



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektroenergetiky**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Technicko-ekonomická analýza možnosti instalace  
fotovoltaické elektrárny v zemích třetího světa na příkladu  
Ukrajiny**

**Technical and economic analysis of the possibility of  
installing a photovoltaic power plant in third world  
countries on the example of Ukraine**

Bc. Andriy Shevchenko

Vedoucí práce: Vít Klein, Ph.D.

Praha 2018

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Shevchenko** Jméno: **Andriy** Osobní číslo: **420261**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Elektroenergetika**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Technicko - ekonomická analýza možnosti instalace fotovoltaické elektrárny v zemích třetího světa na příkladu Ukrajiny**

Název diplomové práce anglicky:

**Technical and economic analysis of the possibility of installing a photovoltaic power plant in third world countries on the example of Ukraine**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Teorie využití solárních elektráren
- 2) Technické řešení dané elektrárny
- 3) Výpočet výkonu
- 4) Ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

1. Legislativa Ukrajiny, O elektrické energii, Dokument 575/97, aktuální vydání od 11.06.2017 Dostupné z: <http://zakon3.rada.gov.ua/>
2. IRENA (2015), REmap 2030 Renewable Energy Prospects for Ukraine. IRENA, Abu Dhabi. [www.irena.org/remap](http://www.irena.org/remap)
3. BOYLE, Godfrey. Renewable electricity and the grid: the challenge of variability. Sterling, VA: Earthscan, c2007. ISBN 978-184-4074-181.
4. LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. 2., dopl. vyd. Praha: Ilsa, 2010. ISBN 978-80-904311-5-7.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

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

Datum zadání diplomové práce: **03.02.2018** Termín odevzdání diplomové práce: **25.05.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2019**

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

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

## **Prohlášení:**

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

V Praze dne 24. 05. 2018

Andriy Shevchenko

## **Poděkování**

Rád bych na tomto místě poděkoval svému vedoucímu práce Vítu Kleinovi, Ph.D., za cenné rady, věcné připomínky a čas, který mi při konzultacích a vypracování mé diplomové práce věnoval.

Taky bych rád poděkoval své rodině a kamarádům, kteří mě podporují po celou dobu mého studia.

## **Anotace**

Hlavním cílem této práce je provést technicko – ekonomický výpočet a zhodnocení instalace fotovoltaické elektrárny v zemích třetího světa na příkladu Ukrajiny. Cílem projektu je produkce čisté elektrické energie a její další prodej. V první části popisují energetické hospodářství Ukrajiny, fotovoltaické elektrárny v současné energetice a výhled do budoucnosti FVE. Také v této části byly popsány jednotlivé komponenty pro stavbu fotovoltaické elektrárny, popsán princip fotovoltaického jevu a typy fotovoltaických článků. V další části byla popsána současná Ukrajinská legislativa upravující provozování fotovoltaických elektráren a taky statní podpora za zeleným tarifem. V této části také popisují daňovou legislativu a různé metody a způsoby odepisování. Další část popisuje kritické faktory úspěchu při vývoji a realizaci fotovoltaických projektu. Je popsán postup investora od vyberu vhodného místa do uvedení elektrárny do provozu. V praktické části této práce je nakreslena schéma elektrárny, provedena analýza klimatických podmínek a je proveden návrh komponent, výpočet nákladů a výnosů, a potom je vypočítaná návratnost FV elektrárny.

## **Klíčová slova**

Fotovoltaická elektrárna, Obnovitelné zdroje energie, Fotovoltaika, Ukrajina

## **Annotation**

The main aim of this work is to carry out the technical and economic calculation and evaluation of the possibility of installation of a photovoltaic power plant in third world countries on the example of Ukraine. The main aim of the project is production of clean electricity and its reselling. In the first part I describe the energy industry of Ukraine, photovoltaic power plants in current energetical balance and the future of the PVP. Also, in this part I describe the components for construction of photovoltaic power plant, the principle of photovoltaic effect and types of photovoltaic cells. The next part describes the current Ukrainian legislation regulating the operation of photovoltaic power plants and the state support for the green tariff. This section also describes the tax legislation and various types and methods of depreciation. The next part describes critical factors of success in the development and implementation of photovoltaic projects. Also, I describe the list of actions of the investor, from the selection of the suitable place to putting the plant into operation. In the practical part of this thesis there is a scheme of the power plant, analysis of climatic conditions and the selection of components, calculation of costs and revenues and then the calculation of PV plant payback.

## **Keywords**

Photovoltaic power plant, Renewable energy, Photovoltaics, Ukraine

# Obsah

Seznam použitých pojmů a zkratk .....	1
1 Úvod .....	3
2 Charakteristika energetického hospodářství Ukrajiny .....	4
2.1 Fotovoltaické elektrárny (FVE) v současné energetice Ukrajiny .....	5
2.2 Princip fotovoltaického jevu .....	8
2.3 Schéma fotovoltaické elektrárny .....	9
2.4 Komponenty fotovoltaické elektrárny .....	10
2.5 Fotovoltaický článek .....	10
2.6 Monokrystalické články .....	11
2.7 Polykrystalické články .....	11
2.8 Tenkovrstvé články .....	12
2.9 Účinnost a faktory ovlivňující účinnost fotovoltaických článků .....	13
2.10 Základní hodnoty fotovoltaických článků .....	13
2.11 Výkon fotovoltaického článku .....	15
2.12 Střídač .....	16
2.13 Nosné konstrukce .....	18
2.14 Druhy solárních elektráren .....	18
2.14.1 Síťové systémy (on-grid) .....	18
2.14.2 Ostrovní (off-grid) a hybridní systémy .....	19
3.1 Ukrajinská legislativa o alternativních zdrojích energie .....	19
3.2 Daňová legislativa .....	22
3.3 Metody a způsoby odpisování .....	23
3.4 Odpisy ve výpočtech .....	24
4.1 Výběr místa .....	25
4.2 Primární technicko-ekonomické odůvodnění .....	25
4.3 Základní technicko-ekonomické odůvodnění .....	26

4.4	Vývoj projektové a technické dokumentace.....	26
4.5	Výstavba .....	27
4.6	Uvedení do provozu .....	27
4.7	Provoz .....	27
5.1	Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování.....	28
5.2	Klimatické podmínky .....	28
5.3	Analýza slabých a silných stránek, příležitostí a ohrožení výstavby a provozu FVE .....	29
5.4	Návrh komponentů a výpočet.....	29
5.5	Plošné rozdělení článků .....	35
5.6	Výpočet minimální plochy FVE.....	36
5.7	Výpočty parametrů FV elektrárny .....	37
5.8	Náklady .....	39
5.9	Investiční náklady .....	39
5.10	Provozní náklady .....	39
5.11	Výpočet ceny montážní práce .....	40
5.12	Inflace.....	40
5.13	Diskontní sazba .....	41
5.14	Ekologické aspekty .....	41
6.1	Ekonomické zhodnocení.....	42
6.1.1	Obecné zhodnocení.....	42
6.1.2	Odpisy.....	42
6.2	Investiční náklady .....	43
6.3	Výpočet nákladů, výnosů, daně a taky cash flow .....	45
6.4	Vypočtené hodnoty .....	47
6.5	Zhodnocení výnosnosti investice metodou čisté současné hodnoty .....	47
6.6	Vnitřní výnosové procento (IRR) .....	48

<b>6.7</b>	<b>Prostá doba návratnosti (PP)</b> .....	<b>48</b>
<b>6.8</b>	<b>Reálná doba návratnosti</b> .....	<b>49</b>
<b>6.9</b>	<b>Return of investment (ROI)</b> .....	<b>49</b>
	<b>Závěr</b> .....	<b>50</b>
	<b>Použitá literatura a internetové zdroje</b> .....	<b>52</b>
	<b>Seznam obrázků</b> .....	<b>54</b>
	<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>55</b>



## Seznam použitých pojmů a zkratk

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
FVE	Fotovoltaická elektrárna
OZE	Obnovitelné zdroje energie
FV	Fotovoltaika
MW	Megawatt
ČR	Česká republika
Tzv.	Takzvaný
Atd.	A tak dál
W <sub>p</sub>	Watt peak
AM	Air mass
FVS	Fotovoltaický systém
W <sub>p</sub>	Wattpeak (watt špičkového výkonu)
STP	Standardní testovací podmínky
MPP	Maximum Power Point (bod maximálního výkonu)
MPPT	Maximum Power Point Tracker
MWh	Megawatthodina
UAH	Ukrajinská hřivna
₴	Značka ukrajinské hřivny
DC	Stejnoseměrný
AC	Střídavý
PVGIS	Geografický informační systém
CF	Cash Flow
NPV	Současná čistá hodnota
IRR	Internal Rate of Return
ROI	Return of investment
PP	Payback Period

EUR

Euro

PVP

Photovoltaic plant

# 1 Úvod

Slunce je nevyčerpatelný zdroj energie z pohledu lidstva. Provoz FVE nepřináší negativní vliv na životní prostředí a nevyčerpatelnost energetického zdroje dělá z fotovoltaiky velmi perspektivní technologií pro získávání elektrické energie v budoucnosti. Z tohoto pohledu je fotovoltaika pro mnoho lidí velmi atraktivní energetickou alternativou ale jediným negativem je náročnost a vysoká cena této technologie.

V současné době se po celém světě šíří tendence využívání obnovitelných zdrojů energie. Mnoho vyspělých zemí už chápe význam a důležitost podpory získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů, Ukrajina ve využívání obnovitelných zdrojů energie poněkud zaostávala. Ale díky podpoře ze strany státu a Evropské unie se tato situace začíná pomalu měnit. Použití slunečního záření pro výrobu tepelné a elektrické energie a je možné na celém území států a má velký potenciál. Ukrajina disponuje významnými zásobami surovin, má průmyslové, vědecké a technické základny pro výrobu fotovoltaického zařízení, a může zajistit nejen domácí spotřebitele, ale i exportovat vyráběné zboží a elektřinu. Během krátkého období bylo instalováno velké množství fotovoltaických systémů. V posledních letech probíhá intenzivní vývoj a výzkum v oblasti využívání sluneční energie. [9] Jsou zkoumány nové technologie a hledají se stále nové a nové aplikace využívání fotovoltaických systémů.

Cílem této diplomové práce bude posoudit investiční záměr výstavby solární elektrárny. Vybral jsem si toto téma, protože je v současné době velmi diskutované a také proto, že jsem přesvědčen o budoucnosti využívání obnovitelných zdrojů energie k výrobě elektřiny.

## 2 Charakteristika energetického hospodářství Ukrajiny

Elektroenergetika je základním prvkem ukrajinské ekonomiky a má významný potenciál. Výroba elektřiny je založena na spalování uhlí, topného oleje, zemního plynu, rašeliny, využití jaderné energie, větrné energie, vody a slunce. Podle množství vyrobené elektřiny na prvním místě jsou teplárny (62,5 % z celkové výroby elektřiny na Ukrajině), potom jdou jaderné elektrárny (25 %), vodní elektrárny (11 %), větrné (0,8 %) a FV elektrárny (0,7 %). [1]

Ukrajina má významný potenciál v oblasti obnovitelných zdrojů energie, který lze použít ke zlepšení obchodní bilance, vytváření pracovních míst a stimulování ekonomické aktivity v době, kdy se země musí překonat významné ekonomické výzvy, jako je rostoucí závislost na dovozu energie a nutnost urychlené modernizaci zastaralých základních výrobních aktiv v odvětví energetiky. Rozvoj obnovitelných zdrojů energie bude také důležitým přínosem pro dosažení stanovených politických cílů – snížení závislosti na dovozu zemního plynu a diverzifikace zdrojů dodávek energie.

Zásoby fosilních paliv na Ukrajině jsou omezené. Objemy domácí produkce ropy, zemního plynu a uhlí nestačí na uspokojení současné poptávky, takže země je závislá na dovozu všech těchto zdrojů energie. V letech 2010 – 2014 bylo 65 % až 70 % celkové poptávky pokryto dovozem plynu, což představuje velký problém s energetickou bezpečností země a také se zvyšuje nedostatek uhlí, který ovlivňuje elektroenergetiku. K dnešnímu dni kvůli válce na východě má Ukrajina významný deficit uhlí, především energetického (antracitu), jehož těžba je soustředěna v regionech Doněck a Lugansk, v oblastech, které vláda státu nekontroluje. Dovoz fosilních paliv může pomoci tento deficit vyrovnat, ale je to finančně náročné.

Nejperspektivnější v Ukrajině jsou takové druhy obnovitelné energie jako větrná, solární, geotermální energie, využití biomasy a malých vodních elektráren. Správně dimenzovaná struktura zdrojů obnovitelné energie může snížit celkovou poptávku po zemním plynu, který se spotřebovává v odvětví elektroenergetiky.

Ukrajina tak má několik kritických hospodářských míst. Jednou z nich je zastaralá ekonomická struktura s extrémní energetickou náročností, která je hlavní příčinou obrovské závislosti na dovozu surovin z Ruska. Energetická náročnost ekonomiky Ukrajiny je několikrát vyšší než v rozvinutých zemích. Energetickou bezpečnost problematizuje vnitropolitická situace země.

Do roku 2006 Ukrajina dovážela zemní plyn za ceny mnohem nižší, než jsou mezinárodní ceny. Od té doby však hlavní dodavatel, Rusko, výrazně zvýšil ceny. Zejména cena 1000 m<sup>3</sup> zemního plynu vzrostla z 95 USD v roce 2006 do 229 dolarů v roce 2009 a překročila 400 dolarů na konci roku 2012. (IEA, 2012b). Cena zemního plynu v roce 2018 je stanovena na úrovni 352 USD na 1000 m<sup>3</sup>.

Obnovitelné zdroje energie z hrají důležitou roli při dosažení strategických cílů na Ukrajině v oblasti energetiky, ale také třeba vzít v úvahu potenciál v oblasti energetické účinnosti, který zejména může být použit ke snížení spotřeby zemního plynu. Existují určité překážky pro zvýšení podílu obnovitelné

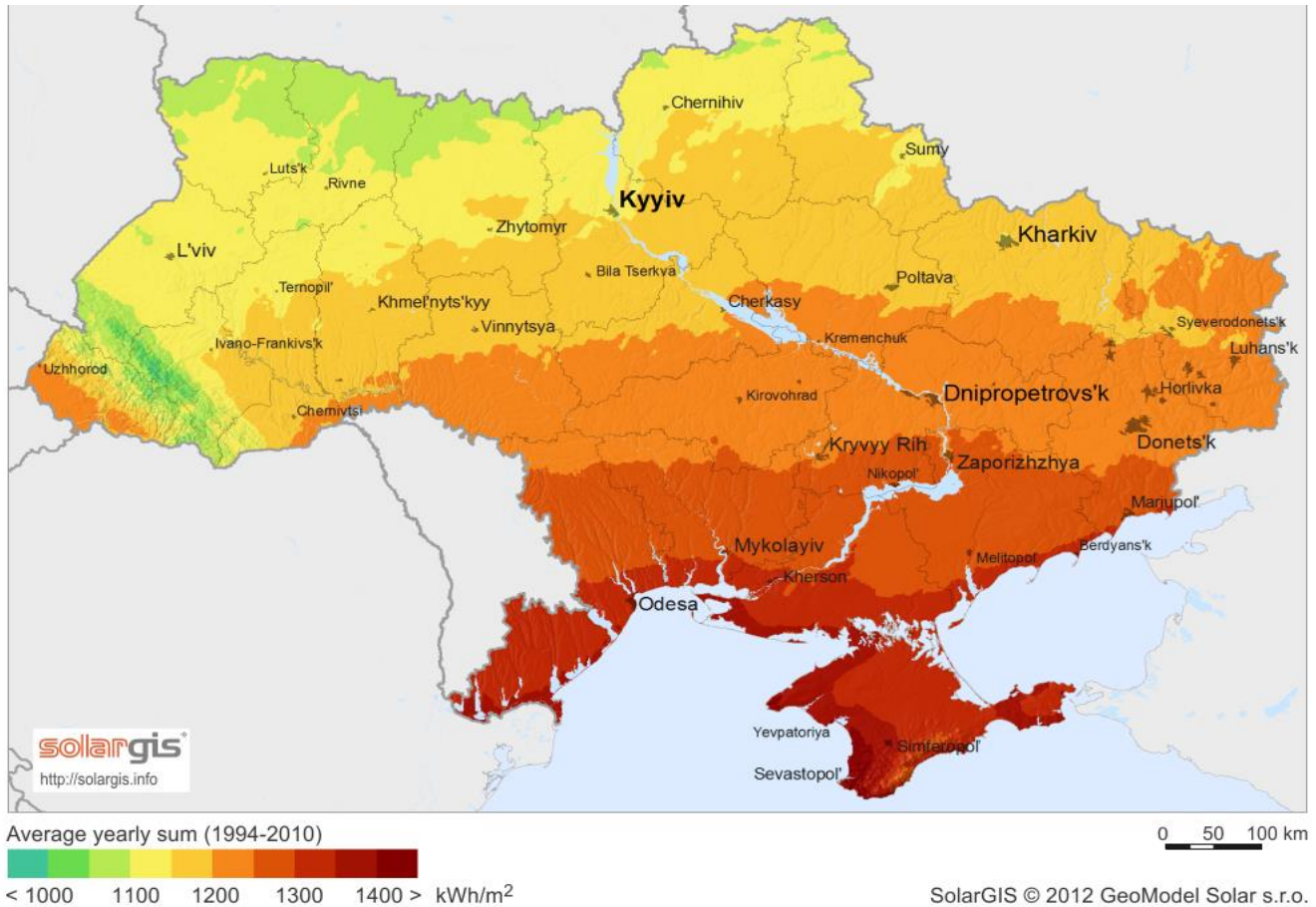
energie. Vysoké počáteční kapitálové náklady vytvářejí nejistotu ohledně investic do obnovitelných zdrojů energie. Spolu s měnícím se politickým kurzem narůstá nedůvěra ze strany investorů. Z tohoto důvodu je třeba dlouhou dobu provádět předvídatelnou a stabilní politiku, která umožní důsledné získávání investic do obnovitelných zdrojů energie.

