

Optimalizace výkonu fotovoltaického panelu

Bc. Petr Večeře

Diplomová práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav elektroniky a měření

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Večeře**
Osobní číslo: **A21156**
Studijní program: **N1032A020003 Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Specializace: **Bezpečnostní technologie**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Optimalizace výkonu fotovoltaického panelu**
Téma práce anglicky: **Photovoltaic Panel Performance Optimization**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární řešení zaměřenou na problematiku fotovoltaických panelů.
2. Navrhněte způsob natáčení panelu s ohledem na zajištění jeho maximálního výkonu.
3. Natáčecí systém prakticky realizujte a provedte základní měření jeho výkonu ve vazbě na natáčení panelu.
4. Navrhněte způsob využití natáčecího fotovoltaického panelu pro měřiče rychlosti v obcích.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. PRINSLOO, Gerro a Robert DOBSON. *SOLAR TRACKING: Sun Position, Sun Tracking, Sun Following*. Stellenbosch University, November 2021. ISBN 978-0-620-61576-
2. MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. Vyd. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-3525-2
3. L. SMITH, Brittany, Michael WOODHOUSE, Kelsey A. W. HOROWITZ, Timothy J. SILVERMAN, Jarett ZUBOY a Robert M. MARGOLIS. *Photovoltaic (PV) Module Technologies: 2020 Benchmark Costs and Technology aEvolution Framework Results*. November 2021. Prinsloo, G.J., Dobson, R.T. *Solar Tracking*. Stellenbosch: SolarBooks, 2015. ISBN 978-0-620-61576-1
4. HALVORSEN, Hans-Petter. *Programming with Arduino*. 2018. ISBN 978-82-691106-3-0.
5. MONK, Simon. *Programming Arduino: Getting Started with Sketches*. 2011. ISBN 978-0-07-178423-8.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.**
Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. prosince 2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **1. června 2023**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



Ing. Milan Navrátil, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. prosince 2022

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 31. 05. 2023

Petr Večeře, v. r.
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá optimalizací výkonu fotovoltaického panelu. Jsou popsány fotovoltaické systémy, jejich vliv na životní prostředí. Stručně jsou uvedeny i legislativní požadavky spojené s připojením fotovoltaického systému do distribuční sítě. V praktické části je navržen a prakticky realizován model otočného panelu včetně základního měření.

Klíčová slova: fotovoltaická elektrárna, fotovoltaický panel, otočný systém, solární sledovač, radar v obci.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with optimizing the performance of photovoltaic panels. Photovoltaic systems and their impact on the environment are described here. The legislative requirements associated with the connection of the photovoltaic system to the distribution network are also briefly presented. In the practical part, a rotating panel model is designed and active, including basic measurements.

Keywords: photovoltaic power plant, photovoltaic panel, rotating system, solar tracker, radar in the village.

Chtěl bych poděkovat prof. Mgr. Milanu Adámkovi, Ph.D. za vedení diplomové práce.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK	11
1.1 FOTOVOLTAICKÝ EFEKT	11
1.2 GENERACE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	12
1.3 TYPY NEJPOUŽÍVANĚJŠÍCH FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	13
1.3.1 Monokrystalické fotovoltaické panely	14
1.3.2 Polykrystalické fotovoltaické panely	15
1.3.3 Tenkovrstvé fotovoltaické panely	16
2 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY	18
2.1 SÉRIOVÉ ZAPOJENÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	18
2.2 PARALELNÍ ZAPOJENÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	18
2.3 FOTOVOLTAICKÉ MĚNIČE A REGULÁTORY NAPĚTÍ.....	19
2.3.1 Mikro invertory	19
2.3.2 Stringový měnič	20
2.3.3 PWM fotovoltaický regulátor.....	22
2.3.4 MPPT fotovoltaické regulátory	24
2.4 TYPY FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ.....	25
2.4.1 Síťové fotovoltaické systémy	25
2.4.2 Samostatné fotovoltaické systémy	26
2.4.3 Hybridní fotovoltaický systém	27
2.4.4 Akumulátory	28
3 LEGISLATIVA	29
3.1 PODMÍNKY PRO PŘIPOJENÍ DO DISTRIBUČNÍ SÍTĚ	29
3.1.1 Jednotlivé kroky pro připojení do distribuční sítě	29
3.1.2 Připojení do distribuční sítě pro mikro zdroje.....	30
4 EKOLOGIE	32
4.1 OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ	32
4.1.1 Emise z fotovoltaických panelů	32
4.1.2 Vliv fotovoltaických panelů na teplotu ovzduší.....	32
4.1.3 Recyklace fotovoltaických panelů.....	33
4.2 POČET SOLÁRNÍCH ELEKTRÁREN (GLOBÁLNĚ)	34
4.3 POČET SOLÁRNÍCH ELEKTRÁREN V ČESKÉ REPUBLICE	36
4.4 FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY JAKO ALTERNATIVNÍ ZDROJ ENERGIE	36
4.5 BUDOUCNOST FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN	36
5 SOLÁRNÍ SLEDOVAČ	38
5.1 POHYB SLUNCE PO OBLOZE	38
5.2 JEDNOOSÉ SOLÁRNÍ SLEDOVAČE	39
5.2.1 Horizontální jednoosý solární sledovač (HSAT)	40
5.2.2 Vertikální jednoosý solární sledovače (HSAT).....	40
5.3 DVOUOSÉ SOLÁRNÍ SLEDOVAČE.....	41
5.3.1 Další typy solárních sledovačů.....	42

II PRAKTICKÁ ČÁST	44
6 NÁVRH NATÁČENÍ PANELU	45
6.1 FOTOVOLTAICKÝ PANEL	45
6.2 REGULÁTOR NAPĚTÍ	46
6.3 AKUMULÁTOR.....	47
6.4 ŘÍDICÍ MODUL	48
6.5 MOTOR	50
6.6 SNÍMÁNÍ POLOHY SLUNEČNÍHO SVITU	50
6.7 OTÁČENÍ FOTOVOLTAICKÉHO PANELU.....	52
6.8 PROGRAM PRO ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU.....	53
7 REALIZACE A MĚŘENÍ VÝKONU NATÁČECÍHO PANELU PRO FOTOVOLTAICKÉ PANELY	54
7.1 ZÁKLADNÍ MĚŘENÍ PARAMETRŮ.....	57
7.1.1 Měření výkonu fotovoltaického panelu	57
8 NÁVRH ZPŮSOBU VYUŽITÍ NATÁČECÍHO FOTOVOLTAICKÉHO PANELU PRO MĚŘIČ RYCHLOSTI V OBCÍCH	58
ZÁVĚR	61
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	67
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	68
SEZNAM TABULEK	70
SEZNAM PŘÍLOH	71

ÚVOD

Fotovoltaické panely se využívají celou řadu let. V posledních několika letech se hojně rozšířily mezi širokou veřejnost a jejich obliba je čím dál větší. Každým základem fotovoltaického systému jsou fotovoltaické panely. Tyto panely jsou složeny z fotovoltaických článků. Články umožňují přeměnu sluneční energie na energii elektrickou. Aby bylo možné dále s touto energií pracovat, je zapotřebí fotovoltaických měničů. Měniče jsou zařízení měnící stejnosměrný (DC) proud a napětí na střídavý (AC) nebo stejnosměrný na stejnosměrný. Tyto střídače jsou součástí jednoho celku společně s dalšími komponenty. Fotovoltaické systémy se v praxi běžně objevují jako samostatné (grid off), připojené (grid connect) a hybridní. Systémy pracují podobně, ale jejich připojení je jiné. Hybridní a samostatné systémy využívají baterie, zatímco připojený systém je spojen s distribuční sítí.

Každá země má jiné legislativní podmínky pro připojení systému do distribuční sítě. V České republice je možné připojit fotovoltaickou elektrárnu ve dvou režimech. V obou režimech je nutné dodržet určité kroky, aby byla elektrárna legálně připojena.

Fotovoltaické panely jsou označovány za obnovitelný zdroj elektrické energie. Jejich provozováním vzniká minimální množství emisí oxidu uhličitého. Avšak při výrobě fotovoltaického panelu vznikne velké množství emisí. Obzvláště při tepelném zpracování těchto panelů. Velkou výhodou je, že panely jsou z velké části recyklovatelné. Je tak možné je dále využít při dalším zpracování.

Optimalizací výkonu se docílí efektivnější výroby elektrické energie. Pro lepší optimalizaci mohou být využity solární sledovače. Solární sledovače snímají polohu Slunce a otáčejí se tam, kde je nejvíce slunečního svitu. Během otáčení panelu je možné získat větší množství

energie díky optimálnímu úhlu natočení. Komponenty musí být odolné proti všem typům počasí. Měly by také mít nízkou spotřebu. Natáčení fotovoltaického panelu by mohlo být využito pro radary v obcích.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK

Fotovoltaický článek dokáže přeměnit sluneční energii na energii elektrickou. Všechny tyto články jsou založeny na principu polovodičů a umožňují zachytit fotony vyzařované ze Slunce. Proces přeměny se nazývá fotovoltaický efekt.

1.1 Fotovoltaický efekt

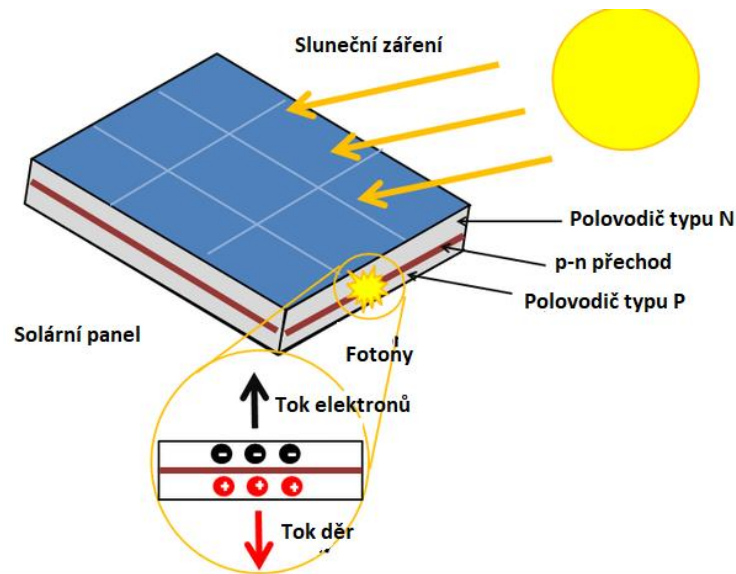
Proces, zvaný fotovoltaický efekt, dokáže generovat elektrický proud a napětí ve fotovoltaickém článku. Fotovoltaické články (Obrázek 1) se skládají ze dvou různých typů polovodičů (polovodič typu P a polovodič typu N). Tyto dva polovodiče jsou spojeny a vzniká PN přechod. Díky spojení vodičů v oblasti přechodu vzniká elektrické pole. Elektrony se tak pohybují na kladnou stranu P a díry přechází na zápornou stranu N. Pole pak způsobuje, že záporně nabitě částice se pohybují v jednom směru a kladné částice se pohybují v opačném směru.

Záření Slunce je elektromagnetické vlnění zahrnující všechny vlnové délky řádově od nanometrů (ultrafialové a rentgenové záření) až do několika metrů (to může být rádiové záření). Světlo se skládá z fotonů. Jedná se o malé svazky elektromagnetického záření. Pokud viditelné světlo konkrétní vlnové délky (390 nm - 760 nm) dopadá na fotovoltaické buňky, tak se energie z fotonů přenesou na polovodičový materiál. To má za následek přechod do vyššího energetického stavu (vodivostní pás). V excitačním stavu ve vodivém pásu se elektrony mohou volně pohybovat materiálem. Následkem pohybu elektronů vzniká elektrický proud. [1,2]

Materiál fotovoltaických článků se skládá z mnoha vrstev. Každá z vrstev má svůj specifický účel. Nejdůležitější je speciálně upravená polovodičová vrstva, skládající se ze dvou odlišných materiálů.

Obecně se nejvíce využívají tři základní typy fotovoltaických článků vyrobených z křemíků:

- **Monokrystalický křemík** – Nejúčinnější typ fotovoltaického panelu.
- **Polykrystalický křemík** – Druhý nejúčinnější typ fotovoltaického panelu.
- **Silikonový tenký film** – Nejméně účinný ze všech fotovoltaických panelů. [2]



Obrázek 1 Fotovoltaický efekt [2]

1.2 Generace fotovoltaických článků

Historie fotovoltaických článků je rozdělena do čtyř generací. Počátky sahají až do poloviny dvacátého století, kdy byly vytvořeny články v podobě, jaké je možné znát dnes. Tyto články byly vytvořeny v Bells Laboratory, Murray Hill, New Jersey, U.S.

- **První generace** – Fotovoltaické články jsou na bázi monokrystalického a polykrystalického křemíku a arsenidu galia.
- **Druhá generace** – Jedná se o pokračování ve vývoji první generace. Vývoj tenkovrstvých fotovoltaických článků z monokrystalického křemíku, amorfního křemíku, selenidu mědi a india galia (CIGS) a článků teluridu kademnatého/sulfidu kademnatého (CdTe/CdS).
- **Třetí generace** – Založeny na novějších chemických sloučeninách. Využívají nanokrystalické filmy, kvantové tečky, články citlivé na barviva a články na bázi polymerů.
- **Čtvrtá generace** – Kombinace nízké ceny a flexibility polymerních tenkých filmů se stabilitou organických nanostruktur. Tato generace je označována jako nanofotovoltaika. [3]

1.3 Typy nejpoužívanějších fotovoltaických panelů

Fotovoltaickým panelům stačí k výrobě elektrické energie pouze denní světlo. Mohou tak vyrábět elektrickou energii při jakémkoliv počasí. Avšak při zhoršeném počasí účinnost fotovoltaický článků výrazně klesá.

Čím vyšší účinnost přeměny energie fotovoltaických článků je, tím více elektrické energie generuje fotovoltaický panel. Standardní křemíkové články mohou mít účinnost až 25 %. U dražších typů článků může být účinnost zvýšena až na 40 %. V tomto případě je potřeba využít soustavu koncentračních zrcadel a čoček. Čočky a zrcadla koncentrují intenzitu slunečního záření dopadajícího na povrch článků.

Přebytečná sluneční energie, která není přeměněna na elektrickou energii, je přeměněna na teplo. To má za následek ohřívání článků a následné snížení jejich účinnosti. V případě zimního období se články dokážou velice dobře ochlazovat, naopak v letních dnech je potřeba články ochlazovat, aby měli vyšší účinnost. [4]

Tabulka 1 zobrazuje porovnání účinnosti různých materiálů fotovoltaických článků. Jsou zde zobrazeny nejvíce používané články (monokrystalický a polykrystalický článek) a také články, které jsou méně časté. Maximální laboratorní účinnost zobrazuje účinnost materiálu v optimálních laboratorních podmínkách. Maximální provozní účinnost sériového článku zobrazuje maximální účinnost článku v optimálních venkovních podmínkách. Typická účinnost modulárních článků zobrazuje účinnost během celého dne, kdy Slunce běžně svítí na fotovoltaický panel.

Tabulka 1 Účinnost různých typů materiálů fotovoltaických článků [5]

Materiál článku	Maximální laboratorní účinnost	Maximální provozní účinnost sériového článku	Typická modulární účinnost článku
Monokrystalický křemík	24,7 %	21,5 %	15 %
Polykrystalický křemík	18,5 %	15 %	14 %
Amorfní křemík	12,7 %	8 %	6 %
CIS /n CIGS	19,5 %	11 %	10 %
CdTe	16,5 %	10 %	7 %
Koncentrátorové články	40,7 %	35 %	28 %

1.3.1 Monokrystalické fotovoltaické panely

Monokrystalické fotovoltaické panely jsou vyrobeny z jednoho kusu křemíku. Usnadňuje to průchod elektrické energie skrze panel. Struktura těchto panelů je ve tvaru pyramidových buněk. Dokážou tak pohltit větší množství sluneční energie.

Výhody monokrystalických solárních panelů:

- Nejvyšší účinnost ze všech typů solárních panelů.
- Vyžadují méně místa díky vysoké účinnosti oproti ostatním.
- Vyšší účinnost při nízké úrovni slunečního záření (vhodné pro oblasti s proměnlivým počasím).

