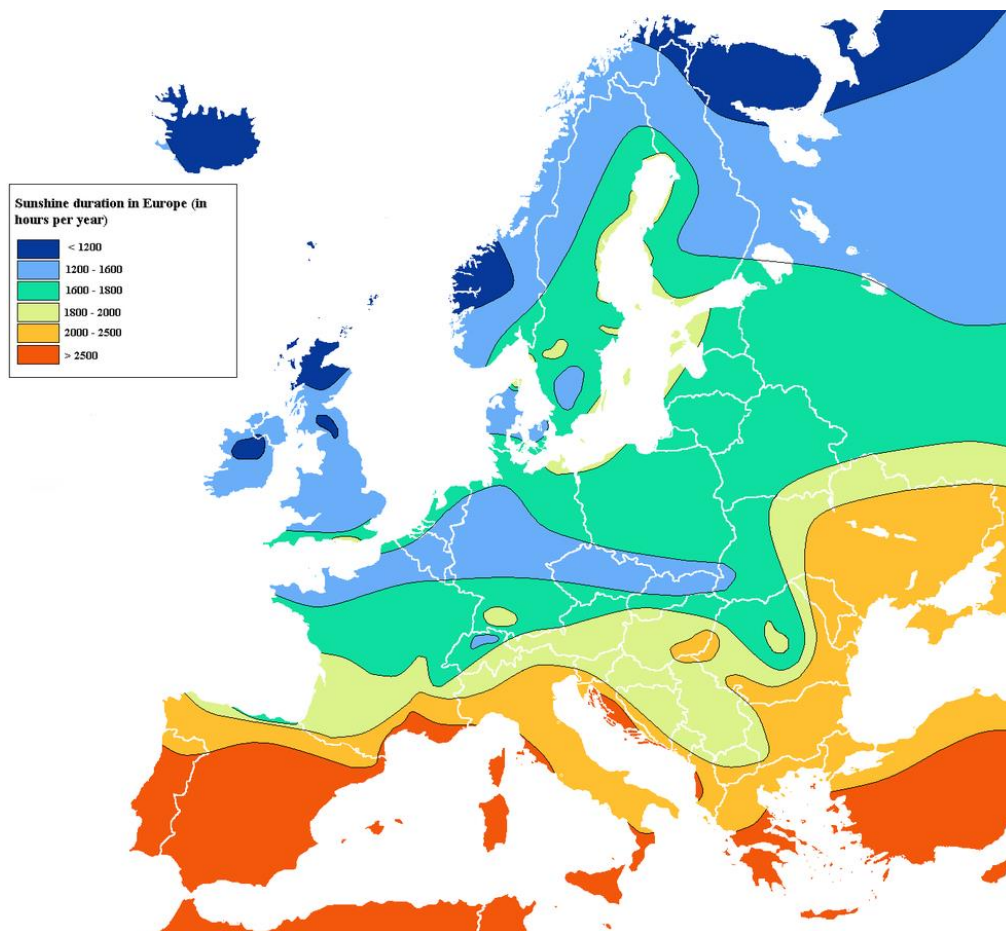
¹² MPO. *U podporovaných zdrojů energie dojde ke změnám. Rozhodla o tom vláda* [online]. Praha, 2020: Ministerstvo průmyslu a obchodu. [cit. 2020-05-05] Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/u-podporovanych-zdroju-energie-dojde-ke-zmenam--rozhodla-o-tom-vlada--254264>

verzi novely zákona je stále uvedena hodnota 8,4 %¹³. Dotace bude považována za adekvátní, pokud vnitřní výnosové procento daného projektu FVE nepřesáhne danou hodnotu. Dnes je možné zažádat o dotaci poskytovanou Ministerstvem životního prostředí v rámci programu Nová zelená úsporám, jenž je zaměřen na finanční podporu při energeticky efektivní výstavbě či při přestavbě rodinného nebo bytového domu. V rámci solární energie program rozlišuje mezi instalací termických panelů a fotovoltaických panelů. Variantou více podporovanou je stavba FVE a významně závisí jednak na velikosti vystavěné elektrárny, kdy s větší roční produkcí elektrické energie roste i výše vyplácené podpory, a jednak na povaze instalace, kdy je, co se dotace týče, preferována varianta s akumulací energie. Při stavbě je tedy možné získat dotaci v rozmezí 35 000 – 150 000 Kč. To se týká nových projektů, NZÚ ale zahrnuje i podporu již realizovaných staveb, jako je například rozšíření stávajícího solárního systému.

¹³ ČR. Návrh zákona 914/19 Sb. měnícího zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. Praha: Vláda ČR. Dostupné z: <https://apps.odok.cz/veklep-detail?pid=KORNBFQBXP4C>

3 Solární energie

Jak již samotný název napovídá, solární energie je energie dodávaná Sluncem a řadíme ji mezi obnovitelné zdroje energie. Poskytuje jakožto největší hvězda naší galaxie záření, které je nezbytné pro existenci života na naší planetě. Slunce je tvořeno převážně atomy vodíku a helia a vytváří energii pomocí termojaderné fúze, proces se konkrétně nazývá proton-protonový cyklus.¹⁴ Celý proces se odehrává v jeho jádru, kde dojde ke sloučení 4 jader vodíku a vznikne atom hélia a dva pozitrony.



Obrázek 2: Doba slunečního svitu za rok v Evropě¹⁵

Jádro helia je ale lehčí než 4 jádra vodíku, přibližně o 0,7 %. Ztráta hmotnosti má za příčinu uvolnění velkého množství energie v průběhu proton-protonového cyklu ve formě tepla a světla.¹⁶ Tato energie opouští jádro Slunce a prochází přes jeho další

¹⁴ Energy from the Sun: Student Guide. The NEED [online]. Kao Circle, Manassas, 2017 [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: <https://www.need.org/Files/curriculum/guides/EnergyfromtheSunStudentGuide.pdf>

¹⁵ Europe sunshine hours map. *Wikimedia Commons* [online]. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Europe_sunshine_hours_map.png

¹⁶ DONEV, Jason et al. *Nuclear fusion in the Sun*. Energy Education [online]. Calgary: University of Calgary, 2015 [cit. 2019-10-06].

Dostupné z: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Nuclear_fusion_in_the_Sun

vrstvy, které tím zahřívá. Slunce je pak tímto na povrchu udržováno na teplotě 5800 K.¹⁷ V proton-protonovém cyklu dochází k přeměně vodíku na jeho těžší formy, deuterium a tritium. Při přechodu na tritium se uvolňuje gama záření, které opustí Slunce jako nám známé sluneční záření. Mluvíme zde o záření krátkých vlnových délek, tedy ultrafialovém a viditelném záření. Ačkoliv se může zdát, že by množství uvolněné energie nemuselo být tak výrazné, je nutné si uvědomit že proton-protonový cyklus se v jádru Slunce opakuje velmi často (téměř 10^{38} x za sekundu) a vyzařovaná energie je tedy přibližně 10^{26} joulu každou sekundu.¹⁸ I přesto, že na povrch Země dopadne jen velmi malé procento celkového slunečního záření, by denní množství této energie stačilo pokrýt téměř celosvětovou roční spotřebu. Tento fakt nastartoval výzkum využití slunečního záření pro účely běžného života. Doposud byla řeč pouze o slunečním záření jako takovém jako o zdroji energie. Jak již ale bylo zmíněno, život by na planetě Zemi bez Slunce nebyl možný. To zahrnuje i fakt, že nám umožňuje čerpat energii i z jiných přírodních zdrojů. Sluneční záření dosáhne naší atmosféry, kde se část odrazí zpátky do vesmíru a část projde přes atmosféru, kde se přemění na teplo, resp. infračervené záření, které ohřívá naši planetu.¹⁹ Povrch Země ale není ohříván rovnoměrně. Více záření dopadne a s tím spojený větší ohřev povrchu nastane v oblasti rovníku a směrem k pólům se vlivem vzdálenosti od Slunce a sklonu dopadajícího záření tato teplota snižuje. Také vzduch nad pevninou bude teplejší než nad oceánem. Teplejší vzduch se rozpíná, jeho hustota se snižuje a studenější vzduch se z prostoru nad mořem dostává nad pevninu. Takto vzniká vítr, který využíváme také jako zdroj energie při roztáčení větrných turbín.²⁰

Při rozhodování, zda instalovat jakýkoliv systém na získávání solární energie, hrají roli geografické aspekty. Nejen že jde o změnu slunečního záření vlivem průchodu atmosférou (změna intenzity záření, ztráta některých vlnových délek,...), ale i o dobu slunečního svitu, která záleží na zeměpisné poloze fotovoltaické elektrárny.

¹⁷ MESSENGER, Roger A. a Jerry VENTRE. Photovoltaic systems engineering. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2004. ISBN 08-493-1793-2

¹⁸ DONEV et al.

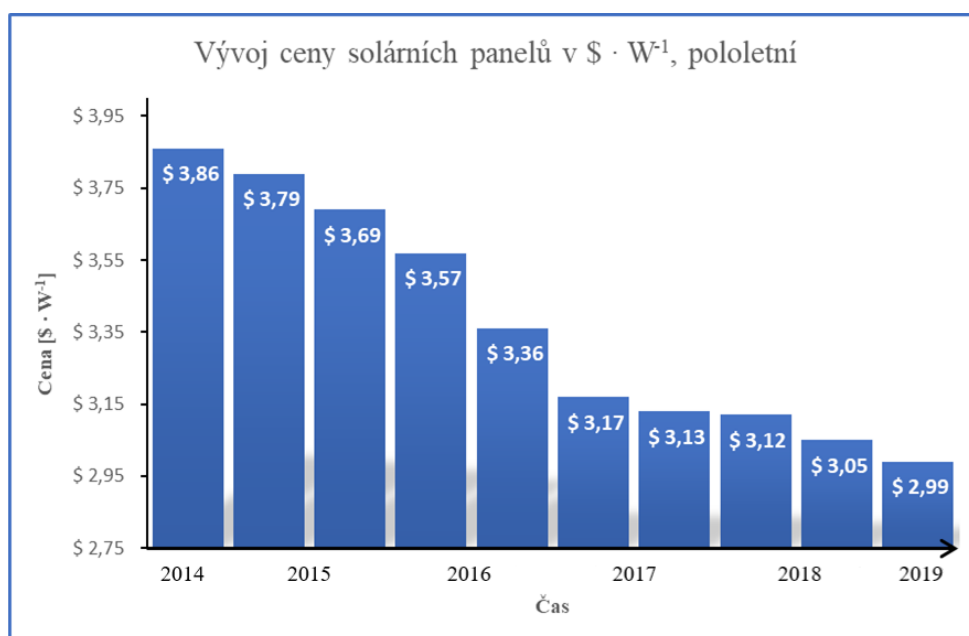
¹⁹ How The Sun Affects Weather – The Basics?. New World Climate [online]. [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <http://www.nwclimate.org/guides/sun-affects-on-weather-tutorial/>

²⁰ MPO. U podporovaných zdrojů energie dojde ke změnám. Rozhodla o tom vláda [online]. Praha, 2020: Ministerstvo průmyslu a obchodu. [cit. 2020-05-05] Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/u-podporovanych-zdroju-energie-dojde-ke-zmenam--rozhodla-o-tom-vlada--254264>

DONEV et al.

3.1 Výhody a nevýhody solární energie

Zásadní výhodou získávání solární energie je možnost získávat ji každý den na téměř všech místech na světě. Navíc můžeme např. fotovoltaickou elektrárnu umístit jak na volnou plochu, tak na střechu obytných či průmyslových objektů. Solární energie patří do skupiny obnovitelných zdrojů energie, čímž se v posledních letech těší částečné finanční podpoře a stálému důrazu na vývoj a pokrok technologií v tomto odvětví. Po samotné instalaci FVE jsou provozní náklady takovéto elektrárny minimální, jelikož je téměř bezúdržbová. V úvahu přichází jen občasné čištění solárních panelů, které se doporučuje přibližně jednou za rok. V tomto momentě nepočítáme s neočekávanými náklady vzniklé např. poruchou některého z komponentů. Instalace fotovoltaického systému je základem trendu zvaného decentralizace. Provozováním vlastní elektrárny, která pokryje celou spotřebu elektrické energie v daném objektu, se můžete stát nezávislími na dodávkách elektrické energie a na jejích cenách. Při přebytečné vyrobené elektřiny je možné toto množství prodávat do sítě. V tomto případě závisí na výběru dodavatele, který nabídne nejlepší podmínky pro výkup silové elektřiny. V rámci decentralizace můžeme také zmínit možnost vyrábět elektrickou energii v místech, kde jinak nelze provést připojení k síti. S nárůstem popularity vlastních tzv. ostrovních elektráren se ale pojí i částečný nárůst cen elektřiny.



Obrázek 3: Vývoj ceny solárního panelu v dolaru za Watt (upraveno)²¹

²¹ MATASCI, Sara. How solar panel cost and efficiency have changed over time. *EnergySage* [online]. 2019 [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: <https://news.energysage.com/solar-panel-efficiency-cost-over-time/>

Cena elektřiny je složena z částky stanovené obchodníkem, která udává smluvní cenu za odebranou silovou elektřinu, a z částky regulované státem, resp. ERÚ. Do této sumy se zahrnují poplatky právě ERÚ, OTE a jiným subjektům aktivním na trhu s elektrickou energií, dále poplatky za ztráty a distribuční služby. Využíváním vlastní elektrické energie jsme zbaveni povinnosti platit za služby distributora, ale poplatek za jeho služby je předem domluvený a cena se tedy pro ostatní využívající tuto službu zvedne.

Fotovoltaická elektrárna má stále relativně vysokou pořizovací cenu. Ceny jednotlivých komponent ale klesají, zvláště u solárních panelů, jejichž cenový vývoj je za poslední roky nejzpečnější; patrně způsoben přesunem celkové produkce do Číny. Navíc s klesající cenou roste účinnost solárního panelu pohybující se mezi 15 - 20 % u běžně komerčně používaných panelů, laboratorně se ale testují i panely s účinností kolem 44 %²². Jako i jiné obnovitelné zdroje energie je fotovoltaika systém s neřízeným výkonem. Ten se v průběhu dne značně mění vlivem střídání dne a noci. Výkon elektrárny je ale závislý také na počasí, kdy při zatažené obloze se výroba přibližně pohybuje na 10 - 25 % maximálního výkonu.²³ Samozřejmě že FVE vyrábí v létě více elektrické energie, než je tomu v zimních měsících. To klade vysoké nároky na celou energetickou síť, která se s takovými výkyvy musí vyrovnávat regulací ostatních zdrojů, aby se předešlo přetížení. Osobně bych za nevýhodu považoval fakt, že pro dosažení velkého výkonu se při realizaci průmyslových FVE volí polní varianta elektrárny, jelikož pro podobný výkon by střešní plocha vhodná nebyla. Orná půda se výstavbou sice nezhodnotí, ale zabírá místo zemědělské činnosti.

Doposud jsem záměrně nezmínil dopad samotné FVE na životní prostředí. Téma velmi diskutované, ač v posledních letech se studie přiklání k spíše pozitivním názorům a vyvrací tvrzení, že elektrárny využívající OZE by mohly mít skrytou emisi skleníkových plynů. Velmi sledovaným aspektem je tzv. uhlíková stopa, která se u FVE odhaduje na 12 – 25 g CO₂ na vyrobenou kWh elektřiny. Pro porovnání, u uhelné elektrárny je hodnota CO₂ ekvivalentu přibližně 1000 g CO₂ · kWh⁻¹. Dalším ukazatelem je EROI, neboli anglicky „energy return on investment“, který udává návratnost energie vložené do stavby. U FVE se tento index pohybuje kolem 1 : 26, tedy že na jednotku

²² MATASCI.

²³ Carlos. Can Solar Panels Work at Night? ECotality [online]. 2019 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://ecotality.com/can-solar-panels-work-at-night/>

energie vynaloženou k pořízení elektrárny připadá 26 jednotek vyrobené elektrické energie.

3.2 Potenciál solární energie

Jako výhodu solární energie je možné brát fakt, že tuto energii nemusíme vyrábět. Solární energii musíme jen v co největším množství a co nejefektivněji „nasbírat“. Množství energie dopadající na povrch Země každou hodinu se pohybuje kolem 480 EJ.²⁴

Zdroje a formy energie	Spotřeba energie [EJ]
Ropné produkty	166,8
Elektrická energie	76,9
Zemní plyn	62,9
Uhlí	42,7
Biopaliva	43,4
Teplo	12,1
Vítr, slunce apod.	1,9
Celkem	406,8

Tabulka 1: Celková světová spotřeba energie podle jednotlivých zdrojů a forem energií v roce 2017²⁵

Pro možnost srovnání je v tabulce 1 uvedeno celkové spotřebované množství energie za rok 2017. Pokud by se teoreticky povedlo využít veškerou solární energii dopadající na Zemi za 1 hodinu, pokrylo by toto množství roční spotřebu celou. Z toho vyplývá, že potenciál energie solární je jedním z největších. Je nutné si ovšem uvědomit, že tento potenciál je spíše teoretický. Není možné využít všechnu dopadající energii a tu, kterou se podaří zachytit, musíme být schopni efektivně konvertovat na pro nás využitelnou formu energie. Ve spojení se solárním zářením je zmiňována tzv. solární konstanta $1\,373\text{ W/m}^2$ ²⁶ udávající denní výkon dopadající na jednotku plochy. Pro ČR můžeme uvažovat průměrnou hodnotu 800 W/m^2 ²⁷. Rovnice 1 znázorňuje výpočet celkového výkonu slunečního záření dopadajícího na plochu ČR za jeden den:

$$P_C = C \cdot S_{\text{ČR}} = 800 \cdot 7,89 \cdot 10^{10} = 63,1\text{ TW} \quad [\text{W}; \text{W/m}^2, \text{m}^2] \quad (1)$$

²⁴ TSAO, Jeff, Nate LEWIS a George CRABTREE. Solar FAQs [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.sandia.gov/~jytsao/Solar%20FAQs.pdf>

²⁵ Vytvořeno autorem dle dat z: IEA. *World Energy Balances 2019* [online]. Paris: International Energy Agency. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/world-energy-balances-and-statistics>

²⁶ LAPČÍK, Vladimír, LAPČÍKOVÁ, Marta. Solární energetika a její vliv na životní prostředí [online]. Ostrava, 2010 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <http://gse.vsb.cz/2010/LVI-2010-2-10-16.pdf>. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

²⁷ LAPČÍK.

P_CCelkový výkon

CSolární konstanta

$S_{\check{C}R}$Rozloha ČR

Roční spotřeba energie v ČR je přibližně 1,13 EJ ²⁸, což je dle známého vztahu mezi výkonem a energií přibližně 36 GW. Z tohoto údaje a z hodnoty zjištěné výpočtem z rovnice 1 je zřejmé, že při využití sluneční energie dopadající na 0,057 % (45 km²) plochy ČR bychom tuto spotřebu pokryli. Nutné je také ale uvažovat účinnost solárního systému, pro potřeby této práce bude uvažována FVE s účinností solárního panelu 19,8 %. Po započtení tohoto faktoru bychom celkovou spotřebu pokryli ze sluneční energie dopadající na 0,29 % (229 km²) plochy ČR. Uvedené procentuální hodnoty plochy jsou čistě ilustrační a teoretická, neuvažuje místa, která nelze pokrýt jakýmkoli solárním systémem. Rozhodně ale poukazuje na silné postavení solární energie nejen mezi obnovitelnými zdroji. V ČR se ale výstavba nových fotovoltaických zdrojů zpomalila zrušením garantovaných výkupních cen. Za rok 2018 byly vystavěny elektrárny s instalovaným výkonem pouze 12 MW ²⁹, což je určitě pod možností zdejších energetických společností i soukromých investorů. Co se podílu střech českých domácností týče, jsou na nich nainstalovány elektrárny o přibližném výkonu 7 MW ³⁰. Pokud bychom uvažovali průměrnou velikost takovýchto domácích elektráren 5 kW, vycházel by počet domácností využívajících solární energii z FVE na 1 400. Opět je zde možné pozorovat nevyužitý potenciál volných ploch na střeších rodinných domů, kterých je v ČR téměř 1,8 milionu³¹. Navíc nic nebrání využití FVE i pro panelové domy.

²⁸ IEA.

²⁹ SOLÁRNÍ ASOCIACE. *Výroční zpráva 2018* [online]. Praha, 2019: Solární asociace. [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: https://www.solarniasociace.cz/dokumenty/vz_solarniasociace2018_web2.pdf

³⁰ SOLÁRNÍ ASOCIACE.

³¹ MMR. *Bydlení v České republice v číslech* [online]. Praha, 2019: Ministerstvo pro místní rozvoj. [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.mmr.cz/getmedia/44278f53-e63a-4dc5-8694-922df2853088/BvCZ-online-CZ.pdf.aspx?ext=.pdf>

4 Princip fungování fotovoltaické elektrárny

Abychom byli schopni přeměnit dopadající sluneční záření na elektrickou energii, je nutné využít několik technologických procesů a materiálů. Základním stavebním kamenem solární elektrárny je solární panel.

4.1 Polovodiče

Jedním ze základních dělení látek je jejich rozdělení dle vodivosti na látky vodivé (vedou elektrický proud), nevodivé (nevedou elektrický proud) a na polovodivé, které elektrický proud za určitých podmínek vedou. Mezi nejvyužívanější polovodivé látky patří prvky IV.A skupiny periodické soustavy prvků, např. křemík či germanium. Konduktivita polovodičů je tedy větší než u izolantů, ale menší než u vodičů, hodnota rezistivity se pohybuje za pokojové teploty od 10^{-5} do $10^1 \Omega\text{m}$. Vykazují vlastní a nevlastní vodivost a také vodivost elektronovou nebo děrovou. „*Vlastní polovodič je takový polovodič, v němž je možno zanedbat vliv příměsí při dané teplotě. Při teplotě absolutní nuly je vodivostní pás zcela prázdný a polovodič se chová jako ideální dielektrikum*“³² S rostoucí teplotou se začíná elektronům dodávat určité množství energie. Pokud je dostatečně velké, resp. pokud je velké alespoň jako šířka zakázaného pásu (vzdálenost mezi valenčním a vodivostním pásem), je elektronu dodána energie, aby mohl valenční pás opustit a přeskočit do pásu vodivostního, kde obsadí v závislosti na obdržené energii určitou energetickou hladinu. Tomuto procesu se říká generace. Ve valenčním pásu zůstane po přeskočení elektronu díra. Atom, který ztratil elektron, se v tomto okamžiku stává kladným iontem a může přijmout další volný elektron, čímž dojde k tzv. rekombinaci páru elektron-díra. Z toho vyplývá, že koncentrace volných elektronů a děr je v každém okamžiku stejná.

Daleko častěji se ale setkáme s tzv. nevlastními polovodiči. To jsou takové materiály, které ve svých krystalových mřížkách obsahují dopanty (příměsi). Příměsi změny velikost potřebné energie elektronu pro opuštění valenčního pásu tím, že vytvoří v zakázaném páse dodatečné energetické hladiny. Rozeznáváme dva typy nevlastních polovodičů, typu P a typu N. Polovodič typu P obsahuje příměsí prvků z III.A skupiny PSP. Jelikož křemík je prvkem čtyřmocným, dopant s křemíkem netvoří jednu kovalentní vazbu. Tím se nad valenčním pásem vytvoří energetická hladina, která může být zaplněná

³² KUČEROVÁ, Eva: *Elektrotechnické materiály*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2002. ISBN 80-7082-940-0.

volným elektronem. Po přijetí elektronu se dopant stává záporným iontem, tzv. akceptorem. U polovodičů typu N se jako příměsí užívá prvek z V.A skupiny PSP a je tedy pětimocný. Zbývá mu jedna nerealizovaná vazba, resp. jeden valenční elektron navíc, čímž pod vodivostním pásem vytvoří energetickou hladinu. Po dodání značně menšího množství energie, než je zapotřebí u vlastního polovodiče, se elektron uvolní a přeskočí do vodivostního pásu.