Zvyšování využívání energie z obnovitelných zdrojů je považováno za důležitou součást ukrajinské strategie zachování tradičních palivo-energetických zdrojů a snižování jejich negativních dopadů na životní prostředí. Cílem politiky je snížit poptávku tradičních palivo-energetických zdrojů pomocí zmenšení energetické náročnosti. Rovněž se předpokládá diverzifikace zdrojů energie, s cílem zvýšení energetické nezávislosti státu. Ukrajinská vláda podnikla důležité kroky směřující k transformaci energetického sektoru země, zaměřené na zvýšení energetické účinnosti a energetické nezávislosti. V září 2010 byl podepsán Protokol o přistoupení Ukrajiny k Energetickému společenství. V roce 2011 se Ukrajina stala řádným členem Energetického společenství. To znamená, že by se země měla podílet na integraci ukrajinského energetického sektoru do energetického prostoru EU. Směrnice o obnovitelných zdrojích stanovuje závazné vnitrostátní cíle, nabízí záruky pro investice a podporuje rozvoj nejmodernějších technologií a inovací. Ukrajina se zavázala dosáhnout do roku 2020 11 % spotřeby energie z obnovitelných zdrojů.

## **2.1 Fotovoltaické elektrárny (FVE) v současné energetice Ukrajiny**

Ukrajina disponuje významnými zásobami surovin, má průmyslové, vědecké a technické základny pro výrobu fotovoltaického zařízení, a může zajistit nejen domácí spotřebitele, ale i exportovat vyráběné zboží a elektřinu. Z hlediska dopadajícího slunečního záření jsou podmínky na Ukrajině srovnatelné s Německem, které je celosvětově největším trhem s fotovoltaikou a průměrná roční suma slunečního záření je o 10 – 15 % vyšší než v ČR.

Průměrné roční množství slunečního záření na Ukrajině se pohybuje mezi 1070 kWh · m<sup>-2</sup> v severních oblastech a 1400 kWh · m<sup>-2</sup> na jihu. Solární fotovoltaické zařízení může být efektivně provozováno v průběhu roku s nejvyšší účinností od dubna do října v jižních oblastech a od května do září v severních oblastech. Podle výzkumu má solární energie zdůvodněný potenciál 4 GW. Na obrázků č.1 je dobře vidět úroveň slunečního záření v různých regionech státu.



Obr. 1: Úroveň slunečního záření v různých oblastech Ukrajiny [3]

Problém znečištění životního prostředí a omezené zásoby obvyklých zdrojů paliv nutí Ukrajinou vládu hledat alternativní zdroje energie. A proto v roce 2009 se prezident Viktor Janukovič rozhodl výrazně zvýšit podporu OZE. Dne 1.04.2009 byl přijat zákon Ukrajiny “O změnách zákona v odvětví elektrické energie“, směřující k podpoře využívání alternativních zdrojů energie. Zákon ustanovil tzv. zelený tarif, což je garantovaná pevná výkupní cena pro elektrickou energii vyrobenou z obnovitelných zdrojů. Zelený tarif je stanoven v EUR za kWh. [3] To je velmi důležité, protože téměř polovinu nákladů na projekt tvoří zařízení, které je nakupováno za tvrdou měnu. Je zřejmé, že západní investoři by nikdy nezačali investovat do ukrajinské sluneční energie se ziskem, který je vázán ke hřivně (kvůli inflaci). Stanovení zeleného tarifu v eurech je správným krokem z hlediska získávání zahraničních investic. Podpora je stanovena do roku 2030.

Od roku 2011 byla stanovena fixovaná výkupní cena 0,4653 euro centů za 1 kWh pro velké solární elektrárny. Tato výkupní cena platila pro FVE uvedené do provozu do konce roku 2013.[3] V ten čas to byla skoro nejvyšší výkupní cena v Evropě. Pro srovnání, výkupní cena v Německu pro rok 2013 činila 5,2 euro centů.

Jestliže v roce 2010 měla Ukrajina instalováno pouhých 2,5 MW výkonu v solárních elektrárnách, to díky statní podpoře, na konci roku 2011 instalovaný výkon byl už vyšší než 200 MW. V srpnu 2012 výkon solárních elektráren dosahoval 400 MW. To bylo způsobeno taky dokončením několika z největších fotovoltaických elektráren na světě. Například solární park Ochotnikovo na Krymu má výkon 82,65 MW. K dubnu 2012 to byla druhá největší sluneční elektrárna v Evropě a šestá největší na světě. Solární elektrárna Perove, taky rozmístěná na Krymském poloostrově, byla 4. největší fotovoltaickou sluneční elektrárnou na světě. Skládala se ze 440 000 solárních panelů a měla výkon 100 MW. Provozuje ji vídeňská společnost Activ Solar, která plánuje realizaci mnoha projektu na Ukrajině. [2]

Níže uvedena tabulka č.1 ukazuje výše výkupní ceny pro pozemní průmyslové solární elektrárny uvedené do provozu v letech 2016 – 2040.

<b>Rok uvedení do provozu</b>	<b>Cena [EUR · kWh<sup>-1</sup>]</b>	<b>Cena <sup>1</sup> [UAH · kWh<sup>-1</sup>]</b>	<b>Cena <sup>2</sup> [Kč · kWh<sup>-1</sup>]</b>
2016	0,17	4,76	4,25
2017 – 2019	0,16	4,51	4
2020 – 2024	0,145	4,05	3,625
2025 – 2030	0,13	3,61	3,25
2030 – 2040 <sup>3</sup>	0,08	2,24	2

Tab. 1: Výkupní cena elektřiny v letech 2016 – 2040 [14]

Na konci roku 2016 dosáhl instalovaný výkon ukrajinských FVE 568,2 MW. Od ledna do listopadu roku 2016 bylo na Ukrajině postaveno 49 solárních elektráren s instalovaným výkonem přesahujícím 107 MW. Investice do těchto projektů činily více než 120 milionů eur (3,24 mld. Kč).

V plánu na rok 2018 mají ukrajinští a zahraniční investoři více než 50 projektů. Pokud by se tyto projekty zrealizovaly, došlo by k nárůstu instalovaného výkonu ve FVE o 460 MW a překročení hranice 1 GW celkového instalovaného výkonu ukrajinských FVE.

Ukrajinská vláda má v plánech do roku 2035 vybudování obrovského FV parku o výkonu 1 – 2 GW v nyní neobydleném a hospodářsky nevyužívaném pásmu kolem Černobylské jaderné elektrárny. Zájem o tento projekt už projevil čínské, německé a francouzské firmy.

Národní akademie věd vypočítala potenciál obnovitelných zdrojů energie pro výrobu elektrické energie a tepla pro roky 2030 a 2035. Podle těchto výpočtů by měl instalovaný výkon fotovoltaických

<sup>1</sup> Kurz 28 UAH / EUR

<sup>2</sup> Kurz 25 Kč / EUR

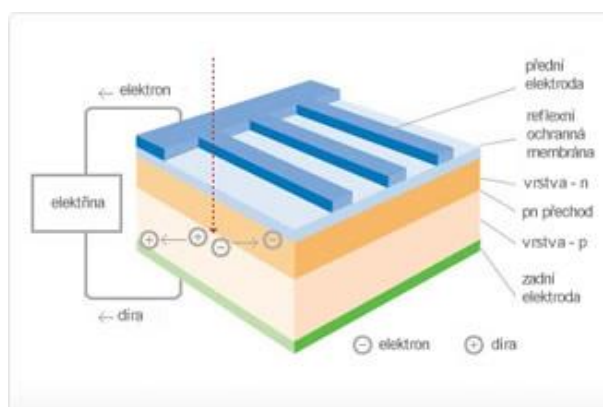
<sup>3</sup> Předpokládána cena

elektráren do roku 2030 dosáhnout 4 GW a 8 GW do roku 2034. Podíl energie z OZE v odvětví elektřiny dosáhne v roce 2030 22 %, v roce 2035 to bude 28 %.

Navzdory složité politické a hospodářské situace jsou investice do obnovitelných zdrojů na Ukrajině stále aktuálním tématem. Investory láká především zajímavě nastavená státní podpora v oblasti FVE. Ukrajina musí kvůli sporům s Ruskem najít nové zdroje energie. Doposud byla země do značné míry závislá na dodávkách plynu z Ruska a na těžbě uhlí v Donbaském regionu, kde teď jde válka. Tyto zdroje chce proto částečně nahradit zelenou energií. Kromě ukrajinských investorů do solárních elektráren investují také americké, německé a české společnosti. Například česká společnost Ekotechnik Praha s.r.o. od roku 2012 postavila 15 fotovoltaických elektráren o celkovém instalovaném výkonu 125,5 MW poblíž Kyjeva, Chmelnického, Dněpropetrovska a na Krymu. [19]

## 2.2 Princip fotovoltaického jevu

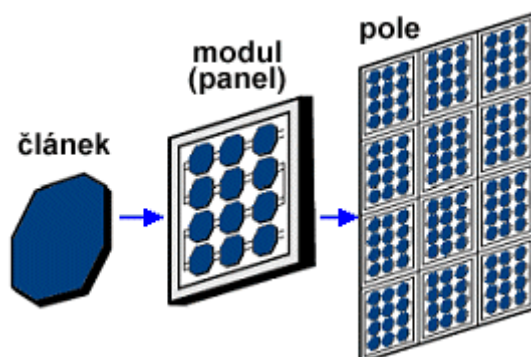
V této práci se budu věnovat pouze solárním panelům. Princip fotovoltaické přeměny energie je závislý na přeměně v polovodičových fotovoltaických článcích. Fotovoltaika využívá přímé přeměny světelné energie na elektrickou. Solární články skládají se ze dvou vrstev polovodičového materiálu (křemíku), umístěných mezi dvěma kovovými elektrodami. Jedna z vrstev – materiál typu N obsahuje velké množství negativně nabitých elektronů, a druhá vrstva – materiál typu P obsahuje velké množství "děr", které snadno akceptují elektrony. V místě, kde jsou tyto dvě vrstvy spojeny, dojde ke spárování elektronů s děrami, čímž se vytvoří elektrické pole, které zabráni dalším elektronům v pohybu z N-vrstvy do P-vrstvy. Pokud dopadne foton o správné vlnové délce na toto spojení, vyrazí některé spárované elektrony z děr. Elektrické pole poté tlačí tyto volné elektrony a díry v opačném směru, což vede k přebytku volných elektronů v N-vrstvě a přebytku děr (nedostatku elektronů) v P-vrstvě. Při dopadu fotonu na křemíkovou destičku s PN přechodem nastává vnitřní fotoelektrický jev. Tím se na destičkách vytváří napětí, a při zapojení článku do obvodu, začne tímto obvodem protékat stejnosměrný proud. Účinnost takové přeměny se u současných systémů pohybuje řádově kolem 15 – 20 %. [5] [6]



Obr. 2: Princip fotovoltaického jevu [7]



Jediný fotovoltaický článek má jen velmi malé využití. Výstupní napětí i výkon je pro většinu aplikací příliš malý. Proto se články podle požadovaného napětí a odebíraného proudu spojují a vytvářejí fotovoltaický modul (panel). Spojením více modulů vzniká rozměrné fotovoltaické pole, které se instaluje například na střechu nebo fasádu budovy. [6]

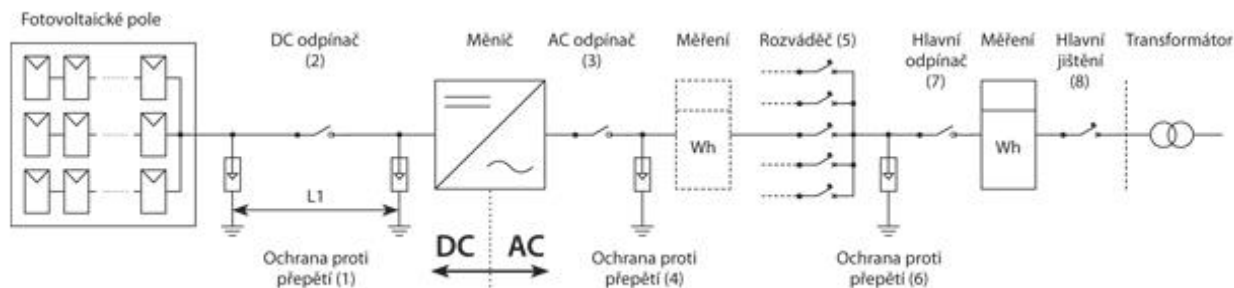


Obr. 3: Spojení článků do modulu a vznik rozměrného fotovoltaického pole

Pro využití elektrické energie z fotovoltaických panelů k nim musíme připojit další technické prvky, jako jsou: napěťový střídač, indikační a měřicí přístroje, regulátor dobíjení, akumulátorovou baterii, a tím vznikne fotovoltaický systém.

## 2.3 Schéma fotovoltaické elektrárny

Dole na obrázku číslo 4 je znázorněná schéma fotovoltaické elektrárny. V dalším textu bude použito pro FVE také označení „systém“. Nyní následuje krátký popis prvků elektrárny, ale v následujících kapitolách budou detailněji popsány. Zdrojem elektrické energie je pole FV článků, které je spojeno s měničem. Jestli mezi měničem a fotovoltaickým polem je dlouhé vedení, je vhodné použít svodiče přepětí jak u měniče, a také v blízkosti fotovoltaických polí. V případě většího počtu paralelně řazených stringů je třeba zajistit ochranu fotovoltaických panelů proti zpětným proudům, nadproudovou ochranu kabelů a ochranu proti přepětím (1). DC odpínač (2) a AC odpínač (3) jsou určeny pro odpojení AC a DC strany. U dlouhých vedení je potřeba instalace svodičů přepětí (4) za AC odpínačem. [8]



Obr. 4: Schéma fotovoltaické elektrárny [8]

K rozváděči (5) může být zapojen přístroj pro měření elektřiny vyrobené fotovoltaickým polem. V případě fotovoltaického zdroje velkého výkonu jsou do rozváděče připojeny přes jisticí přístroje jednotlivé paralelní větve fotovoltaického zdroje. Za rozváděčem přes hlavní odpínač rozváděče je zapojen přístroj pro měření dodané a spotřebované energie (7). Odpínač, rozváděč a cele vedení a je chráněno proti přetížení a zkratu hlavním jisticím přístrojem (8). [8]

## 2.4 Komponenty fotovoltaické elektrárny

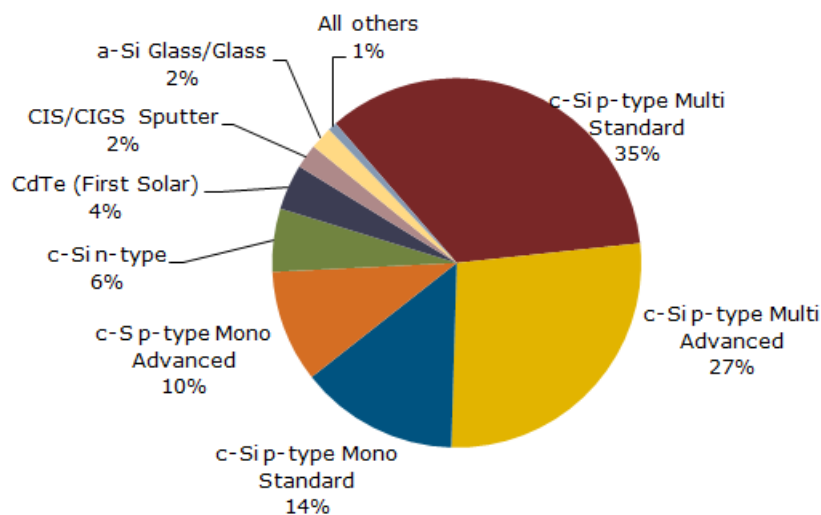
V této kapitole se hlavně zaměřuji na popis vlastností komponentů a jednotlivé technologie fotovoltaických systémů. Pozornost bude věnována pouze vlastnostem, které jsou důležité pro vytvoření modelu průmyslové fotovoltaické elektrárny.

## 2.5 Fotovoltaický článek

Základním prvkem fotovoltaických elektráren jsou fotovoltaické články. Prakticky se jedná o velkoplošnou polovodičovou diodu, která se skládá ze dvou spojených destiček, kde jedna je typu P a druhá typu N. Tyto dvě vrstvy vytvářejí přechod PN. Osvětlením článků poté vzniká fotoelektrický jev a z krystalových mřížek se začínou uvolňovat nosiče náboje.

Elektrické vlastnosti solárního článku se popisují pomocí voltampérové charakteristiky. Charakteristické hodnoty této křivky jsou hodnoty proudu nakrátko a napětí naprázdno. Proud nakrátko je maximální možný proud, který je schopný článek dodávat při určitém slunečním záření. Tento proud závisí na intenzitě záření, velikosti daného článku a způsobu jeho zapojení. Napětí naprázdno je maximální napětí nezatíženého solárního článku. U monokrystalických článků napětí naprázdno má hodnotu přibližně 0,6 V. Pracovní bod závisí na odběru z článku. [11]

Nejčastěji se v praxi setkáváme s panely na bázi křemíku. Křemík je velmi dostupným prvkem na Zemi, není jedovatý a dá se dobře recyklovat. Pro výrobu fotovoltaických článků je zapotřebí velmi čistý křemík. Křemík se získává redukcí  $\text{SiO}_2$  nebo křemičitých halogenů za vysoké teploty s hořčíkem, uhlíkem nebo hliníkem. V současnosti nejvíce vyráběné jsou polykrystalické, monokrystalické a tenkovrstvé články. Na obr.5 je vidět diagram výroby fotovoltaických modulů v roce 2014 podle jednotlivých technologií. Je zřejmé, že polykrystalické moduly jsou na prvním místě, kvůli nejlepšímu poměru účinnost/cena. [11]



Obr. 5: Výroba jednotlivých druhů fotovoltaických článků v roce 2014 [27]

## 2.6 Monokrystalické články

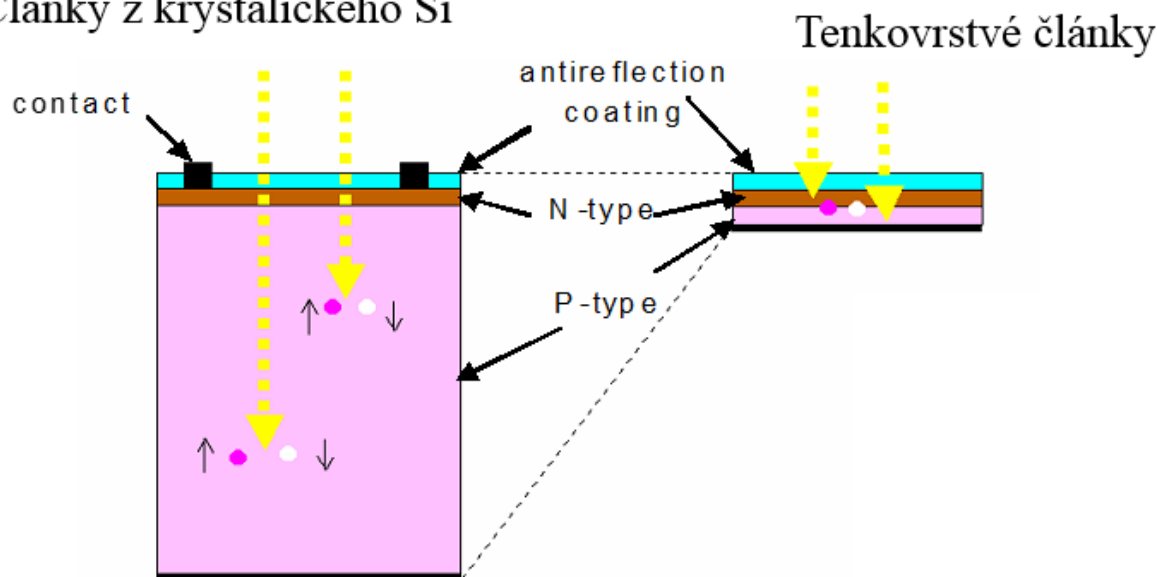
Články tohoto typu se skládají z jediného krystalu. Výroba monokrystalických ingotů probíhá tzv. Czochralskiho metodou. Do vysoce čisté taveniny o teplotě cca 1 415 °C se ponoří malý monokrystal jako zárodek. Ten se velmi pomalu z taveniny vytahuje, a přitom se nechává otáčet kolem podélné osy. Celý proces probíhá v inertní atmosféře za sníženého tlaku.