Nevýhody monokrystalických solárních panelů:

- Cena je vyšší než u jiných typu panelů.
- Účinnost panelů má za následek vyšší teplotu (vyšší teplota způsobuje jejich nižší účinnost).
- Při výrobě vzniká velké množství odpadního materiálu. [7]

Na Obrázku 2 je možné vidět strukturu monokrystalického solárního článku.



Obrázek 2 Monokrystalický článek [6]

Tyto panely jsou nejlepší pro oblasti, které jsou limitovány velikostí místa. Produkují více elektrické energie na menší plochu. Dokážou tak vyrábět více energie i v oblastech s nižším slunečním zářením. Panely se dají využít pro extrémnější podnebí, protože mají lepší tepelnou odolnost než jiné běžně dostupné fotovoltaické panely. [7]

1.3.2 Polykrystalické fotovoltaické panely

Polykrystalické panely jsou vyrobeny z více fotovoltaických článků. Umí přeměnit sluneční záření na elektrickou energii jako jiné podobné panely. Rozdíl je při zpracování. Využívají jinou výrobní metodu. Polykrystalické fotovoltaické panely mají také řadu výhod a nevýhod.

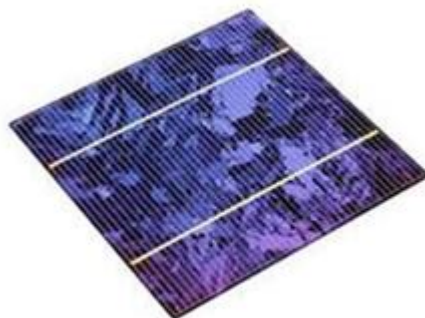
Výhody polykrystalických solárních panelů:

- Nižší náklady oproti jiným druhům (levnější výroba, nižší koncová cena).
- Šetrnější k životnímu prostředí (výroba z recyklovaných materiálů, vzniká méně toxických chemikálií při výrobě).
- Polykrystalické solární panely mají vyšší teplotní koeficient než monokrystalické panely.
- Přijatelná maximální teplota polykrystalických solárních panelů je 85 °C a minimální přijatelná teplota je -40 °C. [8]

Nevýhody polykrystalických solárních panelů:

- Nižší účinnost oproti monokrystalickým panelům.
- Vyžadují více místa (panely jsou méně účinné).

- Křehkost (náchylnost k rozbití a k degradaci materiálu).
- Kratší životnost.
- Náchylnost na teplo (vyšší teplota prostředí výrazně snižuje účinnost panelů). [7]



Obrázek 3 Polykrystalický fotovoltaický článek [6]

1.3.3 Tenkovrstvé fotovoltaické panely

Solární panel tohoto typu je velmi tenký. Každá vrstva má velikost pouze 1 mikron. To znamená, že je 350krát menší, než jiné typy panelů (monokrystalický, polykrystalický).

Účinnost tenkovrstvých solárních článků závisí na použité technologii.

Výhody tenkovrstvých fotovoltaických panelů:

- Rychlá finanční návratnost.
- Nejlevnější.
- Hmotnost a flexibilita.
- Lepší teplotní koeficient.
- Odolné proti vlhkosti a teplotě.

Nevýhody tenkovrstvých fotovoltaických panelů:

- Životnost solárních článků je mezi 10 až 20 lety (nejméně ze všech tří druhů).
- Menší účinnost oproti jiným typům panelů.
- Některé typy jsou toxické pro zdraví a životní prostředí. [9]



Obrázek 4 Tenkovrstvý solární panel [10]

Jednou ze zajímavostí tenkovrstvých solárních článků je, že mohou být vyrobeny z různých materiálů. Existují tři typy:

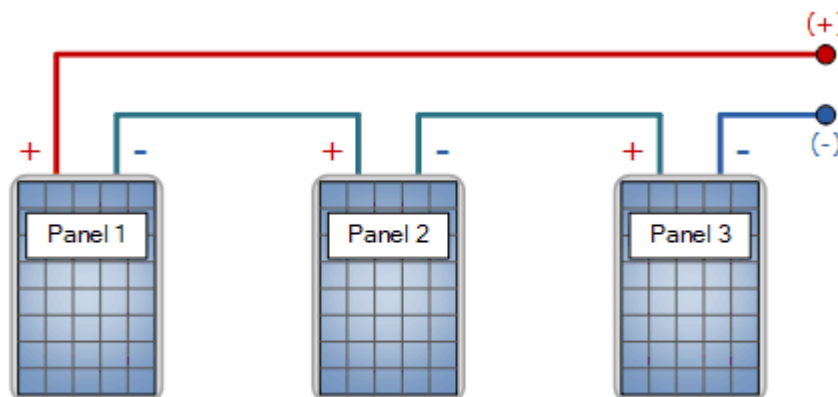
- **Tenkovrstvý amorfní křemík** – Tento panel je vyrobený z amorfního křemíku. Výroba je mnohem jednodušší než u monokrystalického nebo polykrystalického křemíku.
- **Tenký film telurid kadmia** – Druhý nejpoužívanější typ fotovoltaického článku. Tento typ je vyroben ze sloučeniny Cadmium Telluride. Je známý tím, že velmi dobře dokáže zachytit sluneční světlo, avšak jeho nevýhodou je toxicita použitých prvků.
- **Copper Indium Gallium Selenid (CIGS)** – Obsahuje několik vrstev mědi, india, galia a selenidu umístěných na sebe, aby se vytvořil výkonný polovodič. Dokáže účinně přeměnit sluneční záření na elektrickou energii. [9]

2 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY

Fotovoltaický panel nemůže správně fungovat bez dalších součástí. Pro správnou funkci panelů potřebují tyto systémy sériové nebo paralelní připojení v závislosti na typu fotovoltaického systému. Dále je potřeba spojit tyto systémy s dalšími komponenty. Jedná se především o fotovoltaický měnič. Měnič dokáže efektivně přeměnit energii ze solárních panelů pro následné využití.

2.1 Sériové zapojení fotovoltaických panelů

Fotovoltaické solární panely produkují výstupní napětí. Vystavení panelů slunečnímu záření se zvýší výstupní napětí panelu zapojeného do série. Následující Obrázek 5 zobrazuje, jakým způsobem se zapojují fotovoltaické panely do série.



Obrázek 5 Sériové zapojení fotovoltaických panelů [11]

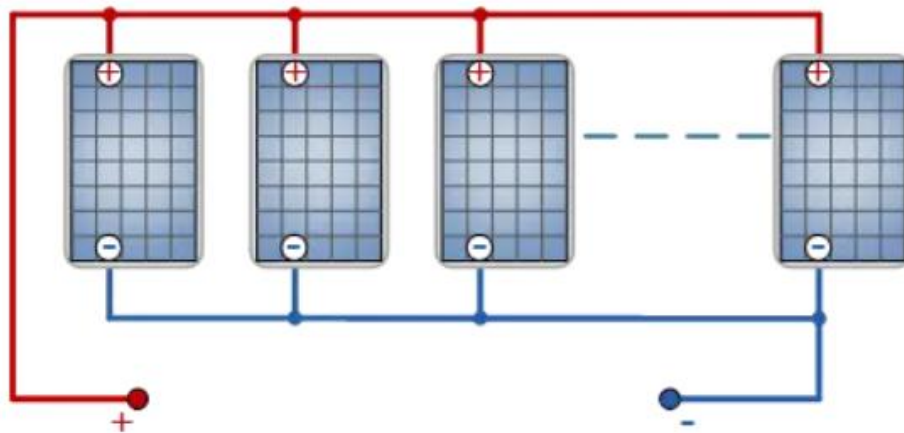
Záporná svorka prvního panelu je připojena ke kladné svorce druhého panelu, záporná svorka druhého panelu je opět připojena ke kladné svorce třetího panelu. Je možné připojovat více panelů, dokud nebudou všechny spojeny dohromady.

Všechny fotovoltaické panely musí být stejného typu a jmenovitého výkonu. Celkový výstup je součtem výstupního napětí každého panelu. Proud sériového zapojení se rovná proudu panelu. [11]

2.2 Paralelní zapojení fotovoltaických panelů

Fotovoltaické panely zapojené paralelně (Obrázek 6) mají napětí shodné. Napětí je shodné na každém stejném panelu, ale proudy se sčítají. Využívají se, pokud je potřeba zvýšit protékající proud. Použití tohoto typu je vhodné pro lokální spotřebu elektrické

energie (ostrovní systémy). Tento obvod je často využíván tam, kde je potřeba dodržet napětí 12 nebo 24 V DC. [12]



Obrázek 6 Paralelní zapojení fotovoltaických panelů [12]

2.3 Fotovoltaické měniče a regulátory napětí

Fotovoltaické měniče a regulátory jsou jednou z nejdůležitějších součástí solárního systému. Právě tyto měniče a regulátory přeměňují stejnosměrnou složku elektrického proudu z fotovoltaických panelů na střídavou složku pro následné využití energie v domě.

Solární měnič funguje na principu odebrání proměnného stejnosměrného proudu nazývaného DC výstup ze solárních panelů. Převádí ho poté na střídavý proud (zpravidla 120 V/240 V nebo 24/48 V), neboli AC výstup, nebo opět na DC výstup. V evropských podmínkách je potřeba, aby každý měnič pracoval na frekvenci 50 Hz. Na této frekvenci pracuje energetická elektrická síť.[13]

Účinnost současných měničů se pohybuje od 90 do 98 %. Tento údaj není úplně vypovídající. Vysoká účinnost nezaručuje vysoké energetické zisky. Maximální účinnost měničů je dána za optimálních podmínek (teplota do 25 °C, úhel natočení, čistý panel). [14]

2.3.1 Mikroinvertory

Mikroinvertory jsou malé zabudované jednotky a jsou vloženy do každého jednotlivého fotovoltaického panelu. Každý panel pracuje efektivně při špičkovém výkonu (watt-peak). Díky tomuto invertoru je panel nezávislý na ostatních panelech. Jakékoliv zastínění, které vede k poklesu výkonu, se projeví pouze u konkrétního fotovoltaického panelu.

Jednou z výhod mikroinverterů je možnost sledovat výkon každého samostatného panelu. V případě potíží je snazší detekovat vzniklý problém.

Měnič může mít vyšší cenu než klasický stringový měnič, ovšem jeho účinnost je daleko vyšší, protože pracuje v těsné blízkosti fotovoltaického panelu. Vedením kabeláže tak nevznikají skoro žádné ztráty. Na Obrázku 7 je možné vidět mikroinverter Grid free s možností připojení do elektrické sítě domu. Výkon tohoto invertoru je 700 W. [15]



Obrázek 7 Mikroinverter 700 W [16]

2.3.2 Stringový měnič

Pro své fungování potřebuje celé pole fotovoltaických panelů. Běžné pole se může skládat například z 15 solárních panelů. Vše záleží na velikosti systémů a měniče. Každý z těchto panelů může mít maximální výkon 300Wp. Panely jsou zapojeny do série nebo kombinovaně se stringovým měničem. Měnič přijímá všechen stejnosměrný proud z každého panelu a následně jej mění na střídavý.

Počet solárních panelů, které je možné připojit k stringovému střídači, závisí na jmenovitém vstupním napětí střídače. [17]

Výhody stringových měničů:

- Snadná údržba a odstraňování problémů.
- Důvěryhodnost technologie.

- Nižší náklady na pořízení.

Nevýhody stringových měničů:

- Jediný bod selhání – Vznik poruchy zaručí nefunkčnost celého systému.
- Rozšiřitelnost – Instalují se vždy na požadovaný výkon. Jsou limitovány jmenovitým výkonem měniče. [17]

Na Obrázku 6 je zobrazen stringový měnič. Měniče mohou mít různé výkony. Může to být od 500 W do 50 kW. Rozdělují se na jednofázové a třífázové.

- **Jednofázová verze měniče** – Připojení do třífázové domovní elektrické sítě využívá pouze jednu fázi. Nevýhodou jednofázového měniče je, že při vysokém výkonu fotovoltaických panelů připojených do obvodu může být fáze přetížena. To je zapříčiněno nedostatečným odběrem elektrické energie. V případě přetížení odpojí měnič jistící prvky fotovoltaického systému.
- **Třífázová verze měniče** – Rozděluje výkon fotovoltaické elektrárny do třífázového vedení. [18]

Třífázová verze střídače (Obrázek 8) může být symetrická a asymetrická. Symetrická verze střídače rozděluje výkon fotovoltaické elektrárny rovnoměrně do všech tří fází bez ohledu na aktuální spotřebu elektrické energie. V případě asymetrické verze střídače je výkon dávkován nerovnoměrně. Vyhodnocuje každou fázi zvlášť a následně do ní dodává optimální množství výkonu. Dodává výkon tam, kde je ho nejvíce potřeba a maximalizuje výkon fotovoltaické elektrárny na maximum.



Obrázek 8 Stringový měnič [19]

2.3.3 PWM fotovoltaický regulátor

Regulátor nabíjení s pulzní šířkovou modulací (PWM) je zařízení používané v solárních systémech k ochraně baterie.

Principem PWM regulátoru je omezení proudu dodávaného solárními panely do baterie. Omezení má velkou výhodu i v noci, kdy napětí baterie je větší, než napětí ve fotovoltaických panelech. Zabraňuje fotovoltaickým panelům vybíjet baterie.

Když se baterie nabíjí a přibližuje se ke 100 % své kapacity, PWM regulátor začne omezovat množství energie dodávané do baterie. Tím je zajištěno, že baterie bude udržována v plné kapacitě a zároveň se nemůže poškodit. [52]



Obrázek 9 PWM solární regulátor [24]

PWM regulátor funguje na principu přepínání úrovní frekvence. Tato frekvenční modulace se provádí za účelem modifikovaného výstupu. Frekvence spínání sinusového průběhu je 50 Hz. To znamená, že regulátor PWN zaznamenává 50 vzestupů a poklesů během každé sekundy. Hlídá, aby se frekvence pohybovala na 36 nebo 40 Hz v závislosti na požadavcích.

Regulátor obsahuje specifické obvody (indukční tlumivka). Slouží především k modulování tvaru vlny. Využívají se hlavní tři typy regulátorů PWM (jedno pulzní, vícenásobné a sinusové PWM). Tyto regulátory však mají velké nedostatky. V dnešní době se moc nevyužívají. [20]

Výhody PWM regulátorů:

- Schopnost obnovit ztracenou kapacitu baterie.
- Zvýšit nabití baterie.
- Umí udržet vysokou kapacitu baterie.
- Automatická schopnost přizpůsobit se stárnutí baterie. [22]
- Samoregulace pro pokles napětí a teploty.

Nevýhody PWM regulátorů:

- Nejvyšší účinnost PWM regulátorů se pohybuje okolo 68–70 %.
- Maximální proud v regulátorech může být 60 A.
- Možnost využití pouze v malých solárních systémech.

- Regulátory není možné využít s větším množstvím solárních panelů. [23]

2.3.4 MPPT fotovoltaické regulátory

Maximum Power Point Tracking (MPPT) je algoritmus obsažený v regulátorech nabíjení. Používá se pro docílení maximálního dostupného výkonu z fotovoltaických panelů za optimálních podmínek. Napětí, při kterém může fotovoltaický panel produkovat maximální výkon, se nazývá bod maximálního výkonu. Tento maximální výkon se mění v závislosti na intenzitě slunečního záření, okolní teplotě a teplotě solárního článku.

MPPT regulátor kontroluje výstup fotovoltaického panelu, následně ho porovná s napětím baterie, a poté určí, jaký je nejlepší výkon pro nabíjení baterie. Následně baterii nabíjí tak, aby dostala maximální proud. Výhodou je, že MPPT regulátor může napájet baterii přímo.

MPPT lze využít na tyto DC/DC měniče:

- **Boost konvertor** – Konvertor výkonu se stejnosměrným vstupním napětím menším než stejnosměrné výstupní napětí. Znamená to, že vstupní napětí z fotovoltaického panelu je nižší než napětí baterie v systému.
- **Buck konvertor** – Konvertor výkonu se stejnosměrným vstupním napětím větším než je stejnosměrné výstupní napětí. Jednoduše řečeno, vstupní napětí fotovoltaického panelu je vyšší než napětí baterie v systému.