Jak vyplývá z vysvětlení podstaty polovodičů, jejich vlastnosti jsou silně závislé na okolních podmínkách a počtu příměsí. Polovodič má záporný teplotní koeficient odporu a jeho vodivost s rostoucí teplotou (v určitém rozsahu) stoupá. Jsou také závislé na osvětlování. Počtem příměsí je přímo ovlivněna vodivost materiálu.

4.1.1 PN přechod

Jsme schopni vyrobit takový polovodičový materiál, jehož jeden konec je dopovaný příměsími trojmocnými a druhý pětimocnými. Vytvoříme strukturu, která se nazývá PN přechod. Jelikož v obou dvou částech se nachází jiný druh vodivosti, elektrony z polovodiče N se začnou přemisťovat do oblasti P, ze kterého opačným směrem půjdou díry. Oblast polovodiče typu P bude mít díky přesunutým elektronům záporný náboj, u N to bude opačně a vznikne elektrické pole. „*V okolí PN přechodu vznikne vrstva, která je ochuzená o volné nosiče náboje – tzv. hradlová vrstva, která má podstatně větší elektrický odpor než zbylé části PN přechodu.*“³³ Pokud je napětí přiložené na PN přechod stejné polaritě jako pole PN přechodu, hradlová vrstva bude širší a materiálem nepoteče elektrický proud; mluvíme o závěrném směru. V opačném případě se nacházíme ve směru propustném a materiálem proud poteče.

4.2 Fotoelektrický jev

Základním principem solárních panelů a jejich schopnosti přeměnit solární energii na energii elektrickou je fotoelektrický jev. Velmi dlouho se světelné záření považovalo pouze za vlnu. Max Planck ale při zkoumání černého tělesa zjistil, že je schopné vyzařovat energii pouze ve formě určitých kvant. Na jeho práci navázal Albert Einstein, který popsal fotoelektrický jev a zjistil, že se elektromagnetické (světlené) záření při dopadu na povrch materiálu přestane chovat jako vlna, ale jako řetěz kvant energie, které nazval fotony. Foton dopadajícího slunečního záření předá materiálu svojí energii, která se rozdělí na dvě složky. Jedna z nich je použita pro uvolnění elektronu z vazby,

³³ KUČEROVÁ.

keré se říká výstupní práce. Druhou částí je kinetická energie uvolněné částice. Principem fotoelektrického jevu je v podstatě zákon zachování energie, který je popsán následující rovnicí:

$$E = hf = W_v + E_k \quad [\text{J}; \text{Js}, \text{s}^{-1}; \text{J}, \text{J}] \quad (2)$$

EEnergie fotonu předaná elektronu

hPlanckova konstanta

fFrekvence fotonu

W_vVýstupní práce elektronu

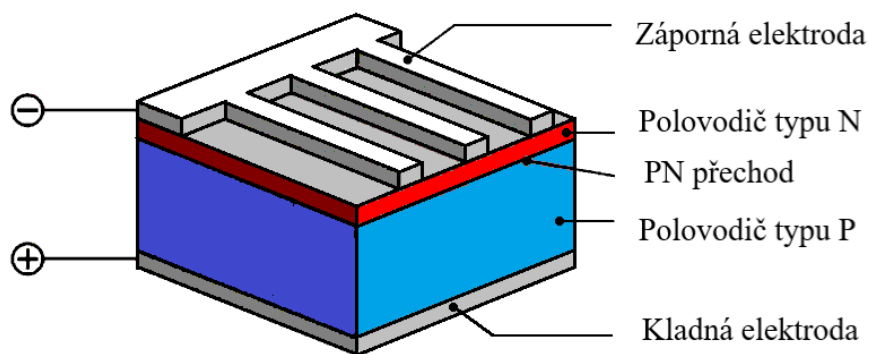
E_kKinetická energie

Rozeznáváme dva typy fotoelektrického jevu, a to vnitřní a vnější. U vnějšího je energie dodaná fotonem dostatečně velká, aby uvolněný elektron opustil povrch materiálu. Při vnitřním fotoefektu elektron zůstává uvnitř materiálu. Tento druh je typický pro PN přechod. Fotoelektrický jev nastane pouze tehdy, je-li energie dodaná fotonem větší než výstupní práce elektronu. Aby došlo k uvolnění elektronu z vazby, dopadající foton musí mít tzv. mezní frekvenci fotonu f_0 . Tato hodnota je odlišná pro různé druhy materiálů. Z rovnice 2 je navíc patrné, že „*energie uvolněného elektronu závisí pouze na frekvenci dopadajícího záření.*“³⁴

4.3 Fotovoltaický článek

Solární panel je vytvořen spojením několika fotovoltaických článků, který si můžeme představit jako jednoduchý PN přechod, do sériových kombinací ve formě řad, které se poté spojují paralelně. Výstupní napětí jednoho článku totiž není dostatečně velké pro aplikaci na výrobu elektrické energie (u křemíku se udává hodnota cca 0,6 V). Když je fotovoltaický článek ozářen a je elektronu dodána dostatečná energie k uvolnění z vazby, tedy energie větší, než je šířka zakázaného pásu, vznikne pár elektron-díra. V kovovém materiálu by došlo během okamžiku k zaniknutí, tedy tzv. rekombinaci páru elektron-díra. Proto je využíváno polovodiče. Díky elektrickému poli vytvořeném PN přechodem se tyto nově vytvořené volné částice začnou pohybovat, elektrony se přemísťují do oblasti polovodiče N a díry do oblasti polovodiče P. Pokud spojíme tyto dva typy polovodiče vodičem přes elektrody, teče tímto obvodem elektrický proud.

³⁴ Fotoelektrický jev. WikiSkripta [online]. [cit. 2019-12-19]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Fotoelektrick%C3%BD_jev



Obrázek 4: Struktura solárního panelu (upraveno)³⁵

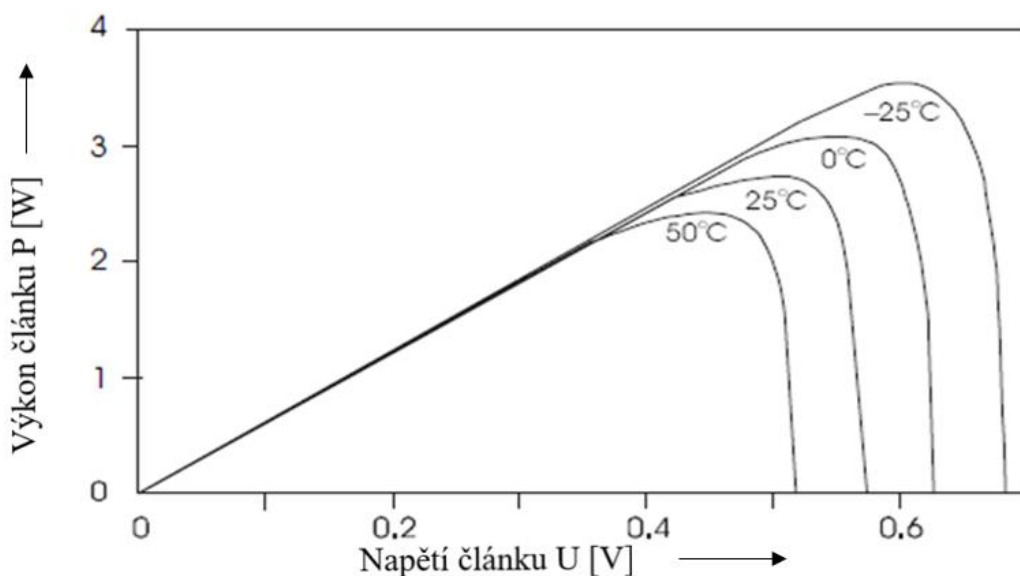
Výkon fotovoltaického článku můžeme vyjádřit následující rovnicí:

$$P_m = I_m \cdot U_m \quad [\text{W}; \text{A}, \text{V}] \quad (3)$$

P_mMaximální výkon článku

I_mMaximální proud článku

U_mMaximální napětí článku



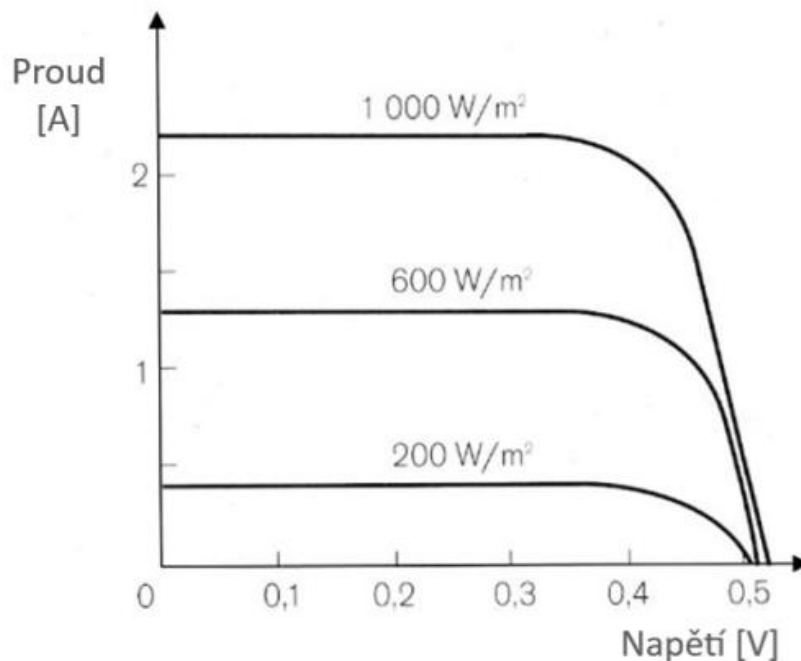
Obrázek 5: Teplotní závislost výkonu fotovoltaického článku (upraveno)³⁶

Hodnoty proudu a napětí jednoho článku jsou limitované a jsou ovlivněny např. intenzitou slunečního záření. Jak již bylo zmíněno, výstupní napětí článku je cca 0,5 V a hodnota proudu může dosahovat až např. 6 A. Výkon článku je silně

³⁵ Principle of solar energy: The Photovoltaic effect. *PV Insight: Grid the World* [online]. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: <http://pvinsights.com/Knowledge/Principle.php>

³⁶ MESSENGER, Roger A. a Jerry VENTRE. *Photovoltaic systems engineering*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2004. ISBN 08-493-1793-2

teplotně závislý, jak ukazuje obrázek 5. Účinnost solárního panelu se pohybuje kolem 20 %, zbytek energie ze slunečního záření se přemění v teplo, které panel ohřívá. To může způsobovat dodatečné snížení výkonu panelu.³⁷



Obrázek 6: Voltampérová charakteristika křemikového fotovoltaického článku (upraveno)³⁸

Obrázek 6 zobrazuje voltampérovou charakteristiku fotovoltaického článku. Z grafu je možné vyčíst charakteristické hodnoty proudu a napětí článku, konkrétně napětí naprázdno, které nabývá hodnoty přibližně 0,5 – 0,6 V, a proud nakrátko. Průběh voltampérové charakteristiky je závislý na intenzitě slunečního záření, s jehož zvyšující se hodnotou roste i proud protékající fotovoltaickým článkem. Při konstantní intenzitě článek dodává konstantní proud. Zde také přichází na řadu klíčový faktor fotovoltaického článku a celého panelu, účinnost, jejíž zvyšováním můžeme při konstantní intenzitě záření dosahovat větších hodnot proudu. Nutno podotknout, že hodnoty zobrazené na osách voltampérové charakteristiky jsou platné pro článek, nikoliv pro celý panel. Velikost těchto veličin se liší v závislosti na počtu jednotlivých článků.

³⁷ MESSENGER et al.

³⁸ MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. Fotovoltaika, elektřina ze slunce. Brno: ERA, 2007. 21. století. ISBN 978-80-7366-100-7.

5 Solární elektrárna

V této části textu budou popsány možnosti realizace solárních elektráren a budou podrobně rozebrány jednotlivé části nutné ke konstrukci fotovoltaické elektrárny.

5.1 Využití solárních elektráren

Solární elektrárny realizujeme, stejně jako všechny elektrárny, za účelem získávání elektrické energie. Obecně je možné se zabývat dvěma základními typy solárních elektráren, které se svým využitím mírně liší. Velkou průmyslovou, tzv. síťovou, elektrárnu, která je připojena přímo k distribuční síti, nalezneme spíše na poli. V oblibě je také stavba na tzv. brownfieldech, tedy nevyužitých nebo nedostatečně využitých plochách. Takový systém má za úkol pouze dodávku vyrobené elektrické energie do sítě. Zpravidla mají větší instalovaný výkon jdoucí až do několika megawatt. Protipólem těchto elektráren jsou ty elektrárny, které jsou umístěny na střechách. Ty jsou využívány zejména k napájení dané budovy. Nemusí se jednat pouze o malé elektrárny o výkonech v řádu jednotek kW. Fotovoltaické panely jsou často instalovány i na střechy průmyslových objektů, které si tím zajišťují nezávislost na dodávkách a třeba i ekonomickou úsporu. Důvodem může být i přechod na udržitelnější a životní prostředí méně zatěžující chod. Takovéto objekty jsou často typické velkou spotřebou elektrické energie, zvláště pokud disponují např. velkými obráběcími stroji. Mohla by nastat situace, kdy by pomocí FVE nebylo možné dodat dostatečně velký příkon. Solární elektrárna tak pro tyto objekty nemusí být pouze hlavním zdrojem energie, může být zdrojem doplňkovým nebo dokonce zdrojem záložním pro případ výpadku dodávky. Využití FVE jako záložního zdroje se samozřejmě nevztahuje jen na průmyslové objekty.

Solární elektrárna je, stejně jako většina zdrojů OZE, intermitentním zdrojem. To znamená, že nejsme schopni kontrolovat, ani nijak řídit výrobu tohoto zdroje. V tomto smyslu je tedy možné využít solární elektrárnu jako zdroj energie k okamžité spotřebě, do této skupiny budou řazeny zdroje připojeny přímo k distribuční síti, nebo k akumulaci vyrobené energie, kterou je možné využít až v případě potřeby. S ohledem na volbu předchozího kritéria je možné využít různě velkou solární elektrárnu, např. tak, aby její produkce mohla být v daném objektu určena k okamžité spotřebě. Velikost tohoto typu elektrárny může být v široké škále od jednotek kW do desítek MW. Navíc je možné elektrárnu vždy rozšířit.

Dopravní infrastruktura některých velkých měst se transformuje na „zelenou“, která zanechává nulovou uhlíkovou stopu svým provozem, a dochází k nahrazování klasických autobusů elektrickými. Z toho důvodu se např. v Šanghaji rozhodli vystavět FVE na střechu depa, aby byli schopni pokrýt nabíjení elektrobusesů.³⁹ Elektrárna při rodinném domě je nejčastěji využívána jako zdroj elektrické energie na celkový provoz domácnosti. Jelikož střecha nemusí nabízet plochu potřebnou pro produkci dostatečného množství energie, do obliby se dostávají i FV systémy jiného charakteru. Jedním z nich je fotovoltaický ohřev vody, kdy vyrobený stejnosměrný elektrický proud je zdrojem pro bojler. Pro takovéto využití jsou dostačující FVE o výkonu kolem 1 kW.⁴⁰ Kombinací s bojlerem je hned několik; takto napájený bojler může ohřívat vodu i poskytovat teplo pro vytápění domu pomocí výměníků tepla. Systém ohřevu by mohl být zajímavý i pro objekty krytých plaveckých areálů, jejichž střešní plocha nabízí možnost umístění většího množství panelů. Nutno dodat, že takové systémy jsou napájeny i střídavým proudem pro případ výpadku či nedostatku elektrické energie z FV generátoru. Doposud byly zmíněny jen způsoby využití pro objekty či jako přímý zdroj energie do sítě. Využití ale roste i v drobných aplikacích typu napájení dopravních značení či radarů na měření rychlosti silničních vozidel. To umožňuje aplikaci těchto přístrojů bez většího zásahu do okolí, což se přívodních kabelů napájení týče; solární článek je umístěn velmi blízko. Potřebná energie na provoz takového zařízení je velmi malá a není tedy nutná ani akumulace energie. Potenciální využití se nabízí i v oblasti pouličního osvětlení, kde princip je podobný jako u dopravního značení. Panel může být buďto oddělený nebo integrovaný do lampy. Energetická náročnost je však značnější, a proto musí být lampa doplněna o bateriové úložiště. Co se konkurenceschopnosti týče, pořizovací cena je větší než u tradičního osvětlení.⁴¹ Opět ale odpadají náklady na komplikovanou elektroinstalaci v místě realizace pouličního osvětlení. Výhodnost provozu silně závisí na nutnosti výměny bateriového úložiště. Rozvíjejícím se segmentem využívajícím solární elektrárnu, resp. solární články, je doprava. Již několik dopravních prostředků bylo zkonstruováno se zabudovanými solárními články, které se mohou starat o napájení jen nějaké funkce či celého provozu. Tématem jsou solárně poháněné vlaky, které jsou

³⁹ Buses Go Truly Zero Emission With Solar Power. Global Opportunity Explorer [online]. 2019 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://goexplorer.org/buses-go-truly-zero-emission-with-solar-power/>

⁴⁰ FOTOVOLTAICKÝ OHŘEV VODY: Sestavy pro ohřev vody. SVP-SOLAR [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.svp-solar.cz/solarni-ohrev/fotovolticky-ohrev-teple-vody/>

⁴¹ VINTAGE, Ryan. Cost Effectiveness: Traditional Street Lights VS. Solar Energy Lights. Greenshine [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.streetlights-solar.com/cost-effectiveness-traditional-street-lights-vs-solar-energy-lights.html>

již na určitých trasách ve Velké Británii zkoušeny.⁴² Plošné využití brzdí klasické problémy solární energie typu akumulace energie. Trend při realizaci železničních sítí je navíc spíše využití střídavého trakčního vedení z důvodu přenosu většího výkonu na delší vzdálenost. V Indii naopak využívají volného nevyužitého prostoru na střeše vagonů k umístění solárních panelů, které pak slouží jako zdroj elektrické energie k provozu osvětlení.⁴³ Na trhu se objevují také například powerbanky či celé batohy opatřené solárním článkem cílící na vyznavače outdoorových aktivit.

Nutno říci, že významně převažují aplikace využívající solární elektrárnu ke generaci elektrické energie pro napájení objektu jakožto náhrada za dodávky energie ze sítě. Ostatní zmíněné varianty se ještě nedostaly k plošnému rozšíření, nicméně díky technologickému pokroku mohou být již brzy odvětví měnícím aspektem. Nových možností využití bude navíc díky zaměření se na solární energii a OZE obecně stále přibývat.

5.2 Grid-On elektrárna

Pokud je fotovoltaická elektrárna připojená přímo k elektrické síti bez možnosti akumulace energie, mluvíme o grid-on elektrárně. Tento typ FVE je využíván nejen k průmyslovým účelům, ale může být využit i jako zdroj energie pro domácnost. V prvním případě jde čistě o výrobu elektrické energie k dodávání do sítě, při užití pro svoje účely těžíme ekonomicky z faktu, že veškerá vyrobená energie je využita. Část energie spotřebujeme na provoz domácnosti, zbytek je odveden do sítě. Přímým připojením elektrárny k síti se ale nestáváme zcela nezávislími. Pokud dojde k výpadku v elektrické síti, přestane fungovat i naše elektrárna, aby došlo k přerušení dodávky do sítě. To zajišťuje invertor. Absencí bateriového úložiště je také uživatel odkázán na využívání energie z vlastního zdroje pouze v době výroby (nemusí se potkávat doba výroby s dobou spotřeby). Nicméně úložiště jde k tomuto systému ještě dodatečně nainstalovat.^{44 45}

⁴² BERTI, Adele. Solar-powered trains: The future of rail? Railway Technology [online]. 2019 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.railway-technology.com/features/solar-powered-trains/>

⁴³ Indian Railways launches first solar-powered train. Economic Times [online]. 2017 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://economictimes.indiatimes.com/industry/transportation/railways/indian-railways-launches-first-solar-powered-train/more-power-to-railways/slideshow/59593824.cms>

⁴⁴ MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011 [cit. 2019-12-25]. ISBN 978-80-01-04937-2.

⁴⁵ ZIPP, Kathie. What are some common types of solar PV and storage installations? Solar Power World [online]. 2015 [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: <https://www.solarpowerworldonline.com/2015/10/what-are-some-common-types-of-solar-pv-and-storage-installations/>

5.3 Ostrovní elektrárna

Ostrovní elektrárnou neboli Off-Grid elektrárnou, se rozumí takový typ FVE, který není připojený k elektrické síti. Toho může být využito jednoduše z důvodu nedostupnosti sítě v lokalitě objektu, nebo, méně běžně, pokud chceme být naprosto na této síti nezávislí. V tomto případě je zajištěna i nezávislost na dodavatelích energie, jelikož jediným zdrojem energie je zdroj vlastní. Ostrovní elektrárna musí být vybavena bateriovým úložištěm. Obecné náklady na její realizaci jsou oproti jiným druhům vyšší. Musí být uvažován fakt, že je budován jediný zdroj energie, což je náročné zvláště na úložiště. Vzhledem k nestálosti intenzity slunečního záření v naší zeměpisné šířce záleží na možnosti využití tohoto systému velikost roční spotřeby. Výhodnější aplikace je možné nalézt např. u dopravních značení.⁴⁶

5.4 Hybridní elektrárna

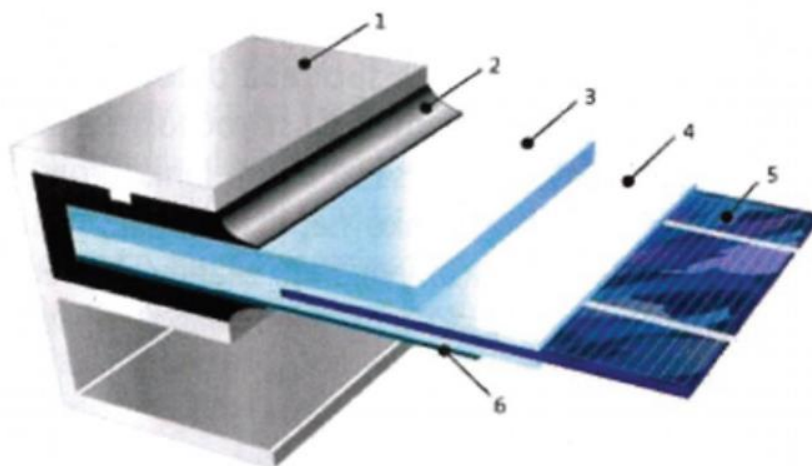
Hybridní elektrárna je ve své podstatě spojení předchozích dvou systémů. Elektrárna je připojená k elektrické síti, navíc je vybavena bateriovým úložištěm. Výhodou hybridní FVE je větší využití vlastní vyrobené elektřiny v místě výroby. Zároveň pokud dochází k přebytkům ve výrobě, je možné je poslat do sítě. Při výpadku je takto napájený objekt díky zásobě energie v úložišti nezávislý. Baterie umožňuje lepší využití FVE tím, že umožňuje spotřebovat elektřinu až v době, kdy jsou v objektu provozovány spotřebiče; pro domácnost pravděpodobně ráno a večer. Při realizaci můžeme rozlišovat mezi spotřebiči, které by měly být napájeny z baterie v případě výpadku dodávky.

5.5 Solární panel

Již několikrát byl solární panel zmíněn jakožto nejdůležitější část celé FVE. Díky tomuto komponentu je možné vyrábět elektrickou energii. Na trhu se pohybuje několik různých druhů panelů. Účinnost klasického komerčního panelu se pohybuje mezi 15 – 20 %,

⁴⁶ MASTNÝ.
ZIPP.

pro vědecké účely již byly vyvinuty panely s účinností přesahující 40 %⁴⁷.



1. Hliníkový rám, 2. Těsnění, 3. Tvrzené sklo, 4. EVA, 5. FV článek, 6. Krycí fólie (tedlar)

Obrázek 7: Vrstvy solárního panelu (upraveno)⁴⁸

Výkon solárních panelů se kvůli nekonstantnímu výstupu udává v jednotkách watt-peak (Wp), které udávají maximální výkon. Na trhu se objevují panely s výkonem od 220 Wp do 400 Wp. Nejčastěji je používáno panelů s výkonem 300 - 400 Wp.