Potom se monokrystalické křemíkové články vytvářejí vyřezáváním z křemíkových ingotů do čtvercových tvarů. Při řezání se ztrácí občas více než 40 % křemíku. Na konci technologického procesu je na vrchní stranu destičky, které má pozitivní vodivost (dotovaná příměsí p typu), napařena tenká vrstva fosforu. Poté se přidají na spodní stranu zadní kontaktní vrstvy vodivého kovu a antireflexní vrstvy. Monokrystalické články jsou velmi kvalitní, dosahují účinnosti 22 %. Tento typ je v důsledku toho, že je vyroben z jediného krystalu zbarven do tmavě modré až černé barvy. [11]

## 2.7 Polykrystalické články

Polykrystalické články mají snadnější postup výroby, což se projevuje na jejich ceně. Vyrábí se metodou blokového lití, kdy se křemík ve vakuu zahřeje na 1 500 °C a ochlazuje se až do bodu tání. Tím vzniknou bloky křemíku, které se pak následně rozřezávají na tyče a poté na destičky. Poté se na ně, stejně jako u předchozích monokrystalických článků, napaří vrstva fosforu, přidají se zadní kontaktní vodivé vrstvy a antireflexní vrstvy. Hotové články se spojují do série (a/nebo paralelně) pájenými plochými kovovými pásky a montují se do fotovoltaických panelů. Průměrná účinnost současných polykrystalických článků je 13 – 16 %. Modré zbarvení vzniká kvůli tomu, že krystaly u polykrystalických článků jsou různě orientované. [11]

## Články z krystalického Si

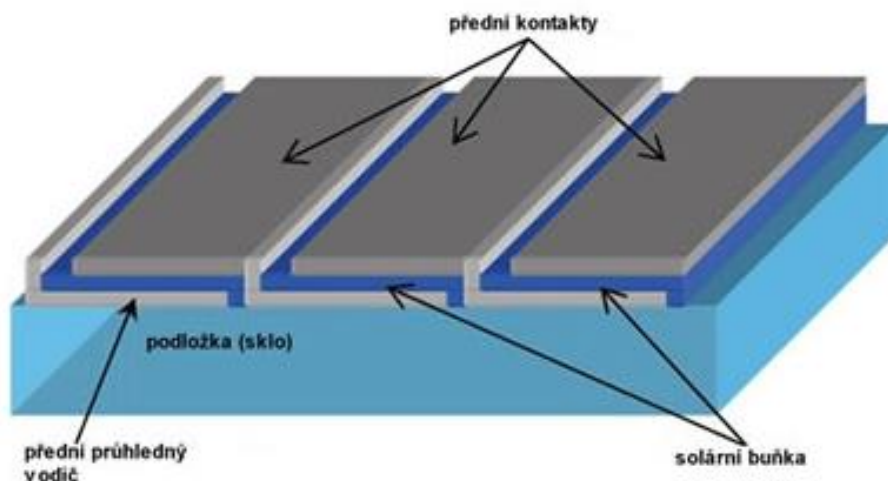


Obr. 6: Struktura tenkovrstvých článků a článků z krystalického Si [10]

## 2.8 Tenkovrstvé články

Výroba tenkovrstvých článků je odlišná od výroby krystalických. Jak je znázorněno na obr. 7, fotovoltaický článek je tvořen nosnou plochou (například sklem, plastem, textilií a podobně), na které jsou napařené velmi tenké vrstvy mikrokrystalického nebo amorfního křemíku. Levnější a flexibilnější variantou je nanášení vrstvy solárních článků například na polymer nebo kovové fólie, díky nimž jsou PV moduly ohebné. Oproti krystalickým článkům je také rozdílný systém elektrického spojení. U tenkovrstvých panelů je elektrické propojení integrováno již do výroby článků (na vrstvu skla se nanáší přední kontakty, které tvoří vrstva oxidů kovu, nejčastěji oxid zinečnatý. [11]

Výhodou těchto článků je nižší spotřeba materiálů, energie a technologické náklady na výrobu. Množství materiálu, použitého pro výrobu tenkovrstvého fotovoltaického článku, je nižší než u tlustých vrstev, a proto jsou články levnější. Dále je méně ovlivňují sluneční podmínky a využívají větší část spektra. Využití tohoto typu modulů je velmi široké. Jejich hlavní výhodou je flexibilita, možnost aplikace na různé plochy, například na okna (existují průhledné materiály) a stěny mrakodrapů. Hlavní výhodou ale je snadná výroba oproti klasické technologii křemíkových destiček. Nevýhodou tenkovrstvých článků je jejich menší účinnost: mezi 6 – 10 %, a nižší životnost. Tenkovrstvé články se hodně používají v historických částech měst, jestli je požadavek na nenarušení klasického vzhledu střechy. [11]



Obr. 7: Technologie tenkých vrstev [12]

## 2.9 Účinnost a faktory ovlivňující účinnost fotovoltaických článků

Účinnost FV článku – je podíl mezi intenzitou slunečního záření a elektrickým výkonem na jednotku plochy fotovoltaického článku. Typická účinnost kvalitních krystalických křemíkových článků je v současnosti kolem 16 – 17 % (články od výrobce Solarwatt; jako příklad model M220 60 GET AK) při STP (standardních testovacích podmínkách), při intenzitě dopadajícího záření pod  $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  účinnost krystalických článků klesá. Teoretická maximální účinnost článku s jedním přechodem je 34 %.

Faktory ovlivňující účinnost fotovoltaických článků:

- Ztráty rekombinací na povrchových plochách (defekt krystalu a tím zvýšena rekombinace);
- Zastínění aktivní plochy kontaktem;
- Zmenšení činitele křivky v důsledku sériových a paralelních odporů;
- Špatné charakteristiky diod a tím ztráta napětí;
- Ztráty volných nosičů náboje rekombinací (k rekombinaci dochází na poruchovém krystalu nebo na nečistotách obsažených v krystalu).

## 2.10 Základní hodnoty fotovoltaických článků

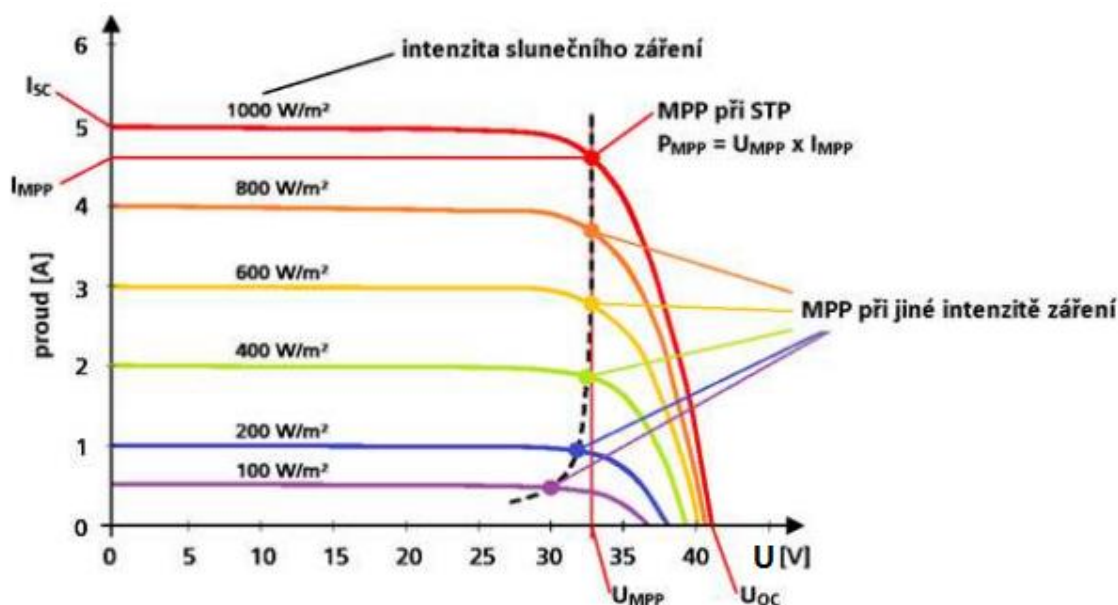
Hodnoty uvedené na štítku článku jsou jmenovité hodnoty měřené při standardních testovacích podmínkách (STP).

- $P_{MPP}$  – jmenovitý výkon článku, uvádí se hodnota změřená v MPP [ $W_p$ ];
- $P_{MPP} = U_{MPP} \cdot I_{MPP}$  [ $W_p$ ];

- $U_{MPP}$  – napětí při jmenovitém výkonu [V];
- $I_{MPP}$  – proud při jmenovitém výkonu [A];
- $U_{OC}$  – napětí naprázdno [V];
- $I_{SC}$  – proud nakrátko; největší proud, který je článek schopen dodat [A].
- FF – (fill faktor) faktor plnění – bezrozměrné číslo, které udává poměr maximálního výkonu a součinu napětí naprázdno a proudu nakrátko. Může dosahovat hodnot od 0 do 1 (čím vyšší hodnota, tím lepší) [11]

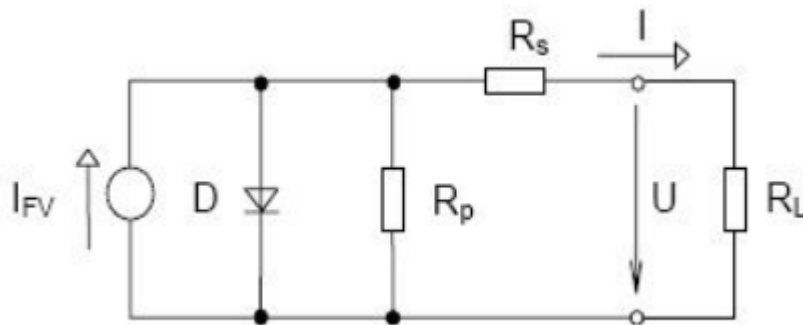
$$FF = (U_{mpp} \cdot I_{mpp}) / (U_{oc} \cdot I_{sc}) \quad [-] \quad (1)$$

Pomocí voltampérové charakteristiky se popisují elektrické vlastnosti solárního článku. Charakteristické hodnoty této křivky jsou hodnoty napětí naprázdno a proudu nakrátko. Napětí naprázdno je napětí na fotovoltaickém článku bez připojené zátěže. Proud nakrátko je maximální možný proud, který je schopný článek dodávat při určitém slunečním záření. Tento proud závisí na intenzitě záření a na velikosti článku. Dole na obrázku číslo 8 je znázorněna VA charakteristika fotovoltaického článku. [11]



Obr. 8: VA charakteristika FV článku [21]

Náhradní schéma fotovoltaického článku je znázorněno na obrázku číslo 9. Ze schématu je vidět, že k dosažení maximálního výstupního výkonu je třeba maximalizovat generovaný proud  $I_{FV}$ , dosáhnout velkého svodového odporu  $R_p$  a minimalizovat sériový odpor  $R_s$ .



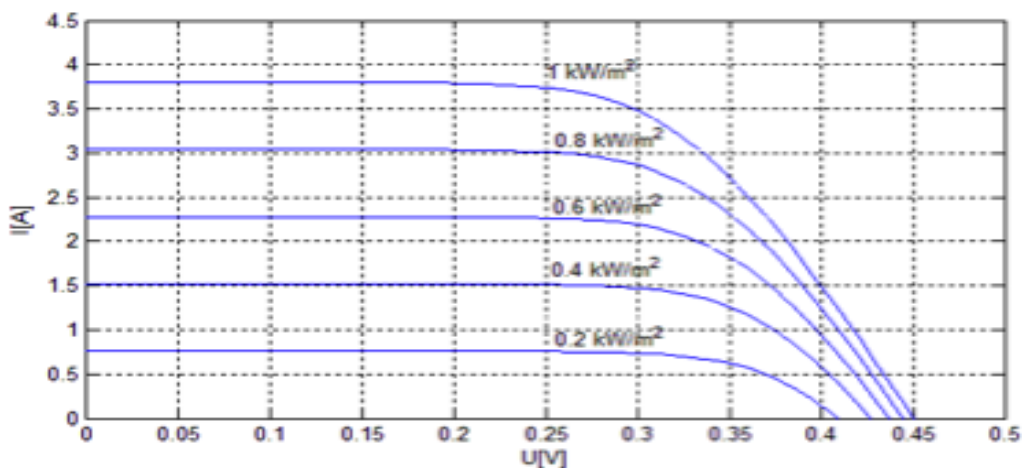
Obr. 9: Náhradní schéma FV článku

## 2.11 Výkon fotovoltaického článku

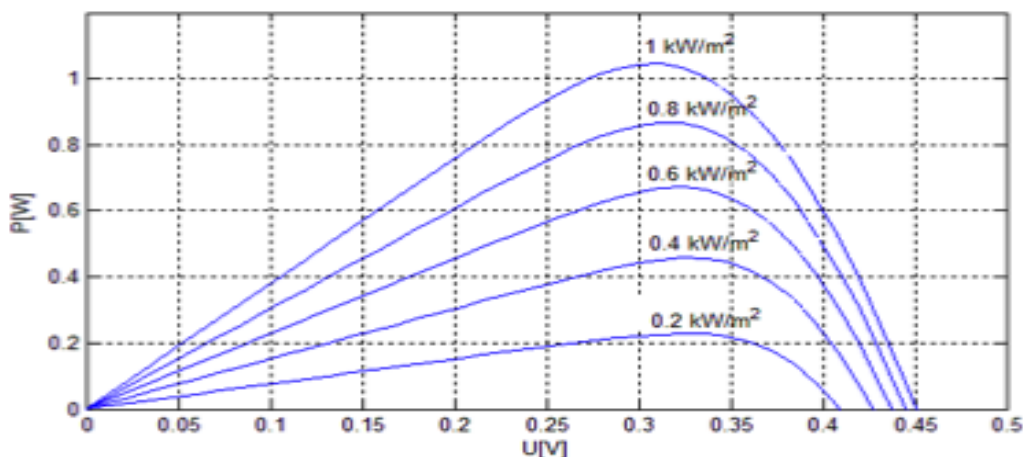
Výkon fotovoltaických článků a panelů se udává v jednotkách Wp (špičková hodnota). Nejvíce používané články dosahují výkonu cca 3 W. Výkon silně závisí na osvětlení, spektru světla, teplotě, na úhlu dopadajícího světla a druhu článku, proto se výkon měří při standardních testovacích podmínkách:

- Výkonová hustota slunečního záření  $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ;
- Spektrum záření AM 1,5;
- Teplota FV článku  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Intenzita záření má největší vliv na výkon článku. Výkon a proud článku je přímo úměrný ozáření. V praxi je většinu doby výkon článku nižší, protože článek není natočen přesně ve směru slunce a světlo prochází v závislosti na denní době různou vrstvou atmosféry. Množství dopadajícího slunečního záření silně závisí na oblačnosti. [12]



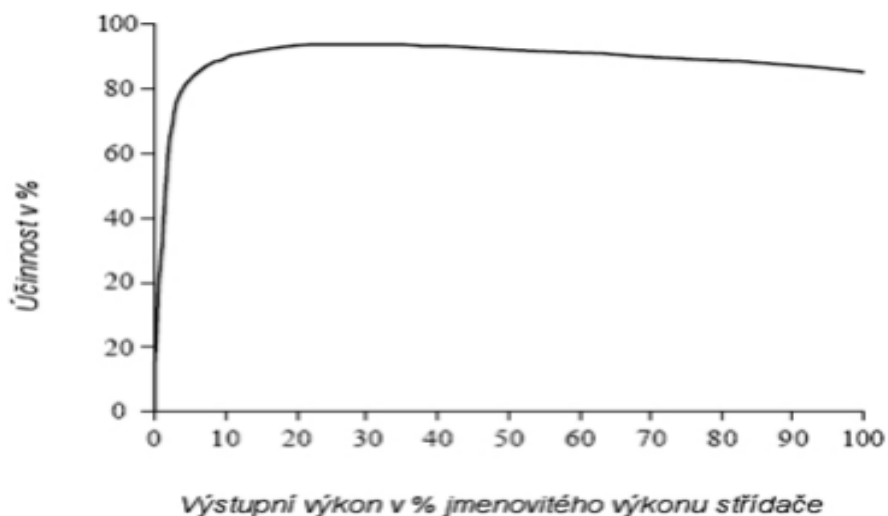
Obr. 10: Voltampérová charakteristika FV článku při různé intenzitě osvětlení  $\lambda$  ( $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $R_s = 0,025 \text{ } \Omega$ ) [12]



Obr. 11: P-U charakteristika FV článku při různé intenzitě osvětlení  $\lambda$  ( $t = 25\text{ °C}$ ,  $R_s = 0,025\ \Omega$ ) [12]