Pokud je napětí baterie v systému rovno nebo menší než 48 V, je ideální využít Buck konvertor.

Pokud je napětí systému baterie vyšší než 48 V, pak je ideální zvolit boost konvertor.[24]



Obrázek 10 MPPT fotovoltaický regulátor [25]

2.4 Typy fotovoltaických systémů

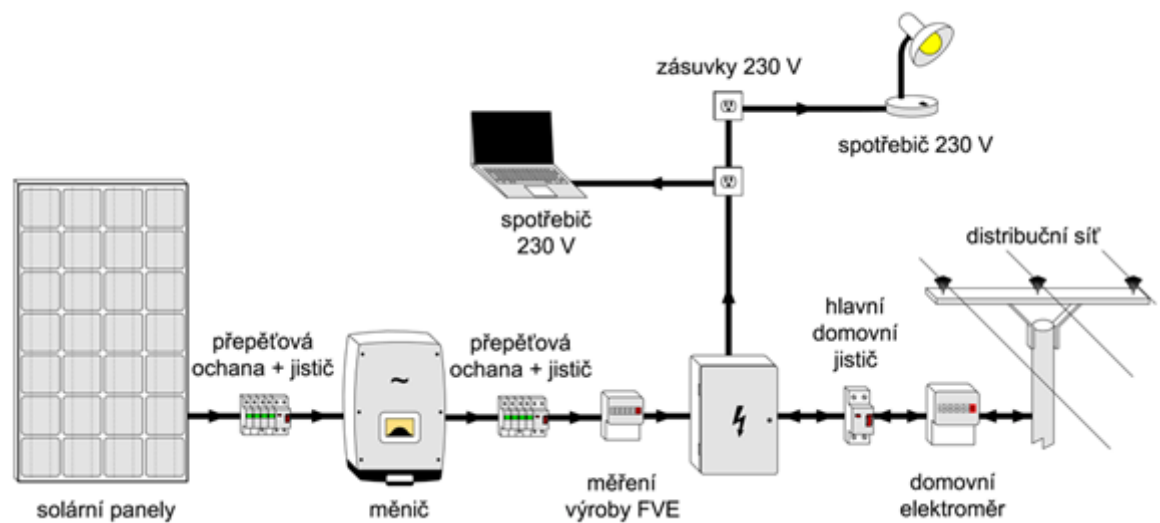
Fotovoltaické systémy dávají uživateli co nejefektivněji využívat vyrobenou elektrickou energii. Existují tři hlavní typy systémů. Každý systém má stejný střídač, ale další komponenty jsou rozdílné. To má za následek jiné fungování systému. Na trhu se objevují tři hlavní typy:

- Síťové fotovoltaické systémy.
- Samostatné fotovoltaické systémy.
- Hybridní systémy.

2.4.1 Síťové fotovoltaické systémy

Síťový (grid connect) fotovoltaický systém (Obrázek 9) je nejvíce instalovaný systém ze všech. Tento systém je připojený k veřejné rozvodné síti prostřednictvím střídačů elektrické energie. Umožňuje, aby fotovoltaické systémy pracovaly paralelně s energetickou elektrickou sítí. V případě přebytků elektrické energie (vyrobené fotovoltaickou elektrárnou) se tyto přebytky posílají do distribuční sítě.

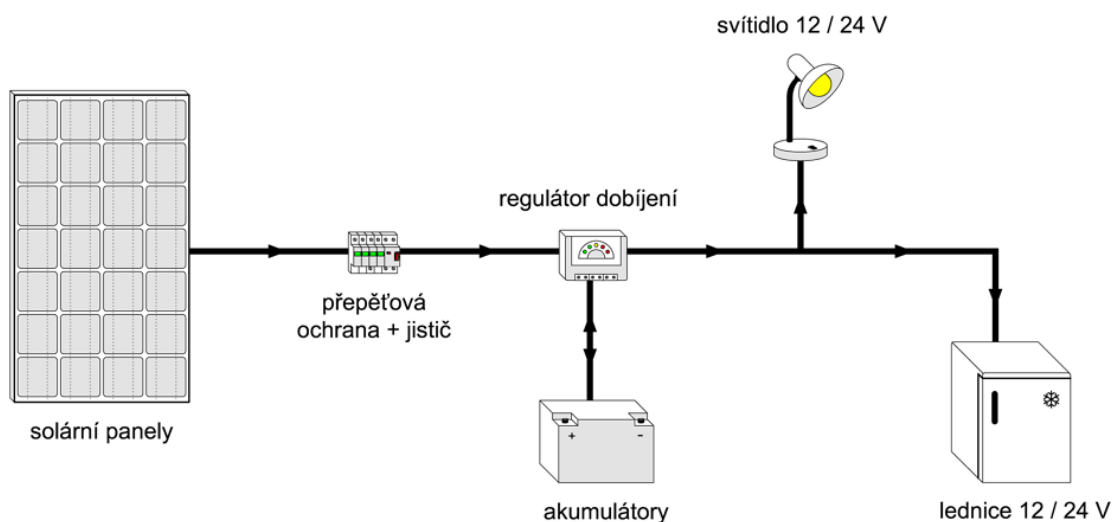
Systém má jednu velkou nevýhodu. Pokud vypadne elektrický proud v objektu, systém nebude fungovat. Neobsahuje žádný záložní zdroj elektrické energie. Je napájený z domovní sítě. V případě výpadku není možné dodávat energii a ani systém nijak ovládat. [26]



Obrázek 11 Síťová fotovoltaická elektrárna [27]

2.4.2 Samostatné fotovoltaické systémy

Samostatný fotovoltaický systém (také nazývaný off-grid solární systém) není připojen k distribuční síti. Tento systém vyžaduje bateriové uložení. Grind off fotovoltaické systémy jsou užitečné pro venkovské oblasti, které jsou bez možnosti připojení k distribuční síti. Systémy nespolehají na akumulaci elektrické energie, jsou vhodné pro napájení aplikací, jako jsou vodní čerpadla, ventilační ventilátory a solární tepelné systémy. Zřízení a údržba takového uspořádání však může být nákladné. [28]

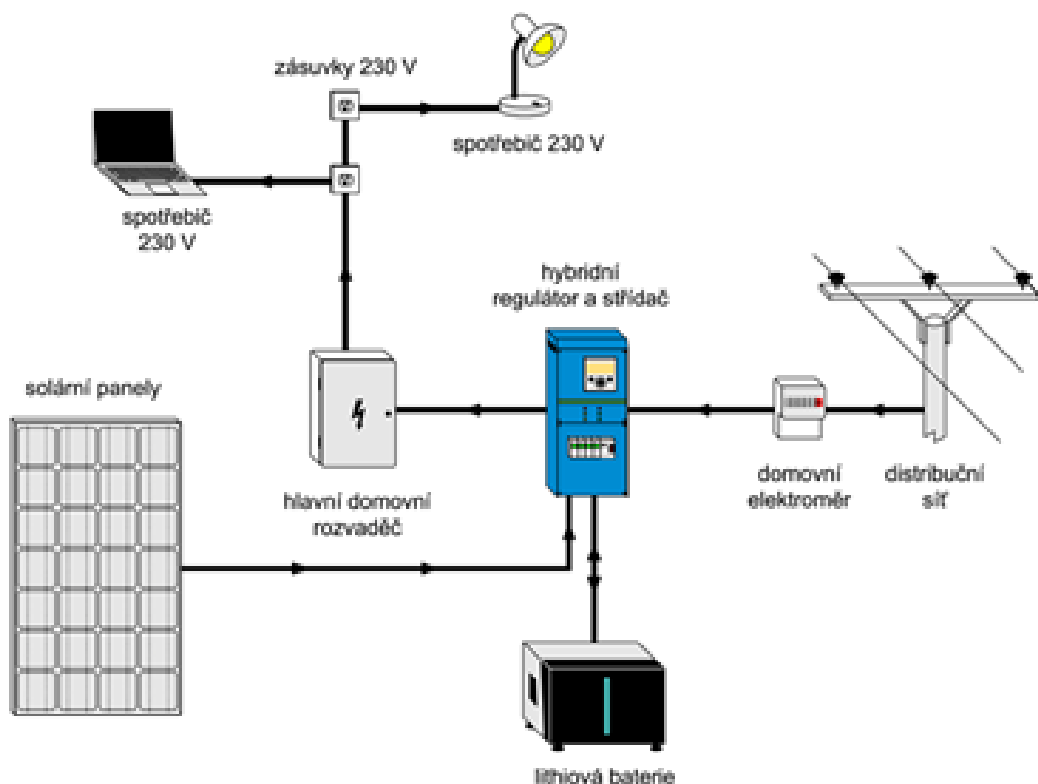


Obrázek 11 Off grind fotovoltaický systém [29]

2.4.3 Hybridní fotovoltaický systém

Hybridní fotovoltaický systém je kombinován s více zdroji energie pro zvýšení dostupnosti, efektivnosti a využití energie. Tento systém může využívat energii ze zdrojů jako je vítr, Slunce nebo uhlovodíků. Hybridní systémy jsou kombinovány se zálohovou baterií, aby se maximálně zvýšila účinnost systému. Použití hybridního systému má různé výhody. Systém s více zdroji není závislý na žádném konkrétním zdroji energie. Pokud není slunečné počasí, které nepřeje generování dostatečného množství solární energie, může fotovoltaické pole dobíjet baterie, ze kterých je možné později čerpat elektrickou energii. Hybridní fotovoltaické systémy jsou nejvhodnější pro izolovaná místa s omezeným připojením k distribuční síti. Navzdory výhodám tohoto systému existuje několik problémů spojených s hybridním systémem. [30]

Na Obrázku 12 je možné vidět kompletní schéma fotovoltaického hybridního systému včetně propojení do distribuční sítě.



Obrázek 12 Příklad hybridního fotovoltaického systému [31]

2.4.4 Akumulátory

Baterie jsou nedílnou součástí fotovoltaických systémů. Využívají se pro systémy s bateriovým uložištěm nebo kombinací bateriového uložiště a distribuční sítě. V případě výpadku nahradí distribuční síť. Běžně se využívá celá řada akumulátorů. Každá baterie má své výhody a nevýhody.

- **Lithium-iontové akumulátory** – Účinné a kompaktní oproti jiným typům baterií. Je do nich možné uložit více energie a nevyžadují žádnou pravidelnou údržbu. Tato baterie může být náchylná ke vznícení.
- **Olověné akumulátory** – Nejstarší typ baterie, nejlevnější a nejspolehlivější. První typ baterie je baterie zaplavená (je schopna poskytnout silné rázy energie). Tato baterie má v sobě destilovanou vodu a je velmi citlivá na změny teploty. Druhý typ je baterie uzavřená. Je to nejbezpečnější typ bez údržby. Dá se snadno regulovat ventilem. [32]
- **Nikl-kadmiové akumulátory** – Baterie obsahují kovy. Jsou velmi toxické pro životní prostředí. Výhodou je, že baterie se dají z 95 % recyklovat.
- **Průtokové akumulátory** – Využívají se především pro velkoobjemová uložiště. Pro svou funkci využívají roztok bromidu zinku (funguje jako elektrolyt). [33]

3 LEGISLATIVA

Hlavním účelem legislativy je definovat přesné podmínky pro připojení do distribuční sítě. Připojení do distribuční sítě je možné ve dvou režimech. Ty jsou jednotlivě popsány níže, včetně kroků, které je potřeba učinit, pokud osoba nebo firma chce provozovat fotovoltaickou elektrárnu.

3.1 Podmínky pro připojení do distribuční sítě

Připojení do distribuční sítě je jeden z kroků, který se při zřízení fotovoltaické elektrárny musí uskutečnit. Připojení do sítě se zřizuje tehdy, kdy fotovoltaický systém není v ostrovním režimu. Důsledkem toho se musí nespotřebovaná energie odvést do distribuční sítě.

Domácí fotovoltaické systémy je možné připojit do distribuční sítě ve dvou režimech:

- **Standardní režim** – V tomto režimu je možno dodávat nebo prodávat přebytečnou vyrobenou elektrickou energii do distribuční sítě. V praxi se tento režim využívá nejvíce.
- **Zjednodušený režim** – Tento způsob je jednodušší než standardní režim, ale nastává zde problém s technickými požadavky a zvýšenou administrativou. Pro tento režim se musí zajistit, aby žádné přetoky elektrické energie neodcházely do distribuční sítě. Tento způsob je možné ošetřit správným nastavením fotovoltaických měničů. Nevýhodou zjednodušeného režimu je, že se nesní dodávat přebytečná elektrická energie do distribuční sítě. Platí to pro firmy i soukromé osoby. Proto se tento režim využívá primárně pro dočasné připojení (může to být způsobeno nedostatečnou kapacitou distribuční sítě). Distributorovi nějakou dobu trvá, než navýší kapacitu sítě). [34]

3.1.1 Jednotlivé kroky pro připojení do distribuční sítě

Určité kroky pro připojení do distribuční sítě je potřeba začít řešit před vlastní instalací fotovoltaické elektrárny. Při připojení je potřeba učinit tyto kroky:

- **Žádost o připojení** – Vyplní se žádost o připojení buď online nebo se poštou zašle vyplněný formulář. Následně musí žádost posoudit distributor (ze zákona má distributor na vyřízení 30 dnů). Distributor po vyhodnocení pošle poštou návrh Smlouvy o připojení (smlouva obsahuje informace o termínu připojení, podmínky

přípravy odběrného místa a pokud bude potřeba, tak i výši podílu na oprávněných nákladech a způsobu jejich zaplacení).

- **Uzavření smlouvy o připojení** – Návrh smlouvy se podepíše a výtisky se pošlou zpět k distributorovi (nejpozději do 30 dnů od obdržení návrhu). Poté se zaplatí podíl na oprávněných nákladech, a to do 15 dnů od uzavření smlouvy.
- **Příprava distribuční sítě** – Distributor musí zpracovat projekt technického řešení. Dále je potřeba vyřešit majetkoprávní vztahy, územní nebo stavební řízení. Následně se připraví připojení k distribuční síti.
- **Žádost o první paralelní připojení.**
- **Výměna elektroměru** – Distributor zajistí výměnu elektroměru. [34]

3.1.2 Připojení do distribuční sítě pro mikrozdroje

Mikrozdroje jsou zdroje elektrické energie a všechna související zařízení vyrábějící elektrickou energii. Jsou určeny pro paralelní provoz s distribuční soustavou nízkého napětí se jmenovitým střídavým fázovým proudem do velikosti 16 ampér (A) na jednu fázi, včetně maximálního nainstalovaného výkonu do 10 kW. Pro mikrozdroje je možné použít zjednodušený proces připojení.

Je potřeba splnit základní podmínky:

- Požadovaná hodnota impedance v místě připojení dané vyhláškou o připojení č.16/2016 Sb. ($0,47 \Omega$ pro zdroje do 16 A a $0,75 \Omega$ pro zdroje do 10 A).
- Zpracovat technické řešení mikrozdroje. To má účelně zamezit dodávce elektrické energie do distribuční soustavy v místě připojení, s výjimkou krátkodobých přetoků elektřiny do distribuční sítě. Nesmí však zvýšit hodnotu napětí v místě připojení.

To znamená, že je potřeba při podání žádosti doložit následující:

- **Údaje a kontakt na osobu zřizující odběrné místo.**
- **Technická zpráva** – Parametry mikrozdroje obsahující popis zařízení, druh mikrozdroje, typ a počet jednotkových výkonů fotovoltaických panelů v kW, typ, počet a štítkové parametry generátoru u fotovoltaických střídačů, jejich činný výkon, zdánlivý výkon, účinník, počet fází, výrobce.
- **Výkresová dokumentace** – Schéma připojení mikrozdroje.