K výrobě základní složky panelu, tedy fotovoltaického článku, se nejčastěji používá křemík. Z křemíkové destičky je vytvořen fotovoltaický článek, který je chráněn před vnějšími vlivy několika vrstvami. První z nich je ethylvinylacetátová fólie (EVA), do které je fotovoltaický článek vkládán. Na vrchní straně panelu je tvrzené sklo. Všechny vrstvy panelu jsou upnuty do kovového rámu, který umožňuje instalaci na montážní systém. Jednotlivá skla a fólie musí zaručovat dostatečnou propustnost slunečního záření k článku. Účinnost je také zvyšována pomocí antireflexní vrstvy, která snižuje množství záření odraženého od skla.⁴⁹

5.5.1 Monokrystalický solární panel

Monokrystalický panel je nejpůvodnějším typem panelů. Monokrystalické destičky jsou vyráběny z polykrystalického křemíku. K výrobě monokrystalu je využíváno Czochralského metody. Polykrystal je vložen společně s žadáným dopantem do nádoby z křemenného skla, kde dojde k jeho roztavení. Do nádoby je vložen konec tažičky, na které je zárodek monokrystalu. Nádoba a tažička se otáčejí na opačné strany. Zárodek

⁴⁷ MATASCI.

⁴⁸ MASTNÝ.

⁴⁹ MASTNÝ.

je pomalu vytahován z nádoby a na jeho konci se vytváří monokrystal. Takto vyrobený krystal je poté nařezán na tenké plátky. Řezáním dojde k poškození povrchu krystalu a musí poté být ošetřen chemicky nebo obroušen, aby bylo dosaženo požadované kvality povrchu. Dalším krokem je vytvoření PN přechodu. K vytvoření kontaktů na zadní straně panelu je využíváno hliníku, který spojením s křemíkem vytvoří oblast P polovodiče a napomáhá ještě více rozdělování volných částic, jelikož přitahuje díry. Na kontakty přední strany jsou kladeny větší nároky zvláště proto, že zčásti zakrývají fotovoltaický článek. Je žádoucí, aby tedy zabírali co nejmenší plochu, ale zároveň aby odpor vytvořený malou styčnou plochou nebyl příliš velký. Monokrystalické panely obvykle dosahují lepší účinnosti než jiné druhy panelů a poskytují vyšší maximální výkon. Kvůli procesu výroby, zejména tažení monokrystalu, jsou dražší.⁵⁰

5.5.2 Polykrystalický solární panel

Jak již název panelu napovídá, tento druh solárního panelu nebude při výrobě používat tažení monokrystalu, čímž se výrazně sníží jeho cena. Výroba začíná podobně jako u monokrystalického panelu, tedy roztavením křemíku v nádobě. Tavenina ale nebude vytahována zárodkem, v nádobě zůstane a kontrolovaně se nechá ztuhnout. Poté se opět musí nařezat na plátky. S nižší výrobní cenou přichází ale i menší výkon a nižší účinnost panelu. To je způsobeno tím, že přítomností více krystalů ve struktuře křemíku, tedy i jednoho článku, mají volné elektrony menší prostor na pohyb „a na styku jednotlivých zrn je větší odpor“⁵¹.⁵²

5.5.3 Tenkovrstvý solární panel

Jednou z aktuálních technologických disciplín je i studium tenkých vrstev, jejich vlastností a způsobů vytváření pomocí napařování či naprašování. V rámci úspor materiálu jsou vytvářeny i tenkovrstvé solární panely. Tato varianta zatím není používanější než klasické krystalické panely. Co se materiálu týče jsou ekonomicky zajímavější, jejich celková cena ale bude vždy záviset na ceně tenkovrstvé technologie. Mohou být ale volbou v takových aplikacích, kde je velká náročnost na statiku střechy, jelikož tenkovrstvé panely mají menší hmotnost. Tenká vrstva materiálu má odlišné vlastnosti od stejného materiálu běžných rozměrů. Oproti krystalickým panelům jsou

⁵⁰ MESSENGER et al.

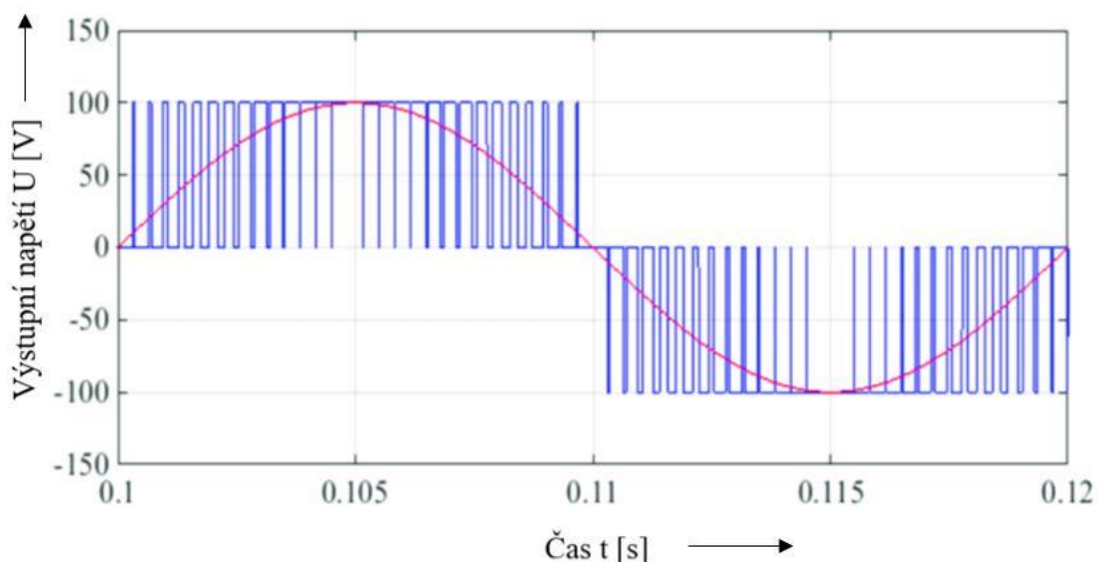
⁵¹ MURTINGER et al.

⁵² Monocrystalline vs. Polycrystalline Solar Panels: What you need to know. *EnergySage* [online]. 2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.energysage.com/solar/101/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>

tenkovrstvé méně citlivé na teplotu a zastínění. Výhodou pro některé projekty je možnost určité míry průhlednosti, což lze použít do střech komerčních budov jako kompromis zdroje energie a světla nebo pro střechu jakýchkoli přístřešků, např. teras či car portů.⁵³

5.6 Invertor

Solární elektrárnu je možné rozdělit na dvě strany, DC stranu a AC stranu, které jsou od sebe oddělovány invertorem, resp. střídači. Samotné solární panely vyrábí stejnosměrný proud, který je nutné pomocí střídače upravit na střídavý jak pro úspěšné propojení s elektrickou sítí, tak pro napájení spotřebičů, které jsou většinou uzpůsobené k tomuto typu proudu. V rámci FVE je možné střídač použít různě. Nejméně obvyklou aplikací je umístění střídače ke každému panelu zvlášť. Pravděpodobně nejvyužívanější



Obrázek 8: Ideální průběh výstupního napětí střídače vytvořen pulsně šířkovou modulací (upraveno)⁵⁴

je aplikace tzv. stringového střídače, který je zapojen k řadě několika panelů spojených do série. U velkých solárních parků je možné zapojit střídač centrálnějšího charakteru pro velké množství panelů. Dále můžeme střídače rozdělit na ostrovní, které generují 50 Hz frekvenci a síťové. Ty jsou tzv. přifázované k síti a mají na výstupu kmitočet odpovídající okamžitému kmitočtu v síti. Přifázování bývá prováděno automaticky. Střídač je elektronické zařízení uzpůsobené k přeměně stejnosměrného proudu, resp. stejnosměrného napětí na střídavý proud, resp. napětí. K tomuto účelu je využíváno

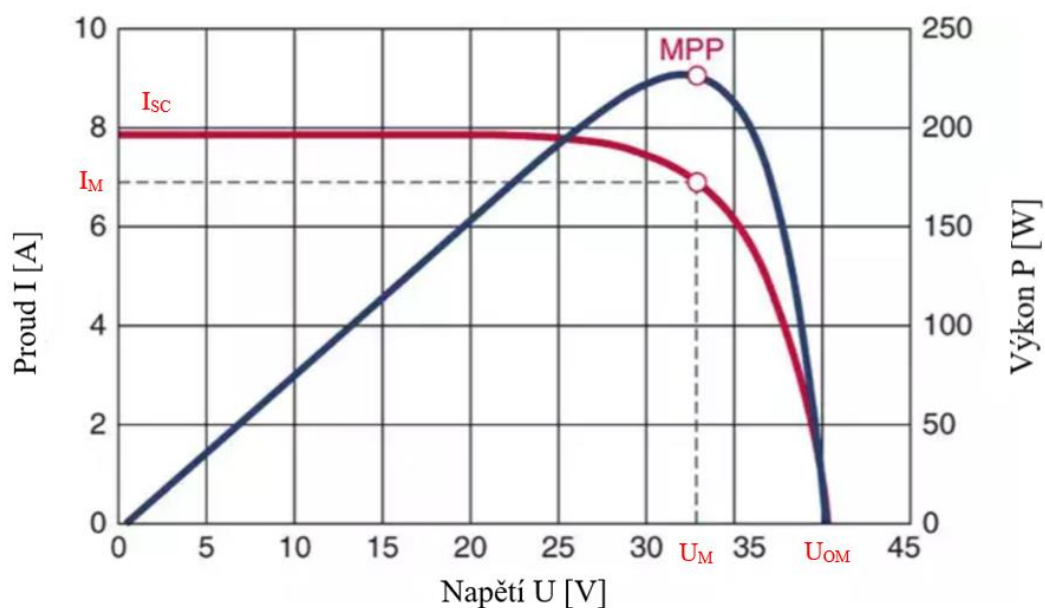
⁵³ Types of solar panels: What are your options? *EnergySage* [online]. 2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.energysage.com/solar/101/types-solar-panels/>

⁵⁴ VUJACIC, Marija & HAMMAMI, Manel & SRNDOVIĆ, Milan & GRANDI, Gabriele. (2017). Theoretical and Experimental Investigation of Switching Ripple in the DC-Link Voltage of Single-Phase H-Bridge PWM Inverters. *Energies*. 10. 1189. 10.3390/en10081189.

spínacích prvků, tranzistorů, ke kterým je paralelně připojena dioda. S rostoucím využíváním FVE začíná být kladen čím dál větší důraz na kvalitu střídačů, resp. na kvalitu průběhů výstupních veličin. Jedná se především o co největší podobnost průběhu tvaru sinus a o co nejnižší obsah vyšších harmonických frekvencí. Střídače vytvářející obdélníkový průběh napětí jsou sice nejlevnější, pro dodávku elektrické energie do sítě jsou ale nepřijatelné. Kvazisinusovými invertory se výstupní parametry zlepšují. Sinusovému průběhu je možné se přiblížit pomocí modulace. Nejvyužívanější je pulsně šířková modulace (PWM); invertory jsou sice dražší ale mají vysokou účinnost. Střídač mění šířku pulsů v závislosti na napětí ze zpětné vazby. K vytvoření střídavého výstupního napětí se využívá 2 signálů, signálu referenčního a signálu nosného. Signál referenční je velmi podobný sinusovému průběhu. Tento signál vytváří s nosným signálem, který má větší frekvenci než signál referenční, průsečíky, které určují šířku pulsů výstupního napětí střídače. Perioda pulsů zůstává stejná, měněním šířky pulsů se mění jejich střední hodnota. Tato tzv. suboscilační metoda je jednou z mnoha druhů pulsních šířkových modulací, další známou je například modulace prostorového vektoru výstupního napětí.

Pro co nejlepší využití výkonu FV střídače obsahují zařízení zvané MPPT neboli Maximum Power Point Tracker. Jedná se o DC-DC měnič, který mění výstupní hodnoty proudu a napětí ze solárních panelů tak, aby byla dosažena co největší kompatibilita mezi panely a bateriovým úložištěm. MPPT vyhodnotí velikost napětí a proudu z panelů, stejně tak jako stav napětí baterie, a sníží napětí a zvýší proud na maximální hodnotu, aby byl zachován původní výkon a zároveň došlo k co nejlepšímu nabití baterie.⁵⁵

⁵⁵ What is Maximum Power Point Tracking (MPPT). Northern Arizona Wind&Sun [online]. 2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.solar-electric.com/learning-center/mppt-solar-charge-controllers.html/>
Basics of MPPT Solar Charge Controller. *Leonic*s [online]. 2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: http://www.leonics.com/support/article2_14j/articles2_14j_en.php



Obrázek 9: Princip funkce MPPT (upraveno)⁵⁶

Princip tohoto zařízení je zobrazen na obrázku 9, na kterém lze rozeznat červenou voltampérovou charakteristiku solárního panelu a modrou závislost výkonu panelu na napětí.

5.7 Bateriové úložiště

V závislosti na typu elektrárny je nutné využití akumulace vyrobené energie. Pokud se jedná o elektrárnu čistě průmyslovou, připojenou k síti za účelem výroby energie a dodávky do sítě, nemusí být užito úložiště. Jedná-li se ale o instalaci ostrovní či hybridní, je baterie nutná. Výroba z FVE dosahuje maxima kolem poledních hodin, to se ale neslučuje s maximem spotřeby domácnosti, která je největší ráno a večer. Využitím akumulace dosáhneme lepšího využití FVE. Baterie bývá ale nejdražší částí FVE, proto je žádoucí, aby její životnost byla co nejdělsí. Baterie je charakterizována kapacitou a výkonem. Kolik energie je možné do baterie uložit je dáno její kapacitou udávanou v kWh. Množství energie, které je tato baterie schopná za čas poskytnout, je dáno výkonem úložiště v kW. Výrobce je také udávána hodnota energie, která by v baterii měla zůstat pro její správný chod a pro zaručení co nejdělsí životnosti, resp. by měl být uveden graf znázorňující tuto závislost. Ta se odhaduje na cca 5 - 15 let, což znamená, že s největší pravděpodobností bude muset být za životnost FVE vyměněna

⁵⁶ ZISCHKE, Dylan. Maximum Power Point Tracking. BLUEsat [online]. 23.8.2017 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://bluesat.com.au/maximum-power-point-tracking/>

alespoň jednou. Baterie jsou velmi náchylné na chlad, kdy při nižších teplotách je potřeba vyššího napětí k nabití.⁵⁷

Jedněmi z nejpoužívanějších baterií pro solární systémy jsou olovené akumulátory, zvláště díky nízké ceně. Sestávají z olovené katody a anody z oxidu olova, která je ponořena do kyseliny sírové. Účinnost této baterie zahrnující ztráty při nabíjení i vybíjení je přibližně 90 %. Při vybíjení dojde k chemické reakci mezi anodou a kyselinou, kdy dojde k výměně iontu kyslíku s iontem síry z kyseliny. Na katodě dojde k reakci iontů síry s oloveným materiálem katody a vytvoří se síran olovnatý. Jako v každém systému, musí být zachována neutralita. Když katoda přijme ionty síry z elektrolytu, přebývají na ní 2 elektrony, které ji musí opustit. Opačný případ nastává na anodě. Důsledkem toho mezi oběma elektrodami teče elektrický proud. Během nabíjení se katoda přemění zpětnými chemickými reakcemi na čisté olovo. Dalšími možnostmi jsou nikl-kadmiové akumulátory nebo např. lithium-iontové. Obzvláště poslední jmenované jsou na vzestupu, zvláště díky delší výdrži. Oceňována je také jejich větší bezpečnost, jelikož neobsahují kapalné složky jako kyselinu sírovou a neuvolňují se z těchto elektrolytů plyny. Jsou tepelně stabilní, čímž je umožněno využití vyšších proudů k nabíjení bez přílišných ztrát teplem. Oproti oloveným akumulátorům mají větší nominální napětí (cca 3 V), jehož násobky (např. 4 akumulátorové články) jsou výhodné pro spolupráci s invertory (12 V, 24 V, 48 V). Také mají vyšší poměr využitelné energie ku energii, kterou byla baterie nabita, až 98 %.⁵⁸

5.8 Ostatní komponenty

K instalaci FVE a uchycení panelů je zapotřebí montážního systému neboli nosné konstrukce. Konstrukce se staví tak, aby natočení celého solárního systému odpovídalo jihu nebo jihozápadu. Nejčastěji vyrobené z hliníku či žárového zinku, jejich konstrukce se liší v závislosti na podkladu. Mluvíme-li o polní elektrárně, zatloukají se profily do země do hloubky přibližně 1 m podle typu půdy. Může se také využít betonových patek k jejich upevnění, profily lze do země také šroubovat. V případě realizace střešní

⁵⁷ MESSENGER et al.

How to choose the best battery for a solar energy system. *EnergySage* [online]. 2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.energysage.com/solar/solar-energy-storage/what-are-the-best-batteries-for-solar-panels/>

What is Lithium Battery Technology? *Northern Arizona Wind&Sun* [online]. [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.solar-electric.com/learning-center/lithium-battery-technology.html/>

⁵⁸ VINTAGE, Ryan. Cost Effectiveness: Traditional Street Lights VS. Solar Energy Lights. *Greenshine* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.streetlights-solar.com/cost-effectiveness-traditional-street-lights-vs-solar-energy-lights.html>

elektrárny záleží na typu střešní krytiny a sklonu střechy. Jednodušší systém je pro rovnou střechu, který je velmi podobný polní konstrukci, pouze nedochází k vrtání. Pro střechu se sklonem je používáno hliníkových profilů přišroubovaných např. ke krovu střechy.

Další neopomenutelnou součástí je kabeláž. Zásadně se liší druhy kabelů pro DC a AC stranu. Základním kabelem je elektrický kabel pro vedení stejnosměrného proudu ze solárního panelu. Dále je možné uvažovat drobný elektromateriál.

6 Návrh solární elektrárny

6.1 Popis objektu

Fotovoltaický systém bude navrhován pro menší, již vybudovaný, rodinný domek, který se nachází v řadové zástavbě ve městě Rokycany v Plzeňském kraji. Toto město leží přibližně na 49° severní šířky, kde můžeme očekávat přibližně hodnotu celkového ozáření slunečním zářením o velikosti 1025 – 1030 kWh · m⁻².⁵⁹ Na dům okamžitě navazují sousední stavby, a tak má sedlová střecha pouze dvě strany orientované severně a příhodně jižně. K instalaci solárních panelů se využívá právě částí střech orientovaných na jih. Přestože je objekt rodinným domem, v současné době není k těmto účelům zatím zcela využíván. Jeho prostory se momentálně využívají jako kancelářské sídlo firmy a víkendový dům. Nicméně se zde nachází i obývací pokoj a ložnice a v blízké době se plánuje plné využití objektu jako rodinného domu při zachování jedné kancelářské místnosti. Povaha spotřeby elektrické energie se momentálně liší od klasické spotřeby



Obrázek 10: Rodinný dům a jeho jižní střecha

⁵⁹ HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

rodinného domu, kdy je typické, aby spotřeba byla v průběhu dne minimální a soustředila se do ranních a večerních hodin.

V objektu je elektrická energie spotřebována zvláště na vytápění pomocí podlahového topení realizovaného pomocí topných rohoží, v patře je využito topné fólie pracující na stejném principu. Ohřev vody je taktéž prováděn elektricky, je využit elektrický ohřívač o objemu 80 l a příkonu 2 200 W. Za zmínku stojí i elektrická varná deska, dále se jedná o běžné domácí spotřebiče, v kanceláři jsou navíc ve frekventovaném provozu dva počítače a dvě kancelářské tiskárny.

Rok	2016/2017		2017/2018		2018/2019	
Tarif	VT	NT	VT	NT	VT	NT
Cena silové elektřiny [Kč · kWh ⁻¹]	1,70	1,32	1,72	1,36	1,85	1,59
Průměrná cena silové elektřiny [Kč · kWh ⁻¹]	1,51		1,54		1,72	
Spotřeba elektřiny [kWh]	106	13 166	96	12 623	109	11 498
Celková spotřeba elektřiny [kWh]	13 272		12 719		11 607	
Celková fakturovaná částka (s DPH) [Kč]	36 712,16		36 080,48		36 983,54	

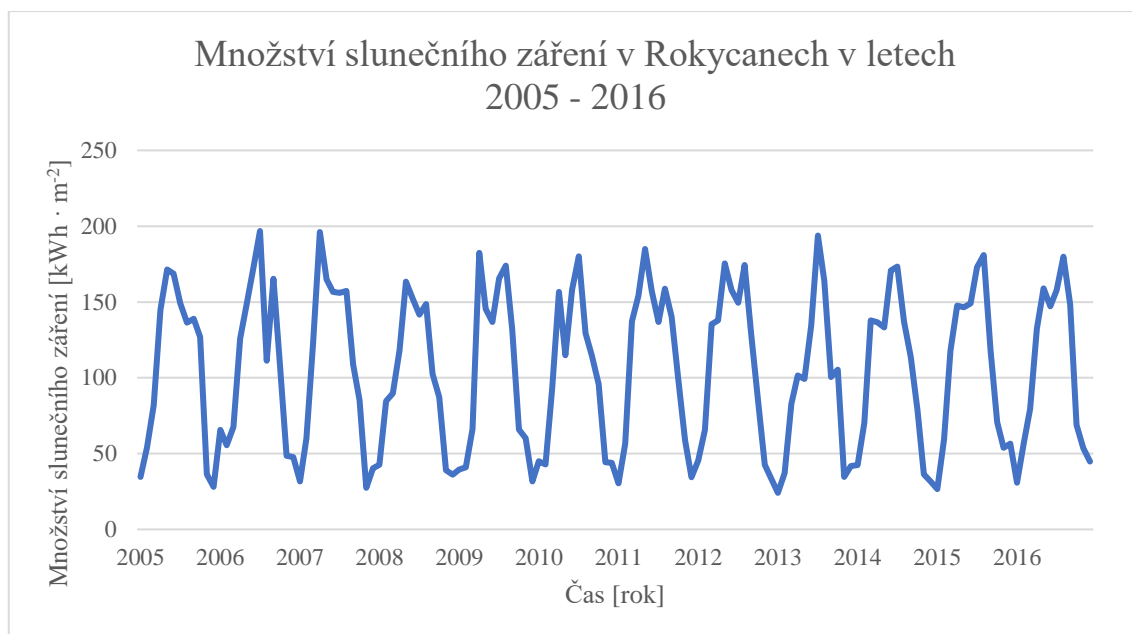
Tabulka 2: Přehled vyúčtování spotřeby elektřiny mezi lety 2016 - 2019

Momentálně je elektrická energie dodávána společností ČEZ Prodej, a.s., a objekt je připojen k distribuční síti na hladině nízkého napětí společnosti ČEZ Distribuce, a.s. a využívá distribuční sazbu D45d, tedy dvoutarifní sazbu skládající se z 8 hodin aktivního vysokého tarifu a z 16 hodin aktivního nízkého tarifu. V domě je umístěn běžný 3 x 25 A jistič.

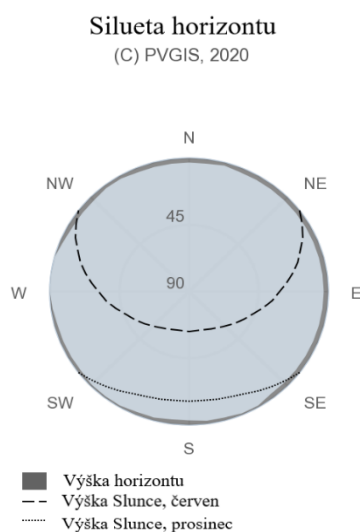
6.2 Příprava projektu

Před začátkem projektování a samotné realizace solárního systému je nutné zvážit a vyhodnotit vhodnost stavby pro tyto účely. Co se České republiky týče, je stále možné lokalitu severní části Plzeňského kraje považovat za vhodnou, i přestože nenabízí takové množství slunečního záření jako třeba jih Moravy. Následující graf zobrazuje právě tento aspekt návrhu. Hned na první pohled je patrné, že v letních měsících bude produkce daleko větší. Nejenže se sníží doba slunečního svitu, ale je nutné také uvažovat případné zakrytí panelu sněhem. FVE bude realizována na šikmou střechu, což spolu s hladkým povrchem panelu zajišťuje přirozené odstranění sněhu. Navíc je povrch panelu z podstaty své činnosti teplejší než okolí a sníh na něm taje. V Rokycanech nebyl ani tento problém vzhledem k ubývání sněhových srážek v zimě aktuální. Střešní FVE jsou omezené

orientací budovy, resp. její střechy. Solární panely je nutné nastavit vůči Slunci vhodně, aby se maximalizoval dopad slunečního záření. Nejpoužívanější možností je natočení na jih, což tato střecha splňuje.