## 2.12 Střídač

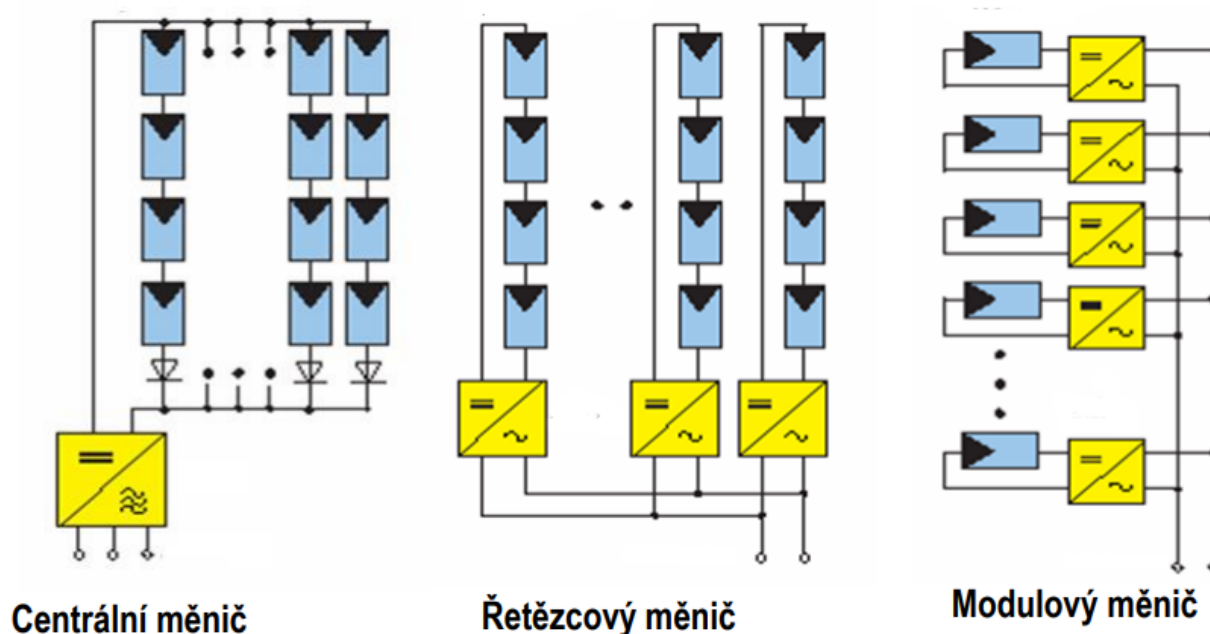
Střídač neboli invertor je elektronický přístroj, který převádí stejnosměrné napětí, resp. stejnosměrný proud na střídavé napětí, resp. střídavý proud. Existují napěťové a proudové střídače, ale pro fotovoltaickou elektrárnu je vhodné použít napěťové střídače. Napěťový střídač může být složen z vypínatelných součástek, například IGBT, IGCT, GTO tyristorů, nebo taky MOSFET (pro menší výkony). Výstupní napětí ze střídače odpovídá přísným normám, které jsou kladeny na kvalitu výstupního napětí. Převedené napětí je pak možno pomocí transformátoru přetransformovat na požadované vyšší výstupní napětí. V současné době střídače dosahují účinnosti až 99 %. Nejvyšší účinnosti lze dosáhnout při cca 50 % nominálního výkonu střídače, pak se účinnost začíná pomalu klesat. To je dobře znázorněno na obrázku dole. [15]



Obr. 12: Závislost účinnosti na výstupním výkonu střídače [15]



Měnič je vhodné nainstalovat v co nejkratší vzdálenosti od fotovoltaických panelů z důvodu minimalizace ztrát na propojovacích vodičích. Na straně stejnosměrného vstupu, a na straně střídavého výstupu je nutno použít jističe odpovídající použitému výkonu. Invertor je taky vybaven regulátorem napětí, aby nedošlo k poškození jeho obvodů přepětím. Při přetížení střídač odpojí spotřebič, a tím se zabrání poškození zařízení. Většina střídačů je odolná proti zkratu tzn. že při tomto zkratu se invertor automaticky vypne a zabrání tím poškození střídače a jiných součástí fotovoltaického systému.



Obr. 13: Typy střídačů [20]

Z hlediska výkonů se střídače dělí na:

- centrální – pro velké výkony 50 – 1000 kW;
- modulové – střídač je připojen pouze k jednomu FV modulu, pro výkony 50 – 300 W;
- řetězcové nebo stringové – střídač je připojen k několika vzájemně propojeným FV panelům, pro výkony 1 – 5 kW

Modulové střídače mají obrovskou výhodu: každý modul má MPPT (Maximum Power Point Tracker), který zajistí optimální využití výkonu každého FV modulu. Nevýhodou je vysoká cena. Středně velké elektrárny využívají řetězcové střídače, když každý řetězec má MPPT. Výhodou je vyšší účinnost, nevýhodou je vyšší cena. Centrální měniče je vhodné použít pro elektrárny většího výkonu. Jejich výhodou je vysoká účinnost a nízká cena, nevýhodou je nižší spolehlivost, a ne zcela optimální MPPT.

## 2.13 Nosné konstrukce

Nosné konstrukce jsou nedílnou součástí každé solární elektrárny. Jejich hlavním úkolem je vytvořit pevné spojení mezi fotovoltaickými panely a podkladem. Slouží k připevnění fotovoltaických panelů a někdy i střídačů. Důležitou stránkou je životnost konstrukce ve venkovním prostředí, tzn. mechanickou a klimatickou odolnost. Samozřejmě je třeba se v této oblasti zaměřit na použité materiály. Kovové konstrukce jsou vyrobeny obvykle ze slitin Al nebo z FeZn.

Při montáži je nutné zohlednit hodně parametru (velikost modulů, rozestupy atd.), aby nedošlo k stínění, nadzdvížení, skluzu a překlopení konstrukce. K vzájemnému stínění u FV instalací na pozemku může dojít, když mezi řadami panelů nezajistíme dostatečné rozestupy. Většinou to nastává v zimních měsících, když je slunce nízko. Tato situace je znázorněna na obrázku 14.



Obr. 14: Vzájemné stínění FV modulu [15]

## 2.14 Druhy solárních elektráren

### 2.14.1 Síťové systémy (on-grid)

On-grid systémy jsou připojené k síti a jsou nejvíce uplatňovány v oblastech s hustou sítí elektrických rozvodů. Energie vyrobená fotovoltaickým systémem je buďto spotřebována přímo v daném objektu nebo jsou přebytky prodány do distribuční sítě. Špičkový výkon fotovoltaických on-grid systémů je v rozmezí jednotek kilowatt až jednotek megawatt. Fotovoltaické elektrárny připojené na síť jsou budovány na rodinných domech nebo na průmyslových objektech. [26]

Základními prvky on-grid FV systémů jsou:

- Fotovoltaické moduly;
- Měnič napětí (střídač), který ze stejnosměrného napětí vyrábí střídavé (230 V/50 Hz);
- Kabely;
- Jisticí prvky proti přepětí, nadfrekvencí a podfrekvencí;
- Měření a indikace vyrobené elektrické energie (elektroměr);
- Případně jednoosý nebo dvouosý sledovač Slunce.

## 2.14.2 Ostrovní (off-grid) a hybridní systémy

Ostrovní systémy nejsou připojené na síť a obsahují akumulátory. Off-grid systémy je vhodné použít tam, kde není k dispozici rozvodná síť a není účelné nebo není možné vybudovat elektrickou přípojku, ale je potřeba střídavého napětí 230 V.

Off-grid systémy dělíme na systémy s přímým napájením, systémy s akumulací elektrické energie a hybridní systémy. Systémy s přímým napájením jsou nejjednodušší. Jedná se o prosté propojení solárního panelu a spotřebiče, když spotřebič funguje pouze v době dostatečné intenzity slunečního záření (nabíjení akumulátorů malých přístrojů, napájení ventilátorů k odvětrávání prostor, ohřev vody atd.). [26]

Systémy s akumulací elektrické energie oproti síťovým vyžadují navíc akumulátory, které plní funkci zásobníku, kam se ukládají přebytky energie, které se da využívat během noci nebo když není dostatek slunečního záření. Elektronický regulátor zajišťuje optimální dobíjení a vybíjení akumulátorové baterie.

Hybridní ostrovní systém navíc obsahuje doplňkový zdroj elektřiny (diesel generátor, větrnou turbínu, kogenerační jednotku a atp.) pro možnost provozu zařízení s velkým příkonem. [26]

Základními prvky ostrovního FV systému jsou:

- Fotovoltaické moduly;
- Střídače (pro připojení běžných síťových spotřebičů 230 V/50 Hz);
- Akumulátory;
- Regulátory dobíjení akumulátorů;
- Doplňkový zdroj elektřiny (např. diesel generátor, větrná turbína);
- Případně jednoosý nebo dvouosý sledovač Slunce, indikační a měřicí přístroje.

## 3 Legislativa upravující provozování fotovoltaických elektráren

### 3.1 Ukrajinská legislativa o alternativních zdrojích energie

Ukrajinská legislativa o alternativních zdrojích energie vychází z Ústavy Ukrajiny a skládá se z velkého množství normativních právních aktů upravujících vztahy v této oblasti. Jedním z hlavních legislativních aktů v oblasti obnovitelných zdrojů energie (OZE), který stimuluje výrobu elektřiny využívající obnovitelnou energii na Ukrajině, je zákon Ukrajiny "Zákon o elektroenergetice" č. 575/97-VR z 16. října 1999. Zákon o elektroenergetice stanoví zavedení "zeleného" tarifu pro elektřinu vyrobenou z obnovitelných zdrojů energie, jakož i pravidla a záruky pro jeho uplatňování. Zelený tarif je stanoven pro konkrétní typy OZE s použitím příslušného koeficientu. [14]

### **Hlavními principy státní politiky v oblasti alternativních zdrojů energie jsou:**

- Zvýšení výroby a spotřeby energie vyrobené z alternativních zdrojů za účelem úsporného využití tradičních paliv a energetických zdrojů a snížení závislosti Ukrajiny na jejich dovozu pomocí restrukturalizace výroby a udržitelné spotřeby zvýšením podílu energie vyrobené z alternativních zdrojů.
- Dodržování environmentální bezpečnosti snížením negativního dopadu na stav životního prostředí při stavbě a provozu alternativních energetických zařízení, a taky i při přenosu, přepravě, dodávce, skladování a spotřebě energie vyrobené z alternativních zdrojů.
- Dodržování bezpečnosti pro lidské zdraví v objektech alternativní energie ve všech fázích výroby, jakož i při přenosu, přepravě, dodávce, skladování a spotřebě energie vyrobené z alternativních zdrojů.
- Vědecká a technická podpora rozvoje alternativní energie, popularizace a realizace vědecko-technických výsledků v této oblasti, školení příslušných odborníků ve vyšších a středních vzdělávacích institucích.
- Dodržování právních předpisů všemi subjekty vztahujícími se k výrobě, skladování, přepravě, dodávce a spotřebě energie vyrobené z alternativních zdrojů.
- Dodržování podmínek racionální spotřeby a úspor energie, vyrobených z alternativních zdrojů.
- Přilákání domácích a zahraničních investic a podpora podnikání v oblasti alternativních zdrojů energie, včetně rozvoje a realizace národních a místních rozvojových programů pro alternativní energii.
- Zelený tarif zřizuje Národní komise, která provádí státní regulaci v oblasti energetiky a veřejných služeb.
- Zelený tarif je stanoven pro každý subjekt, který vyrábí elektrickou energii z alternativních zdrojů energie, pro každý typ alternativní energie a pro každý typ elektrárny.
- Stát na legislativní úrovni stanovuje zelený tarif až do 1. ledna 2030.
- Stát převzal povinnost kupovat od výrobce veškerou elektřinu vyrobenou z obnovitelných přírodních zdrojů v souladu se zavedeným zeleným tarifem. Státní podnik "Energorynok" vykupuje elektřinu prostřednictvím velkoobchodního trhu s elektrickou energií.
- Zelený tarif pro elektřinu vyrobenou domácnostmi je stanoven pouze pro každý typ alternativních zdrojů energie.

## Výše státní podpory za Zeleným tarifem

- Zelený tarif pro podnikatelské subjekty vyrábějící elektřinu ze sluneční energie je stanoven na úrovni maloobchodních tarifů pro spotřebitele druhého stupně napětí za leden 2009, vynásobený koeficientem Zeleného tarifu pro elektřinu vyrobenou ze solární energie.
- Maloobchodní tarif pro spotřebitele druhého stupně napětí na leden 2009 = 0,5846 UAH / kWh (Kurz na konec roku 2009 = 10,85 UAH/EUR). [14]

Kategorie energetických objektů, pro které platí zelený tarif	Koeficient Zeleného tarifu [ - ]			
	Od 01.01.2016 do 31.12.2016	Od 01.01.2017 do 31.12.2019	Od 01.01.2020 do 31.12.2024	Od 01.01.2025 do 31.12.2029
Pro elektrickou energii vyrobenou ze slunečního záření pozemními energetickými objekty, jejichž instalovaná kapacita nepřesahuje 10 MW	2,97	2,79	2,51	2,23

Tab. 2: Koeficient Zeleného tarifu [14]

Kategorie energetických objektů, pro které platí zelený tarif	Přepočtení Zeleného tarifu na ceny roku 2018			
	Od 01.01.2016 do 31.12.2016 [UAH · kWh <sup>-1</sup> ]	Od 01.01.2017 do 31.12.2019 [UAH · kWh <sup>-1</sup> ]	Od 01.01.2020 do 31.12.2024 [UAH · kWh <sup>-1</sup> ]	Od 01.01.2025 do 31.12.2029 [UAH · kWh <sup>-1</sup> ]
Pro elektrickou energii vyrobenou ze slunečního záření pozemními energetickými objekty, jejichž instalovaná kapacita nepřesahuje 10 MW	4,8	4,51	4,05	3,61

Tab. 3: Přepočtení Zeleného tarifu na ceny roku 2018

V Zákoně je také stanovena dodatečná platba za používání určitého podílu zařízení ukrajinské výroby. Dodatečná platba je závislá na podílu počtu kusu zařízení FVE ukrajinské výroby k celkovému počtu kusu zařízení posuzované FVE.

Dodatečná platba k Zelenému tarifu [%]	Podíl využití zařízení ukrajinské výroby k celkovému počtu zařízení [%]
5	Od 30 do 50
10	50 a více

Tab. 4: Dodatečná platba, úměrná úrovni využití zařízení ukrajinské výroby na energetickém objektu

## 3.2 Daňová legislativa

Současná legislativa na Ukrajině umožňuje podnikům zvolit pro ně nejvhodnější daňový systém s ohledem na pracovní plán, plánovaný typ činnosti, obrat a další významné momenty hospodářské činnosti. Dnes existují dva systémy zdanění:

- Zjednodušený systém zdanění
- Obecný daňový systém

### Zjednodušený systém zdanění

Nyní na Ukrajině existuje zjednodušený systém zdanění – to je zvláštní daňový režim určený pro malé podnikatele. Jeho hlavní výhodou je zaplacení jediné daně namísto individuálních daní a poplatků, zjednodušené účetnictví a výkaznictví. V závislosti na obratu se předpokládají 4 skupiny: pro jednotlivé podnikatele je určená 1., 2., 3. skupina, 4. skupina je určená pouze pro zemědělské podniky. Třetí skupina je velmi populární mezi ukrajinskými IT podnikateli a nezávislými investory, se současnou sazbou jediné daně ve výši 5 %.

### Obecný daňový systém

Tento systém zdanění je platný pro všechny právnické osoby, které dobrovolně nevolily jiný systém zdanění, nebo pro něž jsou stanovena omezení týkající se volby daňového systému.

Právnické osoby, které používají obecný daňový systém platí podle daňového řádu následující daně, poplatky a další povinné platby:

- daň z příjmu právnických osob (18 %);
- daň z přidané hodnoty (20 %);
- vojenský poplatek (1,5 %);

- spotřební daň;
- ekologická daň;
- clo;
- daň z pozemků;
- poplatek za první registraci vozidla;
- jiné daně a poplatky v souladu s právními předpisy Ukrajiny.

FVE je podrobena obecnému systému zdanění. Podle zákona musejí být finanční prostředky, které obdrží soukromý subjekt z prodeje elektřiny, zdaněny podle obecných pokynů. Sazba daně z příjmů fyzických osob je 18 % a sazba vojenského cla je 1,5 %, dohromady to bude 19,5 %.

#### **Jak a komu platit daně?**

Není nutné platit daně samostatně. Dodavatel energie, který je daňovým zprostředkovatelem, připisuje finanční prostředky, s ohledem na daně, které budete muset zaplatit. To znamená, že na váš bankovní účet bude okamžitě připsána částka, z níž je již odečteno 19,5 %.

#### **Kdo mě zaplatí za elektřinu vyrobenou fotovoltaickou elektrárnou?**

Platby za vyrobenou i dodanou elektrickou energii zúčtovává jediný dodavatel elektrické energie na Ukrajině - společnost „Oblenergo“, s níž se uzavře smlouva o prodeji elektřiny po instalaci elektrárny. Stát zaručuje nákup elektřiny podle "zeleného" tarifu do roku 2030 včas a v plném rozsahu.

### **3.3 Metody a způsoby odpisování**

Hmotný a nehmotný investiční majetek v podniku má rozdílnou dobu životnosti, a proto nemůžeme jeho zahrnut do provozních nákladů najednou, ale postupně v jednotlivých letech jeho doby života. K tomu slouží odpisy. V dnešní době na Ukrajině, podle zákona existují 4 metody odpisování. V dalších několika odstavcích krátce jich popisu. Použité názvosloví, jako „norma odpisování“ a „kumulativní koeficient“ je upraveno Ukrajinskou legislativou.

**Lineární metoda** – částka odpisování závisí pouze na době použití objektu. Výhody: náklady na objekt jsou odepisovány v rovnoměrných částech po celou dobu jeho provozu. Nevýhody: neberou v úvahu morální opotřebení objektů, inflaci a faktor zvyšujících se nákladů na opravy během užívání (zejména v posledních letech používání objektu).

$$Odp = \frac{IN}{t} \text{ [UAH} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (2)$$

kde:

Odp – odpisy [UAH · rok<sup>-1</sup>];

IN – investiční náklady [UAH];

t – čas [rok].