- **Jednopolové schéma.**
- **Zpráva o výchozí revizi odběrného místa** – V revizní zprávě jsou uvedeny hodnoty impedanční smyčky (jedná se o naměřené hodnoty impedance poruchové smyčky v hlavní domovní kabelové a pojistkové skříni).
- **Souhlas vlastníka nemovitosti.** [35]

4 EKOLOGIE

Na ekologii je potřeba dbát i při výrobě a životnosti fotovoltaických panelů. Je známo, že fotovoltaická pole zvyšují teplotu okolí. To vede k zahřívání okolního prostředí. Recyklováním fotovoltaických panelů se sníží množství vyprodukovaného odpadu. Materiál, použitý na výrobu panelů, je možno dále recyklovat a využít v dalším procesu zpracování.

4.1 Ochrana životního prostředí

Fotovoltaické systémy jsou společnostmi považovány za čisté a udržitelné zdroje elektrické energie. Provoz těchto systémů během své životnosti vykazuje minimální znečištění životního prostředí a změnu klimatu. Fotovoltaické systémy mají za provozu nulové emise oxidu uhličitého, metanu, oxidů síry a oxidů dusíku. Pro řádné hodnocení je potřeba brát v úvahu všechny emise vzniklé při výrobě a likvidaci fotovoltaických panelů. [37]

4.1.1 Emise z fotovoltaických panelů

Největší podíl na emisích má samotná výroba fotovoltaických panelů. Tyto emise vznikají primárně z výroby oceli a hliníku (stavba podpěr a rámu), výroba skla a tavení křemíku pro solární panely. Tyto emise úzce souvisí s palivovými emisemi. Při výrobě panelů se využívají jiná paliva produkující emise. Během výroby fotovoltaického panelu vzniká 2186 Kg Co₂ na jeden kWp. Je to přibližně 93,7 % celkových emisí skleníkových plynů vzniklých během výroby panelu. Další emise vznikají během provozu (3,5 %), přepravy (0,9 %) a likvidace (1,9 %).

Další emise vzniklé při výrobě jsou z oxidu síry (SO_x), oxidu dusíku (NO_x) a oxidu uhličitého (CO₂). Tyto plyny vznikají při spalování paliv při výrobě fotovoltaických panelů.

Při výrobě silikonových, tenkovrstvých a nano fotovoltaických panelů se uvolňují do prostředí těžké kovy. Tyto těžké kovy mají vliv na životní prostředí. Jedná se zejména o nikl, rtuť, arsen, kadmium a chrom. [37]

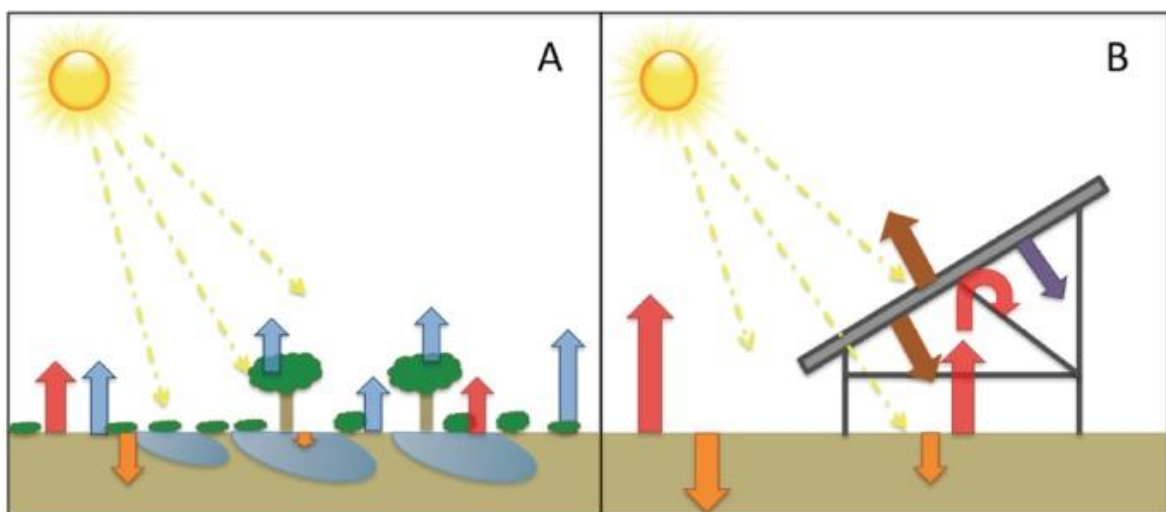
4.1.2 Vliv fotovoltaických panelů na teplotu ovzduší

Podobně jako ve městech, kde vznikají tepelné ostrovy díky zastavěným částem, tak i v přírodě a okolí vznikají tepelné ostrovy v rámci instalovaných fotovoltaických elektráren. Fotovoltaické elektrárny mění způsob přirozeného přicházejícího vyzařování sluneční energie, která se odráží se zpět do atmosféry. Při zástavbě fotovoltaickou elektrárnou je

pravděpodobné, že noční teploty v okolí elektrárny jsou vyšší až o 3–4 °C, než v běžném prostředí, kde je povrch opatřen loukami, lesy, apod.

Tmavý povrch fotovoltaických panelů dokáže absorbovat více slunečního záření. Tento povrch vyzařuje dlouhovlnného záření citelného tepla. Zbylých 20 % absorbované energie je využito na výrobu elektrické energie. Panely také umožňují částečný průchod světelné energie. To vede opět k větší absorpci tepla.

Na Obrázku 13 je možné vidět dopadající sluneční záření na zemi. Ve variantě A je zobrazen běžný ekosystém vegetace zachycující ukládání tepla v půdě (oranžové šipky). Voda a vegetace uvolňují teplo. Tím odvádí přebytečné teplo na vodní páry do atmosféry (modré šipky). Varianta B ukazuje plochu zastavěnou fotovoltaickou elektrárnou. Zde je běžný vegetativní ekosystém narušen. Dochází tak ke snížení ochlazování. Je zde zobrazeno zpětné vyzařování energie z panelů (hnědá šipka) a energie přeměněná na elektřinu (fialová šipka). [38]



Obrázek 13 Polední výměna energie [38]

Snížení teploty teplotních ostrovů je možné prostřednictvím cílené obnovy vegetace. Ta zahrnuje vysázení a obnovení vegetace. Vysázením vegetace se snižuje teplota okolního prostředí a zmírní se dopady teplotních ostrovů.

4.1.3 Recyklace fotovoltaických panelů

V současné době jsou vyráběny fotovoltaické panely převážně z krystalického křemíku. Tvoří přibližně 95 % celkového objemu vyrobených panelů. Aby bylo možné recyklovat fotovoltaické panely, je zapotřebí udělat několik složitých kroků za pomoci strojních

zařízení. Tyto kroky a procesy zahrnují několik kol mechanické a chemické separace. Při recyklaci se provádí následující kroky:

- **Počáteční demontáž** – Odstranění spojovacího rámu a krabice k získání mědi a hliníku. Tyto materiály jsou 100 % recyklovatelné.
- **Regenerace skla** – Panel se zbavuje skla. Dochází k regeneraci skleněných tabulí. Toto sklo je recyklovatelné z 95 %.
- **Tepelná separace** – Zbývající materiály jsou zpracovány při 500 °C. Při tomto procesu se uvolňují mezibuněčné struktury. Plasty a nežádoucí věci odpadnou a zůstávají křemíkové články k dalšímu zpracování. Teplo z tepelné separace se využívá pro vytápění prostor.
- **Separace článků** – Vzájemně propojené fotovoltaické články se mechanicky oddělují. 80 % z těchto článků je možné opakovaně využít. Zbýlých 20 % se musí zkombinovat s novým materiálem, aby bylo možné je dále využít.
- **Zachycování křemíku** – Velké kusy křemíku jsou roztaveny pro další použití. Pokud je křemík rozdrčen, odleptává se pomocí kyseliny. Recyklace tohoto materiálu je přibližně 85 %. [36]

Na světě existuje celá řada firem zabývajících se recyklací fotovoltaických panelů. Zde je výčet několika firem sídlících v Evropě.

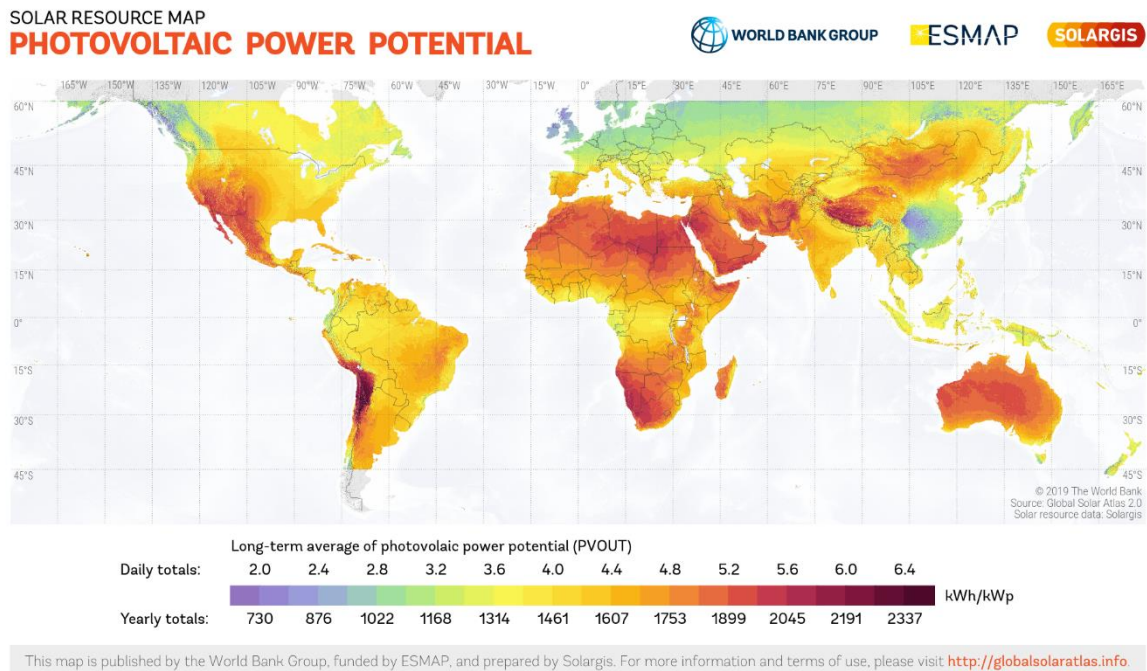
Tabulka 2 Výčet firem zabývajících se recyklací panelů v Evropě [39]

Název firmy	Země	Druh recyklace
AMEC	Slovensko	Solární panely
Envaris	Německo	Solární panely, kabely
Immark	Švýcarsko	Solární panely
REMA systém	Česká republika	Solární panely

4.2 Počet solárních elektráren (globálně)

Mnoho zemí po celém světě instalovalo do své energetické infrastruktury významnou kapacitu solární energie. Je to z důvodu, aby poskytlo alternativní zdroj energie včetně zdroje konvenčního. Celosvětový nárůst fotovoltaických elektráren je velmi dynamický. V jednotlivých zemích se však může výrazně lišit. Během minulých let a do konce roku 2019 bylo po celém světě instalováno 629 Gigawatt (GW) solární energie. Nejvíce se však

fotovoltaické elektrárny instalují v Číně. Jejich kapacita se odhaduje na 208 GW. Představují tak jednu třetinu celosvětové výroby. Nejméně 37 zemí má instalovaný výkon větší než 1 GW. Obrázek 14 zobrazuje počty instalovaných elektráren na celém světě. Dle barvy je možné rozeznat země s největším množstvím instalovaného výkonu. [40]



Obrázek 14 Množství fotovoltaických elektráren celosvětově [40]

Největší instalované fotovoltaické elektrárny jsou v oblasti Asie a konkrétně v Číně a Indii. (tabulka 3). Tyto elektrárny jsou v různých fázích vývoje. Mohou se i nadále rozrůstat. V Asii dominuje trh s fotovoltaikou, ale v určitých částech Asie zůstává nevyužit. Je to zapříčiněno tamní politikou nepodporující růst solární energie.

Tabulka 3 Největší fotovoltaické elektrárny na světě k roku 2021 [41]

Název	Kapacita fotovoltaických elektráren (v MW)
Bhadla Solar Park (India)	2 245
Huanghe Hydropower Hainan Solar Park (China)	2 200
Pavagada Solar Park (India)	2 050
Benda Solar Park (Egypt)	1 650
Tengger Desert Solar Park (China)	1 547

4.3 Počet solárních elektráren v České republice

V posledních letech je velký zájem o výstavbu fotovoltaických elektráren. Celkový počet fotovoltaických elektráren v České republice činí přibližně 230 000 (rok 2021). Jejich celkový instalovaný výkon je 3,3 GW. Největší množství solárních elektráren je v Moravskoslezském kraji s více než 43 tisíci instalovanými elektrárnami (instalovaný výkon 600 MW). Dále následuje Olomoucký kraj s 30 tisíci, Středočeský kraj s 26 tisíci. Kraje jako Ústecký, Jihočeský, Zlínský a Pardubický mají přibližně od 15 do 20 tisíc elektráren s instalovaným výkonem 200 MW až 400 MW. [41,42]

4.4 Fotovoltaické elektrárny jako alternativní zdroj energie

Fotovoltaickou elektrárnu je možné využívat jako alternativní zdroj elektrické energie. Užití má převážně v oblastech, kde není možné využít jiný zdroj energie, než energii solární nebo větrnou. Jsou to zejména místa v odlehlých oblastech.

Fotovoltaická energie se může v budoucnu stát klíčovým zdrojem, ačkoli při deštivém a oblačném počasí neprodukuje takové množství energie, jaké je potřeba. Dále je možné tuto energii ze Slunce uchovávat v bateriích a následně ji později využít. To je výhodou pro země, kde je velké množství slunečního záření (tropické a subtropické podnební pásy). V těchto teplých oblastech je možné celoročně čerpat energii čistě z fotovoltaických elektráren. [43]

4.5 Budoucnost fotovoltaických elektráren

Vývoj fotovoltaických technologií stále roste a v budoucnu by bylo možné využít jiných druhů materiálu a technologií. Ty by dokázaly zvýšit účinnost fotovoltaických panelů. Snížily by se náklady na výrobu a emise spojené s výrobou.

V budoucnu bude možno využít nových materiálů. Výzkumníci zkoumají materiály jako jsou perovskity, organické solární články a kvantové čtečky. Tyto materiály by se mohly využít v dalších generacích fotovoltaických článků. Zlepšila by se tak jejich účinnost a snížily se náklady na výrobu. Dále se zkoumají flexibilní a transparentní panely. Tyto typy panelů je možné umístit na okna, střechy a také vozidla. Zvyšuje se tím tak efektivita systémů.

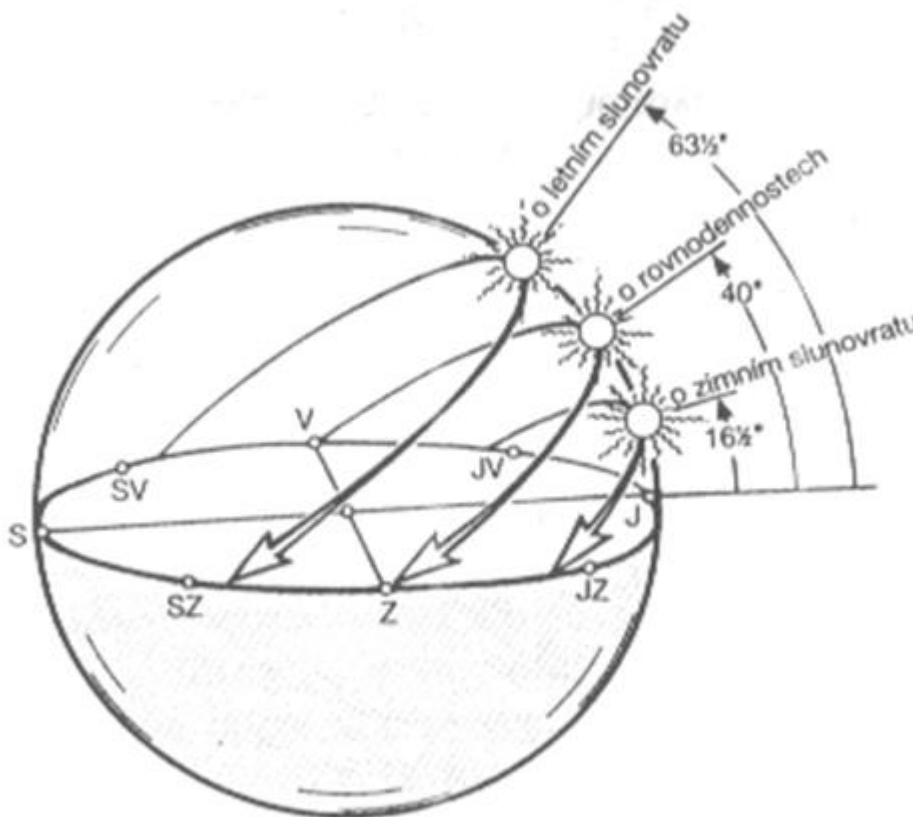
Skladování energie je jedním z klíčových faktorů, jak maximálně využít získanou energii ze Slunce. Při nespotřebování energie je výhodné její uložení do baterii (obzvláště pro večerní provoz). To by měly zajistit nové skladovací technologie a baterie. [43]

5 SOLÁRNÍ SLEDOVAČ

Solární sledovače využívají pohyb Slunce, se snahou napodobit jeho trajektorii. Aby bylo možné využít solární sledovač, je zapotřebí vědět, jakým způsobem se pohybuje Slunce po obloze. K tomu mohou být využity jednoosé a dvouosé solární sledovače.