Graf 1: Celkové množství slunečního záření v Rokycanech, data z 2005 – 2016⁶⁰



Obrázek 11: Pohyb Slunce po horizontu v průběhu typického meteorologického roku pro Rokycany (upraveno)⁶¹

Dále je nutné uvažovat sklon střechy. Panel bude produkovat největší množství energie v případě, že na něj bude záření dopadat kolmo. Počítat se ale musí se změnou úhlu

⁶⁰ Vytvořeno autorem dle dat z: EUROPEAN COMMISSION – PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. [online]. EU. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR

⁶¹ EUROPEAN COMMISSION – PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. [online]. EU. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR

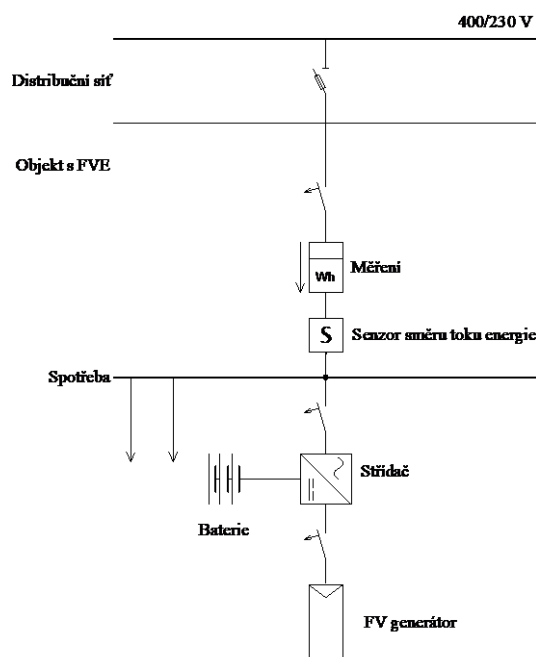
dopadu záření na panel v průběhu dne i v průběhu roku. Obecně se za nejlepší náklon panelů na střeše považuje v této geografické oblasti úhel mezi 30° a 45°. V tomto případě bude realizována FVE na střechu, jejíž části jsou různě zešíkmené. Větší plocha střechy má sklon 39°, lze ji tedy považovat za ideální, zatímco druhá, menší přistavená část střechy, pouze 20°.

Jedním z nejdůležitějších faktorů, který může negativně ovlivnit výkon celé FVE, je stínění. V okolí budovy musí být vyhodnoceny všechno potenciální zdroje stínu dopadajícího na plochu, kde budou umístěny solární panely. Zastíněním i pouze části jednoho panelu se sníží účinnost všem panelům zapojeným s tímto panelem v sérii ve stringu. Z tohoto důvodu jsou v komerčních panelech umístěné tzv. bypass diody, které případně přemostí tu zastíněnou část panelu. Pokud víme, že stín bude na střechu dopadat, je možné uvažovat o aplikaci tzv., a trochu nesprávně nazývaných, AC solární panelech, které nejsou vzájemně propojené. Jedná se ale o klasický panel, ke kterému je rovnou připojen mikro střídač pouze pro ten konkrétní panel. Celý fotovoltaický systém pak postrádá stringový střídač a v podstatě celou DC část, jelikož je celý systém vytvořen AC kabely. Tento faktor se posuzuje dle analýzy stínů pomocí některého z analytických programů. Co se této budovy týče, nemusela být provedena příliš odborná analýza. Dům se nachází v bývalé historické zóně a stavby v ní jsou typicky nízké a na jejich zahradách nejsou vzrostlé stromy. Jedinou možnou překážkou je tedy střecha vedlejšího domu, která byla oproti řadové zástavbě zvýšena (viz. obrázek 10). Byla tedy provedena jednoduchá analýza zastínění, která odhalila stín vrhnutý sousední střechem na plochu mezi oknem a vedlejší stavbou. Z důvodu co největší efektivity elektrárny sem nebudou panely umístěny.



Obrázek 12: Pohyb stínu na jižní střeše (04/2020). Foto vlevo - 7:00, foto vpravo 9:45

V přípravě projektu by také mělo být jasno o povaze FV systému. Celkem samozřejmě se nebude jednat o off-grid instalaci čili bude provedeno připojení k distribuční síti. Zásadním rozhodnutím je využití bateriového úložiště. Zde musí být přihlédnuto k velikosti využitelné plochy střechy, ze které nelze očekávat produkci větší než jednotky MWh. Produkce tedy nepokryje a už vůbec nepřesáhne spotřebu. Nejběžnější způsob, tedy maximální spotřeba vyrobené elektřiny a prodávání nadbytku do sítě, není možný. Velmi ekonomicky nevýhodné by bylo prodávat do sítě veškerou vyrobenou energii a následně ji klasicky odebírat. Řešením je tedy paralelní chod zdrojů neboli spolupráce FVE a distribuční sítě. Solární elektrárna bude vybavena bateriovým úložištěm a primárně bude spotřebovávána vlastní vyrobená energie. Zbytek potřebné elektřiny bude odebírán ze sítě, jako je tomu doteď. Tato aplikace není nikterak neobvyklá. Bude klasicky použito čtyřkvadrantního průběhového elektroměru a bude zamezen přetok energie do sítě. Elektrárna bude dle energetického zákona klasifikována jako mikrozdvoj. Její instalovaný výkon jistě nepřekročí 10 kW, tudíž k připojení k distribuční soustavě není potřeba žádat o udělení licence u Energetického regulačního úřadu. Splněno bude i osazení průběhového elektroměru. Bude moct být využito i zjednodušeného připojení mikrozdvoje na již existujícím odběrném místě, které je právě podmíněno zákazem přetoků do sítě pod rizikem penalizace. Proces je navíc zbaven povinnosti žádat provozovatele sítě o připojení, to se pouze oznamuje.



Obrázek 13: Zjednodušené schéma projektované FVE

6.3 Návrh solární elektrárny

Obecně existují dva způsoby, jak dimenzovat velikost solární elektrárny. Prvním z nich je dle spotřeby napájeného objektu, tedy případ, kdy elektrárna dodává dostatečné množství energie pokrývající spotřebu. Případné přetoky energie je možné dodávat do sítě a tento způsob je využíván i off-grid instalací. Druhým způsobem, který je často u malých residenčních střešních elektrárnách využíván, je omezení využitelnou plochou střechy. Tento způsob byl využit i při tomto návrhu, kdy byla vyhodnocena vhodná místa pro umístění panelů na jižní střeše za účelem maximalizace produkce. Tato varianta byla zvolena z důvodu menší střechy na poměrně velkou spotřebu energie domácnosti.

Proporce střechy navíc významně ovlivňují rozložení panelů, které v tomto případě bylo ovlivněno zejména dvěma střešními okny a shora střešními průduchy a komínem. Před vypracováním samotného layoutu, tedy vizualizace rozmístění solárních panelů, je nutné provést volbu FV panelu, v této fázi projektu alespoň jeho rozměrů. Vzhledem k malé střeše a ke všem omezením jsem chtěl využít panelu menších rozměrů, zároveň požadavkem ale byl výkon zaručující vysokou, resp. uspokojující produkci. Z dvou běžných velikostí, tedy 72 článkových a 60 článkových panelů, jsem se právě rozhodl pro variantu menší. Na trhu se vyskytuje nespočet nejrůznějších výrobců panelů a je nutné rozlišit kvalitní produkt. Obecně uznávaným benchmarkem je *Bloomberg New Energy Finance PV Module Tiering System*, který každé čtvrtletí vydává seznam kvalitních, u investorů oblíbených a spolehlivých, tzv. Tier 1, výrobců. Řídit se tímto seznamem jsem se rozhodl i při tomto projektu. Výsledná elektrárna nebude totiž velká a záleží, aby parametry panelů byly přesné a odpovídaly vytvořenému návrhu. Na to navazuje i volba monokrystalického křemíkového panelu, který je právě díky své technologii výroby kvalitnější a má běžně vyšší účinnost. Po vzetí těchto požadavků v potaz, stačí zvolit špičkový výkon panelu. V tabulce 3 jsou shrnuty základní parametry zvoleného panelu, v příloze 1 se nachází produktový list.

Střechu jsem rozdělil na dvě části dle sklonu, tedy již výše zmíněné 39° a 20° části. U obou ploch jsem se snažil zvolenou orientací dosáhnout maximálního pokrytí panely. Pro méně prudkou střechu se ukázala jako nejlepší řešení vertikální orientace panelů, která umožňuje umístění 6 panelů těsně přiléhajících k sobě. Náročnější návrh rozložení

Výrobce	LG Electronics
Typ	LG NeON 2 340N1C-A5
Výkon [Wp]	340
Počet článků	60
Typ článků	Monokrystalický křemík
Účinnost	19,8 %
Rozměry l x w x h [mm]	1 686 x 1 016 x 40

Tabulka 3: Základní parametry zvoleného solárního panelu⁶²

musel být proveden vzhledem k překážkám na příkřejší střeše. Orientace panelů byla oproti předchozímu případu zvolena horizontální a jejich umístění odpovídá maximální využitelné ploše této části střechy. Panely budou zapojeny sériově. V kapitole 6.2 byl zmíněn teoretický negativní vliv sněhové pokrývky na výkon elektrárny. Zde je zvláště u vertikálního rozložení na střeše o sklonu 19° nutné si být této skutečnosti vědom, jelikož strmost není taková, aby sníh případně sklouzl z panelu sám a když, tak bude ve spodní



Obrázek 14: Návrh rozložení panelů na jižní střeše

části panelu zabírat větší plochu než u opačné orientace. Jelikož střecha ale není příliš vysoká, je možné provádět v případě sněhových srážek údržbu a povrch očistit.

⁶² Vytvořeno autorem dle dat z přílohy 1

Na základě předchozích úvah byl vytvořen layout (obrázek 14). Takováto konfigurace vytvoří solární systém o instalovaném špičkovém výkonu 4 080 W, resp. 4,08 kW. Dalším krokem je volba montážního systému/montážní konstrukce. Jelikož je budova, a zvláště střecha, již realizovaná, nebylo ani uvažováno o montáži panelů přímo do střechy kvůli příliš velkému zásahu. Bude využito ocelových či hliníkových profilů. I u této varianty je ale žádoucí minimální zásah do již hotové střechy. Kritérii pro volbu konstrukce je produkt vhodný na šikmou střechu a pro konkrétní střešní krytinu, v tomto případě bobrovku. Nejvhodnější volbou se jeví použití střešních háků, které se po odkrytí krytiny přichytí, resp. přivrtají do dřevěného krovu střechy. Otvor se poté opět zakryje pouze drobně upravenou taškou, čímž je splněn požadavek na neponičení krytiny. Původním záměrem byla volba konstrukce od výrobce K2 Systems, která je celosvětově velmi využívána a mezi montéry je, co se instalace týče, zvládnutá. Nakonec byla vybrána konstrukce od české společnosti Krajiczech specializující se na střešní FV konstrukce, která po vzájemné komunikaci poskytla řešení vhodné přímo na míru pro střechu s bobrovkou.

Po stanovení výkonu FV generátoru je možné přejít na dimenzování dalšího základního komponentu, střídače. V domě jsou vedeny trojfázové rozvody a celý systém bude připojen k trojfázové distribuční síti, střídač tedy bude pro jednoduchost a předejití nesymetriím také trojfázový.

Výrobce	Huawei Technologies Co.
Typ	Huawei SUN2000-3KTL-M0
Maximální vstupní DC výkon [W]	6 150
Maximální výstupní AC výkon [W]	3 000
Počet fází	3
Počet DC vstupů	2
Počet MPPT	2
Rozměry l x w x h [mm]	525 x 470 x 166

Tabulka 4: Základní parametry zvoleného střídače⁶³

Zvolen byl měnič vyrobený společností Huawei, základní informace jsou zachyceny v tabulce 4. Zařízení je navíc kompatibilní s bateriovým úložištěm. Dvěma důležitými parametry jsou vstupní DC výkon a výstupní AC výkon. Vstupní výkon je dán velikostí FVE, tedy 4,08 kW. Výkon střídače by v tomto případě měl být vždy větší než výkon elektrárny. To už ale nemusí platit u výkonu výstupního. Instalovaný výkon FVE

⁶³ Vytvořeno autorem dle dat z přílohy 2

je špičkový, tzn. že je velmi pravděpodobné, že této hodnoty nebude za provozu často dosahováno a měnič bude poddimenzován. Vhodnost střídače může být posouzena poměrem DC/AC výkonu, tedy poměru instalovaného výkonu a výstupního výkonu střídače:

$$\frac{P_{I,DC}}{P_{O,AC}} = \frac{4,08 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^3} = 1,36 \quad [-; W, W] \quad (4)$$

$P_{I,DC}$DC výkon instalovaný

$P_{O,AC}$AC výstupní výkon střídače

Volba správného poměru je zásadní. Hodnota menší než 1 se v praxi nepoužívá, příliš vysoká hodnota by zase způsobovala ztráty; elektrárna by často dodávala větší výkon, než by střídač byl schopný zpracovat. To je samozřejmě možné i u poměru vhodného, ale převyšovat bude navýšení produkce energie v době dopoledne a odpoledne. Ideální je poměr přibližně 1,2 – 1,3. Vzhledem k nevhodnosti vyšší řady střídače, je poměr 1,36 stále přijatelný. V této kapitole 6.3 bylo rozhodnuto o pomyslném rozdělení střechy na dvě části. Panely na nich budou mít nejen jiný sklon ale i jinou orientaci. Do větví by měly být spojovány moduly, které mají co možná nejvíce stejné parametry a podmínky. Pokud tomu, jako třeba v tomto případě, není, je vhodné nespojovat panely do jednoho stringu, ale použít dva. Střídač musí být poté vybaven dvěma DC vstupy. Počet MPPT musel právě z důvodu rozdílnosti obou větví a zaručení správného chodu být 2. Toto rozdělení musí být ověřeno z hlediska napětí:

$$N_{panel,MAX} = \frac{U_{IN,MAX}}{U_{panel,0}} = \frac{1100}{38,3} = 28,72 \approx 28 \quad [-; V, V] \quad (5)$$

$$N_{panel,MIN} = \frac{U_{IN,MIN}}{U_{panel,0}} = \frac{140}{38,3} = 3,66 \approx 4 \quad [-; V, V] \quad (6)$$

$N_{panel,MAX}$Maximální počet panelů na větev

$N_{panel,MIN}$Minimální počet panelů na větev

$U_{IN,MAX}$Maximální vstupní napětí střídače

$U_{IN,MIN}$Minimální napětí

$U_{panel,0}$Napětí naprázdno solárního panelu (NOCT⁶⁴)

⁶⁴ Pro výpočet nebyla použita hodnota STC (Standard Test Conditions – 1000 W · m⁻², 25°C), ale NOCT (800 W · m⁻², 20°C), jelikož zkušební podmínky se zdají být odpovídající prostředí realizace

Jelikož je na každé větvi plánováno 6 panelů, je možné toto rozložení na základě uvedených výpočtů použít. Střídač bude doplněn o data logger Huawei Smart Logger 1000, který umožňuje sběr dat a vzdálený monitoring FV systému pomocí specializovaného softwaru. Umístění střídače je výhodné poblíž rozvaděče, zároveň toto místo musí být suché se stabilní mírnou teplotou.

Od solárních panelů ke střídači je řeč o DC straně elektrárny. Větve jsou spojeny se střídačem pomocí elektrického kabelu, někdy také označovaného jako solární kabel, určeného pro vedení stejnosměrného proudu. U něj je nutné určit samozřejmě jeho délku a jeho průřez. Kabel bude z části veden venkem, měl by tedy být odolný vůči UV záření a měl by být využitelný v co největším rozsahu teplot. Nutností je také dobrá izolace, i přesto by jednotlivé polarity měly být vedeny z důvodu bezpečnosti odděleně. Důležitým parametrem je vzdálenost elektrárny od střídače, se kterou roste potřebný průřez vodiče stejně jako ztráty. Ta byla vyměřena na 15 m, celková délka je kvůli dvěma polaritám 30 m. Jelikož bylo v této kapitole 6.3 rozhodnuto o využití dvou DC vstupů střídače a rozdělení FVE do dvou větví, pro finální realizaci bude muset být k dispozici 60 m solárního kabelu. Vhodný průřez vodiče je možné zjistit výpočtem pomocí známého vztahu pro odpor vodiče. Předpoklady pro výpočty pro konkrétní string jsou využití 6 panelů (340 Wp) o celkovém výkonu 2 040 Wp a potřebná délka elektrického kabelu z měděného vodiče 30 m. Do kalkulací vstupuje i požadovaná maximální hodnota ztrát, která je v tomto případě stanovena na 0,5 %. Základními vztahy jsou:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad [\Omega; \Omega\text{m}, \text{m}, \text{m}^2] \quad (7)$$

$$p_{\%} \cdot P_I = P_{\%} = RI_M^2 \quad [-, \text{W}; \text{W}; \Omega, \text{A}] \quad (8)$$

ROhmický odpor

ρMěrný odpor vodiče⁶⁵

lDélka vodiče

SPrůřez vodiče

$p_{\%}$Povolená procentuální ztráta výkonu

P_IInstalovaný výkon větve

⁶⁵ Měrný odpor měděného vodiče při teplotě 0°C – $1,78 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$

MIKULČÁK, Dr. Jiří, Ladislav KRKAVEC, doc. Dr. Ing. Bohdan KLIMEŠ, Josef BARTŮNĚK, Dr. Jaromír ŠIROKÝ a Marie PAUKOVÁ. Matematické, fyzikální a chemické tabulky: Pro střední školy. 10. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1980.

$P_{\%}$Maximální ztráta výkonu

I_MMaximální proud

Vyjádřením odporu z rovnice (8), spojením této rovnice a rovnice (7) a následným vyjádřením průřezu dostaneme vztah pro dosažení konkrétních hodnot:

$$S = \frac{\rho \cdot l \cdot I_M^2}{p_{\%} \cdot P_I} = \frac{1,78 \cdot 10^{-8} \cdot 30 \cdot 9,86^2}{0,005 \cdot 2040} = 5,09 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 5,09 \text{ mm}^2 \quad (9)$$

Z výše uvedeného vyplývá, že vhodným a zároveň standardním průřezem elektrického kabelu je 6 mm².

Jelikož bylo rozhodnuto o hybridní povaze projektovaného solárního systému, musí být FVE doplněna o bateriové úložiště. Jedná se patrně o nejnákladnější součást celé realizace, i vzhledem k běžné délce životnosti, která je téměř 2 - 3x kratší než životnost solárních panelů. FVE bude provozována paralelně se sítí, tedy dům bude čerpat energii z obou zdrojů. Není tedy nutné baterii dimenzovat na určitý počet autonomních dní. Napětí baterie by mělo být voleno menší, než je napětí elektrárny, aby bylo pokryto případných ztrát a baterie se i v těchto případech bez problémů nabíjela. Z posledního sloupku tabulky 2 je z celkové roční spotřeby možné zjistit informaci, že průměrná denní spotřeba elektrické energie je přibližně 31,8 kWh. Jelikož celá elektrárna ročně vyprodukuje přibližně třetinu roční spotřeby, zdála by se vhodnou velikostí úložiště schopné uchovat cca 10 kWh. Je ovšem otázkou, zda je ideální vybírat velikost baterie přesně pro požadovanou hodnotu uchované energie. S odkazem na kapitolu 5.6 je nevhodné, aby byly baterie zcela vybity. Ukazatel ideální hladiny skladované energie se nazývá „depth of discharge“ (DoD) a za ideální hodnotu je udáváno 50 %. Dle tohoto faktoru by měla být zvolena baterie o velikosti alespoň 15 kWh. Po uvážení spotřeby elektrické energie i v průběhu dne kvůli provozu kanceláře a využívání domácnosti i během dne, bylo rozhodnuto, že úložiště o velikosti 10 kWh bude dostačující i v případě dodržování adekvátní DoD. Dříve v této kapitole 6.3 byl proveden výběr střídače a byly uvedeny jeho přednosti. Nevýhodou se ale ukazuje kompatibilita střídače s bateriovým úložištěm. Pouze výrobce LG, resp. divize LG Chem deklaruje kompatibilitu se střídači Huawei. Vzhledem k rozšířenosti tohoto čínského výrobce elektroniky bych nepředpokládal vhodnost pouze jedněch výrobků, pro korektnost projektu bude ale použito úložiště LGChem Resu10H s kapacitou 9,8 kWh.

7 Ekonomické zhodnocení projektu

Realizace každého projektu je spojena s otázkou, zda je ekonomicky výhodná. Často nemusí záležet ale jen na finanční stránce, investice může být vynucená a finance jsou druhotným kritériem. V případě instalace FVE jakožto alternativního zdroje energie pro rodinný dům tomu tak není a je tedy žádoucí, aby investice přinesla dostatečnou úsporu.

7.1 Produkce elektrické energie

Základem ekonomického hodnocení je stanovení roční produkce projektované FVE. K výpočtu bude použit vzorec:

$$E = S \cdot \eta \cdot H \cdot PR \quad [\text{kWh}; \text{m}^2, -, \text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}, -] \quad (10)$$

EVyrobená elektrická energie

SPlocha pokrytá solárními panely

ηÚčinnost solárního panelu

HMnožství slunečního záření dopadajícího na panely

PRPerformance ratio – faktor ztráty systému

Jednotlivé veličiny figurující ve výpočtu je nutné předem určit. Jednoduché je stanovení plochy z rozměrů použitých solárních panelů. V tabulce 3 jsou uvedeny účinnost panelu 19,8 % i rozměry zahrnující i rám solárního panelu, ten je ale nutné vyloučit, čímž bude plocha opravdu odpovídat energeticky aktivní ploše. Ta činí 19,75 m². Hodnoty množství slunečního záření je nutné získat z některé meteorologicko-geografické databáze. Pro region Evropy je vhodné využít databázi *Photovoltaic Geographical Information System*, kde lze nalézt hodnoty pro konkrétní lokaci. Tabulka 5 ukazuje požadované hodnoty pro jednotlivé měsíce vytvořené zprůměrováním dat z let 2005 – 2016.

Patrně nejnáročnější je stanovení tzv. performance ratio. To je faktor zahrnující ztráty FV systému. Ztráty střídače jsou určeny jeho účinností, u kabeláže jsou udávány ztráty v nízkých jednotkách procent. Velikost PR každopádně ovlivňují okolnosti, které nejsou jednoduše spočitatelné. Ztráty budou určitě dány teplotními rozdíly, znečištěním panelů a také zastíněním. Rozložení panelů a jejich umístění na střeše umožňuje častou kontrolu a jednoduchou údržbu, aby ztráty znečištěním byly minimální. Z provedené analýzy zastínění v kapitole 6.2 je možné usoudit, že tyto ztráty by také mohly být v jednotkách procent.

Měsíc	Měsíční energie slunečního záření [kWh · m ⁻²]
Leden	38,3
Únor	56,9
Březen	101,1
Duben	144,5
Květen	150,7
Červen	155,1
Červenec	164,5
Srpen	154,3
Září	125,9
Říjen	89,8
Listopad	44,7
Prosinec	39,2
Celkem	1 265

Tabulka 5: Množství dopadající energie na plochu za měsíc pro Rokycany; průměrné hodnoty z let 2005 – 2016 ⁶⁶

Za stínění se v tomto případě považuje pravidelné opakující se stínění. Za standardní hodnotu PR je považováno 0,75. Tabulka 6 ukazuje hodnoty jednotlivých položek konkrétně pro tento projekt. Položka stínění zahrnuje jak ztráty stíněním, tak znečištěním.