**Způsob snížení zbytkové hodnoty** – roční částka odpisů je stanovena na základě zbytkové hodnoty objektu na počátku vykazovaného a roční sazby odpisů. Výhody: v prvních letech provozu objektu OS se hromadí velké množství finančních prostředků potřebných k jeho obnovení. Nevýhody: předpokládá povinnou likvidační částku.

$$\text{Odpisy} = \text{zůstatková hodnota (počáteční hodnota)} \cdot \text{norma odpisování} \quad (3)$$

**Kumulativní metoda** – roční částka odpisů je definována jako produkt odepisovatelné hodnoty a kumulativního koeficientu. Výhody: V prvních letech, kdy je intenzita využívání objektu maximální odepisuje se velká část hodnoty. Je možné zvýšit náklady na opravy v posledních letech používání objektu bez odpovídajícího zvýšení výrobních nákladů.

$$\text{Odpisy} = \text{počáteční hodnota} \cdot \text{kumulativní koeficient} \quad (4)$$

**Výrobní způsob** – používá se k výpočtu odpisů objektů, jejichž technický stav závisí na počtu vyrobených produktů.

$$\text{Odpisy} = \text{skutečný měsíční objem výroby} \cdot \text{norma odpisování} \quad (5)$$

### 3.4 Odpisy ve výpočtech

Fotovoltaická pozemní elektrárna patří do klasifikační skupiny 1,3 "Budovy, stavby a přenosová zařízení" a je zaznamenána na účtu 103 "Budovy a stavby".

Skupina 3 - budovy (minimální přípustná životnost - 20 let), stavby (minimální přípustná životnost - 15 let). Fotovoltaická elektrárna ve výpočtech v této práci bude odepisována po dobu 20 let lineární metodou, podle vzorce:

$$Odp = \frac{IN}{t} \text{ [UAH} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (6)$$

kde:

Odp – odpisy [UAH · rok<sup>-1</sup>];

IN – investiční náklady [UAH];

t – čas [rok].



# 4 Vývoj a realizace solárních projektů

## Kritické faktory úspěchu

Co je potřeba pro výstavbu fotovoltaické elektrárny?

### 4.1 Výběr místa

Výběr vhodného místa pro FV elektrárnu je důležitou částí pro zajištění úspěšnosti a ekonomické životaschopnosti projektu. Tento proces však může ovlivnit mnoho faktorů. Mezi hlavní faktory patří:

- Počáteční hodnocení solárních zdrojů v podobě globálního horizontálního záření pomocí veřejně dostupných údajů o potenciálním místě nebo lokalitě v blízkosti místa.
- Zhodnocení místa, včetně terénu, topografie a stávajících překážek, jako jsou budovy nebo stromy, a jejich možný dopad spojený se stíněním.
- Dostupnost vody pro výstavbu.
- Analýza vlastnictví pozemků, které ovlivňuje hodnotu pozemků.
- Dostupnost pozemku s ohledem na stávající přístupové cesty, jejich stav a vzdálenost od potenciálního místa. Dobry stav silnic je nutný, aby se zabránilo poškození střídačů a FV modulů během jejich přepravy.
- Přítomnost místa připojení k síti pro plánovanou solární elektrárnu a přenosovou kapacitu této sítě ve vztahu k plánované kapacitě výroby z FVE a nákladům na požadovanou dodatečnou síť, s přihlédnutím k příslušným právním předpisům;
- Seismická rizika, podzemní vody, odporu půdy, pH, a nosnost. Tyto parametry jsou zvláště důležité pro odhad typu možných základů montážního systému;
- Ohled na ekologickou a sociální citlivost, potenciální vizuální a další vlivy solární elektrárny.

### 4.2 Primární technicko-ekonomické odůvodnění

V této první fázi vývoje potenciálního projektu jsou analyzovány základní aspekty jeho realizace. Patří sem následující témata:

- prostor pro stavbu a jeho hranice;
- požadavky na získání povolení;
- připojení k síti;
- předběžný projekt;
- přibližná výroba elektřiny;
- přibližné určení nákladů na vývoj, výstavbu a provoz projektu;
- odhady příjmů;

- výpočet předpokládaného zisku z provozu FVE.

Často se používá porovnání s obdobnými projekty realizovanými v regionu. Pro připojení k síti a získání oprávnění se odhaduje pravděpodobnost jejich získání. [16]

### **4.3 Základní technicko-ekonomické odůvodnění**

Pokud jsou výsledky předběžné studie proveditelnosti pozitivní, provede se základní technicko-ekonomické odůvodnění, ve kterém jsou výše uvedená témata podrobněji hodnocena. Cílem této studie je poskytnout projevujícím se zájem stranám a účastníkům projektů pevný základ pro rozhodování, které by umožnilo další rozvoj projektu. [16]

Typicky hlavním úkolem je vytvořit základní návrh, který bude sloužit jako základ pro všechny ostatní úkoly spojené s jeho rozvoji. Součástí projektu je, kromě jiných problémů, určování orientací a úhlu modulů, vyhodnocení odstínu (horizont a objekty v blízkosti) a specifikace takových prvků, jako jsou FV panely, střídače, montážní systémy, napájecí a datové kabely a projektu připojení k síti. Na základě základního projektu lze podrobněji diskutovat o následujících aspektech:

- prognóza výroby elektřiny,
- odhad ceny,
- požadavky na připojení k síti,
- podávání žádostí o povolení,
- finanční modelování.

### **4.4 Vývoj projektové a technické dokumentace**

Základní projekt, připravený ve fázi studie proveditelnosti, vytváří nezbytný základ pro pracovní projekt, který obvykle připravuje dodavatel služeb. Projekční práce zahrnuje takové body:

- pracovní projekt se stavebními a elektrickými schématy,
- obecné jednopólové obvody,
- lineární obvody spínacích zařízení pro nízké a střední napětí,
- stavební plány,
- harmonogram realizace projektu,
- plány testování a uvedení do provozu,
- upravená prognóza výroby elektřiny.

## 4.5 Výstavba

Stavební fáze zahrnuje následující činnosti:

- nákup a dopravu materiálů, součástí a zařízení,
- stavební práce, které jsou charakterizovány především činnostmi souvisejícími s přípravou terénu (vyrovnávání, utěsnění) a vykopávkami půdy pro instalaci základů nebo kabelových příkopů a betonových základů,
- mechanické práce zahrnují takové úkoly, jako je položení takových základových prvků jako podpěry, montáž kovových konstrukcí a instalace FV modulů,
- elektroinstalace a instalace řídicích zařízení zahrnují operace jako kladení nosných a nízkonapětových kabelů do zákopů do elektrických zařízení (měniče, spínací zařízení), instalace elektrických skříní a střídačů s vhodnou elektrickou ochranou a instalace systémů SCADA (řídicí systém a sběr dat) a zabezpečení.

## 4.6 Uvedení do provozu

Obvykle se ve fázi mechanického dokončení objektu určuje seznam otevřených otázek, ve kterých je uvedeno, které práce musí provádět dodavatel před konečným dokončením solární elektrárny.

Po dokončení stavebních prací jsou prováděny zkoušky elektrických instalací a komponent a připojení k síti. Přijetí elektrárny se provádí ve dvou etapách:

- Předběžná přejímka FVE.
- Konečná přejímka FVE.

Obě etapy je třeba definovat ve smlouvě, včetně příslušných technických požadavků, zkušebního zařízení a metod měření.

Účelem předběžného přijetí je kontrola výkonu, technických funkcí elektrárny a minimálních podmínek pro získání zeleného tarifu.

## 4.7 Provoz

Máme 2 fáze uvedení elektráren do provozu, a to:

- a) zkušební provoz,
- b) trvalý provoz.

Mezi klíčové prvky provozu a údržby patří:

- preventivní údržba (pravidelné služby),
- korektivní údržba (občasné opravy),
- správa náhradních dílů,
- zabezpečení stanice,

- administrativní práce,
- dokumentace / hlášení o stavu práce a výkonu stanice.

K uvedení do trvalého provozu obvykle dochází po 24 měsících provozu elektrárny. Je to uděláno s cílem potvrdit vlastnosti a dlouhodobou schopnost elektrárny vyrábět elektřinu.

## 5 Návrh fotovoltaické elektrárny v Ukrajině

### 5.1 Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování

Pro maximalizaci výroby elektrické energie, je potřeba znát základní zásady pro dimenzování a také vybrat vhodnou lokalitu pro umístění FV elektrárny. Pro správné dimenzování je nutné zohlednit následující faktory:

- možnost umístění;
- intenzita slunečního záření a počet hodin slunečního svitu;
- roční venkovní teploty – panely mají se vzrůstající teplotou horší účinnost;
- nepříznivé meteorologické jevy, zejména námrazy, které způsobují tepelné ztráty v kolektorů;
- sklon fotovoltaických článků, pro celoroční provoz může být 30° až 60° vzhledem k vodorovné rovině (v podmínkách Ukrajiny optimální celoroční sklon je cca 35°);
- délka kabelových rozvodů, by měla být co nejkratší;
- množství stínících překážek, ideální je celodenní osvit Sluncem, ani krátkodobé každodenní zastínění není přípustné, zastínění způsobuje ztráty energie.

### 5.2 Klimatické podmínky

Teplota nejchladnějšího dne	-25 °C
Teplota nejteplejšího dne	+46 °C
Průměrná teplota topné sezóny	-0,5 °C
Průměrná letní teplota	25,6 °C
Průměrná zimní teplota	-1 °C
Seizmicita	Do 6 stupňů podle RichtEROVY škály
Barometrický tlak	970 hPa
Průměrná roční teplota vzduchu	+8,7 °C
Průměrná hmotnost sněhu	0,46 kPa (46 kg · m <sup>-2</sup> )

Tab. 5: Klimatické podmínky

### 5.3 Analýza slabých a silných stránek, příležitostí a ohrožení výstavby a provozu FVE

Analýzou vnitřních podnikových faktorů získáváme vymezení silných a slabých stránek podniku. Analýzou vnějšího okolí podniku získáváme vymezení příležitostí a hrozeb. Jestliže spojíme dohromady vyhodnocení těchto analýz, získáváme SWOT analýzu. SWOT analýza vychází z celé řady faktorů. Musíme na ni nahlížet z oblasti aktuálnosti, ale také z oblasti významu pro projekt. [9] Úroveň silných a slabých stránek projektu a jejich aktuální vliv a závažnost udává následující tabulka:

Silné stránky	Slabé stránky
Stabilní zdroj energie Garance výkupu produkce na dobu 15 let Nepřetržitý provoz Nízké provozní náklady Nízké náklady na obsluhu Ekologická stavba (zlepšení životního prostředí) Spolehlivost panelů Vysoká stupeň automatizace	Závislost na slunci Finanční náročnost na výstavbu solární elektrárny Klesající výkonnost solárních panelů Výkyvy v kvalitě Nedostatky v kvalifikaci pracovníků
Příležitosti	Ohrožení
Neustále se zdokonalující technologie Přímý prodej domácnostem a firmám Vyjednání lepších podmínek s dodavateli technologií	Snížení intenzity slunečního záření, vandalismus Nestabilní trh Silná konkurence Politické převraty Změna legislativy Vynalez účinnější technologie

Tab. 6: Analýza slabých a silných stránek, příležitostí a ohrožení výstavby a provozu FVE

### 5.4 Návrh komponentů a výpočet

Pozemek pro výstavbu solární elektrárny o výkonu 500 kW se nachází na území obce Liman, ve vzdálenosti 35 km od města Mykolaiv, na jihu Ukrajiny. Pozemek má plochu 20 000 m<sup>2</sup> a nepatří do chráněných nebo zvláště chráněných oblastí.

Níže uvádím tabulku průměrných hodnot slunečního záření na 1 m<sup>2</sup> pro bezztrátový systém o výkonu 1 kWp pro tuto lokalitu. Pro určení množství dopadajícího záření jsem používal aplikaci PVGIS dostupné z webu: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)



Obr. 15 Mapa pozemku pro výstavbu

	<b>Měsíční produkce elektriny z m<sup>2</sup></b>
<b>Měsíc</b>	<b>[kWh · m<sup>-2</sup>]</b>
Leden	42,6
Únor	71,9
Března	126
Duben	164
Květen	190
Červen	192
Červenec	206
Srpen	200
Září	159
Říjen	113
Listopad	62,4
Prosinec	41
<b>CELKEM</b>	<b>1 391</b>

Tab. 7: Průměrné hodnoty slunečního záření na 1 m<sup>2</sup> pro bezztrátový systém o výkonu 1 kWp

### Hlavní části FV elektrárny

Parametry elektrárny jsou navrženy a vypočítány pro výkon 500 kWp.

## **Fotovoltaické panely**

Pro podmínky jihu Ukrajiny nejlepší variantou bude použití monokrystalických panelu typu Solarwatt M220 60 GET AK nebo podobných, díky odolnosti kvůli vysoké sluneční iradiaci a taky schopnosti pracovat velice vysokých a nízkých teplotách s dostatečně vysokou účinností 16 – 17 %.

Výrobce: Solarwatt

Typ: M220 60 GET AK - 225 Wp

Počet kusů: 2 232 ks

## **Mechanické parametry**

Délka: 1 680 mm

Šířka: 990 mm

Tloušťka: 50 mm

Hmotnost: 24 kg

Zapouzdření článků: EVA folie

Technologie modulu: Vrstvená skleněná folie s hliníkovou kostrou

Materiál zadní strany: Tedlar-Polyester-Tedlar

Počet a typ solárních článků: 60 monokrystalických solárních článků, 156 x 156 mm

## **Elektrické parametry**

Nominální výkon: 225 W

Nominální napětí  $U_{mpp}$ : 28,80 V

Napětí naprázdno  $U_{oc}$ : 36,1 V

Zkratový proud  $I_{sc}$ : 8,48 A

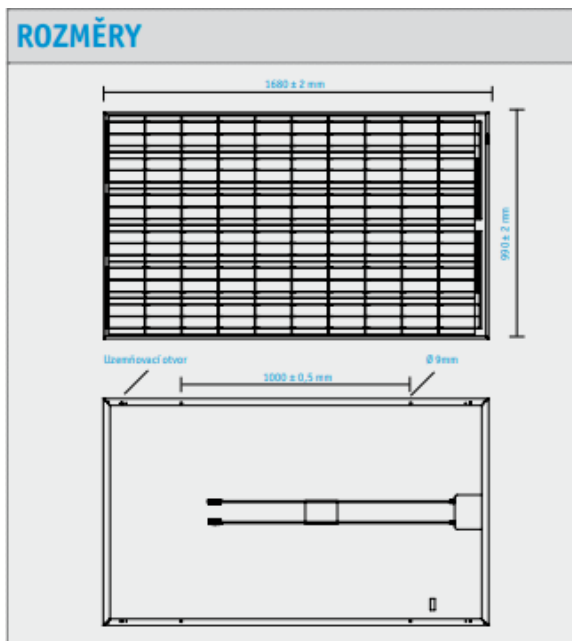
Nominální proud  $I_{mpp}$ : 7,82 A

Max. systémové napětí: 1 000 V

Max. tolerance provozního napětí: +/- 5 %

Účinnost panelu: 16 – 17 %

Jednotková cena panelu: 3 900 ₺, 139 €, 3 475 Kč



VŠEOBECNÉ ÚDAJE	
Technologie panelu	Sklo-fólie-laminát v hliníkovém rámu
Vrchní materiál	Vysoce průhledné solární sklo (tvrzené), 4 mm
Zapouzdření	EVA-solární články-EVA
Materiál zadní strany	Tedlar-Polyester-Tedlar-Folie, bílá
Typ solárních článků	60 ks monokrystalických solárních článků
Rozměry solárních článků	156 x 156 mm
Kabel a kabelová propojovací krabička	Propojovací krabička s kabely opatřenými konektory Tyco 2 x 1,20 m/4 mm <sup>2</sup>
Překlenovací diody	3 kusy (bypass)
Třída použití	Třída A (podle IEC 61730)
Rozměry (d x š x tl.)	1680 x 990 x 50 mm
Hmotnost	24 kg
Max. systémové napětí	1000 V
Stupeň krytí IP	IP 65
Mechanická zatížitelnost	Zatížení sáním odzkoušené do 2400 Pa (rychlost větru 130 km/h s koef. bezpečnosti 3) Zatížení na tlak odzkoušené do 5400 Pa
Certifikáty	IEC 61215 vydání 2, IEC 61730 (včetně třídy ochrany II)

Obr. 16: Monokrystalické panely typu Solarwatt M220 60 GET AK [25]

### Stanovení minimálního počtu FV panelu

Pro stanovení minimálního počtu fotovoltaických panelů je nutné vydělit celkový požadovaný výkon FVE, výkonem jednoho panelu. Dostaneme:

$$N_{pan} = \frac{P_{požad}}{P_{1pan}} = \frac{500 \cdot 10^3}{225} = 2\,222 \text{ [ks]} \quad (7)$$

2 222 ks panelů, je jenom minimální požadovaný počet panelů. Dále je potřeba určit velikost stringů (počet panelů zapojených sériově) a taky počet těchto stringů.

### Schéma zapojení FV článků

Celkově existují tři schémata pro zapojení fotovoltaických panelů, které lze použít: paralelní, sériové a sériově-paralelní. V závislosti na výkonu FV elektrárny a velikosti stejnosměrného napětí lze použít jednu z vybraných schémat zapojení. Dále popíšu, proč používáme této tři způsoby zapojení:

- **Paralelní** – tato schéma je vhodná pro případy, kdy je nutné ponechat napětí na jedné úrovni, ale zvýšit proud všech panelů.
- **Sériové** – pokud je několik FV panelů zapojeno do série, sečítá se napětí všech po sobě jdoucích panelů. Proud systému se bude rovnat minimálnímu proudu panelu v sérii. Z tohoto důvodu se nedoporučuje připojovat po sobě jdoucí panely s různými hodnotami maximálního proudu, protože nebudou pracovat na plnou sílu.
- **Sériově-paralelní** – poslední typ připojení spojuje dva předchozí. Pomocí tohoto zapojení panelu můžeme nastavit určité požadované napětí a proud na výstupu systému, což nám umožní zvolit neoptimálnější provozní režim pro celou fotovoltaickou elektrárnu.



### **Stanovení přesného počtu FV panelu**

Zapojení bude sérioparalelní v kombinaci 31 x 9 panely (tj. 9 panelů v sérii a tyto série v 31 paralelních řadách). Na vstup invertoru bude přiváděn výkon jedné sérioparalelní kombinací panelů s maximálním výkonem 62 835 Wp, se vstupním napětím  $U_{mpp}= 259,2$  V a vstupním proudem  $I_{mpp}= 242,42$  A. Pro výkon 500 kWp bude potřeba **2 232** panelů.