5.1 Pohyb Slunce po obloze

Po obloze se pohybuje Slunce za dvou pohybů Země. Prvním pohybem je otáčení Země kolem vlastní osy a druhým pohybem je otáčení kolem Slunce. Na Obrázku 15 je možné vidět pohyb Slunce v mírném podnebním pásu o letním slunovratu, rovnodennosti a o zimním slunovratu. Na 50° s. š. [44]



Obrázek 15 Pohyb Slunce po obloze v různých ročních obdobích v mírném podnebním pásu [44]

21. června je konec severní zemské osy přikloněn nejvíce. Tento den se označuje jako letní slunovrat a nastává začátkem léta. V tento den je Slunce nejvýše na obloze. Svírá ho úhel $63,5^\circ$. Světelný den tak trvá 16 hodin.

Během zimního slunovratu (21. prosince) je severní konec zemské osy nakloněn nejvíce od Slunce. Během kulminace má Slunce nejnižší úhel svícení ($16,5^\circ$). V tento den trvá světlo pouze 8 hodin. Jarní a podzimní rovnodennost (20. března a 23. září) se Slunce pohybuje tam, kde vede nebeský rovník. Kulminuje ve výšce 40° a den trvá běžně 12 hodin.

Během roku se Slunce pohybuje po šroubovici. Ta vede mezi oblastmi slunovraty. Uvedené hodnoty platí pro zeměpisnou šířku pro Prahu (přibližně 50° s.š.). [44]

5.2 Jednoosé solární sledovače

Jednoosé sledovače využívají pouze jeden úhel. Ten se používá jako osa otáčení. Tento typ solárního sledovače produkuje až o 30 % více elektrické energie oproti klasickému statickému systému. Tyto sledovače mohou optimalizovat výkon Slunce během letního i jarního období, kdy je Slunce na obloze ve vyšší poloze.

Efektivita solárních jednoosých sledovačů klesá, pokud se pohybují dále na sever. Je to z důvodu, že rozptyl slunečního světla (úhlu) je mezi letním a zimním obdobím vyšší.

Výhody jednoosých solárních sledovačů:

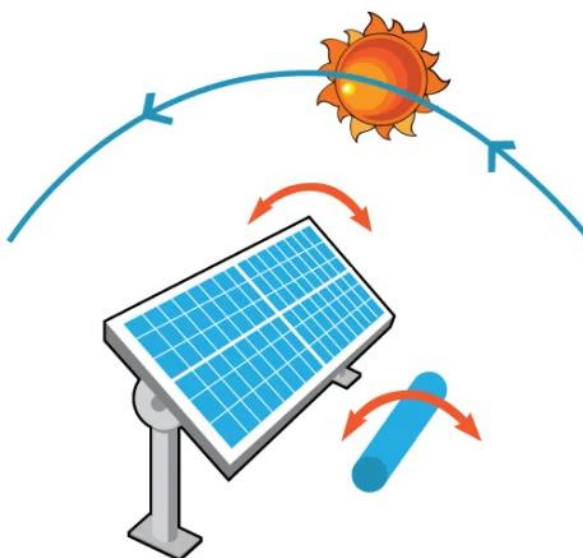
- Jsou spolehlivější.
- Mají delší životnost než dvouosé solární sledovače.
- Jsou levnější než dvouosé solární sledovače (způsobeno jednoduchostí mechanismu).
- Využití pro oblasti s více proměnlivým počasím.
- Účinnost sledovačů je o téměř 32 % vyšší než u pevného panelu.
- Sledování Slunce od východu k západu (konzistentnost výkonu).
- Generace o 15-16 % vyššího ročního výkonu ve srovnání s pevným panelem.

Nevýhody jednoosých solárních sledovačů:

- Energetický výkon je u jednoosého sledovače za slunečních podmínek nižší než u dvouosých sledovačů.
- Omezené technologické vylepšení. [45]

5.2.1 Horizontální jednoosý solární sledovač (HSAT)

Tento typ solárního sledovače se otáčí po celý rok od východu k západu. Vše je na pevné ose, která je rovnoběžná se zemí. Je to tedy jeden z nejefektivnějších solárních sledovačů. Konstrukce tohoto typu je umístěna na více podpěrách podél rotační osy (viz. Obrázek 16). Vyžaduje méně materiálu pro konstrukci a její horizontální konfigurace je ve srovnání s jinými nejvýhodnější. [46]

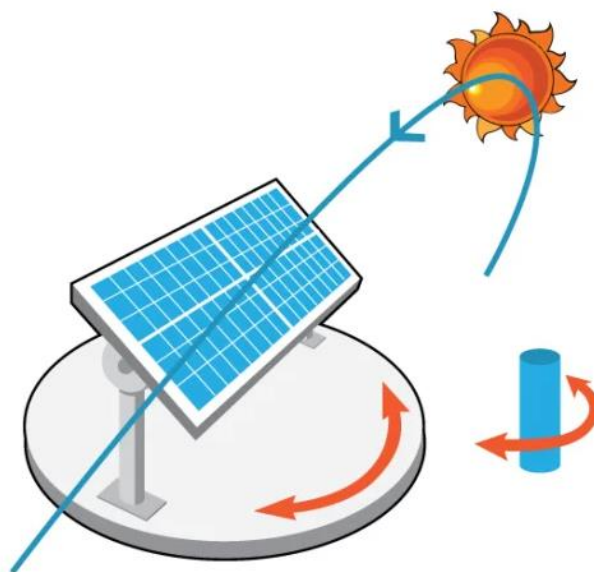


Obrázek 16 Horizontální jednoosý solární sledovač [45]

5.2.2 Vertikální jednoosé solární sledovače (HSAT)

Vertikální jednoosý solární sledovač je podobný jako horizontální jednoosý sledovač. Jeho orientace je převážně sever/jih nebo východ/západ. Sleduje tak více slunečního pohybu na obloze. Rozdíl je však v tom, že náklon je rovnoběžný s vodorovnou polohou a otáčí se na svislé ose.

Má vyšší účinnost oproti horizontálním jednoosým solárním sledovačům. Je možné tak optimalizovat úhel náklonu. Problémem tohoto typu je vyšší zatížení větrem. Proto je potřeba sledovače stavět z pevnějších materiálů. Na Obrázku 17 je možné vidět vertikální jednoosý solární sledovač. [45,46]



Obrázek 17 Vertikální jednoosý solární sledovač [45]

5.3 Dvousé solární sledovače

Dvousé solární sledovače mají dva stupně osy otáčení. Jsou označovány jako primární a sekundární osa. Umožňují nejpřesněji sledovat orientaci solárního zařízení. Tyto systémy mohou poskytnout až o 40 % vyšší účinnost fotovoltaických panelů oproti statickým panelům. Nevýhodou je však jejich vyšší cena a složitější mechanismus náchylnější k poškození.

Dvousé sledovače jsou natáčeny přímo za Sluncem. Umí se tak pohybovat dvěma různými směry. Existují dva typy solárních dvousých sledovačů:

- Sklon-náklon.
- Azimut-výška.

Tento typ solárních sledovačů se často kombinuje se zrcadly, aby se využil jejich maximální potenciál. Avšak jejich velkým problémem je pořizovací cena. Náklady na instalaci se mohou zvýšit až o vyšší desítky tisíc korun. Jsou tedy poměrně nákladné a jejich použití je omezeno pro komerční účely. [46]

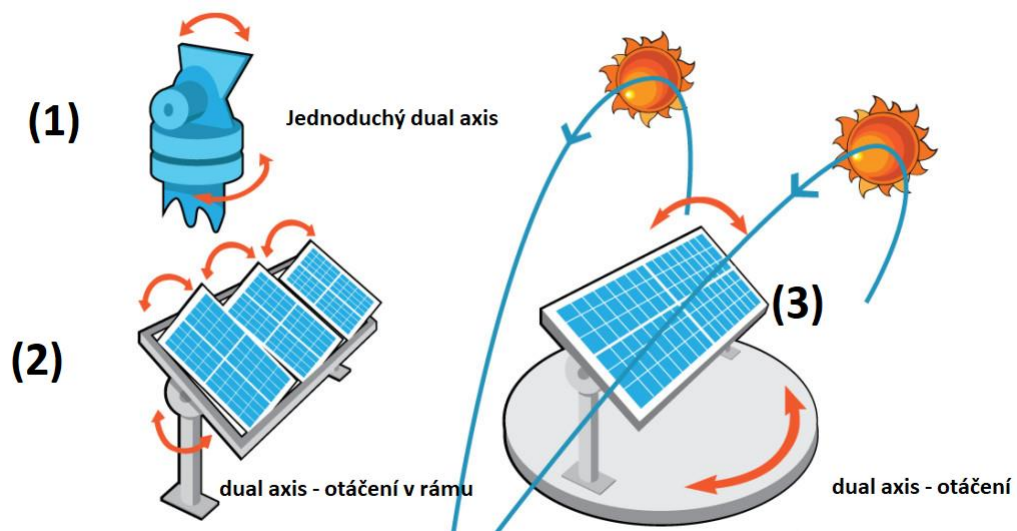
Výhody dvouosých solárních sledovačů:

- Sledují Slunce nepřetržitě – konstantní výkon.
- Zajímavé řešení, pokud není v blízkosti připojení do distribuční sítě.
- Zabírají menší prostor a je možné okolní plochu využít pro jiné účely (parkování aut, zahradnictví, atd).
- Návratnost sledovačů je nízká, ale během životnosti dojde k vyššímu nárůstu zisku.

Nevýhody dvouosých solárních sledovačů:

- Vyšší technická složitost – větší náchylnost k poškození zařízení.
- Kratší životnost a spolehlivost.
- Nízký výkon při oblačném nebo zataženém počasí (ve všech případech systémů).

Na Obrázku 18 je možné vidět tři typy dvouosých solární sledovačů.



Obrázek 18 Tři typy dvouosých solárních sledovačů [47]

První typ (1) sledovače je vše v jednom. Druhý (2) má otáčení ve rámu a třetí se otáčí kompletně celý.

5.3.1 Další typy solárních sledovačů

Dalšími typy solárních sledovačů jsou pasivní a aktivní sledovače. Pasivní solární sledovače využívají kapalinu stlačeného plynu s nízkým bodem varu. Ten se otáčí na jednu nebo druhou stranu. Sledovací zařízení se tak pohybuje ve směru Slunce. Je možné jej využít

pro běžně dostupné typy fotovoltaický panelů. Dále jsou to také aktivní solární sledovače. Ty využívají motory a převody k nasměrování sledovače pomocí ovladače. Reagují tak na směr Slunce. Nevýhodou je, že motory spotřebovávají energii. [46]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 NÁVRH NATÁČENÍ PANELU

Natáčení fotovoltaického panelu je jedním z hlavních kroků, jak docílit maximální účinnosti fotovoltaického panelu. Pro tento návrh je využita programovatelná platforma arduino. Ta ovládá krokový motor uchycený na držák s upínací kladkou za pomoci řemenu. Krokový motor následně otáčí s celou konstrukcí fotovoltaického panelu. Celý systém je napájený z energie uložené v baterii.

6.1 Fotovoltaický panel

Pro tuto realizaci je využit fotovoltaický panel vyrobený z monokrystalického křemíku. Panel byl vybrán pro svou kompaktnost a pevnou konstrukci z kovového materiálu. Na Obrázku 19 je možné vidět fotovoltaický panel z monokrystalického křemíku. Udávané parametry výrobcem:

- Maximální napětí naprázdno $V_{oc} = 22,1 \text{ V}$.
- Zkratový proud $I_{sc} = 2,27 \text{ A}$.
- Maximální napětí při zátěži 40 W , $V_{mp} = 18,7 \text{ V}$.
- Maximální proud při zátěži 40 W , $I_{mp} = 2,14 \text{ A}$.
- Maximální systémové napětí 1000 V .
- Pracovní teplota $-45^{\circ}\text{C} + 85^{\circ}\text{C}$.
- Rozměry panelu $540 \times 460 \times 30 \text{ mm}$ (výška x šířka x hloubka). [48]



Obrázek 19 Monokrystalický fotovoltaický panel 40 W [48]

6.2 Regulátor napětí

Regulátor napětí je jednou z nejdůležitějších součástí při kompletaci fotovoltaického systému. Ten dokáže efektivně přeměnit vyrobenou elektrickou energii z fotovoltaického panelu pro další využití. V tomto případě je využit PWM regulátor. Regulátor mění stejnosměrné napětí (DC) opět na stejnosměrné napětí.



Obrázek 20 PWM regulátor [49]

Regulátor je vyroben pro ostrovní systém. Je opatřen dvěma nabíjecími porty USB (5 V / 2 A). Dále je zde možné připojit fotovoltaický panel, baterii a případně nějaký spotřebič. Další parametry tohoto regulátoru jsou:

- Maximální vstupní napětí DC 50 V pro 24 V baterie nebo 25 V pro 12 V baterie.
- Výstupní napětí: Pro 12 V nebo 24 V baterie.
- Výstupní výkon tohoto regulátoru: 360 W pro 12 V systém nebo 720 W pro 24 V systém baterii.
- Maximální nabíjecí proud: 30 A.
- Maximální zátěžový proud 10 A.
- Kompatibilní s olověnými bateriemi. [49]

Aby bylo možné napájet krokový motor, je potřeba využít dalšího regulátoru (v tomto případě je to Step down měnič). Umožňuje regulovat napětí vždy nižší, než je napětí na vstupu. Mění napětí ve velmi přesných hodnotách. Regulátor je připojen k olověné baterii. Důvodem toho je regulace napětí pro napájení krokového motoru. Účinnost tohoto regulátoru je 92 %. Čím vyšší napětí je na regulátoru, tím má větší účinnost.



Obrázek 21 Step down regulátor [50]

Regulátor má několik základních parametrů:

- Vstupní napětí 5-35 V.
- Jmenovitý výstupní proud 3 A.
- Výstupní napětí je možné plynule nastavit od 1,25 V až 30 V.
- Úbytek napětí 1,5 V. [50]

Regulátor je osazen třemi více otáčkovými potenciometry. Levý potenciometr nastavuje výstupní napětí. Prostřední potenciometr nastavuje, při jakém proudu se rozsvítí prostřední led dioda (možnost kontroly nabíjecího cyklu baterie). Pravý potenciometr umožňuje nastavit maximální výstupní proud. U regulátoru je velmi nutné dbát vysoké opatrnosti. Pokud by došlo k přepólování, okamžitě se regulátor poškodí. [50]

6.3 Akumulátor

Akumulátor v tomto systému je olověný (Pb akumulátor TINKO VRLA AGM). Jedná se o hermeticky uzavřenou baterii. Baterie je bezúdržbová. Baterie má tyto parametry:

- Napětí 12 V.
- Kapacita baterie 2,3 Ah.
- Pro cyklický provoz je napětí 14,5 až 14,9 V.
- Pro záložní provoz je napětí 13,5 až 13,8 V.