Položka	Procentuální příspěvek ztrát [%]
Střídač	3,3
Kabeláž	2,0
Stínění	3,5
Změny teplot	7,0
Ostatní	6,0
Celkem	21,8

Tabulka 6: Stanovení Performance Ratio

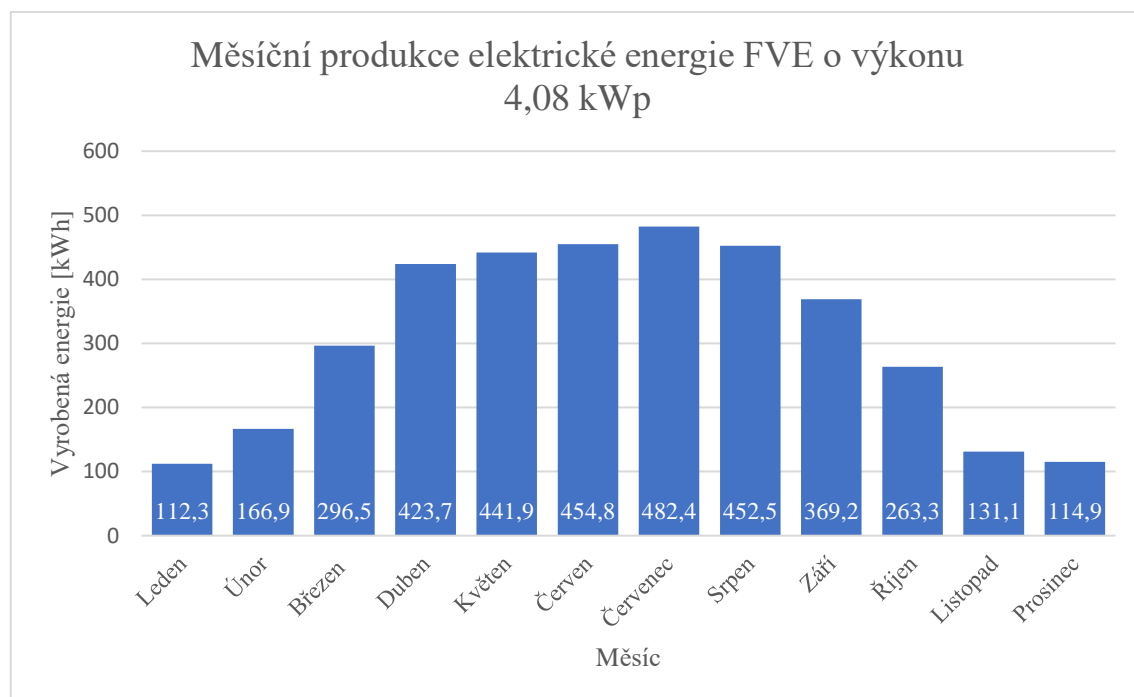
Odhadovaná hodnota PR tedy činí 0,782, což se blíží 0,75 a pro zahrnutí případně opomenutých rizik bude použita standardní hodnota. Po dosažení konkrétních hodnot je proveden výpočet:

$$E = S \cdot \eta \cdot H \cdot PR = 19,75 \cdot 0,198 \cdot 1265 \cdot 0,75 = 3709,4 \text{ kWh} \sim 3710 \text{ kWh} \quad (11)$$

Po provedení výpočtu je roční produkce elektřiny stanovena na 3 709,4 kWh. Pro uvedený výpočet je využito zaokrouhlené hodnoty plochy S. Výsledek pomocí těchto

⁶⁶ Vytvořeno autorem dle dat z: EUROPEAN COMMISSION – PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. [online]. EU. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR

hodnot je 3710 kWh. Samotný výpočet, dávající hodnotu 3709,4 kWh, byl pomocí přesných hodnot proveden v tabulkovém kalkulátoru.



Graf 2: Projektovaná měsíční produkce elektrické energie

7.2 Náklady

Jedním z hledisek určujících, zda má projekt šanci na ekonomický úspěch, jsou náklady. V tomto případě se výdaje spojené s výstavbou FVE budou okamžitě rovnat našim nákladům. Realizace by byla prováděna na rodinném domě vlastněném soukromou osobou, komponenty se tedy nebudou stávat nákladem až v době odpisu a relevantní jsou pro tento případ ceny s 21% základní sazbou DPH. Náklady lze rozdělit na ty spojené s instalačními pracemi a údržbou a na náklady na materiál. Předem je možné vyloučit z úvah údržbu. Nejen že je FVE velmi bezúdržbové zařízení, ale díky umístění panelů a jejich dostupnosti je možné provádět případné úkony svépomocí. Instalace již být zohledněna musí, nicméně největší nákladovou položkou jsou jistě jednotlivé komponenty. V rámci přípravy projektu proběhlo poptávání cen produktů různých výrobců u různých obchodníků, aby bylo dosaženo co nejmenší pořizovací ceny. Celý proces poptávání je zachycen v příloze 3. Kvůli velikosti projektu byly ceny získávány hlavně z velkoobchodů či maloobchodů, kde je nutné se smířit s větší marží obchodníka. Potřebné množství ale není vhodné pro přímé kontaktování výrobce a snahu o získání projektové ceny. Původ obchodníka nebyl omezen pouze na území ČR, využito bylo i těch ze sousedních států. V těchto, ale i některých českých případech, je jednotková

cena uvedena v cizí měně a na celkovou cenu přepočítána dle aktuálního kurzu. Nutno v tuto chvíli říci, že těmto nabídkám velmi uškodila situace panující v Evropě a silný propad české koruny vůči euru během března 2020 téměř o 2 Kč. Nejnákladnější součástí celého systému je bateriové úložiště. I kvůli právě jeho ceně se pořizovací náklady FVE, co se materiálu týče, vyšplhaly na hodnotu 241 931 Kč s DPH. Do nákladů se promítnou také pravidelné revize, které by se měly provádět na základě normy ČSN 33 1500 *Elektrotechnické předpisy. Revize elektrických zařízení*, z důvodu bezpečnosti a z důvodu venkovního umístění FVE na místě vystaveném slunečnímu záření po 3 letech. Taková služba, zahrnující kontrolu bezpečnosti elektrárny, testování solárních panelů pro odhalení případného poškození některého z nich a vydání revizní zprávy, byla poptána na 2530 Kč. Pro tyto nepředvídatelné náklady bude k revizním nákladům připočteno 2000 Kč. Celkové náklady tedy budou tvořeny pořizovacími náklady komponentů dosahující téměř 242 000 Kč s DPH, nákladem 12 000 Kč na montážní a instalační práce, jednou za 3 roky náklady na revizi elektrárny doplněné o částku nepředvídatelných nákladů spojených s prováděnou revizí. Patrně se vyplatí přemýšlet i o pojištění FVE elektrárny. V dnešní době je již naprosto běžné FVE přidat do pojištění nemovitosti, kde takový příplatek vyjde na 500 Kč vynakládané ročně.

V kapitole 2.1 byla zmíněna možnost získání dotace pro takový projekt. Poté, co byla v kapitole 7.1 určena roční produkce elektrické energie, bylo stanoveno, že systém patří do kategorie *Fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 3\,000\text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$* , které náleží dotace o velikosti 100 000 Kč. Dotace lze vyřídít online, a to v jakémkoliv stádiu projektu. Zbytek pořizovacích nákladů bude uhrazen z vlastních zdrojů, za tímto účelem nebude zřizován žádný úvěr.

7.2.1 Náklady na vyrobenou kilowatthodinu

Pro porovnání výhodnosti vlastní výroby elektřiny a dodávky elektrické energie ze sítě byly stanoveny náklady na vyrobenou kWh elektrické energie. Cena elektrické energie od dodavatele pro daný objekt a sjednaný tarif je $2,213\text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$. Stanoveny byly roční produkce elektřiny projektované FVE, a je tedy nutné získat i roční náklady. Za tímto účelem byl použit tzv. anuitní faktor, pomocí kterého se náklady vynásobením rozpustí do jednotlivých let životnosti. Faktor bere v úvahu i rozdílné doby životností jednotlivých částí. Vzorec pro anuitní faktor je patrný z následujícího výpočtu pro 20 letou životnost:

$$a_{T_z} = \frac{(1+r)^T \cdot r}{(1+r)^T - 1} = \frac{(1+0,04)^{20} \cdot 0,04}{(1+0,04)^{20} - 1} = 0,0736 \quad [-; -, \text{rok}] \quad (12)$$

a_{T_z}Anuitní faktor

rDiskont

TDoba životnosti

Výpočet pro 10 let by byl proveden obdobně. Pro potřeby tohoto výpočtu byly odděleny investiční položky s různou dobou životnosti. Z celkového pořizovacího výdaje bylo odstraněno bateriové úložiště, jehož životnost je pouze desetiletá, oproti ostatním komponentům, které v rámci dvacetileté životnosti elektrárny nebudou měněny. Náklady na vyrobenou energii jsou ovlivněny i výdaji na revize a pojištění. U těchto položek vynakládaných v průběhu životnosti byla vypočítána jejich celková hodnota a podělena dobou životnosti tedy 20. Tabulka 7 ukazuje rozpuštěné jednotlivé položky, hodnota bateriového úložiště je započítána v celkové sumě dvakrát, jelikož je její doba životnosti oproti ostatním položkám poloviční.

Položka	Rozpuštěné náklady [Kč]
Jednorázová počáteční investice bez baterie	1 207,9
Baterie	16 954,4
Revize, pojištění	1 859,0
Celkem	36 975,7

Tabulka 7: Přehled příspěvků jednotlivých investičních položek k ročním nákladům

Celková hodnota musí pro získání požadované hodnoty podělena roční produkcí. Ta se ale v průběhu let mění, a proto bylo využito průměrné hodnoty výroby za 20 let, tedy 3 472,8 kWh. Finální výpočet je pak:

$$n = \frac{N_r}{E_{AVG}} = \frac{36\,975,7}{3\,472,8} = 10,65 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1} \quad [\text{Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}; \text{Kč}, \text{kWh}] \quad (13)$$

nMěrné náklady na vyrobenou kWh

N_rRoční náklady

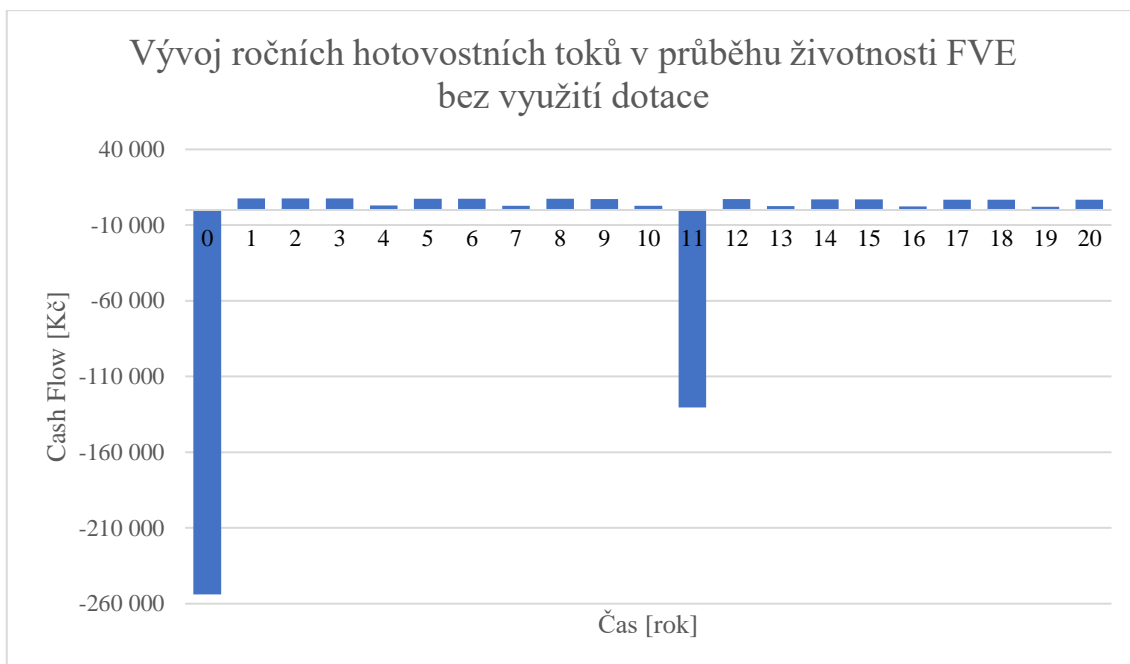
E_{AVG} Průměrná roční produkce

Vyprojektovanou elektrárnou bude vyrobena 1 kWh elektrické energie za 10,65 Kč. To je oproti smluvní ceně o 8,43 Kč více. Navíc tato hodnota byla počítána pro verzi projektu, která uvažuje dotaci, která toto číslo snižuje.

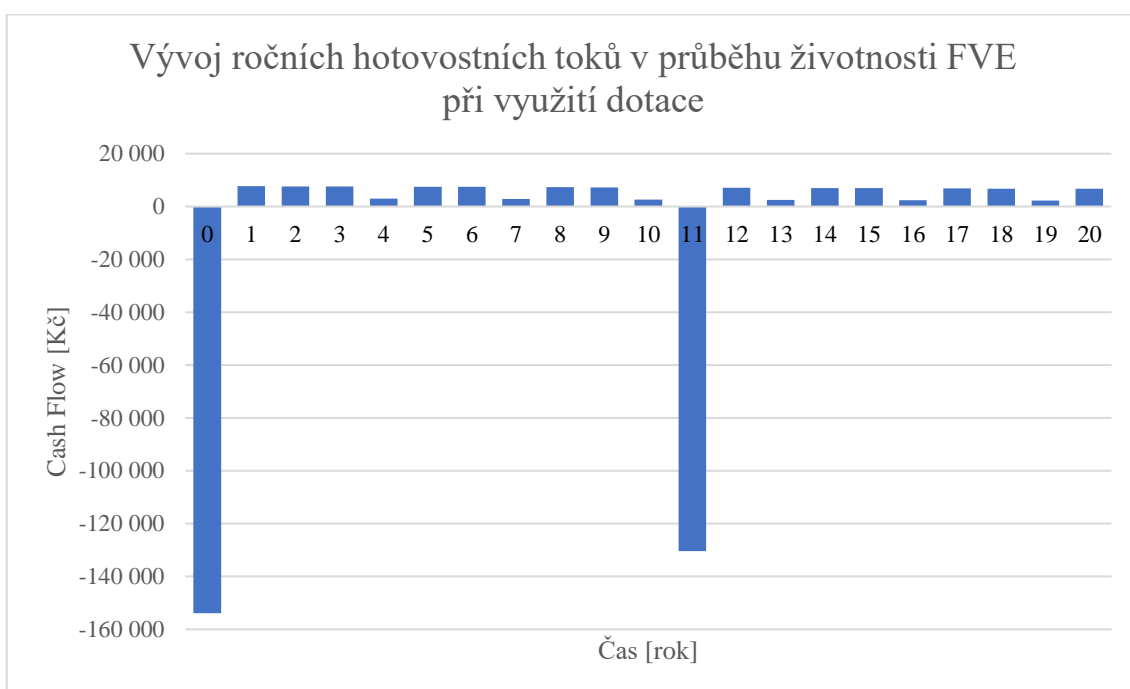
7.3 Cash flow

Cash flow, českým ekvivalentem hotovostní tok, je účetní výkaz zachycující tok peněžní hotovosti, tedy příjmy i výdaje, v průběhu určitého období. To bude v tomto případě o délce životnosti investičního záměru, která byla stanovena na 20 let na základě životnosti většiny částí elektrárny. Hotovostní toky byly stanoveny jednotlivě pro každý rok, součet těchto hodnot je pak nazýván kumulovaný cash flow a ukazuje stav financí v průběhu projektu. Roční produkce určená v kapitole 7.1 nebude každý rok po dobu 20 let stejná, se stárnutím elektrárny bude nastávat pokles výroby. Výrobce panelů LG garantuje roční pokles maximálně 0,5 %. Aby byly zahrnuty i další faktory snižující produkci, byl výsledný procentuální roční úbytek stanoven na 0,7 %. Na investici bude nahlíženo z projektového hlediska, cash flow a celý proces ekonomického zhodnocení investice bude prováděn na základě stálých cen, nebude tedy počítáno se změnou cen elektrické energie. Úspory budou dány množstvím vyprodukované elektřiny FVE (předpokládá se plné využití vlastní produkce) a cenou elektrické energie, kterou bychom jinak byli nuceni za dodávku tohoto množství zaplatit. Cena je aktuální cenou od obchodníka na rok 2020, kdy byl projekt vypracován. Aby byl získán i „nezkreslený“ náhled na projekt, bude proveden výpočet cash flow neuvažující a následně i uvažující dotaci.

V průběhu 20 let životnosti jsou některé roky odlišné od ostatních. Prvním z nich je rok 0, tedy období před samotným uvedením elektrárny do provozu. Nevystupují zde žádné příjmy, resp. úspory, zato zde figuruje pořizovací investiční částka a u varianty uvažující dotaci i její výše. Dalšími roky jsou rok jedenáctý kvůli obměně úložiště a každý třetí rok kvůli prováděné revizi. Nejen že je bateriové úložiště nejnákladnější částí, zároveň je také bohužel komponentem s nejnižší dobou životnosti, v tomto konkrétním případě 10 let. Již v projektu je tedy zřejmé, že částka spojená s nákupem akumulátoru bude muset být vynaložená, kromě pořizovací investice, ještě jednou. To dělá projekt na první pohled nevýhodným. V letech, kdy je nutná revize jsou příjmy nízké, jelikož celková úspora je na tyto účely a všechny s tím spojené vynaložená.



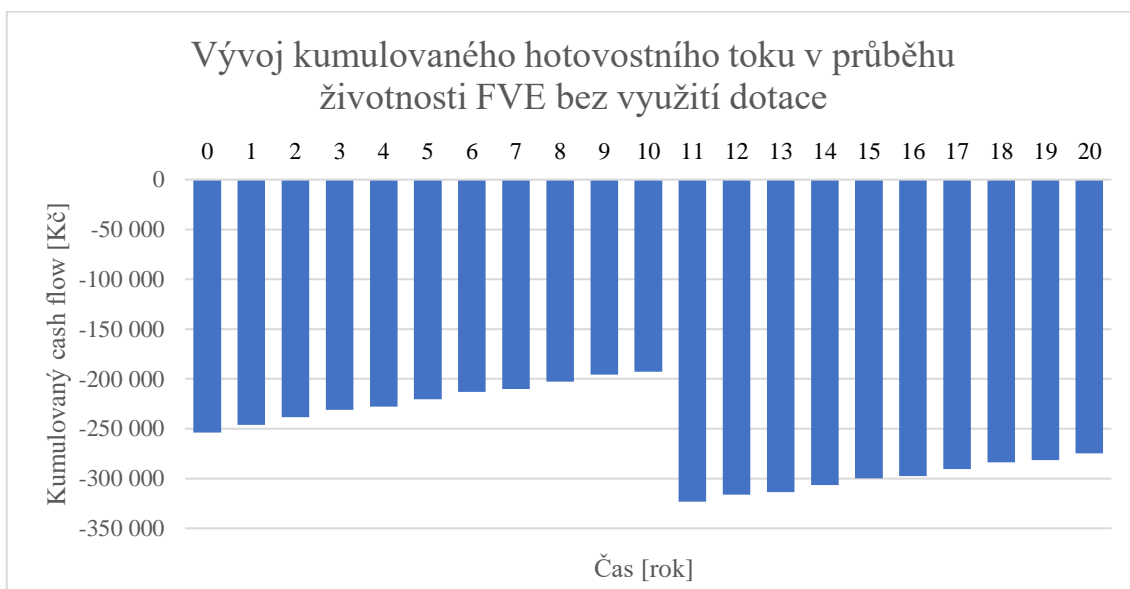
Graf 3: Vývoj ročních hotovostních toků v průběhu životnosti FVE bez využití dotace



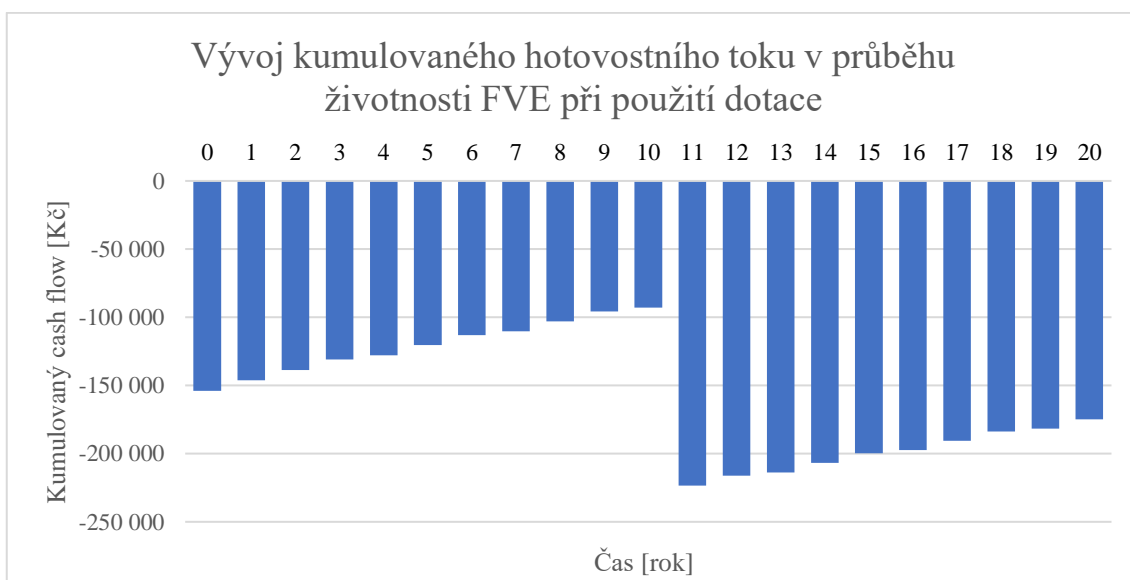
Graf 4: Vývoj ročních hotovostních toků v průběhu životnosti FVE při využití dotace

Při porovnání dvou výše uvedených grafů je patrné, že se změnila výše investice, kterou musí zhotovitel reálně vynaložit, a to právě o výši dotace. Jiným rokem než rokem 0 se grafy neliší. Pokud se ale podíváme i na grafy zobrazující kumulovaný hotovostní tok v průběhu životnosti elektrárny, je již rozdíl patrný. Po počátečním stavu v minusu po provedení počáteční investice do systému se díky úsporám za platbu elektřiny od obchodníka snižuje ztráta. Kritický je ale rok, kdy je nutné pro zachování správného

chodu elektrárny pořídit novou baterii, tedy roky 11. Zde je opět zřetelný propad ve výši výdaje blížícího se ke 150 000 Kč. Vynucené revize nárůst také mírně zpomalí. Absencí dotace jsou grafy vůči sobě posunuté o -100 000 Kč a ve dvacátém roce se kumulovaný hotovostní tok dostane až k hodnotě cca -323 000 Kč. Nicméně je také patrné, že ani využití dotace nepomůže dostat kumulovaný hotovostní tok do kladných čísel.



Graf 5: Vývoj kumulovaného hotovostního toku v průběhu životnosti FVE bez využití dotace



Graf 6: Vývoj kumulovaného hotovostního toku v průběhu životnosti FVE při využití dotace

Navíc se v průběhu let deficit zvýší kvůli opakované, již výše zmíněné, investici.