### **Invertory**

Výrobce: ABB

Typ: PVS800-57 100 kW s externím transformátorem

Počet kusů: 8

### **Parametry:**

Doporučený max. DC výkon: 120 kWp

Maximální AC výstup: 100 kW

Max. účinnost: 98 %

Evropská účinnost: 97,5 %

Min. napětí  $U_{mpp}$ : 250 V

Max. napětí  $U_{mpp}$ : 750 V

Max. DC napětí: 900 V

Max. DC proud: 245 A

Výstupní napětí sítě s použitím externího transformátoru: 400 V

Rozměry: 1030 x 2130 x 644 mm

Váha: 550 kg

Jednotková cena invertoru: 115 000 Kč, 4 107 €, 102 680 Kč



Obr. 17: Invertor ABB PVS800-57 100 kW s externím transformátorem [22]

### Stanovení počtu invertorů

Při návrhu je potřeba brát v úvahu minimální a maximální napětí invertoru. Na vstup invertoru bude přiváděn výkon jedné sérioparalelní kombinací panelů (tj. 9 panelů v sérii a tyto série v 31 paralelních řadách) s maximálním výkonem 62 835 Wp, se vstupním napětím  $U_{mpp}= 259,2$  V a vstupním proudem  $I_{mpp}= 242,42$  A. Celkem tedy bude v obvodu řazeno paralelně **8** invertorů. Tedy maximální možný výkon systému bude:

$$P_{\text{sys}} = P_{\text{1stringů}} \cdot n_{\text{stringů}} = 62\,835 \cdot 8 = 502\,680 \text{ Wp} \quad (8)$$

### Transformátor

Výrobce: Elleron

Typ: TMΓ11-630/10

#### Parametry:

Převod: 22/0,4 kV

Jmenovitý výkon  $S_n$ : 630 kVA

Ztráty na prázdno  $P_0$ : 1 060 W

Ztráty nakrátko  $P_k$ : 7 450 W

Napětí nakrátko  $u_k$ : 5,5 %

Kmitočet: 50 Hz

Spojení vinutí: Dyn1

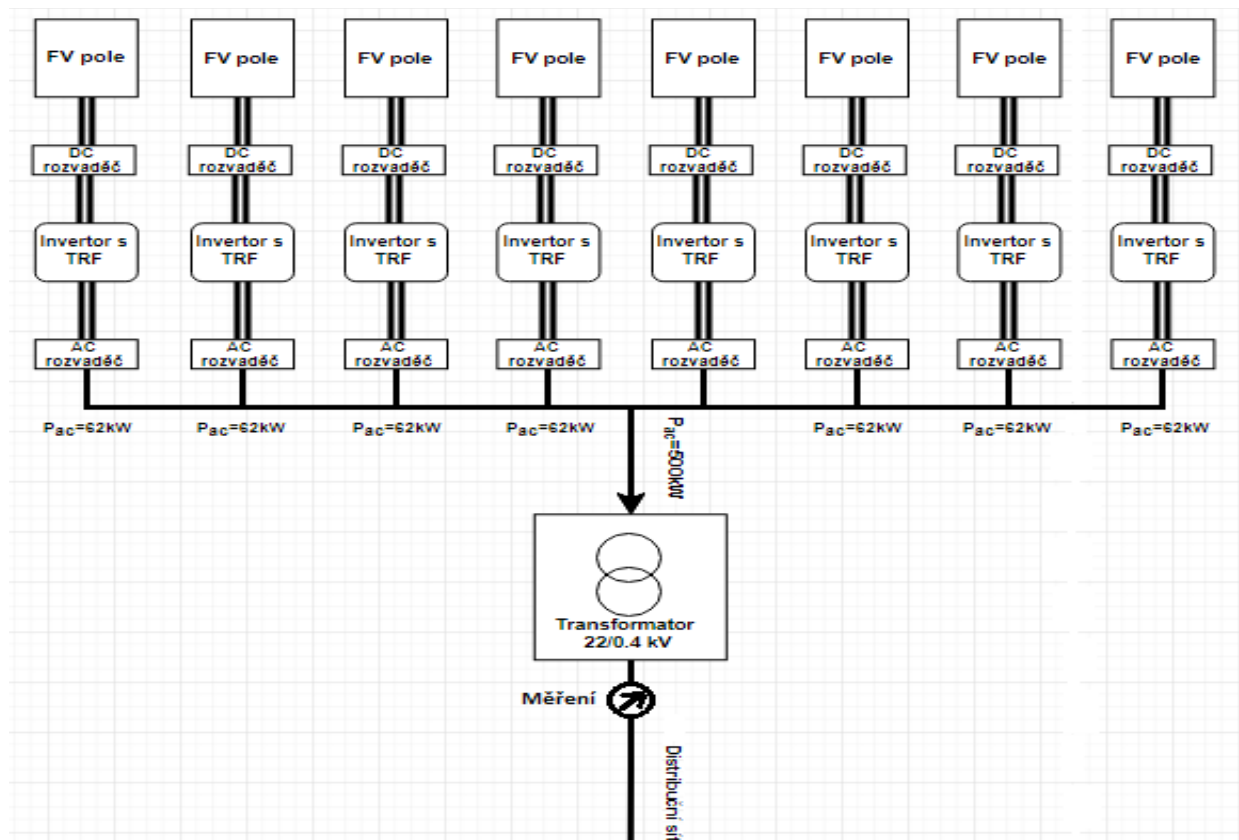
Jednotková cena transformátoru: 250 000 Kč, 8 930 €, 223 210 Kč



Obr. 18: Transformátor Elleron TMГ11-630/10 [24]

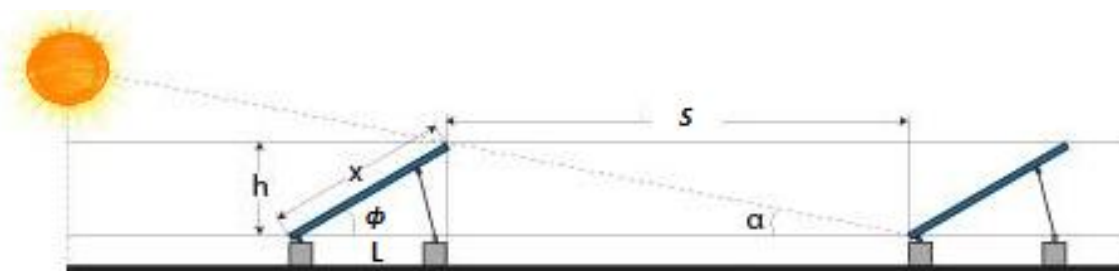
## 5.5 Plošné rozdělení článků

Pro výkon FVE 500 kWp bude potřeba 2 232 panelů. Zapojení bude sérioparalelní v kombinaci 31 x 9 panely (tj. 9 panelů v sérii a tyto série v 31 paralelních řadách). Celková plocha článků bude  $A = 3\,712,3\text{ m}^2$ . Na vstup invertoru bude přiváděn výkon jedné sérioparalelní kombinací panelů s maximálním výkonem  $P_{\max} = 62\,835\text{ Wp}$ , se vstupním napětím  $U_{\text{mpp}} = 259,2\text{ V}$  a vstupním proudem  $I_{\text{mpp}} = 242,42\text{ A}$ . Celkem tedy bude v obvodu řazeno paralelně 8 invertorů. Blokové schéma zapojení je na obrázku č.19.



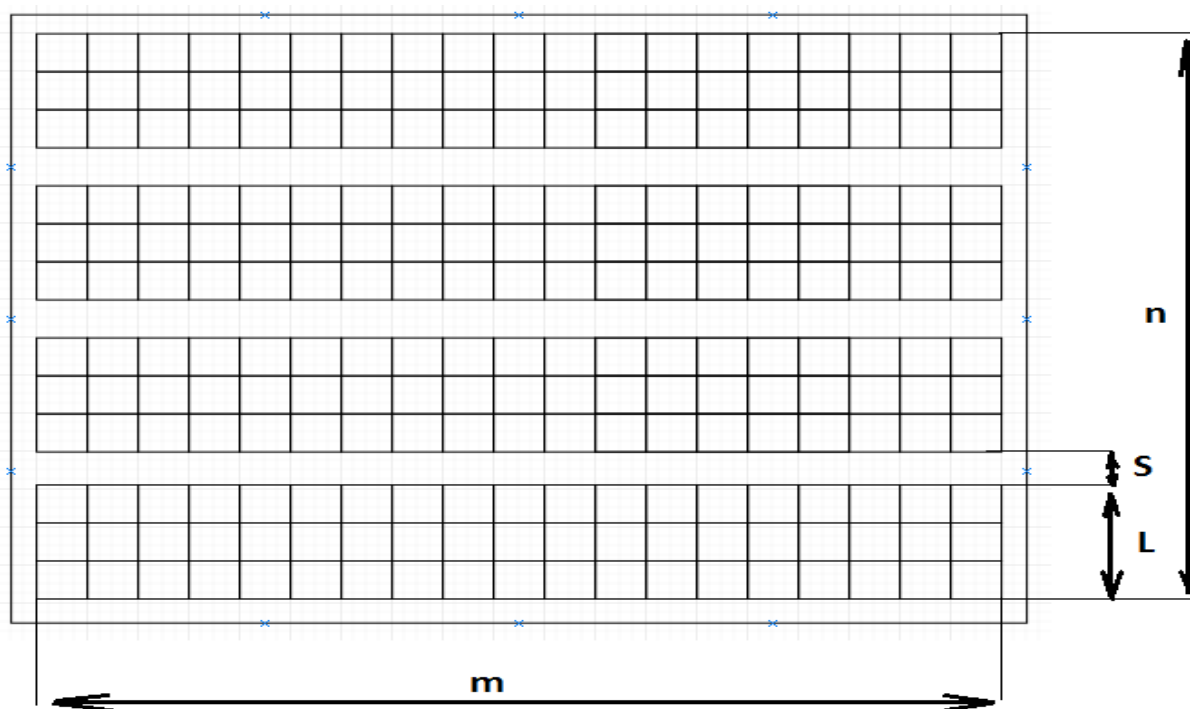
Obr. 19: Blokové schéma zapojení FVE

## 5.6 Výpočet minimální plochy FVE



Obr. 20: Pomocný obrázek pro výpočet rozestupu mezi panely [16]

FVE je tvořena čtyřmi řadami nosných konstrukcí, kdy každá konstrukce má tři řady FV modulů. To znamená, že v jedné řadě bude  $2\,232 / 4 / 3 = 186$  ks modulů.



Obr. 21: Schéma rozmístění FV panelů na pozemku

Plocha obsazená FV moduly bude závislá na maximální délce stínu ( $S$ ), a součiny šířek panelů v řadě ( $m$ ).

$$h = 3 \cdot x \cdot \sin(\phi) = 1,68 \cdot \sin(35^\circ) = 2,88 \text{ [m]} \quad (9)$$

$$L = 3 \cdot x \cdot \cos(\phi) = 1,68 \cdot \cos(35^\circ) = 4,14 \text{ [m]} \quad (10)$$

$$S = \frac{3 \cdot h}{\tan(\alpha)} + L = \frac{2,88}{\tan(55^\circ)} + 1,38 = 2,02 + 1,38 = 3,4 \text{ [m]} \quad (11)$$

kde

$\alpha$  – úhel dopadu slunečních paprsků [ ° ]

$L$  – délka zastínění pod panelem [m]

$x$  – délka panelu [m]

$\phi$  – úhel sklonu FV panelu [ ° ]

$h$  – vzdálenost od vrcholu panelů do vodorovné roviny [m]

$S$  – vzdálenost mezi řadami nosných konstrukcí [m]

Ted známe všechny hodnoty a můžeme vypočítat minimální plochu pozemku, kterou potřebujeme pro výstavbu fotovoltaické elektrárny.

$$P = n \cdot m = (4 \cdot L + 3 \cdot S) \cdot (A \cdot 186) = (3 \cdot 4,14 + 3 \cdot 3,4) \cdot (0,99 \cdot 186) = 4\,165 \text{ [m}^2\text{]} \quad (12)$$

## 5.7 Výpočty parametrů FV elektrárny

Stanovení orientačního množství vyrobené elektrické energie

Hodnoty zadávané do aplikace PVGIS:

- Výkon: 500 kWp
- Materiál PV modulů: krystalický křemík
- Ztráty v systému (měniče, kabeláž atd.): 13 %

Systémové ztráty výkonu FVE		
Ztráta	Účinnost [ % ]	Ztráty [ % ]
Nečistoty + usazeniny	98	2
Napěťový úbytek na kabelech	98	2
Účinnost střídače	98	2
Účinnost transformátoru	98	2
Tolerance výrobcem panelu	94	5
<b>Celkem</b>	<b>87</b>	<b>13</b>

Tab. 8: Systémové ztráty výkonu FVE

Celkovou účinnost systému vypočteme podle vzorce:

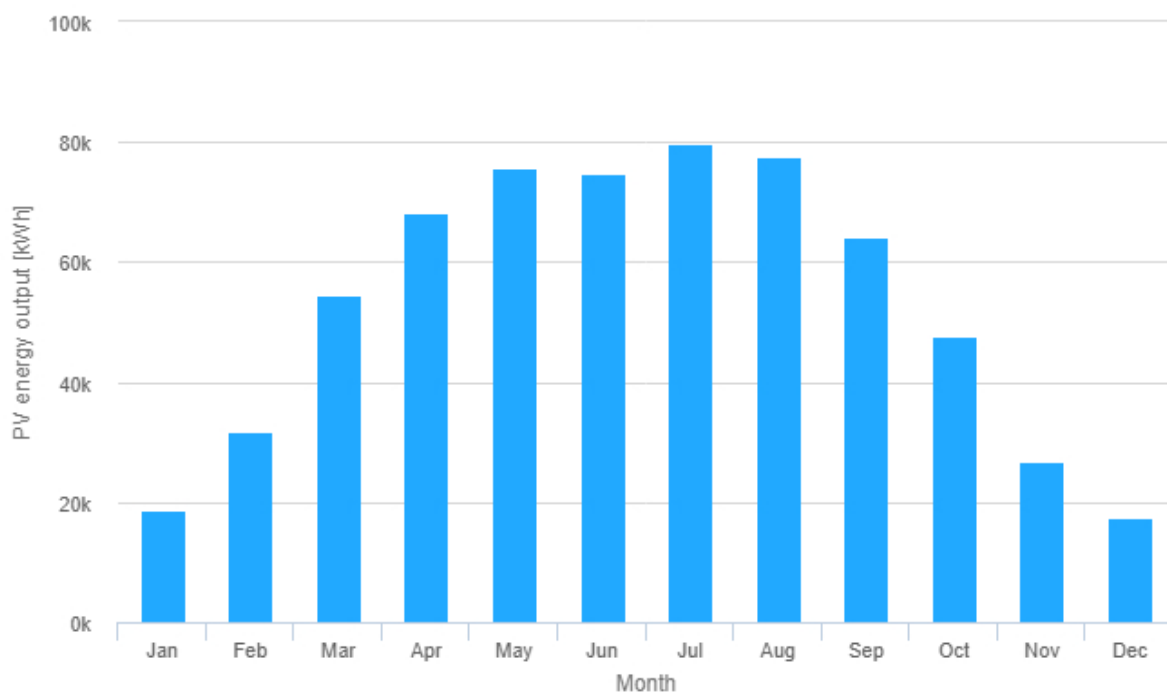
$$\eta_{\text{celk}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_n \quad (13)$$

Hodnoty generované aplikací PVGIS:

- Odhadované ztráty vlivem teploty: 5 % (s použitím databáze teplot)
- Odhadované ztráty vlivem uhlové odrazivosti: 2,9 %
- Celková vyrobená energie FV systémem za rok je 636 500 kWh

<b>Měsíční produkce elektřiny</b>	
<b>Měsíc</b>	<b>[kWh]</b>
Leden	18 600
Únor	31 700
Března	54 400
Duben	68 200
Květen	75 700
Červen	74 700
Červenec	79 600
Srpen	77 600
Září	64 200
Říjen	47 600
Listopad	26 700
Prosinec	17 500
<b>CELKEM</b>	<b>636 500</b>

Tab. 9: Měsíční a celková produkce FV systému 500 kWp [23]



Obr. 22: Měsíční a celková produkce FV systému 500 kWp [23]

## 5.8 Náklady

Náklady obsahují finanční položky, které vstupují do procesu výstavby a provozu FVE a FV systému. Náklady mohou být rozděleny do dvou skupin: náklady investiční a náklady provozní.

## 5.9 Investiční náklady

Kapitálové výdaje spojené s pořízením solární elektrárny lze rozdělit na následující části:

- náklady na vývoj: pozemky, sítě (v případě kdy se jedná o přípojku, náklady na dodatečné stavby), povolení, měřicí a bezpečnostní systémy,
- náklady na financování: náklady na kapitál, úroky během výstavby,
- náklady na vybavení a konstrukci: FV moduly, střídače, instalační systém a potřebná infrastruktura (rozvodna, kabely),
- jiné investiční náklady – ostatní investiční náklady, které nepatří do kategorií uvedených výše například zaškolení personálu atd.

Hlavním faktorem kapitálových výdajů jsou FV moduly. V minulosti byly ceny solárních panelů v závislosti na trhu a druhu aplikace přibližně 50 – 60 % celkové ceny systémů FV. Každý rok se ceny modulů neustále snižují a jejich podíl na celkových nákladech systému je nyní kolem 40 %. Krystalická technologie zaujímá významný podíl na trhu, takže ceny jsou nyní relativně stabilní a materiály lze získat na spotovém trhu z různých zdrojů.

## 5.10 Provozní náklady

Provozní náklady jsou spojené s provozem elektrárny. Můžeme je rozdělit do několika skupin:

- Náklady na opravu a údržbu – to jsou náklady spojené s opravami a výměnou vadných komponent, náklady na revize a diagnostiku a taky výdaje na údržbu pozemku;
- Náklady režijní – náklady nepřímého charakteru;
- Náklady osobní;
- Jine náklady – náklady, které se do jiných kategorií nelze zařadit. Například administrativní náklady, pojištění atd.
- Odpisy.