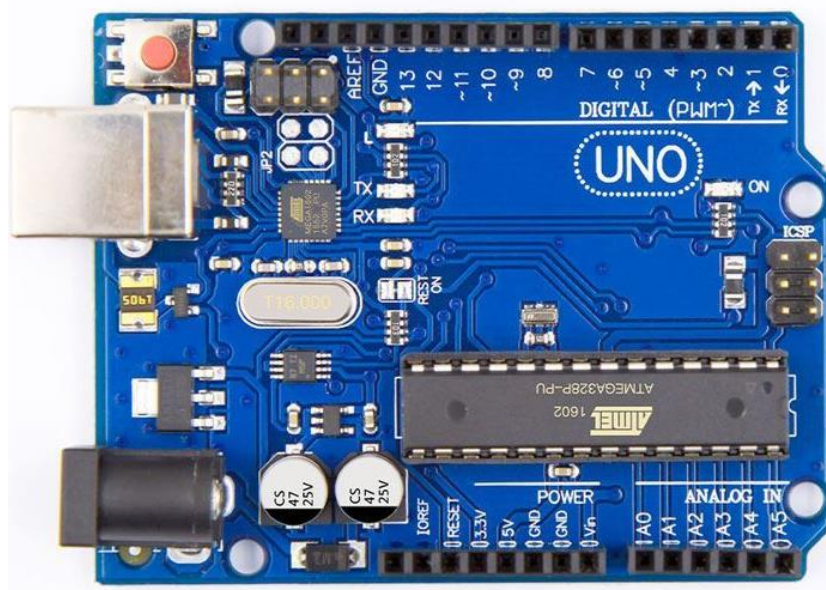
- Maximální nabíjecí proud, který baterie může poskytnout je 0,88 A. [51]



Obrázek 22 Olověný akumulátor Tinko [51]

6.4 Řídicí modul

Řídicí modul (Obrázek 23) využitý v tom případě je Arduino UNO R3, ATmega328P. Jedná se o malý modul s mnoha variantami vstupů a výstupů (na desce jsou umístěny analogové piny pro čtení hodnot z fotorezistorů a digitální piny pro řízení krokového motoru).



Obrázek 23 Arduino UNO R3 [52]

Vývojová deska využívá mikrokontroler (MCU) ATmega328. Obsahuje 14 digitálních vstupních a výstupních pinů. Dále je zde možné najít resetovací tlačítko, které v případě technického problému může resetovat celý program. Parametry arduino platformy jsou následující:

MCU: ATmega328

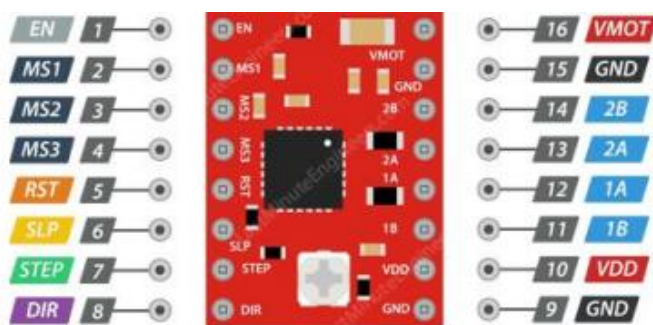
- **Pracovní napětí:** 5 V.
- **Vstupní napětí:** 7–12 V.
- **Vstupní nap max.:** 6–15 V DC.
- **I/O Piny:** 14 (6 použitelných jako PWM výstup).
- **Analogové vstupy:** 6.
- **DC Proud na pin:** 40 mA.
- **Flash:** 32 KB (ATmega328) 0.5 KB použito pro bootloader.
- **SRAM:** 2 KB (ATmega328).
- **EEPROM:** 1 KB (ATmega328). [52]

Pro řízení motoru je zapotřebí řadič. Pro tento model je využit řadič motoru A4988. Využívá se pro řízení krokových motorů a pro správnou funkci je potřeba dvou napájecích zdrojů. Jeden je pro krokový motor (8–35 V DC) a druhý pro elektronickou část řadiče (3–5,5 V DC).



Obrázek 24 Motorový řadič A4988 [53]

Na řadiči je usazen otočný trimr. Trimrem je možné regulovat výstupní proud pro napájení motoru. Je také opatřen chladicí mřížkou pro lepší tepelnou výměnu. Řadič je opatřen následujícími piny na Obrázku 25.



Obrázek 25 Piny motorového řadiče A4988 [53]

6.5 Motor

Pro pohyb panelu je využit krokový motor NEMA17 s označením modelu 42HD8011-01. Motor se vždy otáčí v určitém intervalu. Výhodou motoru je možnost krokování pohybu. V případě otočení se může otáčet o různý počet kroků. Každý krok je v úhlu $1,8^\circ$. Na jedno otočení potřebuje 200 kroků. Ty dohromady dávají 360° .



Obrázek 26 Krokový motor NEMA 17 – 42HD8011-01 [54]

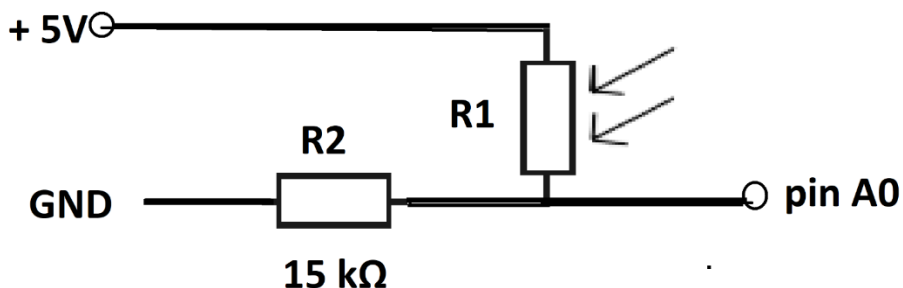
Motor je bipolární dvoufázový. Může se otáčet v obou směrech. Jeho délka je 59 mm. Motor má následující parametry:

- Jmenovité napětí 3,52 V stejnosměrně (DC).
- Jmenovitý proud 1,5 A.
- Jmenovitý odpor 2,2 Ohm \pm 10 % (při 20 °C).
- Setrvačnost 128 g /cm².
- Izolační třída: B (130 °C). [54]

6.6 Snímání polohy slunečního svitu

Pro snímání polohy slunečního svitu jsou využity dva fotorezistory. Ty jsou využity pro horizontální směr pohybu. Přichycení je řešeno pomocí držáku na pevně k fotovoltaickému panelu. Každý z fotorezistorů je připojen na jedné straně panelu. V případě zastínění jednoho ze dvou fotorezistorů se změní jeho odporová hodnota a změní se směr. Pokud odporová hodnota fotorezistoru bude v toleranci, fotovoltaický panel se zastaví. Na Obrázku 29 je

možné vidět jeden fotorezistor a jeden rezistor ($15\text{ k}\Omega$) v obvodu. Tento obvod je připojený ke stejnosměrnému napětí o velikosti 5 V . Je zde vyveden kabel pro pin A0. Tento se využívá k porovnávání dvou fotorezistorů.

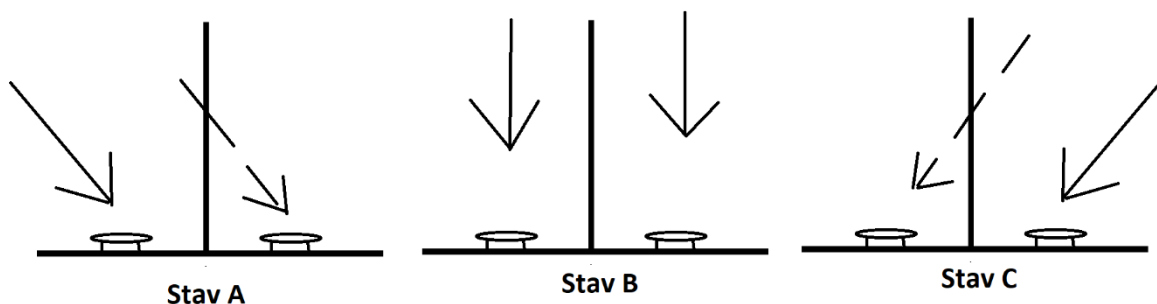


Obrázek 27 Schéma připojení fotorezistorů



Obrázek 28 Fotorezistor v obvodu (fotorezistor GL5539) [55]

Tento obvod funguje na principu zastínění jednoho ze dvou fotorezistorů. Pokud se změní poloha Slunce, změní se i směr otáčení, dokud hodnoty fotorezistorů nejsou shodné. Na Obrázku 29 je zobrazeno svícení Slunce na fotorezistory. Mohou nastat tři stavy. Ve stavu A svítí Slunce zleva na fotorezistory. Je patrné, že jeden ze dvou fotorezistorů je zastíněn. Pokud zjistí, že je zastíněn, tento stav se vyhodnotí a posune se motor na takovou pozici, aby nastal stav B. To stejné platí i pro stav C.



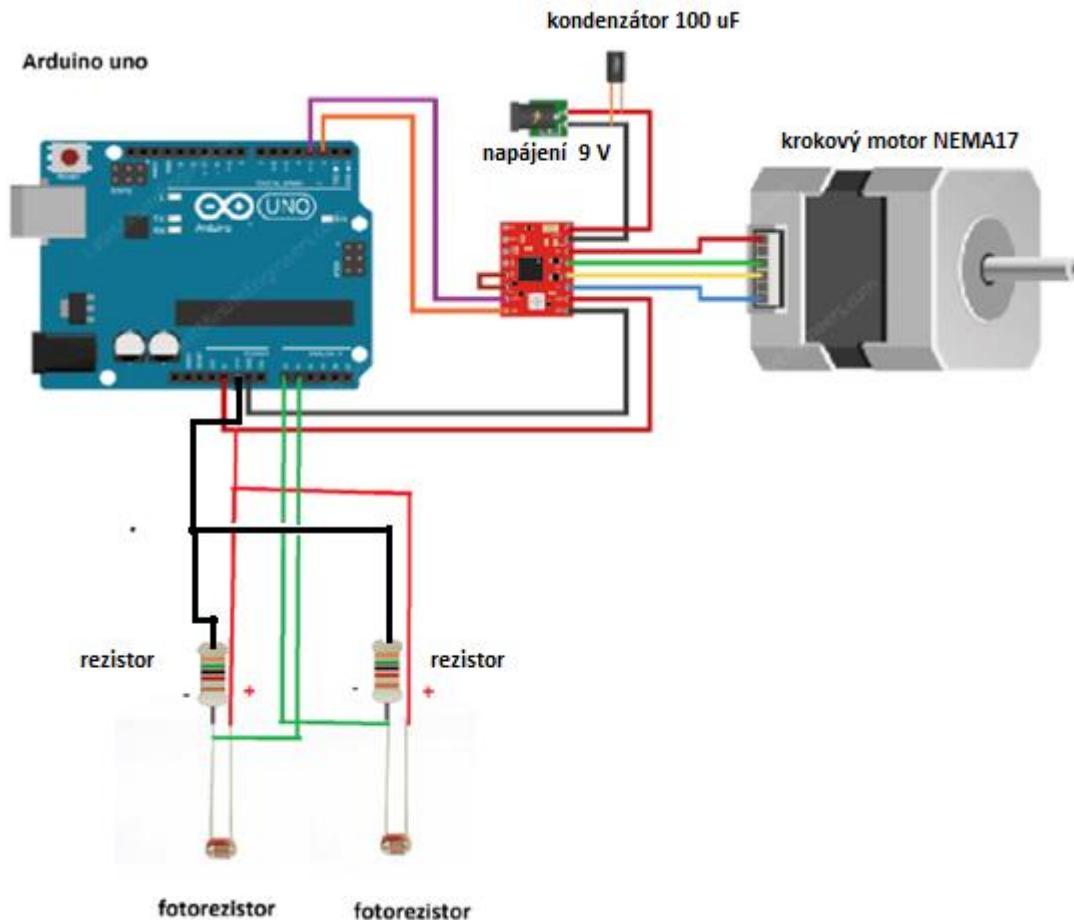
Obrázek 29 Dopad slunečních paprsků na fotorezistory

6.7 Otáčení fotovoltaického panelu

Řízení otáčení fotovoltaického systému je realizováno pomocí platformy Arduino. Arduino ovládá servomotor spojený s konstrukcí (upevněn čtyřmi šrouby) panelu pomocí řemenu. Panel se dokáže otáčet v úhlu 360°.

Na Obrázku 30 je možné vidět kompletní schéma zapojení krokového motoru NEMA 17. Z motoru vedou čtyři konektory do řadiče motoru (připojeny na piny 2B, 2A, 1A, 2B). Řadič je následně napájen DC regulátorem napětí (napětí na výstupu regulátoru je nastaveno na 9 V), který má v obvodu kondenzátor o kapacitě 100 uF (připojeno na vstupy VMOT a GND). Kondenzátor v obvodu zajišťuje dostatečnou úroveň napětí během startování krokového motoru. K řadiči je připojeno napájení desky (na konektorech VDD a GND). Pro tyto dva piny je napětí přivedeno z platformy Arduino (napětí je 5 V).

Výstupy z řadiče jsou dva. Jsou zde propojeny STEP pin a DIR pin s platformou Arduino (připojený na digitální piny 2 a 3). Step pin pohne motorem o 1 krok, případně o více. DIR pin měří směr otáčení motoru. Fotorezistory v obvodu jsou připojeny na napájení 5 V a GND. Porovnávání fotorezistorů zajišťují analogové piny A0 a A1. V jejich obvodu je připájen 15 k Ω rezistor. Připojení rezistorů je nutné. Bez toho fotorezistory nebudou správně zaznamenávat citlivost na světlo.



Obrázek 30 Schéma zapojení natáčecího systému

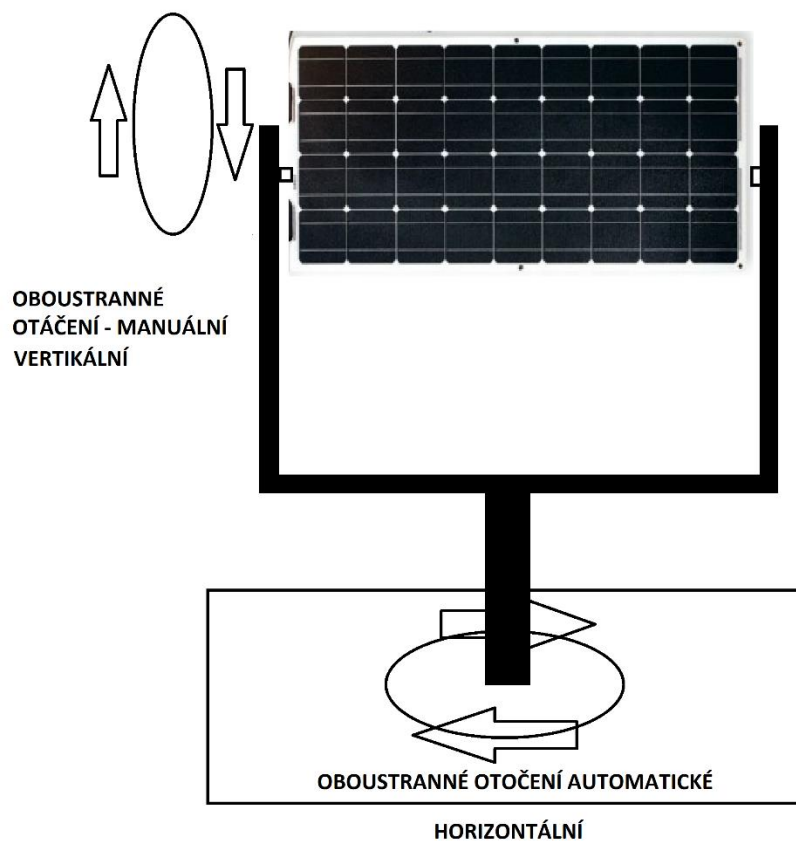
6.8 Program pro řízení krokového motoru

Celý kód je možné najít v Příloze I. Program využívá knihovnu AccelStepper pro řízení krokového motoru s řadičem A4988 a pomocí dvou světelných senzorů (LDR1 a LDR2) je možné ho ovládat. Hlavním účelem je sledovat rozdíl intenzity světla mezi senzory a na základě toho ovládat pohyb motoru tak, aby se snížil rozdíl intenzity světla. Program neustále čte hodnoty ze senzorů a porovnává je. Pokud rozdíl intenzity světla mezi senzory překročí určitou toleranci (definovanou proměnnou "chyba"), motor se začne pohybovat ve směru, dokud se nesníží rozdíl. Když je intenzita světla na obou senzorech dostatečně vyrovnaná (uvnitř tolerance), motor se zastaví. Program také obsahuje časování pro spuštění a vypnutí motoru. Motor bude fungovat po dobu 14 hodin (předem definovaný časový limit), poté bude vypnut po dobu dalších 10 hodin (další předem definovaný časový limit) a tento cyklus se bude opakovat. Během toho motor nebude odebírat žádný proud.