7.4 Čistá současná hodnota a vnitřní výnosové procento

Čistá současná hodnota, anglicky Net Present Value (NPV), vyjadřuje současnou hodnotu diskontovaných cash flow v průběhu životnosti projektu T :

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad [\text{Kč; rok, Kč, -}] \quad (14)$$

NPV Čistá současná hodnota

T Doba životnosti projektu

CF_t Cash flow daného roku t

r Diskont

Suma jde od 0, zahrnutá je ve výpočtu tedy i počáteční investice. Zásadní je pro tuto hodnotu zvolení diskontu r , který vyjadřuje velikost požadovaného zhodnocení naší investice. Diskont je určen rizikovostí projektu a také cenou ušlé příležitosti (opportunity cost). V každém případě by toto zhodnocení mělo pokrývat alternativní jisté výnosy. Za ty se považují státní dluhopisy. Jako referenční typ dluhopisu bych zvolil fixní dluhopis s ročním zhodnocením 1,3 %.⁶⁷ Pokrýt by měly také inflaci, aby nedošlo ke znehodnocování příjmů, které byly předpokládány. Pokud je NPV rovná nule, vyjadřuje tento ukazatel fakt, že investice nám přinese přesně naše požadované zhodnocení. Pokud přemýšlíme o dvou vzájemně se vylučujících investicích, pro obě dvě je vypracována NPV a je realizován ten záměr, jehož NPV je nejvyšší. Pro projekt FVE již byly roční hotovostní toky stanoveny, doba životnosti také. Diskont byl stanoven na 4 %. Hodnota by mohla být vyšší, pokud by FVE byla brána jako investice ne za účelem alternativního zdroje elektrické energie, ale jako investice pouze za účelem zisku. V tomto případě se ale jedná o úspory na platbě za elektřinu, s žádnou vyrobenou energií není počítáno na přetoky do distribuční sítě. Patrně by se také nejednalo o malou elektrárnu na střeše rodinného domu, ale o objekt jiného typu, jako např. zemědělské stavení či výrobní halu. Výpočet čisté současné hodnoty byl proveden pro obě varianty pomocí vzorce 14 za využití hodnot z cash flow v příloze 4. Celý proces výpočtu je v příloze 5.

$$NPV = \sum_{t=0}^{20} \frac{CF_t}{(1+0,04)^t} = -262\,324,16 \text{ Kč} \quad (15)$$

⁶⁷ MF. *Emise 1.7.2020* [online]. Praha, 2020: Ministerstvo financí. Dostupné z: <https://www.sporicidluhopisy.cz/cs/o-dluhopisech/kalkulacka/kalkulacka-dluhopisu-republiky>

$$NPV_{dotace} = \sum_{t=0}^{20} \frac{CF_t}{(1 + 0,04)^t} = -162\,324,16 \text{ Kč} \quad (16)$$

NPV_{dotace}Čistá současná hodnota investice při zohlednění dotace

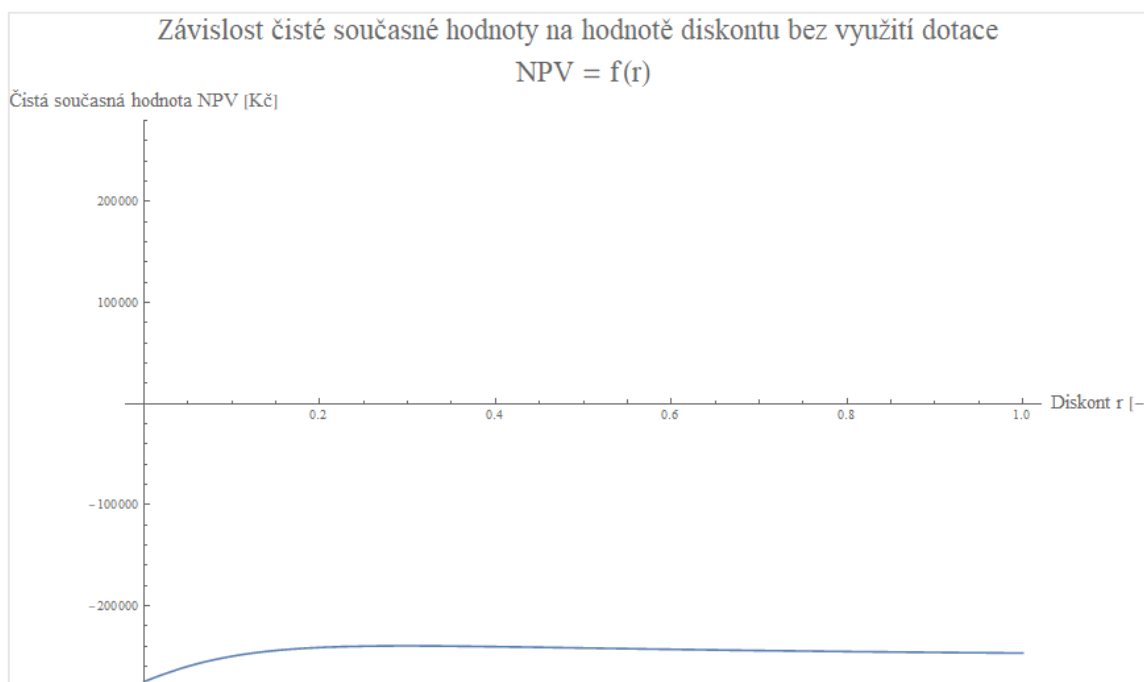
Rovnice 15 ukazuje výsledek výpočtu NPV, pokud neuvažujeme dotaci, na druhé straně výsledek rovnice 16 tuto možnost zahrnuje. Rozdíl obou hodnot přímo odpovídá rozdílu mezi hotovostními toky jednotlivých variant. Bez dotace vychází projekt ještě více nevýhodný. Jelikož je dotace uvažována v době realizace investice, tedy v roce 0, liší se obě NPV právě o výši dotace 100 000 Kč.

Hodnota IRR představuje hodnotu diskontu, pro kterou je NPV nulové:

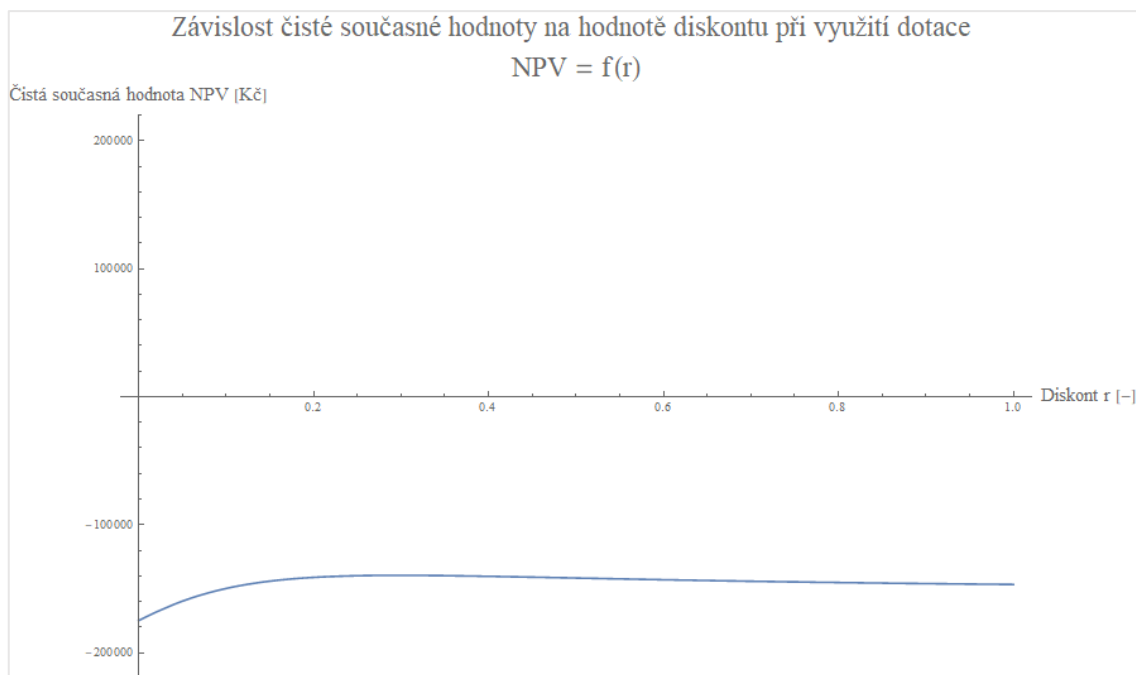
$$NPV = 0 = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} \quad [\text{Kč; rok, Kč, -}] \quad (17)$$

IRR Vnitřní výnosové procento

Stejně jako je tomu u čisté současné hodnoty, při rozhodování o realizaci dvou investic je vybrána ta, jejíž IRR je maximální. Vnitřní výnosové procento nemusí být výhradně jedno, nemusí také ale vůbec existovat. Druhá varianta je právě případem tohoto projektu. Podmínky, pro které je projekt vyhodnocován, neumožňují dosáhnoutí NPV nulové hodnoty, a to ani při uvažování dotace.



Graf 7: Závislost čisté současné hodnoty na hodnotě diskontu bez využití dotace



Graf 8: Závislost čisté současné hodnoty na hodnotě diskontu při využití dotace

Výše uvedené grafy zobrazují závislost čisté současné hodnoty na výši diskontu, graf 7 neuvažuje dotaci, graf 8 ji již zahrnuje. Křivka k ose x nevystoupá ani v jednom případě, a navíc přibližně od výše diskontu 0,3 klesá. Při výpočtu jsou 2 reálné kořeny rovnice nalezeny, a to kořeny odpovídající -0,17 a -1,95 pro projekt bez dotace a -0,16 a -1,99 při uvažování dotace. Záporné hodnoty diskontu nejsou ale přijatelné, vždy musí nabývat hodnot od 0 do 1. Je alespoň možné určit, pro jaký diskont je NPV maximální. Obou hodnot bylo dosaženo při výši diskontu 29,8 %, a to -239 530 Kč s DPH bez dotace a -39 530 Kč s DPH pro projekt s dotací.

7.5 Doba návratnosti investice

Při realizaci takového projektu je žádoucí informací doba, za kterou se vynaložené peníze vrátí. Doba návratnosti je sice ukazatelem velmi základním, ale zároveň jedním z nejprokazatelnějších. K tomuto údaji lze dojít vícero způsoby. Prostá doba návratnosti (rovnice 18) je kritériem velmi jednoduchým, ale často nepřesným, jelikož neuvažuje časovou cenu peněz. Jeho obdobou je rovnice 19. To napravuje výpočet reálné doby návratnosti pomocí současných hodnot jednotlivých ročních hotovostních toků (rovnice 20).

$$T_S = \frac{IN}{CF} \quad [\text{rok; Kč, Kč}] \quad (18)$$

$$\sum_{t=0}^{T_S} CF_t = 0 \quad [\text{rok, Kč}] \quad (19)$$

$$\sum_{t=1}^{T_S} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN = 0 \quad [\text{rok; Kč, -, Kč}] \quad (20)$$

T_SDoba návratnosti

INVelikost investice

Při výpočtu doby návratnosti je vždy žádoucí dostat hodnotu co nejnižší. Realizovat se vyplatí pouze tu investici, jejíž doba návratnosti je kratší než životnost samotné investice. Výpočet prosté doby návratnosti pomocí rovnice 18 je nevhodný, jelikož vzorec nepočítá s možnou změnou ročních hotovostních toků. Prostá doba návratnosti bude tedy muset být určena dopočítáváním jednotlivých ročních cash flow do 0, což zobrazuje rovnice 19. Z grafu kumulovaného cash flow z grafů 5 a 6 je ale ihned vidět, že k nulové hodnotě se ani jedna varianta projektu nikdy nedostane, a to zejména kvůli vynucené opětovné investici do úložiště. Obdobným způsobem lze určit i reálnou dobu návratnosti. Ani pomocí tohoto způsobu ale nebude možné hodnotu získat. V rovnici 15 a 16 nebo v příloze 5 je možné vidět, že NPV nedosáhne ani nulové, natož kladné hodnoty, aby po odečtení investičních výdajů bylo dosaženo nulové hodnoty. Doba návratnosti tohoto projektu neexistuje, a to ani po započtení dotace.

7.6 Citlivostní analýza

Dalším možným způsobem zhodnocení projektu je tzv. citlivostní analýza. Ta umožňuje zkoumat vliv vstupních parametrů na výsledky ekonomické analýzy. Tento způsob zhodnocení byl zvolen právě z důvodu toho, že dosud prováděné analýzy ukázaly

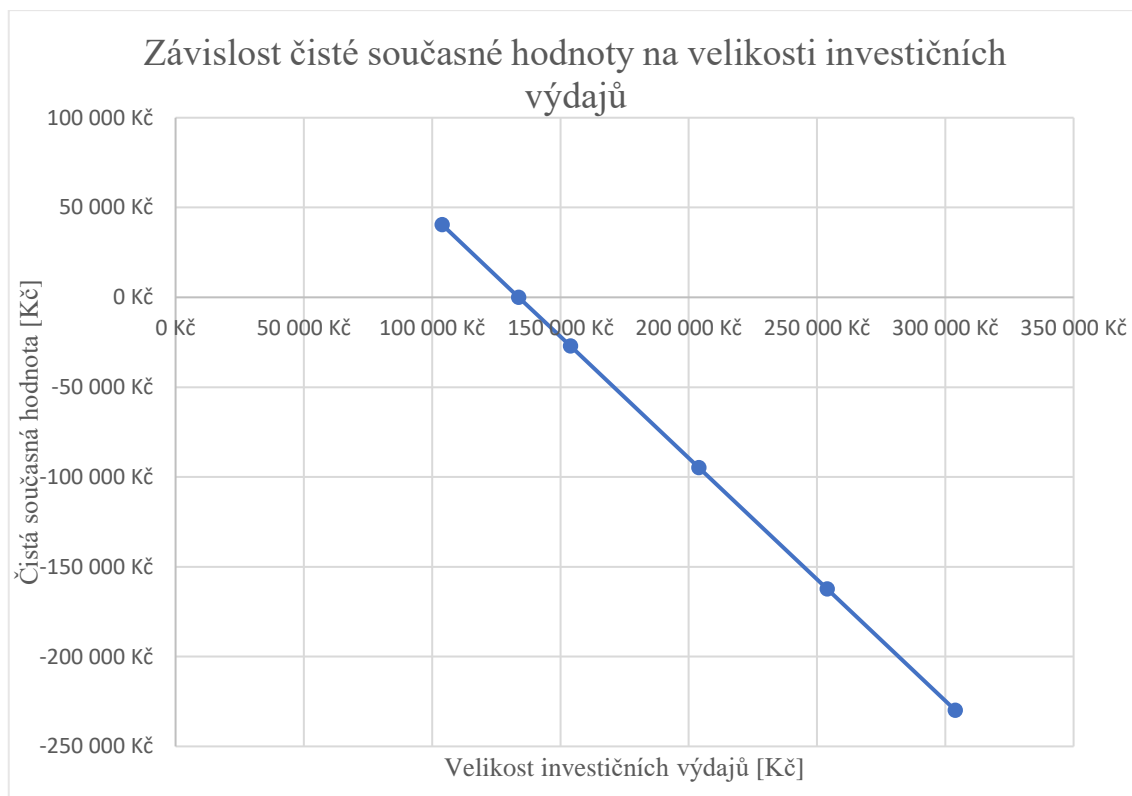
celkovou nevýhodnost investice. Cílem citlivostní analýzy tedy bude zjistit, pro jaké hodnoty vstupů se projekt změní z ekonomického hlediska na realizovatelný. Jedním parametrem zásadně ovlivňujícím finanční stránku jsou investiční výdaje. Druhým hlediskem je výše úspory, která závisí na aktuální smluvní ceně elektrické energie, kterou bychom jinak museli nakupovat. Výše uvedené vstupy budou měnit své hodnoty, zatímco ostatní parametry typu produkce elektrické energie či meziroční snížení této produkce zůstanou stejné. To samé platí o nákladech, které se periodicky opakují, jako náklady na pravidelné revize. Citlivostní analýza byla provedena pouze pro variantu realizace zahrnující velikost dotace, jelikož ta by byla reálně prováděna.

Výše počáteční investice do elektrárny byla snižována, resp. zvyšována o 50 000 Kč. Po snížení hodnoty byly dopočítány hodnoty jednotlivých položek, ze kterých se celková částka skládá, tak, aby odpovídaly stále stejnému podílu na celkové ceně.

Velikost investičních výdajů (vč. DPH)	Solární panely	Střídač	Baterie	Ostatní	Práce	NPV
103 931 Kč	15 962 Kč	16 034 Kč	56 284 Kč	10 740 Kč	4 911 Kč	40 443 Kč
133 765 Kč	20 544 Kč	20 637 Kč	72 440 Kč	13 823 Kč	6 321 Kč	0 Kč
153 931 Kč	23 641 Kč	23 748 Kč	83 361 Kč	15 906 Kč	7 274 Kč	- 27 146 Kč
203 931 Kč	31 321 Kč	31 462 Kč	110 438 Kč	21 073 Kč	9 637 Kč	- 94 735 Kč
253 931 Kč	39 000 Kč	39 176 Kč	137 516 Kč	26 240 Kč	12 000 Kč	- 162 324 Kč
303 931 Kč	46 679 Kč	46 889 Kč	164 593 Kč	31 407 Kč	14 363 Kč	- 229 913 Kč

Tabulka 8: Velikost investičních výdajů (vč. DPH) na pořízení FVE pro citlivostní analýzu

Z grafu 9 je patrná lineární závislost na pořizovacích nákladech. Ty, když klesají, NPV roste, tedy nepřímo úměrná závislost. Oproti původní investici 253 931 Kč s DPH muselo být provedeno snížení 3x, tedy o hodnotu 150 000 Kč (58% pokles), aby NPV nabylo kladné hodnoty. V tabulce 8 je uvedena i hodnota, pro kterou je NPV přímo nulové, 133 765 Kč s DPH. Z velikosti jednotlivých položek je zřejmé, že jejich pořízení za takové ceny v současné době spíše možné. Problematickou položkou se jeví bateriové úložiště, které stále dělá více jak polovinu nákladů, navíc s nutností opakovaného nákupu. Je možné se bavit o možnosti sehnat pracovní sílu na instalaci a montáž elektrárny v takové hodnotě, ale to jsou spíše spekulace. Cena jednoho solárního panelu by při výše uvedené investici činila 1 713 Kč. V původním projektu byl použit panel od známého a kvalitního výrobce, nicméně na trhu se pohybuje nespočet producentů s různou kvalitou a panel by bylo za takovou cenu nejspíš možné sehnat. Ovšem se zhoršenými parametry, a hlavně bez příznivé garance poklesu výkonu.



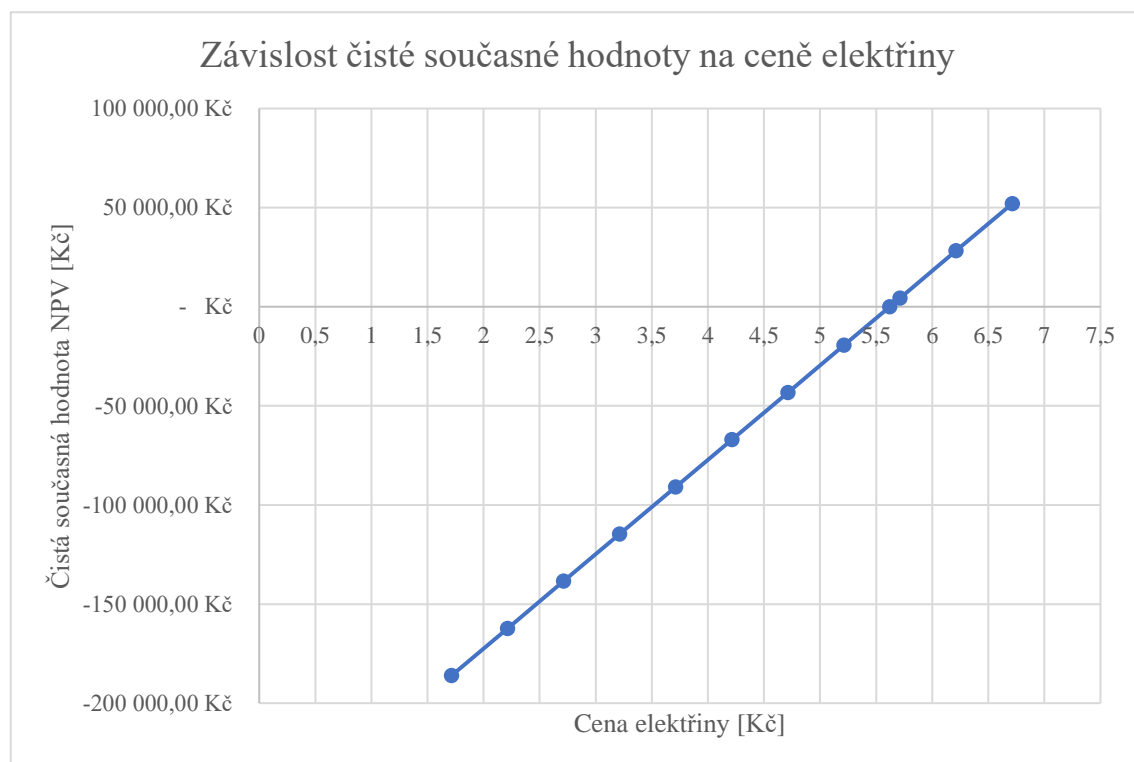
Graf 9: Závislost čisté současné hodnoty na velikosti investičních výdajů

Celé ekonomické zhodnocení bylo prováděno z pohledu projektu, to znamená, že celé bylo vypracováno ve stálých cenách. Cena elektrické energie, ze které byla vypočítávána úspora, je aktuální cena k roku 2020, za kterou je elektřina dodávána. Právě tato částka je dalším kritériem citlivostní analýzy. Analýza byla provedena pro původní hodnotu investičních výdajů, opět včetně zahrnutí dotace. Cena byla pro jednotlivé případy z původních 2,21 Kč s DPH zvýšena, resp. snížena o 0,50 Kč s DPH. Oproti minulému kritériu muselo být provedeno za účelem nulové čisté současné hodnoty více zvýšení ceny elektřiny, konkrétně 7, celkově se cena za kWh elektřiny musela zvýšit na 5,71 Kč s DPH. S rostoucí cenou elektřiny roste i velikost úspory, čímž se značně vylepšují roční hodnoty cash flow. Hodnota NPV pak závisí na ceně elektřiny, stejně jako tomu bylo v předchozím případě, lineárně, tentokrát ale přímo úměrně. Nulové NPV by bylo dosaženo pro 5,62 Kč, to je cena o 3,40 Kč s DPH vyšší. Zda je tato cena reálná, není možné určit. Dle dokumentu Evropské komise z roku 2011 pojednávající o evropské energetice by cena elektrické energie měla nejméně do roku 2030 růst, zejména kvůli

obnově stávajících zdrojů za účelem dekarbonizace a kvůli implementaci nových obnovitelných zdrojů.⁶⁸

Sjednaná cena elektřiny (s DPH) [Kč · kWh ⁻¹]	Čistá současná hodnota NPV
1,71 Kč	-186 136,59 Kč
2,21 Kč	-162 324,16 Kč
2,71 Kč	-138 511,72 Kč
3,21 Kč	-114 699,29 Kč
3,71 Kč	-90 886,85 Kč
4,21 Kč	-67 074,41 Kč
4,71 Kč	-43 261,98 Kč
5,21 Kč	-19 449,54 Kč
5,62 Kč	0,00 Kč
5,71 Kč	4 362,89 Kč
6,21 Kč	28 175,33 Kč
6,71 Kč	51 987,76 Kč

Tabulka 9: Vstupní ceny elektřiny pro citlivostní analýzu



Graf 10: Závislost čisté současné hodnoty na ceně elektřiny

⁶⁸ EUROPEAN COMMISSION. *Energetický plán do roku 2050* [online]. EU, Brusel 2011. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0885:FIN:CS:PDF>

8 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala solární energií a návrhem fotovoltaického systému pro rodinný dům. V první teoretické části byl vymezen a popsán pojem obnovitelné zdroje energie, detailněji pak pojem solární energie. Byly představeny typy fotovoltaických elektráren, jejich využití a jejich základní komponenty. Druhá část práce byla praktická a zahrnovala technický návrh solárního systému pro konkrétní objekt a jeho následné ekonomické zhodnocení. Bakalářská práce splnila všechny body zadání práce, a to jak teoretické, tak praktické.