Provoz a údržba se obvykle provádí prostřednictvím zvláštních smluv, které pokrývají součásti elektrárny, elektrickou infrastrukturu a provádění preventivní údržby. Hlavní část nákladů spojených s provozem a údržbou jsou mzdy a odvody z mezd zaměstnanců. Obvykle personál FV elektrárny s výkonem 5 až 10 MW se skládá z 12 zaměstnanců, ale většina z nich pracuje dočasně. Náklady na provoz a údržbu se značně liší mezi pevnými a sledovacími systémy. V případě sledovacích systému jsou náklady na údržbu vyšší.

Smlouva o provozu a údržbě elektrárny musí jasně určit, které druhy služeb jsou zahrnuty do paušální částky a které nejsou. Obvykle je zahrnuta preventivní údržba stanice (v závislosti na typu a složitosti systému). Někdy se jedná o opravy a regulační služby. V takovém případě dodavatel služeb, který provádí údržbu, přebírá riziko výměny součástí, jestliže záruka výrobce ne pokrývá výměnu komponentu v případě závady.

V modelu elektrárny vyhodnocuju provozní náklady v rámci každého roku zvlášť (viz tab. 13 a tab. 14)

## 5.11 Výpočet ceny montážní práce

Řada dodavatelských firem na Ukrajině zajišťuje komplexní služby, které zahrnují dodávku a montáž dílů fotovoltaické elektrárny vč. dopravy, revizí, komplexního vyzkoušení a zkušební provozu včetně následné údržby. Hodinová sazba montážních prací na FVE na Ukrajině obvykle bývá v rozmezí 175 – 250 UAH · hod<sup>-1</sup> za jednoho pracovníka, v závislosti na velikosti a dodavatele a kvalifikaci jeho personálu.

Při výpočtu uvažoval jsem základní hodinovou sazbu za elektromontážní práce na úrovni 220 UAH. Cena za hodinu práce je však pouze orientační, záleží na náročnosti práce a druhu montovaného zařízení. Počet pracovníků a doba provádění stavebních prací byly zjištěny od společnosti Solar Energy Kiev.

Dále následuje výpočet celkové ceny montáže:

- počet pracovníků: 10,
- mzda jednoho zaměstnance: 220 UAH · hod<sup>-1</sup>,
- doba provádění stavebních a montážních prací na FVE: 1 000 hodin (12,5 pracovních dnů po 8 hodinách za den).

Po vynásobení těchto třech hodnot dostaneme celkovou cenu montážních prací, která bude za výše uvedených předpokladů rovna 220 000 UAH.

## 5.12 Inflace

Kabinet ministru Ukrajiny připravil návrh zákona o státním rozpočtu a aktualizované ekonomické prognózy do roku 2020. Předpovídají růst HDP z 3 % nynějšího roku na 4 % v roce 2020. Národní banka předpovídá postupný pokles inflace v letech 2018 – 2020, především kvůli pevné měnové politice regulátora. Na konci roku 2017 byl ukazatel na úrovni 11,2 % (dříve se říkalo, že by to bylo méně než 10 %) a na konci roku 2020 – 5 %. Rovněž je slibováno snížení nezaměstnanosti v zemi. Dokument vychází z reálných ukazatelů hospodářského rozvoje. Níže uvádím tabulku reprezentující míru inflace a míru růstu HDP.



Pro výpočty uvazoval jsem míru inflace na úrovni 7 %.

Ukazatel	Rok			
	2017 [%]	2018 [%]	2019 [%]	2020 [%]
<b>Růst HDP</b>	2	3	3,6	4
<b>Inflace</b>	11,2	9	6,5	5

Tab. 10: Míra inflace a míra růstu HDP [14]

### 5.13 Diskontní sazba

Diskontní míra je procentní sazba, kterou se diskontují (pře počítávají) budoucí výnosy (zisky/peníze/peněžní toky) nebo náklady v jednotlivých obdobích na současnou hodnotu. Tato diskontní míra neodráží jen časovou hodnotu, ale i rizikovost hotovostních toků. Platí: čím vyšší riziko, tím vyšší diskontní míra. S ohledem na inflaci může diskontní sazba být buď nominální nebo reálná.

Nominální diskontní sazba zahrnuje inflaci a lze ji odvodit Fisherovou rovnicí:

$$(1 + \text{reálná diskontní sazba}) \cdot (1 + \text{míra inflace}) - 1 \quad (14)$$

Ve výpočtech byl brán reálný diskont ve výši 13 % a nominální diskont na úrovni 20,91 %.

### 5.14 Ekologické aspekty

Použití pozemku pro instalaci fotovoltaických elektráren může potenciálně vést k environmentálním dopadům způsobeným ztrátou přírodního prostředí a změnou ve využívání půdy (například stažení pozemků ze zemědělské výroby). Odstranění vegetace může také vést k degradaci půdy a riziku eroze.

Umístění fotovoltaických panelů a pomocných zařízení na velkou plochu může také ovlivnit povahu krajiny. Chráněné oblasti a vysoce kvalitní krajiny a jejich okolí mohou být obzvláště citlivé na tyto dopady.

Na trhu existují různé druhy fotoelektrických prvků a některé z nich mohou obsahovat těžké kovy, jako je kadmium nebo telur. Z hlediska bezpečí životního prostředí je lépe tímto typům fotovoltaických článků vyhnout z důvodu dodatečných rizik (toxicity), ke kterým dochází při vyřazování z provozu a při

recyklaci panelů. Doporučuje se, okamžitě po uvedení solární elektrárny do provozu zapojit do mezinárodní sítě pro recyklaci fotovoltaických panelů.

Provoz solární elektrárny zahrnuje pravidelné čištění fotoelektrických panelů, co může vést k proniknutí chemických látek do půdy a podzemních vod.

V rámci projektu výstavby fotovoltaické elektrárny je také potřeba vzít v úvahu náklady na likvidaci zařízení, nápravu následků spojených s provozem zařízení a na rekultivaci krajiny. Podle Ukrajinských zákonů odpovědnost za recyklaci fotovoltaických panelů (nejproblematictějších komponentů), nese výrobce. Zařízení při svém provozu neprodukuje žádné škodliviny a nespotřebovává žádné palivo, tudíž jsou náklady na rekultivaci minimální a v tomto modelu nebyly započítané.

## 6 Návratnost fotovoltaické elektrárny

### 6.1 Ekonomické zhodnocení

#### 6.1.1 Obecné zhodnocení

K ekonomickému zhodnocení projektu je nutné si stanovit náklady na výstavbu fotovoltaické elektrárny jako celek, do kterého patří:

- Výkup pozemku
- Ceny za fotovoltaické moduly, invertory, transformátor a další potřebné části
- Povolení, licence atd.

Taky je nutné znát výkupní cenu energie z obnovitelných zdrojů a možnost dotace na výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů.

#### 6.1.2 Odpisy

Tato investice je zařazena do skupiny s rovnoměrnými odpisy. Elektrárna jako taková spadá do odpisové skupiny 1.3 "Budovy, stavby a přenosová zařízení" a je zaznamenána na účtu 103 "Budovy a stavby".

Podle zákonů si můžeme zvolit počet let pro odepisování. V mém případě fotovoltaickou elektrárnu odepisují po dobu 20 let rovnoměrně, každý rok po 5 %, jak je to ukázáno v následující tabulce:

Daňové odpisy	
Doba odpisování	20
Odpisy roční	5,00 %

Tab. 11: Daňové odpisy

## 6.2 Investiční náklady

Ceny jednotlivých dílů, jejich počet a životnost je uvedeno v následující tabulce. Jednotlivé ceny byly získány z aktuálních ceníků výrobců (internet).

<b>Investiční náklady</b>					
<b>Položka</b>	<b>Životnost (let)</b>	<b>Symbol</b>	<b>Jednotková cena [UAH]</b>	<b>Počet jednotek</b>	<b>Částka [UAH]</b>
FV Panely	25	N <sub>FP</sub>	3 900,00	2232,0	8 704 800,00
Střídače s MPPT <sup>4</sup> a transformátorem	25	N <sub>str</sub>	115 000,00	8,0	920 000,00
Centrální transformátor	25	N <sub>ctrf</sub>	250 000,00	1,0	250 000,00
Monitorovací zařízení	10	N <sub>mz</sub>	45 000,00	1,0	45 000,00
Pozemek	25	N <sub>poz</sub>	500 000,00	1,0	500 000,00
Kabely SS	15	N <sub>ss</sub>	95,00	10800,0	1 026 000,00
Kabely Stř.	15	N <sub>st</sub>	290,00	180,0	52 200,00
Ochrana stringů	10	N <sub>och</sub>	400,00	250,0	100 000,00
Nosné konstrukce	25	N <sub>nk</sub>	25 800,00	180,0	4 644 000,00
Odpojovače	25	N <sub>odp</sub>	7 500,00	8,0	60 000,00
Ochranné prvky, zemnění	25	N <sub>ozem</sub>	60 000,00	1,0	60 000,00
Projekt	25	N <sub>pro</sub>	130 000,00	1,0	130 000,00
Montáž	25	N <sub>mn</sub>	950 000,00	1,0	950 000,00
Oplocení	25	N <sub>opl</sub>	220 000,00	1,0	220 000,00
Doprava zařízení	25	N <sub>dop</sub>	200 000,00	1,0	200 000,00
Přípojka	25	N <sub>pri</sub>	45 000,00	1,0	45 000,00
Elektroměr	20	N <sub>mer</sub>	17 500,00	1,0	17 500,00
Povolání, licence atd.	25	N <sub>pl</sub>	100 000,00	1,0	100 000,00
<b>Součet položek</b>			-		<b>18 024 500,00</b>

Tab. 12: Investiční náklady

<sup>4</sup> MPPT (Maximum power point tracking) umožňuje měničům sledovat bod maximálního výkonu FV panelu.

### **Zadání vstupních hodnot:**

Investiční náklady  $K_i = 18\,024\,500$  UAH bez DPH

Životnost = 25 let

Doba hodnocení = 25 let

Roční vyrobená energie  $E = 636\,500$  kWh

Náklady na údržbu a opravy = 74 500 UAH

Režijní náklady = 78 000 UAH · rok<sup>-1</sup>

Daň ze zisku = 19,5 % p. a.

Výkupní cena  $C_e = 2,99$  UAH · kWh<sup>-1</sup>

ROS = 5 % p. a.

Reálný diskont = 13 %

Průměrná výše inflace = 7 %

Nominální diskont = 20,91 %

Degradace systému = 0,5 % za 1 rok

Níže je uvedena tabulka s výpočtem nákladů, výnosů, daně a taky cash flow (CCF, DCF, CDCF), kde:

*Cash Flow* = příjmy – výdaje = tok hotovosti (v tabulce pro každý rok zvlášť);

*CCF* – celkový cash flow od začátku projektu k danému roku;

*DCF* – diskontovaný cash flow;

*CDCF* – celkový kumulovaný diskontovaný cash flow.

### 6.3 Výpočet nákladů, výnosů, daně a taky cash flow (CCF, DCF, CDCF)

		Rok												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Náklady	Investiční	18 024 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Údržba + opravy	0	74 500	74 500	74 500	74 500	74 500	74 500	74 500	74 500	74 500	74 500	74 500	74 500
	Náhradní díly	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145 000	0	0	0
	Jiné	0	78 000	78 000	78 000	78 000	78 000	78 000	78 000	78 000	78 000	78 000	78 000	78 000
	<b>Náklady celkem</b>	<b>18 024 500</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>	<b>297 500</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>
Výnosy	Dodané elektřiny	0	637	633	630	627	624	621	618	615	611	608	605	602
	Cena za MWh	0	2 990	2 990	2 990	2 990	2 990	2 990	2 990	2 990	2 990	2 990	2 990	2 990
	<b>Celkem za elektřinu</b>	<b>0</b>	<b>1 903 390</b>	<b>1 893 873</b>	<b>1 884 403</b>	<b>1 874 981</b>	<b>1 865 606</b>	<b>1 856 278</b>	<b>1 846 997</b>	<b>1 837 762</b>	<b>1 828 573</b>	<b>1 819 430</b>	<b>1 810 333</b>	<b>1 801 281</b>
Zdanitelné položky	Odpisy	0	901 225	901 225	901 225	901 225	901 225	901 225	901 225	901 225	901 225	901 225	901 225	901 225
	Výdaje	0	152 500	152 500	152 500	152 500	152 500	152 500	152 500	152 500	297 500	152 500	152 500	152 500
	Příjmy	0	1 903 390	1 893 873	1 884 403	1 874 981	1 865 606	1 856 278	1 846 997	1 837 762	1 828 573	1 819 430	1 810 333	1 801 281
	Základ daně	0	849 665	840 148	830 678	821 256	811 881	802 553	793 272	784 037	629 848	765 705	756 608	747 556
	<b>Daň</b>	<b>0</b>	<b>165 685</b>	<b>163 829</b>	<b>161 982</b>	<b>160 145</b>	<b>158 317</b>	<b>156 498</b>	<b>154 688</b>	<b>152 887</b>	<b>122 820</b>	<b>149 313</b>	<b>147 539</b>	<b>145 774</b>
Cash Flow	<b>Celkem</b>	<b>-18 024 500</b>	<b>1 585 205</b>	<b>1 577 544</b>	<b>1 569 921</b>	<b>1 562 336</b>	<b>1 554 789</b>	<b>1 547 280</b>	<b>1 539 809</b>	<b>1 532 375</b>	<b>1 408 253</b>	<b>1 517 618</b>	<b>1 510 295</b>	<b>1 503 008</b>
	CCF	-18 024 500	-16 439 295	-14 861 751	-13 291 830	-11 729 494	-10 174 704	-8 627 424	-7 087 615	-5 555 240	-4 146 987	-2 629 370	-1 119 075	383 933
	DCF	-18 024 500	1 311 062	1 079 088	888 160	731 014	601 673	495 217	407 597	335 480	254 989	227 269	187 058	153 962
	CDCF	-18 024 500	-16 713 438	-15 634 350	-14 746 190	-14 015 176	-13 413 503	-12 918 286	-12 510 689	-12 175 208	-11 920 220	-11 692 951	-11 505 892	-11 351 930

Tab. 13: Výpočet nákladů, výnosů, daně a taky cash flow (CCF, DCF, CDCF)

Rok												
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74 500	74 500	74 500	74 500	74 500	74 500	74 500	74 500	74 500	74 500	74 500	74 500	74 500
0	1 078 200	0	0	0	0	162 500	0	0	0	0	0	0
78 000	78 000	78 000	78 000	78 000	78 000	78 000	78 000	78 000	78 000	78 000	78 000	78 000
<b>152 500</b>	<b>1 230 700</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>	<b>315 000</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>	<b>152 500</b>
599	596	593	590	587	585	582	579	576	573	570	567	564
2 990	2 990	2 990	2 990	2 990	2 990	2 990	2 990	2 990	2 990	2 990	2 990	2 990
<b>1 792 275</b>	<b>1 783 314</b>	<b>1 774 397</b>	<b>1 765 525</b>	<b>1 756 698</b>	<b>1 747 914</b>	<b>1 739 174</b>	<b>1 730 479</b>	<b>1 721 826</b>	<b>1 713 217</b>	<b>1 704 651</b>	<b>1 696 128</b>	<b>1 687 647</b>
901 225	901 225	901 225	901 225	901 225	901 225	901 225	901 225	0	0	0	0	0
152 500	1 230 700	152 500	152 500	152 500	152 500	315 000	152 500	152 500	152 500	152 500	152 500	152 500
1 792 275	1 783 314	1 774 397	1 765 525	1 756 698	1 747 914	1 739 174	1 730 479	1 721 826	1 713 217	1 704 651	1 696 128	1 687 647
738 550	-348 611	720 672	711 800	702 973	694 189	522 949	676 754	1 569 326	1 560 717	1 552 151	1 543 628	1 535 147
<b>144 017</b>	<b>0</b>	<b>140 531</b>	<b>138 801</b>	<b>137 080</b>	<b>135 367</b>	<b>101 975</b>	<b>131 967</b>	<b>306 019</b>	<b>304 340</b>	<b>302 669</b>	<b>301 007</b>	<b>299 354</b>
1 495 758	552 614	1 481 366	1 474 224	1 467 118	1 460 047	1 322 199	1 446 012	1 263 308	1 256 377	1 249 482	1 242 620	1 235 793
1 879 691	2 432 304	3 913 670	5 387 894	6 855 012	8 315 059	9 637 259	11 083 270	12 346 578	13 602 955	14 852 437	16 095 057	17 330 850
126 722	38 721	85 848	70 659	58 158	47 868	35 852	32 429	23 432	19 273	15 853	13 039	10 725
-11 225 208	-11 186 486	-11 100 639	-11 029 979	-10 971 822	-10 923 954	-10 888 101	-10 855 673	-10 832 241	-10 812 968	-10 797 116	-10 784 077	<b>-10 773 352</b>

Tab. 14: Výpočet nákladů, výnosů, daně a taky cash flow (CCF, DCF, CDCF)

## 6.4 Vypočtené hodnoty

Při zadaných vstupních hodnotách jsem dostal následující výsledky:

Hodnocení výnosnosti projektu	
NPV	- 10 773 352 €
IRR	6,38 %
ROI	7,85 %
Prostá doba návratnosti [let]	12
Reálná doba návratnosti [let]	>25

Tab. 15: Hodnocení výnosnosti projektu

V dalších několika odstavcích vysvětluji, co znamenají tyto hodnoty.

## 6.5 Zhodnocení výnosnosti investice metodou čisté současné hodnoty

Metoda čisté současné hodnoty (NPV) vyjadřuje rozdíl mezi současnou hodnotou očekávaných příjmů a výdajů na investici. Čistá současná hodnota zahrnuje celou dobu životnosti projektu, i možnost investování do jiného stejně rizikového projektu. [17] Bere v úvahu časovou hodnotu peněz, závisí pouze na předvídaných hotovostních tocích a alternativních nákladech kapitálu. NPV projektu může ukázat, kolik peněz za zvolenou dobu životnosti daný projekt sebere anebo přinese. Vypočítá se podle vzorce:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (15)$$

kde:

$NPV$  – čistá současná hodnota [UAH],

$CF_t$  - peněžní toky v jednotlivých letech [UAH · rok<sup>-1</sup>],

$n$  – doba životnosti projektu [rok],

$r$  – diskontní úroková míra [%].

V modelu elektrárny počítá se s růstem inflace o 7 % ročně. Snižování výkonu článků vlivem stárnutí je 0,5 % za rok.

Čistá současná hodnota pro nominální diskont 20,91 % vyšla na NPV = - 10 773 352 € za 25 let. Pokud je čistá současná hodnota záporná (což se stalo v našem případě), projekt se nedoporučuje realizovat.