7 REALIZACE A MĚŘENÍ VÝKONU NATÁČECÍHO PANELU PRO FOTOVOLTAICKÉ PANELY

Další fází je realizace modelu fotovoltaického systému s natáčením. Obrázek 31 ukazuje kompletní realizaci natáčecího systému fotovoltaického panelu. Panel se otáčí v horizontální poloze. Otáčení zajišťuje krokový motor NEMA 17. Na motoru je připevněn k držáku motoru.

Panel je možné otáčet dvěma směry. První je vertikální. Díky tomu je možné otočit solární panel vertikálně o jakýkoliv úhel je potřeba. Panel je opatřen dvěma šrouby (na každé straně jeden). Ty jsou propojeny s konstrukcí ve tvaru písmene u. Mezi panelem a konstrukcí je podložka pro snazší manipulování. Šroub je z druhé strany upevněn maticí se samosvorným závitem. Je to z důvodu, aby se během jakýchkoliv pohybů a otřesů panel neuvolnil.



Obrázek 31 Technické schéma natáčení panelu

Pro druhé otáčení v horizontálním směru je využit krokový motor. Toto otáčení je automatické a řídí se pomocí platformy Arduino. Motor je přichycen do držáku s napínací kladkou. Otáčení je zajištěno dvěma řemenicemi. Malá řemenice je umístěna na motoru a

má 20 zubů. Řemenice na držáku fotovoltaického panelu má 120 zubů (vytištěna na 3D tiskárně z nylonu). Směr otáčení je určován pomocí dvou fotorezistorů.

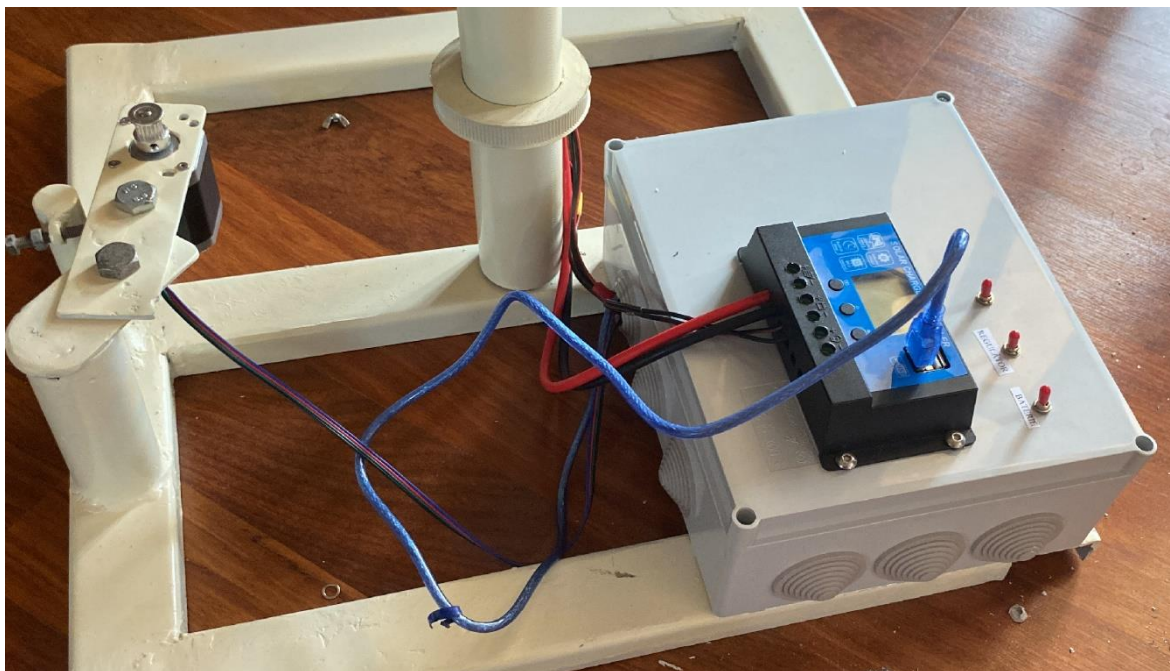
Na Obrázku 32 je vidět zkonstruovaný celý natáčecí systém. Na dalších Obrázcích 33,34 je uchycení a natáčení motoru. Celá konstrukce je usazena mezi dvěma ložisky, zajišťujícími plynulé otáčení.

Motorová a elektrická část nedisponuje žádnou ochranou proti vodě. V případě vniku vody by mohlo dojít ke zkratu. Proto není v této fázi vývoje vhodné využívat zařízení během špatného počasí.

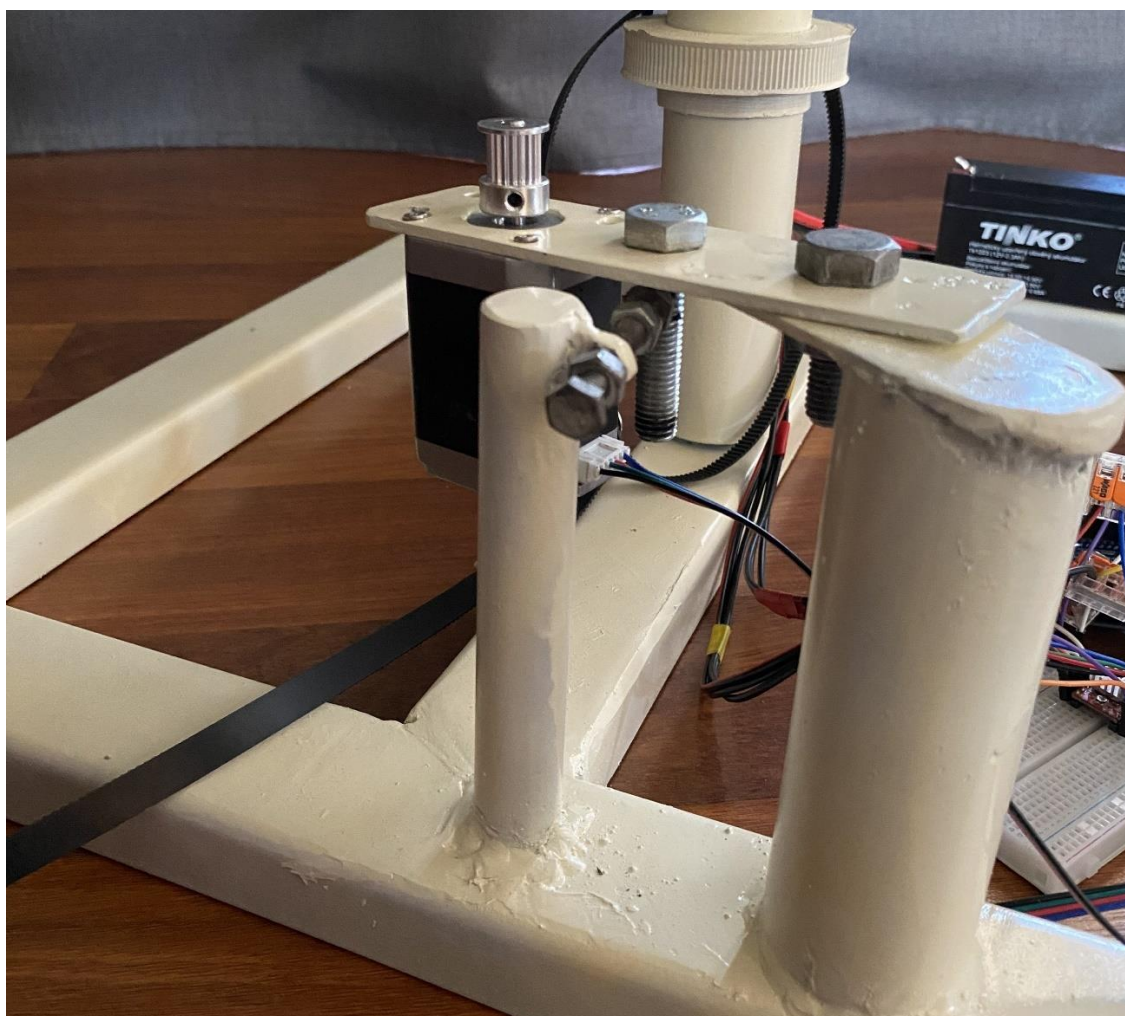
Elektronická část je usazena v krabici. Krabice má k sobě připevněn regulátor napětí. Pro zapnutí nabíjení baterie a regulátoru jsou použity dva vypínače. Během servisování se může odpojit jen určitá část obvodu. Elektronika uvnitř krabice obsahuje platformu Arduino, řadič motoru, step down regulátor a baterii. Vše je zde včetně kabeláže. Na bocích fotovoltaického panelu jsou umístěny fotorezistory.



Obrázek 32 Zkonstruovaný fotovoltaický otočný systém



Obrázek 33 Uložení elektronické části



Obrázek 34 Uchycení krokového motoru

7.1 Základní měření parametrů

Pro základní měření je potřeba změřit několik základních parametrů. Měření je prováděno v návaznosti na natáčení solárního panelu. Prvním krokem je potřeba změřit, jaký proud a napětí odebírá krokový motor NEMA 17 využitý v tomto testování. Byly naměřeny tyto parametry:

- Odběr proudu během stání motoru 1,2 A.
- Pracovní napětí motoru 3,50 V DC.

7.1.1 Měření výkonu fotovoltaického panelu

Měření probíhalo při zapnutém automatickém horizontálním otočení a mechanickém vertikálním otočení. Zde se nastavil určitý úhel náklonu. Pro měření byly použity úhly náklonu 15°, 30°, 45°, 60°. Měření se provedlo v různých časech během časového úseku (8:00 až 17:00 hod). Během měření byla zaznamenávána intenzita světla a maximální napětí, které panel byl schopen dodávat.

Z měření vyplývá (Příloha PII), že ideální úhel náklonu je 15°. Tento úhel je optimální pro jarní počasí.

Nejvyšší naměřená hodnota napětí během slunečného dne je 18,60 V a to ve 12:00 hod. Při náklonu 15° fotovoltaický panel vykazoval maximální výkon.

8 NÁVRH ZPŮSOBU VYUŽITÍ NATÁČECÍHO FOTOVOLTAICKÉHO PANELU PRO MĚŘIČ RYCHLOSTI V OBCÍCH

Měřiče (radary) okamžité rychlosti v obcích jsou používány, aby projíždějící řidiči snížili svou rychlost na požadovaný limit. Tyto radary (Obrázek 35) mohou měřit rychlost nebo dokážou informovat o rychlosti projíždějících vozidel. Rychlost mohou zobrazovat pomocí informativního panelu. V případě, že řidič jede maximální povolenou rychlostí, než je nastavena, zobrazí se několik informací. Jednou z prvních informací, kterou řidič uvidí, je jeho rychlost. Pokud je rychlost vyšší než požadovaný limit, informativní tabule se rozblíká a upozorní, aby řidič zpomalil (může být doprovázeno zobrazením registrační značky, pozor radar nebo také pozor děti). Za předpokladu, že by řidič jel do výše maximální nastavené rychlosti, panel zobrazí pouze jeho rychlost. Radary je ideální umístit tam, kde je potřeba snížit rychlost. Je prokazatelné, že rychlost snížit dokážou.

Radary pro měření v obcích se prodávají v několika variantách:

- Měřiče rychlosti v obcích připojené do elektrické sítě (napájení jen ze sítě).
- Měřiče rychlosti v obcích připojené do elektrické sítě a záložního zdroje (při výpadku elektrické energie je možné napájení až několik dnů za pomoci záložního zdroje).
- Měřiče rychlosti v obcích připojené do elektrické sítě a záložního zdroje s fotovoltaickým panelem (v případě dlouhodobého výpadku elektrické energie je možné napájení).
- Měřiče rychlosti v obcích připojené jako ostrovní systém (využívá se tam, kde není přístup k elektrické síti). Zde se využívá napájení přes akumulátor a následné dobíjení akumulátoru přes fotovoltaický panel.



Obrázek 35 Radar v obci [56]

V obcích se velmi často využívají fotovoltaické panely pro měřiče. Umožňují zvýšit dobu provozu během dlouhodobého výpadku elektrické energie. V případě, že měřič je pouze připojený k ostrovnímu systému, zvyšuje se tak doba provozu. Varianty používané v praxi využívají pouze statický fotovoltaický panel. To znamená, že během celého dne je nastaven panel na určitý sklon a orientaci. Sklon panelu je pevně dán a pohybuje se v rozmezí 20° - 60° naklonění v závislosti na letním nebo zimním období. Během zimy je výhodnější mít vyšší úhel náklonu. Během léta je výhodnější mít nižší úhel náklonu. Orientace panelu je často umístována na východ (nejvíce slunečního záření je získáváno ráno), západ (nejvíce slunečního záření je získáváno večer) a neefektivnější umístění je na jih. Umístění panelu na jih je ze všech variant nejúčinnější. Má o 20 % větší účinnost, oproti západu a východu.

Pokud by se chtělo docílit ještě vyšší účinnost panelu, bylo by zapotřebí využití solárních sledovačů (jednoosé nebo dvouosé). Solární sledovače dokážou zvýšit účinnost fotovoltaického panelu o několik procent. Udává se, že u jednoosého solárního sledovače vzroste účinnost až 15 % – 25 %. U dvouosého až o 33 %. Vše je závislé na tom, v jakém podnebném pásu jsou solární sledovače umístěny.

Pokud by se využilo jednoosého natáčení solárního panelu pro měřiče v obcích, zajistila by se vyšší účinnost fotovoltaického panelu. Ovšem nastává zde problém, zda by tato

varianta byla efektivní. Je potřeba zmínit, že otáčení potřebuje napájení. Nejvíce energie bude spotřebovávat motor. Motor je v tomto případě krokový. Potřebuje tak více elektrické energie pro svůj chod a držení pozice. Dále zde spotřebovává energii řídicí jednotka a fotorezistory. V celkovém součtu tyto komponenty spotřebovávají velké množství energie. Je tedy otázka, zda je tato varianta efektivní. Pokud by byla využita experimentální varianta, která je popsána a navrhována v diplomové práci, tak by nebylo efektivní provozovat natáčení solárního panelu pro měřič v obci.

Jiné varianty by mohly být o něco efektivnější. Je potřeba velmi pečlivě dbát na zvolený typ natáčení panelu, který by spotřebovával nejméně elektrické energie. Systém by také měl být velmi odolný proti silnému větru. Všechny komponenty by měli spotřebovávat co nejméně elektrické energie, aby se maximalizovala účinnost fotovoltaického panelu. Velikost natáčecího systému musí odpovídat velikosti fotovoltaického panelu. Pokud by velikost neodpovídala, systém natáčení by mohl odebírat více elektrické energie, než by se vyrobilo. Pak by tato varianta byla velmi neefektivní. Je potřeba také zmínit, že spotřebovaná energie musí být menší, než je rozdíl účinnosti fotovoltaického panelu během natáčení oproti klasickému statickému.

Zvýší-li se efektivita, zvýší se také náklady na pořízení. Náklady na pořízení zahrnují převážně pohonný systém, jeho uchycení, řízení, kabeláž atd. Všechny tyto položky se projeví na celkových nákladech na pořízení.