Před zhotovením samotného technického návrhu byla provedena analýza uvažovaného objektu. Prvním kritériem hodnocení v rámci této analýzy byla lokalita, která byla na základě zeměpisné polohy shledána vhodnou. Analyzováno bylo také bezprostřední okolí budovy. Provedení analýzy pohybu stínu po zvolené jižní střeše odhalilo stinné místo na kraji střechy, které bylo pro zachování správné funkce elektrárny z návrhu vynecháno. Byl proveden technický návrh a následný výběr základních komponent solární elektrárny. Za tímto účelem byly změřeny plochy střechy zamýšlené k osazení solárními panely. Po volbě rozměrově a výkonově vhodného panelu byla vytvořena vizualizace rozložení solárních panelů na střeše rodinného domu pomocí speciálního softwaru. Grafický návrh posloužil nejen jako znázornění rozložení panelů, tvořil spolu s rozměry střechy základ poptávání montážní konstrukce. Pro výběr vhodného střídače bylo provedeno ověření výpočtem, zda jsou vstupy dimenzované na počet 12 panelů a jejich napětí. Střídač je pro tuto aplikaci vhodně zvolený, jeho DC/AC ratio je 1,36. Elektrický kabel vedoucí stejnosměrný proud vyprodukovaný solární elektrárnou byl dimenzován, co se průřezu týče, pro tuto konkrétní aplikaci opět výpočtem na 6 mm². V neposlední řadě došlo na výběr baterie s kapacitou 9,8 kWh. Všechny potřebné komponenty pro instalaci FVE byly poptány u různých dodavatelů a obchodníků pro získání nejlepší možné ceny. Výpočtem byla stanovena roční produkce projektované elektrárny. Na základě tohoto údaje byly stanoveny výše úspor a bylo provedeno ekonomické zhodnocení investice na základě čisté současné hodnoty (NPV) a vnitřního výnosového procenta (IRR). NPV nevyšlo kladné ani bez uvažování výše dotace, ani u varianty projektu uvažující dotaci. Hodnoty vnitřního výnosového procenta ani u jedné z variant nevyšly kladné, což znamená, že projekt s takovými parametry nemůže mít NPV rovné nule. Neexistující doba návratnosti jasně říká, že vynaložené finance se nevrátí.

Důvodem je zejména opakovaná investice do bateriového úložiště, i přesto že se cena ostatních komponentů, zejména solárních panelů, stále snižuje. Nicméně je akumulátor při dnešních nevýhodných výkupních podmínkách stanovených distributorem klíčový. V minulosti nepředstavoval tak důležitou součást elektrárny díky vysoké výkupní ceně a při nevyužití vyprodukované energie byla tato elektřina prodána do sítě. Použití akumulátoru je i podmínkou získání dotace, se kterou bylo v práci kalkulováno. Dalším faktorem je také nízká cena elektřiny od obchodníka. Pro možnost porovnání byla vypočtena i cena vyrobené elektřiny, která vyšla $10,65 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$ s DPH, to je o $8,40 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$ s DPH více než nákupní cena od obchodníka s elektřinou. Realizace citlivostní analýzy doplnila ekonomickou analýzu a poskytla podrobnější pohled na dva vstupy ekonomické analýzy, investiční výdaje a cenu elektřiny od obchodníka. Díky citlivostní analýze bylo zjištěno, že pro nulovou hodnotu NPV by počáteční investice musela být o téměř 120 000 Kč nižší, nebo by pro stávající výši investice musela být cena dodávané elektřiny vyšší o $3,40 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$ oproti momentální ceně elektrické energie. Na základě provedených analýz se projekt doporučuje nerealizovat.

Výsledky práce potvrzují fakt, že obnovitelné zdroje energie stále bojují o konkurenceschopnost s konvenčními zdroji elektrické energie. To platí zvláště pro hybridní systémy, které jsou značně ovlivněny nutnou investicí do bateriového zařízení. Výše zmíněné aspekty jsou příčinou nízké míry realizace solárních elektráren v posledních letech v ČR.

Práce nabízí několik možností pokračování v tomto tématu, i pro psaní práce diplomové. Jednou variantou je snaha o vylepšení stávajících výsledků změnou povahy FV systému, např. pro ohřev vody. Na výsledky by mohlo být navázáno důkladnější citlivostní analýzou zkoumající důležitost jednotlivých komponentů pro ekonomický výsledek. Teoretický základ dané problematiky umožňuje v další práci zvolit např. objekt ještě před výstavbou a provést FVE v rámci stavebního projektu jako hlavní zdroj energeticky soběstačné budovy. Zajímavé téma by jistě byl i návrh síťové FVE s větším instalovaným výkonem a bez akumulace energie.

Při vypracování této práci jsem se zejména seznámil s aktuální i plánovanou legislativou ohledně OZE. Dosavadní znalosti jsem hlavně rozšířil o zkušenost s návrhem solárního systému. Značným přínosem byla práce se solárním vizualizačním softwarem. Získal

jsem povědomí o technických nárocích a parametrech jednotlivých součástí elektrárny, a i o jejich vzájemné kompatibilitě. Ekonomický přesah mi umožnil využít nabyté znalosti z kritérií ekonomické výhodnosti investic. I přesto, že se projekt neukázal jako rentabilní, pro mě segment obnovitelných zdrojů energie představuje zajímavý a perspektivní obor a dle mého názoru o něm bude čím dál více slyšet.

9 Seznam použité literatury a pramenů

- [1] Basics of MPPT Solar Charge Controller. *Leonics* [online]. 2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: http://www.leonics.com/support/article2_14j/articles2_14j_en.php
- [2] BERTI, Adele. Solar-powered trains: The future of rail? *Railway Technology* [online]. 2019 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.railway-technology.com/features/solar-powered-trains/>
- [3] BROMBERG, David. Choosing the Right Size Inverter for Your Solar Design: A Primer on Inverter Clipping. *Aurora Solar Blog* [online]. 2017 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://blog.aurorasolar.com/choosing-the-right-size-inverter-for-your-solar-design-a-primer-on-inverter-clipping/>
- [4] Buses Go Truly Zero Emission With Solar Power. *Global Oportunity Explorer* [online]. 2019 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://goexplorer.org/buses-go-truly-zero-emission-with-solar-power/>
- [5] Carlos. Can Solar Panels Work at Night? *ECotality* [online]. 2019 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://ecotality.com/can-solar-panels-work-at-night/>
- [6] ČEZ. *Mikrozdroj (zdroj do 10 kW provozovaný bez licence)* [online]. Praha: ČEZ Distribuce. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/potrebuji-vyresit/mikrozdroj.html#zjednodusený-proces>
- [7] Čistá současná hodnota. *Wikipedia* [online]. 2019 [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cist%C3%A1_sou%C4%8Dasn%C3%A1_hodnota
- [8] ČR. *Natura 2000*. Praha: Ministerstvo životního prostředí. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/natura_2000
- [9] ČR. Návrh zákona 914/19 Sb. měnicího zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. Praha: Vláda ČR. Dostupné z: <https://apps.odok.cz/veklep-detail?pid=KORNBFQBXP4C>
- [10] DONEV, Jason et al. *Nuclear fusion in the Sun*. Energy Education [online]. Calgary: University of Calgary, 2015 [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Nuclear_fusion_in_the_Sun
- [11] Energy from the Sun: Student Guide. *The NEED* [online]. Kao Circle, Manassas, 2017 [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: <https://www.need.org/Files/curriculum/guides/EnergyfromtheSunStudentGuide.pdf>
- [12] ERÚ. *Roční zpráva o provozu ES ČR 2018* [online]. Energetický regulační úřad, Praha, 2019. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c

- [13] ERÚ. *Vývoj počtu provozoven a instalovaného výkonu podporovaných zdrojů energie kde dni 30. 6. 2019: Solární elektrárny* [online]. Praha: Energetický regulační úřad. [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/463106/SLE_19_06.pdf/4ed38812-1945-4455-b1d7-b65027d5c7a6
- [14] EU energy in figures. 25.09.2018. Germany: European Commission, 2018. ISBN 978-92-79-88735-2. ISSN 2363-247X.
- [15] Europe sunshine hours map. *Wikimedia Commons* [online]. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Europe_sunshine_hours_map.png
- [16] EUROPEAN COMMISSION – PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. [online]. EU. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR
- [17] EUROPEAN COMMISSION. *Energetický plán do roku 2050* [online]. EU, Brusel 2011. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0885:FIN:CS:PDF>
- [18] EUROPEAN COMMISSION. *Energy: Overview* [online]. EU. [cit. 2019-10-6]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/overview>
- [19] EUROPEAN COMMISSION. *Renewable Energy Directive* [online]. EU. [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive/overview>
- [20] Fotoelektrický jev. WikiSkripta [online]. [cit. 2019-12-19]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Fotoelektrick%C3%BD_jev
- [21] FOTOVOLTAICKÝ OHŘEV VODY: Sestavy pro ohřev vody. SVP-SOLAR [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.svp-solar.cz/solarni-ohrev/fotovoltaicky-ohrev-teple-vody/>
- [22] GRANA, Paul. Solar inverters and clipping: What DC/AC inverter load ratio is ideal? Solar Power World [online]. 2016 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.solarpowerworldonline.com/2016/07/solar-inverters-clipping-dcac-inverter-load-ratio-ideal/>
- [23] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [24] How The Sun Affects Weather – The Basics?. New World Climate [online]. [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: <http://www.nwclimate.org/guides/sun-affects-on-weather-tutorial/>
- [25] How to calculate the annual solar energy output of a photovoltaic system? Photovoltaic Software [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://photovoltaic-software.com/principle-ressources/how-calculate-solar-energy-power-pv-systems>
- [26] How to choose the best battery for a solar energy system. *EnergySage* [online]. 2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.energysage.com/solar/solar-energy-storage/what-are-the-best-batteries-for-solar-panels/>

- [27] IEA. *World Energy Balances 2019* [online]. Paris: International Energy Agency. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/world-energy-balances-and-statistics>
- [28] Indian Railways launches first solar-powered train. *Economic Times* [online]. 2017 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://economictimes.indiatimes.com/industry/transportation/railways/indian-railways-launches-first-solar-powered-train/more-power-to-railways/slideshow/59593824.cms>
- [29] KUČEROVÁ, Eva. *Elektrotechnické materiály*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2002. ISBN 80-7082-940-0.
- [30] LAPČÍK, Vladimír, LAPČÍKOVÁ, Marta. *Solární energetika a její vliv na životní prostředí* [online]. Ostrava, 2010 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <http://gse.vsb.cz/2010/LVI-2010-2-10-16.pdf>. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [31] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011 [cit. 2019-12-25]. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [32] MATASCI, Sara. How solar panel cost and efficiency have changed over time. *EnergySage* [online]. 2019 [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: <https://news.energysage.com/solar-panel-efficiency-cost-over-time/>
- [33] MESSENGER, Roger A. a Jerry VENTRE. *Photovoltaic systems engineering*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2004. ISBN 08-493-1793-2.
- [34] MF. *Emise 1.7.2020* [online]. Praha, 2020: Ministerstvo financí. Dostupné z: <https://www.sporicidluhopisy.cz/cs/o-dluhopisech/kalkulacka/kalkulacka-dluhopisu-republiky>
- [35] MIKULČÁK, Dr. Jiří, Ladislav KRKAVEC, doc. Dr. Ing. Bohdan KLIMEŠ, Josef BARTUŇEK, Dr. Jaromír ŠIROKÝ a Marie PAUKOVÁ. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky: Pro střední školy*. 10. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1980.
- [36] MMR. *Bydlení v České republice v číslech* [online]. Praha, 2019: Ministerstvo pro místní rozvoj. [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.mmr.cz/getmedia/44278f53-e63a-4dc5-8694-922df2853088/BvCZ-online-CZ.pdf.aspx?ext=.pdf>
- [37] Monocrystalline vs. Polycrystalline Solar Panels: What you need to know. *EnergySage* [online]. 2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.energysage.com/solar/101/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>
- [38] MPO - Česká energetická agentura. *Moderní využití biomasy: Technologické a logistické možnosti* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu – Energie efektivně. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf>

- [39] MPO - Česká energetická agentura. *Moderní využití biomasy: Technologické a logistické možnosti* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu – Energie efektivně. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf>
- [40] MPO. *Národní akční plán pro obnovitelné zdroje energie* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2016. [cit. 2019-12-22] Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/elektroenergetika/obnovitelne-zdroje/narodni-akcni-plan-pro-obnovitelne-zdroje-energie--169894/>
- [41] MPO. U podporovaných zdrojů energie dojde ke změnám. Rozhodla o tom vláda [online]. Praha, 2020: Ministerstvo průmyslu a obchodu. [cit. 2020-05-05] Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/u-podporovanych-zdroju-energie-dojde-ke-zmenam--rozhodla-o-tom-vlada--254264>
- [42] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika, elektřina ze slunce*. Brno: ERA, 2007. 21. století. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [43] MZP. *Pařížská dohoda* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí. [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda
- [44] ON Semiconductor. *Od křemene ke křemíkové desce* [online]. Rožnov pod Radhoštěm: Terosil a.s. [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/1955820/>
- [45] OTE. *Národní energetický mix* [online]. Praha: OTE. [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>
- [46] PETRYL, Jan. Hodnocení přínosů zateplení 2: doba návratnosti. *INKAPO* [online]. 2016 [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <https://www.projekty-inkapo.cz/doba-navratnosti/>
- [47] Photoelectric effect. Khan's Academy [online]. [cit. 2019-12-19]. Dostupné z: <https://www.khanacademy.org/science/physics/quantum-physics/photons/a/photoelectric-effect>
- [48] Principle of solar energy: The Photovoltaic effect. *PV Insight: Grid the World* [online]. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: <http://pvinsights.com/Knowledge/Principle.php>
- [49] Renewable energy explained: What is renewable energy?. U.S. Energy Information Administration [online]. [cit. 2019-10-06]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/energyexplained/renewable-sources/>
- [50] Review of all types solar street lights 2020. Adnlite [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.adnsolarstreetlight.com/blog/review-of-all-types-solar-street-lights/>
- [51] Solar Power Advantages and Disadvantages. SEPCO-Solar Lighting Blog: SEPCO-Solar Lighting's Blog on Renewable Energy and Green Ideas [online]. 2012 [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://www.sepco-solarlighting.com/blog/bid/115086/Solar-Power-Advantages-and-Disadvantages>
- [52] SOLÁRNÍ ASOCIACE. *Výroční zpráva 2018* [online]. Praha, 2019: Solární asociace. [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: https://www.solarniasociace.cz/dokumenty/vz_solarniasociace2018_web2.pdf

- [53] The P-N Junction. All About Circuits [online]. [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-2/the-p-n-junction/>
- [54] Types of solar panels: What are your options? *EnergySage* [online]. 2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.energysage.com/solar/101/types-solar-panels/>
- [55] VINTAGE, Ryan. Cost Effectiveness: Traditional Street Lights VS. Solar Energy Lights. Greenshine [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.streetlights-solar.com/cost-effectiveness-traditional-street-lights-vs-solar-energy-lights.html>
- [56] Vlnově-korpuskulární dualismus. WikiSkripta [online]. [cit. 2019-12-19]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Vlnov%C4%9B-korpuskul%C3%A1rn%C3%AD_dualismus
- [57] VUJACIC, Marija & HAMMAMI, Manel & SRNDOVIĆ, Milan & GRANDI, Gabriele. (2017). Theoretical and Experimental Investigation of Switching Ripple in the DC-Link Voltage of Single-Phase H-Bridge PWM Inverters. *Energies*. 10. 1189. 10.3390/en10081189.
- [58] What are the advantages and disadvantages of solar energy? *Enerray* [online]. [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://www.enerray.com/blog/advantages-disadvantages-solar-energy/>
- [59] What is Lithium Battery Technology? *Northern Arizona Wind&Sun* [online]. [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.solar-electric.com/learning-center/lithium-battery-technology.html/>
- [60] What is Maximum Power Point Tracking (MPPT). *Northern Arizona Wind&Sun* [online]. 2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.solar-electric.com/learning-center/mppt-solar-charge-controllers.html/>
- [61] ZIPP, Kathie. What are some common types of solar PV and storage installations? *Solar Power World* [online]. 2015 [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: <https://www.solarpowerworldonline.com/2015/10/what-are-some-common-types-of-solar-pv-and-storage-installations/>
- [62] ZISCHKE, Dylan. Maximum Power Point Tracking. *BLUESat* [online]. 23.8.2017 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://bluesat.com.au/maximum-power-point-tracking/>

Seznam použitých zkratek

ČR	Česká republika
DoD	Depth of discharge (míra povoleného vybití)
DPH	Daň z přidané hodnoty
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie (European Union)
FV	Fotovoltaický, -é, -á
FVE	Fotovoltaická elektrárna
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MPPT	Maximum power point tracker (regulátor napětí a proudu)
NPV	Čistá současná hodnota
NZÚ	Nová zelená úsporám
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PR	Performance ratio
PSP	Periodická soustava prvků

Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obrázek 1: Výroba elektřiny brutto z OZE a její podíl na brutto spotřebě v ČR (upraveno)	2
Obrázek 2: Doba slunečního svitu za rok v Evropě.....	6
Obrázek 3: Vývoj ceny solárního panelu v dolaru za Watt (upraveno).....	8
Obrázek 4: Struktura solárního panelu (upraveno).....	15
Obrázek 5: Teplotní závislost výkonu fotovoltaického článku (upraveno).....	15
Obrázek 6: Voltampérová charakteristika křemíkového fotovoltaického článku (upraveno).....	16
Obrázek 7: Vrstvy solárního panelu (upraveno).....	21
Obrázek 8: Ideální průběh výstupního napětí střídače vytvořen pulsně šířkovou modulací (upraveno).....	23
Obrázek 9: Princip funkce MPPT (upraveno)	25
Obrázek 10: Rodinný dům a jeho jižní střecha.....	28
Obrázek 11: Pohyb Slunce po horizontu v průběhu typického meteorologického roku pro Rokycany (upraveno).....	30
Obrázek 12: Pohyb stínu na jižní střеше (04/2020). Foto vlevo - 7:00, foto vpravo 9:45	31
Obrázek 13: Zjednodušené schéma projektované FVE	32
Obrázek 14: Návrh rozložení panelů na jižní střеше	34
Tabulka 1: Celková světová spotřeba energie podle jednotlivých zdrojů a forem energií v roce 2017	10
Tabulka 2: Přehled vyúčtování spotřeby elektřiny mezi lety 2016 - 2019	29
Tabulka 3: Základní parametry zvoleného solárního panelu.....	34
Tabulka 4: Základní parametry zvoleného střídače	35
Tabulka 5: Množství dopadající energie na plochu za měsíc pro Rokycany; průměrné hodnoty z let 2005 – 2016	40
Tabulka 6: Stanovení Performance Ratio	40
Tabulka 7: Přehled příspěvků jednotlivých investičních položek k ročním nákladům ..	43
Tabulka 8: Velikost investičních výdajů (vč. DPH) na pořízení FVE pro citlivostní analýzu.....	51
Tabulka 9: Vstupní ceny elektřiny pro citlivostní analýzu	53

Graf 1: Celkové množství slunečního záření v Rokycanech, data z 2005 – 2016.....	30
Graf 2: Projektovaná měsíční produkce elektrické energie	41
Graf 3: Vývoj ročních hotovostních toků v průběhu životnosti FVE bez využití dotace	45
Graf 4: Vývoj ročních hotovostních toků v průběhu životnosti FVE při využití dotace	45
Graf 5: Vývoj kumulovaného hotovostního toku v průběhu životnosti FVE bez využití dotace	46
Graf 6: Vývoj kumulovaného hotovostního toku v průběhu životnosti FVE při využití dotace	46
Graf 7: Závislost čisté současné hodnoty na hodnotě diskontu bez využití dotace	48
Graf 8: Závislost čisté současné hodnoty na hodnotě diskontu při využití dotace	49
Graf 9: Závislost čisté současné hodnoty na velikosti investičních výdajů.....	52
Graf 10: Závislost čisté současné hodnoty na ceně elektřiny	53

Příloha 1 – Produktový list solárního panelu

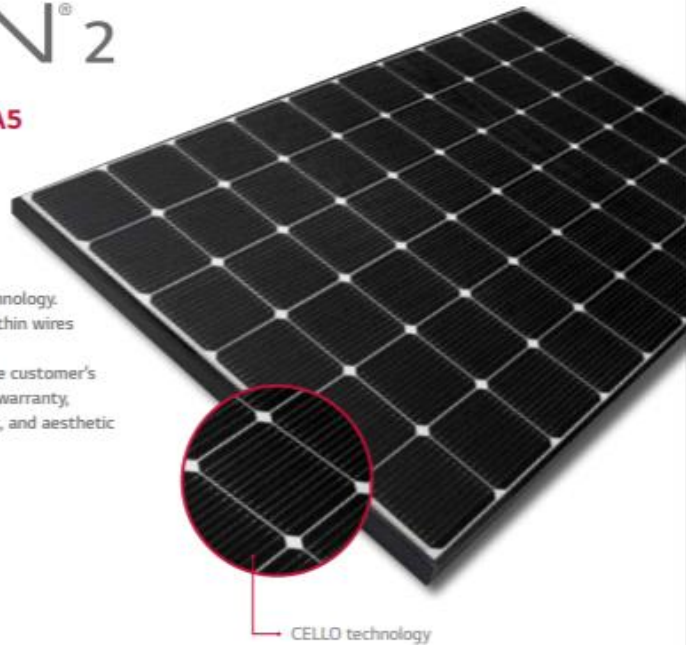
LG NeON²

LG NeON²

LG340N1C-A5 | LG335N1C-A5
LG330N1C-A5 |

60 Cells

LG's new module, NeON², adopts CELLO technology. CELLO technology replaces 3 busbars with 12 thin wires to enhance power output and reliability. NeON² demonstrates LG's efforts to increase customer's values beyond efficiency. It features enhanced warranty, durability, performance under real environment, and aesthetic design suitable for roofs.



CELLO technology

KEY FEATURES



Enhanced Performance Warranty
LG NeON² has an enhanced performance warranty. The annual degradation has fallen from -0.55%/year to -0.5%/year.



High Power Output
Compared with previous models, the LG NeON² has been designed to significantly enhance its output efficiency making it efficient even in limited space.



Aesthetic Roof
LG NeON² has been designed with aesthetics in mind; thinner wires that appear all black at a distance. The product can increase the value of a property with its modern design.



Outstanding Durability
With its newly reinforced frame design, LG has extended the warranty of the NeON² from 15 years to 25 years. Additionally, LG NeON² can endure a front load up to 6,000Pa, and a rear load up to 5,400Pa.



Better Performance on a Sunny Day
LG NeON² now performs better on sunny days thanks to its improved temperature coefficient.



Double-Sided Cell Structure
The rear of the cell used in LG NeON² will contribute to generation, just like the front; the light beam reflected from the rear of the module is reabsorbed to generate a great amount of additional power.

About LG Electronics

LG Electronics is a global big player, committed to expanding its operations with the solar market. The company first embarked on a solar energy source research program in 1985, supported by LG Group's vast experience in the semi-conductor, LCD, chemistry and materials industries. In 2010, LG Solar successfully released its first Mono² series to the market, which is now available in 32 countries. The LG NeON² (previous, Mono² NeON), NeON², NeON² Bifacial won the "Innovative AWARD" in 2013, 2015 and 2016, which demonstrates LG Solar's lead, innovation and commitment to the industry.