## 6.6 Vnitřní výnosové procento (IRR)

Vnitřní výnosové procento (Internal Rate of Return) - ukazatel pro relativní výnos (rentabilitu) projektu, během svého životního cyklu. Číselně je rovna diskontní sazbě, při které NPV se rovna nule. V podniku je využíváno pro hodnocení efektivnosti investice. Čím vyšší je IRR, tím vyšší je návratnost investice. [17] Vypočítá se podle vzorce:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} \quad (16)$$

kde:

$IRR$  – vnitřní výnosové procento [%],

$CF_t$  - peněžní toky v jednotlivých letech [ $UAH \cdot rok^{-1}$ ],

$n$  – doba životnosti projektu [let].

Po výpočtech IRR projektu mě vyšlo 6,38 %. Tato hodnota je menší než uvažovaný diskont a to znamená, že se projekt nedoporučuje realizovat.

## 6.7 Prostá doba návratnosti (PP)

Doba návratnosti (Payback Period) - ukazuje počet let, které jsou zapotřebí k tomu, aby se kumulované hotovostní toky vyrovnaly investici, to znamená počet let, po který se investice bude vracet. Metoda se používá jako doplňková, její nevýhodou je, že nezohledňuje faktor času. [17]

$$T_s = \frac{IN}{CF} \text{ (roky)} \quad (17)$$

kde:

$CF$ - peněžní toky

$IN$  – investice

Po výpočtech doby návratnosti projektu mě vyšlo 12 let.



## 6.8 Reálná doba návratnosti

Reálná doba návratnosti zohledňuje vliv času na investiční projekt a hodnotí za jak dlouho se investice vrátí s ohledem na diskontní míru. Vypočítá se podle vzorce:

$$\sum_{t=1}^{T_n} CF \cdot (1 + r)^{-t} - IN = 0 \quad (18)$$

kde:

$CF$  – peněžní toky

$IN$  – investiční výdaj

$T_n$  – doba návratnosti

$r$  – diskontní míra

Po výpočtech reálné doby návratnosti projektu mě vyšlo více než 25 let.

## 6.9 Return of investment (ROI)

Return of investment (ROI) - znamená návratnost investice v procentech neboli poměr částky vydělané k částce investované do určitého druhu podnikání. ROI je definován jako ukazatel produktivity investic. Tento ukazatel nezapočítává úrokové platby, inflaci, náklady obětované příležitosti apod. [18]

Vypočítá se podle vzorce:

$$ROI [\%] = \text{výnosy} / \text{investice} \cdot 100 \quad (19)$$

Po výpočtech ROI je taky dobře vidět, že tato investice je docela nevýhodná. Tato hodnota nám říká, že z této investice se nám vrátí průměrně pouze 7,85 % ročně. To znamená, že při uvazování inflace na úrovni 7 %, my dostaneme jen 0,85 % za 1 rok.

## Závěr

Ukrajina nedisponuje dostatečnými zdroji vlastních energetických surovin, především: ropou, zemním plynem a taky v dnešní době i uhlím (kvůli válce na Donbasu). Kvůli tomu je nucena hledat tyto suroviny k uspokojení domácí poptávky v zahraničí. Experti říkají, že stát má významný potenciál v oblasti obnovitelných zdrojů energie a jejich použití může úplně uspokojit domácí poptávku, a proto v této práci posuzují investiční záměr výstavby fotovoltaické elektrárny na Ukrajině z hlediska investora.

Kromě ukrajinských investorů do solárních elektráren investují také americké, německé a české společnosti. Například česká společnost Ekotechnik Praha s.r.o. od roku 2012 postavila 15 fotovoltaických elektráren o celkovém výkonu 125,5 MW poblíž Kyjeva, Chmelnického, Dněpropetrovska a na Krymu.

Cílem mé diplomové práce bylo posoudit investiční záměr výstavby fotovoltaické elektrárny. Jedná se o přímý prodej vyrobené elektřiny do elektrické rozvodné sítě. Cílem projektu je produkce čisté elektrické energie a její další prodej. V první části popisují energetické hospodářství Ukrajiny, fotovoltaické elektrárny v současné energetice a výhled do budoucnosti FVE. Také v této části byly popsány jednotlivé komponenty pro stavbu fotovoltaické elektrárny, popsán princip fotovoltaického jevu a typy fotovoltaických článků.

V další části byla popsána současná Ukrajinská legislativa upravující provozování fotovoltaických elektráren a také státní podpora za zeleným tarifem. Z této části je patrné, že současná legislativa na Ukrajině, v porovnání z Českou Republikou je více nakloněná slunečním elektrárnám, kvůli státní podpoře za zeleným tarifem stanovené v eurocentech až do roku 2030. V této části také popisují daňovou legislativu a různé metody a způsoby odepisování.

Další část popisuje kritické faktory úspěchu při vývoji a realizaci fotovoltaických projektu. Je popsán postup investora od výběru vhodného místa do uvedení elektrárny do provozu.

V praktické části této práce je nakresleno schéma elektrárny, provedena analýza klimatických podmínek a je proveden návrh komponent FVE, výpočet nákladů a výnosů, a potom je vypočítaná návratnost FV elektrárny.

Předpokládaný výkon mnou navržené fotovoltaické elektrárny je 500 kWp. Tato FVE by měla ročně produkovat 636 500 kWh elektrické energie. Výkon fotovoltaických článků se bude z časem snižovat (každý rok o 0,5 %). Životnost panelů je 25 let. Množství vyrobené elektrické energie je závislé na intenzitě dopadajícího slunečního záření, jeho úhlu a době, po kterou je FV panel vystaven slunečnímu záření. Napětí z 2 232 panelů je stejnosměrné a pomocí 8 invertorů se přeměňuje na střídavé. Převedené střídavé napětí je pak pomocí transformátoru přetransformováno na požadované vyšší výstupní napětí a pak prodáváno do elektrické sítě za zeleným tarifem.

V ekonomickém hodnocení jsem spočítal celkovou cenu instalace, která mě vyšla na 18 024 500,00 €. Nejdražší části elektrárny jsou: FV panely, nosné konstrukce, střídače a stejnosměrné kabely.

Realizace projektu pro investora znamená v první řadě zhodnocení a zvětšení vložených finančních prostředků. Ve výpočtech finanční návratnost vyšlo, že projekt je spíše nevýhodný. Čistá současná hodnota pro nominální diskontní úrokovou míru 20,91 % vyšla na NPV = - 10 773 352 Kč za 25 let. Pokud čistá současná hodnota je záporná (což se stalo v našem případě), projekt se nedoporučuje realizovat.

Vnitřní výnosové procento (IRR) projektu mě vyšlo na 6,38 %. Tento finanční ukazatel je menší než uvažovaný diskont a to znamená, že se projekt nedoporučuje realizovat.

Prostá doba návratnosti – ukazuje počet let, které jsou zapotřebí k tomu, aby se kumulované hotovostní toky vyrovnaly investici, to znamená počet let, po který se investice bude vracet. Po výpočtech prosté doby návratnosti projektu mě vyšlo 12 let ale metoda se používá spíše jako doplňková, její nevýhodou je nezohlednění faktoru času. Po výpočtech reálné doby návratnosti projektu mě vyšlo více než 25 let.

Po výpočtech ROI (Return of investment) je taky dobře vidět, že tato investice je docela nevýhodná. Tato hodnota nám říká, že z této investice se nám vrátí průměrně pouze 7,85 % ročně. To znamená, že při uvážování inflace na úrovni 7 %, my dostaneme jen 0,85 % za 1 rok.

V případě růstu ceny elektrické energie a poklesu inflace se návratnost projektu bude zrychlovat. Hlavním problémem pro tento projekt je velká míra inflace - 7 % (ve výpočtech je uvažovaná střední prognózovaná hodnota). Při poklesu míry inflace pod 5 %, už je tento projekt ziskový. Ale ve stejný čas zásadní výhodou této investice je garance výkupní ceny. Ta je garantována ze zákona na 12 let.

Technologie v oblasti fotovoltaiky se každý rok zlepšuje, klesá cena panelu a roste jejich účinnost. Tento fakt vede ke snižování investičních nákladů, které jsou dnes docela vysoké.

Z důvodů uvedených výše bych tento projekt nedoporučoval realizovat a spíše investovat do jiných možností finančního zhodnocení investice.

Prostřednictvím využívání solární energie bude mít projekt významný přínos pro životní prostředí v daném regionu v porovnání s jinými druhy výroby energie, jako je výroba energie z fosilních paliv (ropa, plyn, uhlí) nebo jaderné energie. To pomůže snižovat emise skleníkových plynů, vytváří nová pracovní místa a zlepší energetickou bezpečnost v regionu. Snížení emisí CO<sub>2</sub>, také pomůže Ukrajině splnit závazky v oblasti ochrany životního prostředí, a také naplnit určitý podíl výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie na celkové výrobě, což je částí nové státní politiky

Tato diplomová práce pro mě byla moc zajímavá a užitečná. Z této práce jsem pochopil že v podnikání je nejtěžší mít dobrý a ziskový nápad. Potom je však potřeba zvážit všechny „pro“ a „proti“, vypočítat náklady a výnosy z projektu a taky je potřeba jeho ověřit pomocí několika finančních ukazatelů, jako například NPV, IRR, ROI, reálná doba návratností atd. Pro investora do fotovoltaiky je zásadní finanční zhodnocení a ekonomická stránka.

## Použitá literatura a internetové zdroje

- [1] Annual report, Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine, State Enterprise “National Power Company UKRENERGO”, Kyiv, 2016. [cit. 2018-3-30].
- [2] Horčík, Jan. Magazín Ekologické bydlení vydává Chamanne s.r.o. [online]. [cit. 2018-1-23]. Dostupné z: <http://www.ekobydleni.eu/energie/ukrajina-nova-solarni-velmoc-vychodni-evropy/comment-page-1> . ISSN 1803-0211
- [3] M. Suri, T. Cebecauer, T. Huld, E. D. Dunlop. Map of solar radiation in Europe: Ukraine. Materials of JRC European commission. -PVGIS: European communities,2001—2008.—p. 27.
- [4] Brož, Jan. MAFRA, a. s., a dodavatelé Profimedia, Reuters, ČTK, AP. [online]. [cit. 2018-3-30]. Dostupné z: [https://ekonomika.idnes.cz/ekotechnik-czech-znovu-zacina-stavet-solarni-parky-na-ukrajine-ps2-/eko-zahranicni.aspx?c=A150728\\_190252\\_eko-zahranicni\\_ozr](https://ekonomika.idnes.cz/ekotechnik-czech-znovu-zacina-stavet-solarni-parky-na-ukrajine-ps2-/eko-zahranicni.aspx?c=A150728_190252_eko-zahranicni_ozr)
- [5] Wikipedia. Fotovoltaika [online]. [cit. 2018-4-12]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaika>
- [6] KUSALA, Jaroslav. Solární energie: Miniencyklopedie/ sešit č. 7 Simopt, 2013 [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/edee/content/miniencyklopedie/7\\_miniencyklopedie\\_solarni\\_energie/cs/index.html#fc89a88812](https://www.cez.cz/edee/content/miniencyklopedie/7_miniencyklopedie_solarni_energie/cs/index.html#fc89a88812) ISBN978-80-87851-16-6.
- [7] Green Technology s.r.o. - obnovitelné zdroje, solární panely, bioplyn. [online]. [cit. 2018-4-12]. Dostupné z: <http://www.green-t.cz/fotovoltaika>
- [8] SPOLEČNOST OEZ. [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/aktuality/obecne-schema-zapojeni-fotovoltaickeho-zdroje>
- [9] Hackerová. Lucie, Financování fotovoltaické elektrárny. Bakalářská práce. [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: [https://is.bivs.cz/th/13849/bivs\\_b/Bakalarska\\_prace.doc](https://is.bivs.cz/th/13849/bivs_b/Bakalarska_prace.doc)
- [10] Goetberger, A., Knobloch, J. and Voss, B.: Crystalline Silicon Solar Cells. Chichester: J.Wiley & Sons. 1998. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: Technologie fotovoltaických článků a modulů z krystalického křemíku. A5M13FVS-3. CVUT.
- [11] Haselhuhn, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. 1. české vyd., 176 s. Ostrava: HEL, 2011. str. 176. 978-80-86167-33-6. [cit. 2018-02-21]. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [12] Heretík. Pavol, Kováč. Matúš, Cintula. Boris, Viglaš. Dominik, Volčko. Vladimír, Cerman Anton. POSTERUS. [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=16396> ISSN 1338-0087
- [13] IRENA (2015), REmap 2030 Renewable Energy Prospects for Ukraine. IRENA, Abu Dhabi. [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: [www.irena.org/remap](http://www.irena.org/remap)
- [14] Legislativa Ukrajiny, O elektrické energii, Dokument 575/97, aktuální, aktuální vydání od 11.06.2017. [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://zakon3.rada.gov.ua/>

- [15] Střídač pro fotovoltaickou elektrárnu. [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://oze.tzbinfo.cz/fotovoltaika/9555-stridac-pro-fotovoltaickou-elektrarnu-jakoutechnologii-zvolite>
- [16] Developers' Manual, Ukraine Sustainable Energy Lending Facility (USELF). [online]. Dostupné z: <http://uabio.org/en/materials/analytics/1822-uself-re-developers-manual-ua>
- [17] ManagementMania's Series of Management [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://managementmania.com>. ISSN 2327-3658
- [18] WALKER, Alfred J. Moderní personální management: nejnovější trendy a technologie. 1. vyd. Praha: Grada, 2003, [cit. 2018-04-18]. ISBN 8024704498 S. 124.
- [19] Molek. Tomáš, oenergetice.cz [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrarny-evropa/ukrajinsky-solarni-byznys-laka-investory/>
- [20] BENDA, Vítězslav, Kamil STANĚK a Petr WOLF. Fotovoltaické systémy: Učební texty k semináři [online]. [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: [http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura\\_04\\_1104.pdf](http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_04_1104.pdf)
- [21] TZB-info [online]. [cit. 2018-4-01]. Dostupné z: <http://oze.tzbinfo.cz/docu/clanky/0096/009667o1.png>. ISSN 1801-4399
- [22] ABB. [online]. [cit. 2018-4-01]. Dostupné z: <http://new.abb.com/power-converters-inverters/solar/central/pvs800>
- [23] European Commission. Joint Research Centre Institute for Energy. Renewable Energy Unit. [online]. [cit. 2018-4-01]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [24] ООО« ЭЛЛЕРОН ». [online]. [cit. 2018-4-01]. Dostupné z: <http://elleron.ru/catalog/transformatory-silovye/tmg11/transformator-maslyanyy-tmg11-630-10-0-4-u-zn-11-s-kip/>
- [25] SOLARWATT AG. [online]. [cit. 2018-4-01]. Dostupné z: <http://ergoenergy.com.cy/images/users/1/datasheets/solarwatt/3.pdf>
- [26] iSolar s.r.o. [online]. [cit. 2018-4-11]. Dostupné z: <http://www.isolar.cz/technologie.html>
- [27] NPD Solarbuzz *PV Equipment Quarterly*. [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://technology.ihs.com/Categories/450474/solar-demand-industry>

## Seznam obrázků

Obr. 1: Úroveň slunečního záření v různých oblastech Ukrajiny [3] .....	6
Obr. 2: Princip fotovoltaického jevu [7].....	8
Obr. 3: Spojení článků do modulu a vznik rozměrného fotovoltaického pole .....	9
Obr. 4: Schéma fotovoltaické elektrárny [8] .....	9
Obr. 5: Výroba jednotlivých druhů fotovoltaických článků v roce 2014 [27] .....	11
Obr. 6: Struktura tenkovrstvých článků a článků z krystalického Si [10].....	12
Obr. 7: Technologie tenkých vrstev [12].....	13
Obr. 8: VA charakteristika FV článku [21] .....	14
Obr. 9: Náhradní schéma FV článku .....	15
Obr. 10: Voltampérová charakteristika FV článku při různé intenzitě osvětlení $\lambda$ ( $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $R_s = 0,025\ \Omega$ ) [12] .....	15
Obr. 11: P-U charakteristika FV článku při různé intenzitě osvětlení $\lambda$ ( $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $R_s =$ $0,025\ \Omega$ ) [12].....	16
Obr. 12: Závislost účinnosti na výstupním výkonu střídače [15].....	16
Obr. 13: Typy střídačů [20] .....	17
Obr. 14: Vzájemné stínění FV modulu [15].....	18
Obr. 15 Mapa pozemku pro výstavbu .....	30
Obr. 16: Monokrystalické panely typu Solarwatt M220 60 GET AK [25].....	32
Obr. 17: Invertor ABB PVS800-57 100 kW s externím transformátorem [22] .....	34
Obr. 18: Transformátor Elleron TМГ11-630/10 [24].....	35
Obr. 19: Blokové schéma zapojení FVE.....	35
Obr. 20: Pomocný obrázek pro výpočet rozestupu mezi panely [16] .....	36
Obr. 21: Schéma rozmístění FV panelů na pozemku .....	36
Obr. 22: Měsíční a celková produkce FV systému 500 kWp [23] .....	38

## Seznam tabulek

Tab. 1: Výkupní cena elektřiny v letech 2016 – 2040.....	7
Tab. 2: Koeficient Zeleného tarifu.....	21
Tab. 3: Přepoččet Zeleného tarifu na ceny roku 2018.....	21
Tab. 4: Dodatečná platba, úměrná úrovni využití zařízení ukrajinské výroby na energetickém objektu.....	22
Tab. 5: Klimatické podmínky.....	27
Tab. 6: Analýza slabých a silných stránek, příležitostí a ohrožení výstavby a provozu FVE.....	29
Tab. 7: Průměrné hodnoty slunečního záření na 1 m <sup>2</sup> pro bezztrátový systém o výkonu 1 kWp..	30
Tab. 8: Systémové ztráty výkonu FVE.....	37
Tab. 9: Měsíční a celková produkce FV systému 500 kWp.....	39
Tab. 10: Míra inflace a míra růstu HDP.....	41
Tab. 11: Daňové odpisy.....	42
Tab. 12: Investiční náklady.....	43
Tab. 13: Výpočet nákladů, výnosů, daně a taky cash flow (CCF, DCF, CDCF).....	45
Tab. 14: Výpočet nákladů, výnosů, daně a taky cash flow (CCF, DCF, CDCF).....	46
Tab. 15: Hodnocení výnosnosti projektu.....	47