Dále nastává problém s údržbou. Systémy s klasickým statickým fotovoltaickým panelem jsou víceméně bezúdržbové. Systémy s natáčením jsou náchylnější k poruchovosti (jednoosé solární sledovače jsou méně náchylné na poruchy, než dvouosé) a potřebují častější údržbu. To vede k dalšímu navýšení nákladů za práci, kterou je potřeba vykonat na údržbě zařízení. Je tedy otázka, zda má natáčení solárních panelů využití pro měřiče v obcích. Pokud by chtěla obec testovat nějaké parametry, pak ano, tento systém má smysl realizovat. Pokud by bylo potřeba více prodloužit pracovní dobu systému, nemá smysl tento systém realizovat. Důvodem toho jsou náklady na údržbu. Ty jsou velmi vysoké. Délka životnosti natáčení dokáže výrazně snížit funkčnost celého systému.

ZÁVĚR

Závěrem diplomové práce je shrnutí všech poznatků obsažených v diplomové práci. V práci byla popsána problematika fotovoltaických panelů. Problematika zahrnuje jejich funkčnost, konstrukci a možné propojení se systémy, aby vznikla fotovoltaická elektrárna. Aby bylo možné fotovoltaickou elektrárnu provozovat v souladu s platnou legislativou (síťová a hybridní fotovoltaická elektrárna), je potřeba učinit několik kroků. Byla shrnuta ekologie a vliv elektráren na životní prostředí.

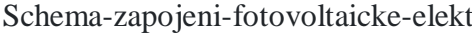


V praktické části byl vytvořen návrh natáčecího systému. Tento systém byl následně zkonstruován a naprogramován tak, aby se pohyboval za Sluncem. Systém umožňuje zvýšit účinnost fotovoltaického panelu. Systém se natáčí za krokového motoru a fotorezistorů. Fotorezistory se vyhodnocují mezi sebou a následně dle citlivosti, na kterou jsou nastaveny, se otáčí směrem za Sluncem. Nedílnou součástí bylo měření základních hodnot v návaznosti na natáčení panelu. Měřil se zde odběr motoru, platformy Arduino a následně s tím spojené měření napětí panelu. Panel se horizontálně natáčel v určitém úhlu a ve vertikálním úhlu se natáčel automaticky. Tyto výsledky byly zaznamenávány během dvou dnů v určitém časovém úseku.

Na závěr bylo potřeba navrhnout využití natáčení pro radary v obcích. Byly zmíněny radary v obcích a jejich typy. Radary v obcích často využívají fotovoltaické panely se statickým panelem. Ten dodává elektrickou energii, aby se prodloužila doba fungování radaru při výpadku elektrické energie nebo tam, kde není přístup k elektrické síti. Natáčení panelu je neefektivní pro radary v obcích. Náchylnost a komplikovanost systému je náročná na údržbu. Mohlo by se stát, že by byla potřeba častější servis. Tím se zvýší pořizovací i provozní náklady radaru.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MATUŠKA, Tomáš. Solární zařízení v příkladech. Vyd. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-3525-2
- [2] Photovoltaic_cell: encyclopedia. *Energyeducation.ca* [online]. [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_cell
- [3] Encyclopedia. Encyclopedia: Energie a paliva [online]. 25. Aug 2022 [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://encyclopedia.pub/entry/26456>
- [4] Photovoltaic-types: photovoltaics. *Alternative-energy-tutorials.com* [online]. [cit. 2023-02-21]. Dostupné z: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/photovoltaics/photovoltaic-types.html>
- [5] QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Vyd. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3250-3
- [6] Poly-vs-mono-crystalline: learn-more. *Tindosolar.com* [online]. [cit. 2023-02-23]. Dostupné z: <https://www.tindosolar.com.au/learn-more/poly-vs-mono-crystalline/>
- [7] Monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels. *Home-improvement* [online]. Nov 4, 2022 [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/home-improvement/solar/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>
- [8] Polycrystalline-solar-panels-cheap-yet-efficient-long-lasting-solar-panels: productline. *Economictimes.indiatimes.com*: productline [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://economictimes.indiatimes.com/small-biz/productline/power-generation/polycrystalline-solar-panels-cheap-yet-efficient-long-lasting-solar-panels/articleshow/69130611.cms>
- [9] Thin-film-solar-panels. *Ases.org* [online]. [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: <https://ases.org/thin-film-solar-panels/>
- [10] Thin-film-solar-panels-main: blog. *Www.solarreviews.com* [online]. [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: <https://www.solarreviews.com/content/images/blog/thin-film-solar-panels-main.jpg>
- [11] Series-connected-solar-panels: solar-power. *Alternative-energy-tutorials.com* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/series-connected-solar-panels.html>

- [12] Alternative-energy-tutorials.com: *solar-power* [online]. [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/parallel-connected-solar-panels.html>
- [13] What-is-a-solar-inverter-and-how-does-it-work: information. *Fallonsolutions.*: *solar* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.fallonsolutions.com.au/solar/information/what-is-a-solar-inverter-and-how-does-it-work>
- [14] Fotovoltaicky-stridac-ucinnost-neni-vse. *Oze.tzb-info.cz*: *fotovoltaika* [online]. 20.4.2009 [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5571-fotovoltaicky-stridac-ucinnost-neni-vse>
- [15] Solar-inverter. *Solar.com*: *learn* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.solar.com/learn/solar-inverter/>
- [16] Vyrp11_11168grid.jpg. *Ekoelektrarna.cz* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: https://www.ekoelektrarna.cz/fotky49645/fotos/_vyrp11_11168grid.jpg
- [17] String-inverters-advantages-disadvantages: inverters. *sinovoltaics.com* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://sinovoltaics.com/learning-center/inverters/string-inverters-advantages-disadvantages/>
- [18] Jednofazova-nebo-trifazova-hybridni-fve-o545. *Nemakej.cz* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.nemakej.cz/jednofazova-nebo-trifazova-hybridni-fve-o545>
- [19] Symetricky-nebo-asymetricky-stridac. *Schlieger.cz* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.schlieger.cz/radce/symetricky-nebo-asymetricky-stridac/>
- [20] Pwm-charge-controller. *Renewablewise.com* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.renewablewise.com/pwm-charge-controller/>
- [21] Solar regulator. *Cdn.myshoptet.com* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: https://cdn.myshoptet.com/usr/www.resacs.cz/user/shop/big/2043-1_solarni-regulator-ich-arger-pwm-20a-12v-24v-dual-usb-lcd.jpg?63b7f985
- [22] Articles2_14j_en.php. *Leonics.com* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: https://www.leonics.com/support/article2_14j/articles2_14j_en.php
- [23] Pwm-solar-charge-controller/. *Solarsquare.in* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.solarsquare.in/blog/pwm-solar-charge-controller/>

- [24] Articles2_14j_en.php: solar. *Leonics.com* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: https://www.leonics.com/support/article2_14j/articles2_14j_en.php
- [25] Solární regulátor MPPT 10A 15V-90V. *Leonics.com* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.resacs.cz/solarni-regulator-mppt-10a-15v-90v/>
- [26] Grid-connected-pv-system: solar-power. *Alternative-energy-tutorials.com* [online]. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/grid-connected-pv-system.html>
- [27]  Schema-zapojeni-fotovoltaicke-elektrarny.png:file-tinyfilemanager/. *Envienergyczech.cz* [online]. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.envienergyczech.cz/files/file-tinyfilemanager/schema-zapojeni-fotovoltaicke-elektrarny.png>
- [28] Stand-alone-pv-system: solar-power. *Alternative-energy-tutorials.com* [online]. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/stand-alone-pv-system.html>
- [29] Schema-zapojeni-ostrovnioho-systemu-12v-230v-1024x546. *Solarniexperti.cz* [online]. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/wp-content/uploads/schema-zapojeni-ostrovnioho-systemu-12v-230v-1024x546.png>
- [30]  Schema-zapojeni-fotovoltaicke-elektrarny.png: *file-tinyfilemanager/Na.panasonic.com* [online]. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://na.panasonic.com/us/green-living/what-hybrid-solar-system-how-does-it-work-guide>
- [31]  Obrazek/23138/foto/?1552483837. *Vysilackymilin.cz* [online]. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://vysilackymilin.cz/produkty-obrazek/23138/foto/?1552483837>
- [32] Solární regulátor MPPT 10 A 15V-90V. *Bce.cz* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.bce.cz/baterie-pro-fotovoltaiiku-typy-vyhody-nedostatky/>
- [33] Druhy-zivot-baterie-5-5. *Nanopower.eu* [online]. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://nanopower.eu/cs/druhy-zivot-baterie-5-5/>
- [34] Pripojeni-uplne-noveho-odberneho-mista. *Egd.cz* [online]. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.egd.cz/pripojeni-uplne-noveho-odberneho-mista>

- [35] Pripojeni-mikrozdroje-elektřiny-nn: zadost. *Egd.cz* [online]. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.egd.cz/zadost/pripojeni-mikrozdroje-elektřiny-nn>
- [36] Solar-panel-recycling-how-to-reuse-clean-energy-technology: blog. *Palmetto.com: learning-center* [online]. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://palmetto.com/learning-center/blog/solar-panel-recycling-how-to-reuse-clean-energy-technology>
- [37] Environmental impacts of solar photovoltaic systems: *A critical review of recent progress and future outlook*. 2021, 12. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143528>
- [38] The Photovoltaic Heat Island Effect: *Larger solar power plants increase local temperatures* [online]. 2016 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1038/srep35070>
- [39] Manufacturers-recycling: services [online]. 2023 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.enfsolar.com/directory/service/manufacturers-recycling>
- [40] *Growth_of_photovoltaics* [online]. 2023 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Growth_of_photovoltaics
- [41] *Tisková zpráva* [online]. 2023 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.solarniasociace.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/28864-cesko-ve-fotovoltaice-prerazuje-na-vyssi-rychlost-ani-tak-ale-rust-nejaci--stat-musi-jednat-vyrazne-pruzneji>
- [42] *Pocet-solarnich-elektřaren-v-ceske-republice-pribyva* [online]. 2023 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.komunalniekologie.cz/info/pocet-solarnich-elektřaren-v-ceske-republice-pribyva>
- [43] Hessolar.com: *Solar-power-an-alternative-source-of-energy-for-your-home/* [online]. 2023 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://hessolar.com/2016/12/solar-power-an-alternative-source-of-energy-for-your-home/>
- [44] Puda: dipl_pp. *Sirrah.troja.mff.cuni.cz* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://sirrah.troja.mff.cuni.cz/~puda/ulohy/dipl_pp/03.htm
- [45] Single-axis-trackers: learning-cente. *Sinovoltaics.com* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/single-axis-trackers/>

- [46] Solar-trackers-types-and-its-advantages-and-disadvantages. *Solarfeeds.com* [online]. 2019 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.solarfeeds.com/mag/solar-trackers-types-and-its-advantages-and-disadvantages/>
- [47] Dual-axis-trackers: learning-center. *Sinovoltaics.com* [online]. [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/dual-axis-trackers/>
- [48] Hadex.cz: *fotovoltaicky-solarni-panel-* [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.hadex.cz/g947-fotovoltaicky-solarni-panel-12v40w-sz-40-36m-540x460x30mm/>
- [49] Hadex.cz: *PWM regulátor* [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.hadex.cz/g912g-solarni-regulator-pwm--12-24v10ausb-pro-pb-baterie-lifepo4-li-ion/>
- [50] Produkty: *step down měnič* [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/0/82/1466285515.pdf>
- [51] *PB akumulátor tinko vřla agm: hadex* [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.hadex.cz/r911a-pb-akumulator-tinko-vřla-agm-12v23ah/>
- [52] Arduino uno R3: *laskakit.cz* [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/arduino-uno-r3--atmega328p--klon/>
- [53] Arduino uno R3: *laskakit.cz* [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/a4988-driver-pro-krokovy-motory/>
- [54] Krokovy-motor-nema17-59mm. *Dratek.cz* [online]. [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/48395-krokovy-motor-nema17-59mm-42hd8011-01.html>
- [55] Fotoodpor-gl5539-470-ohm-5000-kohm. *Cdn.elektro-ivicic.cz* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://cdn.elektro-ivicic.cz/images/0/72d193d58395a894/2/fotoodpor-gl5539-470-ohm-5000-kohm.jpg>
- [56] Rozhlasybartek.cz: *obrázek* [online]. [cit. 2023-05-30]. Dostupné z: https://rozhlasybartek.cz/data/products/c4/640x512.exact.q95/ipr.png?_image_storage

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PWM Pulzně šířková modulace

MPPT Sledování maximálního výkonu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Fotovoltaický efekt [2]	12
Obrázek 2 Monokrystalický článek [6]	14
Obrázek 3 Polykrystalický fotovoltaický článek [6].....	15
Obrázek 4 Tenkovrstvý solární panel [10]	16
Obrázek 5 Sériové zapojení fotovoltaických panelů [11]	18
Obrázek 6 Paralelní zapojení fotovoltaických panelů [12]	19
Obrázek 7 Mikroinvertor 700 W [16]	20
Obrázek 8 Stringový měnič [19].....	21
Obrázek 9 PWM solární regulátor [24].....	22
Obrázek 10 MPPT fotovoltaický regulátor [25]	24
Obrázek 11 Síťová fotovoltaická elektrárna [27].....	25
Obrázek 12 Off grid fotovoltaický systém [29]	25
Obrázek 13 Hybridní fotovoltaický systém [31].....	26
Obrázek 14 Polední výměna energie [38]	32
Obrázek 15 Množství fotovoltaických elektráren celosvětově [40]	34
Obrázek 16 Pohyb Slunce po obloze v různých ročních obdobích [44]	37
Obrázek 17 Horizontální jednoosý solární sledovač [45]	39
Obrázek 18 Vertikální jednoosý solární sledovač [45]	40
Obrázek 19 Tři typy dvouosých solárních sledovačů [47].....	41
Obrázek 20 Monokrystalický fotovoltaický panel 40 W [48]	44
Obrázek 21 Step down regulátor [50]	45
Obrázek 22 Olověný akumulátor tinfo [51].....	46
Obrázek 23 Arduino UNO R3 [52].....	47
Obrázek 24 Motorový řadič a4988 [53]	48
Obrázek 25 Piny motorového řadiče A4988 [53]	48
Obrázek 26 Krokový motor NEMA 17 – 42HD8011-01 [54].....	49
Obrázek 27 Schéma připojení fotorezistorů	50
Obrázek 29 Fotorezistor v obvodu (fotorezistor GL5339) [55].....	50
Obrázek 30 Dopad slunečních paprsků na fotorezistory	51
Obrázek 31 Schéma zapojení natáčecího systému.....	53
Obrázek 32 Zkonstruovaný fotovoltaický systém.....	54
Obrázek 33 Uložené elektronické části	54

Obrázek 34 Uchycení krokového motoru.....	54
Obrázek 35 Radar v obci [56]	56

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Účinnost různých typů materiálů fotovoltaických panelů [5]	13
Tabulka 2 Výčet firem zabývajících se recyklací panelů v Evropě [39].....	33
Tabulka 3 Největší fotovoltaické elektrárny na světě k roku 2021 [41]	34

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha PI: Program Arduino

Příloha PII: Naměřené hodnoty

PŘÍLOHA P I: PROGRAM ARDUINO

PŘÍLOHA P II: NAMĚŘENÉ HODNOTY

Čas [h]	Úhel náklonu [°]	Intenzita světla [Lux]	Napětí U [V]
8:00	15	93 831	18,55
8:00	30	93 350	18,38
8:00	45	93 423	18,40
8:00	60	93 234	18,39
10:00	15	94 408	18,43
10:00	30	94 341	18,43
10:00	45	94 177	18,42
10:00	60	94 040	18,40
12:00	15	97 374	18,60
12:00	30	96 984	18,58
12:00	45	96 032	18,56
12:00	60	95 447	18,54
14:00	15	94 234	18,49
14:00	30	95 301	18,53
14:00	45	94 447	18,48
14:00	60	93 297	18,45
16:00	15	85 214	17,80
16:00	30	85 430	17,82
16:00	45	85 441	17,83
16:00	60	86 021	17,75