Mechanical Properties

Cells	6 x 10
Cell Vendor	LG
Cell Type	Monocrystalline/N-type
Cell Dimensions	161.7 x 161.7 mm
# of Busbar	12 (Multi Wire Busbar)
Dimensions (L x W x H)	1,686 x 1,016 x 40mm
Static Load	6,000Pa (snow load)
	5,400Pa (wind load)
Weight	18 kg
Connector Type	MC4
Junction Box	IP68 with 3 Bypass Diodes
Length of Cables	2 x 1,000 mm
Front cover	High Transmission Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminum

Certifications and Warranty

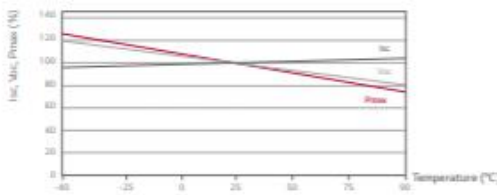
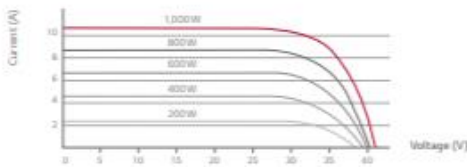
Certifications	IEC 61215, IEC 61720-1/-2
	IEC 62716 (Ammonia Test)
	IEC 61701 (Salt Mist Corrosion Test)
	ISO 9001
Module Fire Performance	Class C, Fire Class 1 (Italy)
Product Warranty	25 years
Output Warranty of Pmax (Measurement Tolerance ± 3%)	25 years linear warranty ¹⁾

¹⁾ 1st year max. 98% 2) After 2nd year max. 0.5%/p annual degradation.
³⁾ Min. 85% for 25 years.

Temperature Coefficients

NOCT	45 ± 3 °C
Pmpp	-0.37 %/°C
Voc	-0.27 %/°C
Isc	0.03 %/°C

Characteristic Curves



Electrical Properties (STC¹⁾)

Model	LG340N1C-A5	LG335N1C-A5	LG330N1C-A5
Maximum Power Pmax [W]	340	335	330
MPP Voltage Vmpp [V]	34.5	34.1	33.7
MPP Current Impp [A]	9.86	9.83	9.80
Open Circuit Voltage Voc [V]	41.1	41.0	40.9
Short Circuit Current Isc [A]	10.53	10.49	10.45
Module Efficiency [%]	19.8	19.6	19.3
Operating Temperature [°C]	-40 ~ +90		
Maximum System Voltage [V]	1,000		
Maximum Series Fuse Rating [A]	20		
Power Tolerance [%]	0 ~ +3		

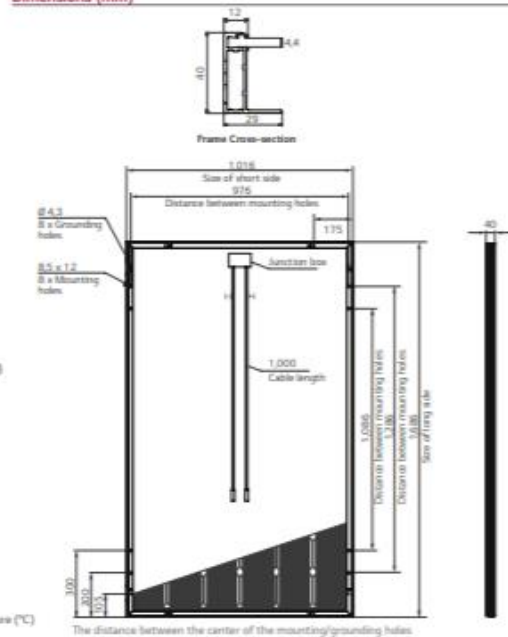
¹⁾ STC (Standard Test Condition): Irradiance 1,000 W/m², Module Temperature 25 °C, AM 1.5.
²⁾ The typical change in module efficiency at 200 W/m² in relation to 1,000 W/m² is -2.0%.
³⁾ Application Class: A, Safety Class: II.
⁴⁾ The complete power output is measured and determined by LG Electronics at its sole and absolute discretion.

Electrical Properties (NOCT¹⁾)

Model	LG340N1C-A5	LG335N1C-A5	LG330N1C-A5
Maximum Power Pmax [W]	251	247	243
MPP Voltage Vmpp [V]	31.9	31.5	31.2
MPP Current Impp [A]	7.86	7.83	7.81
Open Circuit Voltage Voc [V]	38.3	38.2	38.1
Short Circuit Current Isc [A]	8.47	8.44	8.41

¹⁾ NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): Irradiance 800 W/m², ambient temperature 20 °C, wind speed 1 m/s.

Dimensions (mm)



LG Electronics Deutschland GmbH
 EU Solar Business Group
 Alfred-Herrhausen-Allee 3-5
 65760 Eschborn, Germany
 E-mail: solar@lge.de
 www.lg-solar.com/uk

All details in this data sheet comply with DIN EN 50380.
 Subject to errors and alterations.
 Date: 05/2018
 Document: DS-N1C-A5-EN-201805

Copyright © 2018 LG Electronics. All rights reserved.



Příloha 2 – Produktový list střídače

Smart Energy Center



Higher Revenue

Max. efficiency 98.6%



Simple & Easy

17 kg



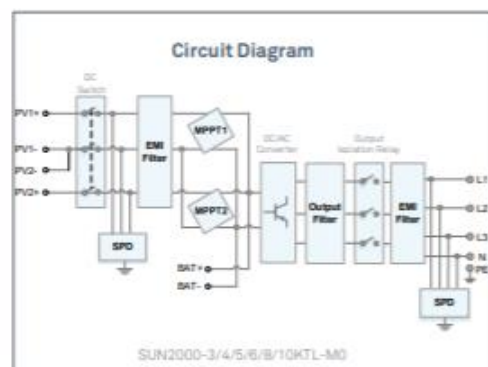
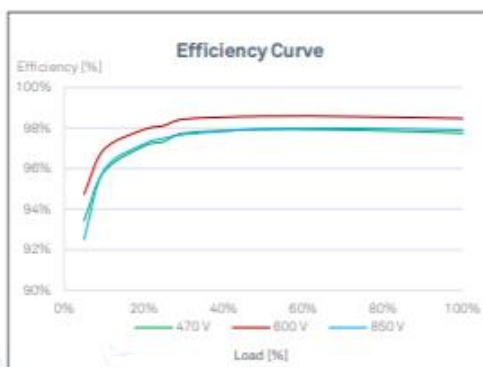
Battery Ready

Plug & Play battery interface



Safe & Reliable

Arc fault protection



SOLAR.HUAWEI.COM/EG/

Technical Specification

Technical Specification	SUN2000 -3KTL-M0	SUN2000 -4KTL-M0	SUN2000 -5KTL-M0	SUN2000 -6KTL-M0	SUN2000 -8KTL-M0	SUN2000 -10KTL-M0
Efficiency						
Max. efficiency	98.2%	98.3%	98.4%	98.6%	98.6%	98.6%
European weighted efficiency	98.7%	97.1%	97.6%	97.7%	98.0%	98.1%
Input						
Recommended max. PV power	6,150 Wp	8,200 Wp	10,250 Wp	12,300 Wp	14,880 Wp	14,880 Wp
Max. input voltage	1,100 V					
Operating voltage range	140 V – 880 V					
Start-up voltage	200 V					
Full power MPPT voltage range	140 V – 850 V	190 V – 850 V	240 V – 850 V	285 V – 850 V	380 V – 850 V	470 V – 850 V
Rated input voltage	800 V					
Max. input current per MPPT	11 A					
Max. short-circuit current	16 A					
Number of MPP trackers	2					
Max. number of inputs	2					
Output						
Grid connection	Three-phase					
Rated output power	3,000 W	4,000 W	5,000 W	6,000 W	8,000 W	10,000 W
Max. apparent power	3,300 VA	4,400 VA	5,500 VA	6,600 VA	8,800 VA	11,000 VA ¹
Rated output voltage	220 Vac / 380 Vac, 230 Vac / 400 Vac, 3W / N+PE					
Rated AC grid frequency	50 Hz / 60 Hz					
Max. output current	5.1 A	6.8 A	8.5 A	10.1 A	13.5 A	16.9 A
Adjustable power factor	0.8 leading ... 0.8 lagging					
Max. total harmonic distortion	≤ 3 %					
Features & Protections						
Input-side disconnection device	Yes					
Anti-islanding protection	Yes					
DC reverse polarity protection	Yes					
Insulation monitoring	Yes					
DC lightning protection	Yes					
AC lightning protection	Yes					
Residual current monitoring	Yes					
AC overcurrent protection	Yes					
AC short-circuit protection	Yes					
AC overvoltage protection	Yes					
Arc fault protection	Yes					
Ripple receiver control	Yes					
Integrated PID recovery	Yes ²					
General Data						
Operating temperature range	-25 – + 50 °C (-13 °F – 140 °F) (Derating above 45 °C @ Rated output power)					
Relative operating humidity	0 %RH – 100 %RH					
Operating altitude	0 – 4,000 m (13,123 ft.) (Derating above 3000 m)					
Cooling	Natural convection					
Display	LED Indicators; Integrated WLAN + FusionSolar App					
Communication	RS485; WLAN via Smart Dongle-WLAN; 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G					
Weight (incl. mounting bracket)	17 kg (37.5 lb)					
Dimension (incl. mounting bracket)	525 × 470 × 166 mm (20.7 × 18.5 × 6.5 inch)					
Degree of protection	IP65					
Battery Compatibility						
Battery interface	Integrated					
Standard Compliance (more available upon request)						
Certificates	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2, IEC 62118					
Grid connection standards	G99, G99, EN 50438, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, VDE-AR-N-4110, AS 4777, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, NRS 097-2-1, IEC61727, IEC62118, DEWA 2.0					

*1: VDE-AR-N-4105: 10,000 VA; C10/11: 10,000 VA

*2: SUN2000-3-10KTL-M0 allows potential between PV- and ground to above zero through integrated PID recovery function to recover module degradation from PID. Supported module types include: P-type (mono, poly), N-type (PERC, HJT)

Příloha 3 – Cenové nabídky komponentů FVE

Komponenty fotovoltaické elektrárny									
Komponent	Výrobce/Typ	Poznámka	Množství	Jednotka	Cena/j Částka (vč. DPH)	Použitý kurz	Datum	Obchodník	
Solární panel	Hanwha Q CELLS DUO G5	330 Wp	12	ks	153,49 €	27,07	05.05.2020	Frankensolar	
	LG NEON 2 LG340N1C-A5	340 Wp			3 250,00 Kč			39 000,00 Kč	Krannich
Střídač	Goodwe DT 4000	2 MPP, není hybridní	1	ks	31 258,54 Kč	27,07	05.05.2020	Shop.iftech	
	Huawei SUN2000 3KTL-M0	2 MPP, hybrid			28 636,00 Kč			28 636,00 Kč	Kotly.com
Montážní systém	Fronius Symo Hybrid 4.0		1	ks	31 420,92 Kč	27,07	05.05.2020	Shop.iftech	
	K2 Systems				59 960,00 Kč			59 960,00 Kč	Obchod Solar
	Renusol				9 500,00 Kč			9 500,00 Kč	Krannich
	Krajiczech	Nabídka od resellera			797,98 €			21 601,32 Kč	GBC-Solino
Batérie	Krajiczech	Nabídka od výrobce	1	ks	9 352,33 Kč	27,07	05.05.2020	Shop.iftech	
	Prefa	Jen na své sítěchy			18 413,07 Kč			18 413,07 Kč	Krajiczech
Solární DC kabel	BYD B-BOX	10,5 kWh	1		6 000,69 €	27,07	05.05.2020	Frankensolar	
	LGChem Resu10H	10 kWh	1	ks	5 080,00 €			Europe-solarstore	
	Solax TriplePower	6,3 kWh	2		3 066,14 €			Frankensolar	
	Dyness Battery Box	4,8 kWh	2		70 077,15 Kč			Shop.iftech	
Solární kabel černý	LAPP H1Z2Z2-K		60	m	30,45 Kč	27,07	05.05.2020	Lapp	
	LAPP ÖLFLEX® SOLAR XLWP	1 x 6 mm ²			36,44 Kč			2 186,44 Kč	Lapp
	Solární kabel černý				26,00 Kč			1 560,00 Kč	Solar-eshop
	Solární kabel černý				26,14 Kč			1 568,40 Kč	Shop.iftech
Monitoring	Fronius	Monitoring v invertoru	-		-	27,07	05.05.2020	Elektrocentrally	
	Huawei Smart Logger 1000		1	ks	10 539,60 Kč			Europe-solarstore	
	Goodwe EZLogger				415,00 €			Shop.iftech	
					15 832,00 Kč			Shop.iftech	
					3 451,36 Kč			Shop.iftech	

Příloha 4 – Cash flow

Výpočet pro variantu neuvažující dotaci

VÝPOČET CASH FLOW (BEZ DOTACE)											
Celková cena elektrárny			Dotace			Produkce v roce 1				Změna	
253 930,99 Kč			100 000,00 Kč			3 709,40 kWh				-0,7%	
Rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Roční produkce elektrické energie [kWh]	N/A	3 709,40	3 683,43	3 657,65	3 632,05	3 606,62	3 581,38	3 556,31	3 531,41	3 506,69	3 482,15
Cena elektřiny [Kč · kWh ⁻¹]	N/A	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21
Počáteční investice [Kč]	-253 930,99	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Další náklady [Kč]		0,00	0,00	0,00	-2 000,00	0,00	0,00	-2 000,00	0,00	0,00	-2 000,00
Pojištění [Kč]	N/A	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00
Revize [Kč]	N/A	0,00	0,00	0,00	-2 530,00	0,00	0,00	-2 530,00	0,00	0,00	-2 530,00
Úspora [Kč]	N/A	8 208,90	8 151,44	8 094,38	8 037,72	7 981,46	7 925,58	7 870,11	7 815,02	7 760,31	7 705,99
Cash Flow [Kč]	-253 930,99	7 708,90	7 651,44	7 594,38	3 007,72	7 481,46	7 425,58	2 840,11	7 315,02	7 260,31	2 675,99
Kumulovaný Cash Flow [Kč]	-253 930,99	-246 222,09	-238 570,65	-230 976,27	-227 968,55	-220 487,09	-213 061,51	-210 221,40	-202 906,39	-195 646,08	-192 970,09

VÝPOČET CASH FLOW (BEZ DOTACE)										
	Spotřeba v roce 1				Cena elektřiny					
	607,00	11	kWh		2,213	Kč · kWh ⁻¹				
Rok	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Roční produkce elektrické energie [kWh]	3 457,77	3 433,57	3 409,53	3 385,66	3 361,96	3 338,43	3 315,06	3 291,86	3 268,81	3 245,93
Cena elektřiny [Kč · kWh ⁻¹]	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21
Počáteční investice [Kč]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Další náklady [Kč]	-137 515,60	0,00	-2 000,00	0,00	0,00	-2 000,00	0,00	0,00	-2 000,00	0,00
Pojištění [Kč]	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00
Revize [Kč]	0,00	0,00	-2 530,00	0,00	0,00	-2 530,00	0,00	0,00	-2 530,00	0,00
Úspora [Kč]	7 652,05	7 598,48	7 545,29	7 492,48	7 440,03	7 387,95	7 336,23	7 284,88	7 233,88	7 183,25
Cash Flow [Kč]	-130 363,55	7 098,48	2 515,29	6 992,48	6 940,03	2 357,95	6 836,23	6 784,88	2 203,88	6 683,25
Kumulovaný Cash Flow [Kč]	-323 333,64	-316 235,16	-313 719,87	-306 727,39	-299 787,37	-297 429,42	-290 593,19	-283 808,31	-281 604,42	-274 921,18

Diskont r

4%

NPV

-262 324,16 Kč

IRR

#ČÍSLO!

Výpočet pro variantu uvažující dotaci

VÝPOČET CASH FLOW (S DOTACÍ)

Celková cena elektrárny		Dotace				Produkce v roce 1					Změna
253 930,99 Kč		100 000,00 Kč				3 709,40 kWh					-0,7%
Rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Roční produkce elektrické energie [kWh]	N/A	3 709,4	3 683,43	3 657,65	3 632,05	3 606,62	3 581,38	3 556,31	3 531,41	3 506,69	3 482,15
Cena elektřiny [Kč · kWh ⁻¹]	N/A	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21
Počáteční investice [Kč]	-253 930,99	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Další náklady [Kč]		0,00	0,00	0,00	-2 000,00	0,00	0,00	-2 000,00	0,00	0,00	-2 000,00
Pojištění [Kč]	N/A	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00
Revize [Kč]	N/A	0,00	0,00	0,00	-2 530,00	0,00	0,00	-2 530,00	0,00	0,00	-2 530,00
Dotace [Kč]	100 000,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Úspora [Kč]	N/A	8 208,90	8 151,44	8 094,38	8 037,72	7 981,46	7 925,58	7 870,11	7 815,02	7 760,31	7 705,99
Cash Flow [Kč]	-153 930,99	7 708,90	7 651,44	7 594,38	3 007,72	7 481,46	7 425,58	2 840,11	7 315,02	7 260,31	2 675,99
Kumulovaný Cash Flow [Kč]	-153 930,99	-146 222,09	-138 570,65	-130 976,27	-127 968,55	-120 487,09	-113 061,51	-110 221,40	-102 906,39	-95 646,08	-92 970,09

VÝPOČET CASH FLOW (S DOTACÍ)

	Spotřeba v roce 1				Cena elektřiny					
	11 607,00 kWh				2,213 Kč · kWh ⁻¹					
Rok	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Roční produkce elektrické energie [kWh]	3 457,77	3 433,57	3 409,53	3 385,66	3 361,96	3 338,43	3 315,06	3 291,86	3 268,81	3 245,93
Cena elektřiny [Kč · kWh ⁻¹]	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21
Počáteční investice [Kč]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Další náklady [Kč]	-137 515,60	0,00	-2 000,00	0,00	0,00	-2 000,00	0,00	0,00	-2 000,00	0,00
Pojištění [Kč]	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00
Revize [Kč]	0,00	0,00	-2 530,00	0,00	0,00	-2 530,00	0,00	0,00	-2 530,00	0,00
Dotace [Kč]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Úspora [Kč]	7 652,05	7 598,48	7 545,29	7 492,48	7 440,03	7 387,95	7 336,23	7 284,88	7 233,88	7 183,25
Cash Flow [Kč]	-130 363,55	7 098,48	2 515,29	6 992,48	6 940,03	2 357,95	6 836,23	6 784,88	2 203,88	6 683,25
Kumulovaný Cash Flow [Kč]	-223 333,64	-216 235,16	-213 719,87	-206 727,39	-199 787,37	-197 429,42	-190 593,19	-183 808,31	-181 604,42	-174 921,18

Diskont r

4%

NPV

-162 324,16 Kč

IRR

-0,16

Příloha 5 – Výpočet NPV a IRR^{69 70}

Výpočet pro variantu neuvažující dotaci

$r = 0.04;$

$$\text{NPV2} = -253930.99 + \frac{7708.9}{1+r} + \frac{7651.44}{(1+r)^2} + \frac{7594.38}{(1+r)^3} + \frac{3007.72}{(1+r)^4} + \frac{7481.46}{(1+r)^5} + \frac{7425.58}{(1+r)^6} + \frac{2840.11}{(1+r)^7} + \frac{7315.02}{(1+r)^8} + \frac{7260.31}{(1+r)^9} + \frac{2675.99}{(1+r)^{10}} + \frac{-130363.55}{(1+r)^{11}} + \frac{7098.48}{(1+r)^{12}} + \frac{2515.29}{(1+r)^{13}} + \frac{6992.48}{(1+r)^{14}} + \frac{6940.03}{(1+r)^{15}} + \frac{2357.95}{(1+r)^{16}} + \frac{6836.23}{(1+r)^{17}} + \frac{6784.88}{(1+r)^{18}} + \frac{2203.88}{(1+r)^{19}} + \frac{6683.25}{(1+r)^{20}};$$

$\text{NPVbezdotace} = \text{NumberForm}[\text{NPV2}, 10];$

$\text{Print}["\text{Čistá současná hodnota projektu neuvažujícího dotaci je }", \text{NPVbezdotace}, "."]$

Čistá současná hodnota projektu neuvažujícího dotaci je -262324.1457.

$\text{Solve} [$

$$\left\{ -253930.99 + \frac{7708.9}{1+\text{IRR}} + \frac{7651.44}{(1+\text{IRR})^2} + \frac{7594.38}{(1+\text{IRR})^3} + \frac{3007.72}{(1+\text{IRR})^4} + \frac{7481.46}{(1+\text{IRR})^5} + \frac{7425.58}{(1+\text{IRR})^6} + \frac{2840.11}{(1+\text{IRR})^7} + \frac{7315.02}{(1+\text{IRR})^8} + \frac{7260.31}{(1+\text{IRR})^9} + \frac{2675.99}{(1+\text{IRR})^{10}} + \frac{-130363.55}{(1+\text{IRR})^{11}} + \frac{7098.48}{(1+\text{IRR})^{12}} + \frac{2515.29}{(1+\text{IRR})^{13}} + \frac{6992.48}{(1+\text{IRR})^{14}} + \frac{6940.03}{(1+\text{IRR})^{15}} + \frac{2357.95}{(1+\text{IRR})^{16}} + \frac{6836.23}{(1+\text{IRR})^{17}} + \frac{6784.88}{(1+\text{IRR})^{18}} + \frac{2203.88}{(1+\text{IRR})^{19}} + \frac{6683.25}{(1+\text{IRR})^{20}} = 0 \right\}, \text{IRR, Reals}]$$

$\{ \{ \text{IRR} \rightarrow -1.94914 \}, \{ \text{IRR} \rightarrow -0.172481 \} \}$

Výpočet pro variantu uvažující dotaci

$r = 0.04;$

$$\text{NPV1} = -153930.99 + \frac{7708.9}{1+r} + \frac{7651.44}{(1+r)^2} + \frac{7594.38}{(1+r)^3} + \frac{3007.72}{(1+r)^4} + \frac{7481.46}{(1+r)^5} + \frac{7425.58}{(1+r)^6} + \frac{2840.11}{(1+r)^7} + \frac{7315.02}{(1+r)^8} + \frac{7260.31}{(1+r)^9} + \frac{2675.99}{(1+r)^{10}} + \frac{-130363.55}{(1+r)^{11}} + \frac{7098.48}{(1+r)^{12}} + \frac{2515.29}{(1+r)^{13}} + \frac{6992.48}{(1+r)^{14}} + \frac{6940.03}{(1+r)^{15}} + \frac{2357.95}{(1+r)^{16}} + \frac{6836.23}{(1+r)^{17}} + \frac{6784.88}{(1+r)^{18}} + \frac{2203.88}{(1+r)^{19}} + \frac{6683.25}{(1+r)^{20}};$$

$\text{NPV} = \text{NumberForm}[\text{NPV1}, 10];$

$\text{Print}["\text{Čistá současná hodnota projektu při uvažování dotace je }", \text{NPV}, "."]$

Čistá současná hodnota projektu při uvažování dotace je -162324.1457.

$\text{Solve} [$

$$\left\{ -153930.99 + \frac{7708.9}{1+\text{IRR}} + \frac{7651.44}{(1+\text{IRR})^2} + \frac{7594.38}{(1+\text{IRR})^3} + \frac{3007.72}{(1+\text{IRR})^4} + \frac{7481.46}{(1+\text{IRR})^5} + \frac{7425.58}{(1+\text{IRR})^6} + \frac{2840.11}{(1+\text{IRR})^7} + \frac{7315.02}{(1+\text{IRR})^8} + \frac{7260.31}{(1+\text{IRR})^9} + \frac{2675.99}{(1+\text{IRR})^{10}} + \frac{-130363.55}{(1+\text{IRR})^{11}} + \frac{7098.48}{(1+\text{IRR})^{12}} + \frac{2515.29}{(1+\text{IRR})^{13}} + \frac{6992.48}{(1+\text{IRR})^{14}} + \frac{6940.03}{(1+\text{IRR})^{15}} + \frac{2357.95}{(1+\text{IRR})^{16}} + \frac{6836.23}{(1+\text{IRR})^{17}} + \frac{6784.88}{(1+\text{IRR})^{18}} + \frac{2203.88}{(1+\text{IRR})^{19}} + \frac{6683.25}{(1+\text{IRR})^{20}} = 0 \right\}, \text{IRR, Reals}]$$

$\{ \{ \text{IRR} \rightarrow -1.99018 \}, \{ \text{IRR} \rightarrow -0.161454 \} \}$

⁶⁹ Výpočty provedeny autorem v programu Wolfram Mathematica

⁷⁰ Výpočty NPV se liší v setinách oproti hodnotám uvedeným v práci. Ty byly počítány s přesnými čísly v tabulkovém kalkulátoru. Uvedené výpočty byly provedeny pro znázornění postupu výpočtu.