

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY**



NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Květen 2021

Vedoucí práce:

Bc. Michal Pokorný

Ing. Stanislav Bouček

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pokorný** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **457045**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh fotovoltaické elektrárny

Název diplomové práce anglicky:

Design of a photovoltaic power plant

Pokyny pro vypracování:

- 1) Podklady pro návrh FVE
- 2) Příslušná legislativa: výběr pozemku a podmínky připojení k soustavě
- 3) Volba výkonu a návrh elektrárny (rozmístění panelů, elektrické propojení, možnost ukládání energie, vlastní spotřeba.)
- 4) Připojení k soustavě na patě elektrárny včetně chránění a měření
- 5) Ekonomické zhodnocení projektu

Seznam doporučené literatury:

- 1) Příslušné normativní a zákonné předpisy
 - Vyhláška č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb
 - ČSN EN 62446-1 - Fotovoltaické (PV) systémy - Požadavky na zkoušení, dokumentaci a údržbu - Část 1: Systémy spojené s rozvodnou sítí - Dokumentace, zkoušky při uvádění do provozu a kontrola
 - ČSN EN 62305-1 ed. 2 Ochrana před bleskem - Část 1: Obecné principy
 - Vyhláška č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb
- 2) P. Mastný a kol., Obnovitelné zdroje elektrické energie. ČVUT v Praze, 2011, ISBN 978-80-01-04937-2

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Stanislav Bouček, katedra elektroenergetiky FEL

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

Datum zadání diplomové práce: **08.02.2021** Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2022**

Ing. Stanislav Bouček
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Děkuji Ing. Stanislavu Boučkovi za vedení mé práce, jeho rady a pomoc. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Václavu Novákovi a Ing. Lukáši Ehlovi za jejich pomoc při realizaci praktické části práce.

Prohlášení

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

V Praze dne 19.5. 2021

.....

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem fotovoltaické elektrárny o instalovaném výkonu 4,036 MWp na území České republiky.

Úvod práce je věnován teoretické přípravě zahrnující všechny části spojené s návrhem fotovoltaické elektrárny. Prvně je v práci popsáno sluneční záření. Jeho základní parametry, energie a jeho využití v rámci fotovoltaiky. Dále je popsána samotná přeměna sluneční energie pomocí PN přechodu a další jevy, které tuto přeměnu doprovázejí. Na tuto část navazuje popis samotných fotovoltaických článků a panelů. Kde je popsána jejich struktura, parametry, druhy a chování při působení různých vnějších vlivů ovlivňujících jejich funkci. Ostatní kapitoly teoretické části jsou již věnovány zejména dalším prvkům nutných pro realizaci fotovoltaické elektrárny. Jsou to například nadproudové a přepěťové ochrany, střídače a nosné konstrukce FV panelů.

Praktická část práce se zabývá kompletním návrhem fotovoltaické elektrárny, který zahrnuje i vypracovanou projektovou dokumentaci splňující nároky kladené Vyhláškou č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb. Dokumentace je k diplomové práci přiložena jako příloha. Praktická část této práce se nadále zabývá slovním okomentováním této dokumentace, odůvodnění výběru jednotlivých prvků a komponent, výpočtu jejich dimenzí a také jejich cen a nákladů na stavbu. Na závěr práce je provedeno celkové finanční zhodnocení celého projektu, zahrnující i různé možnosti při optimalizaci provedení fotovoltaické elektrárny.

Klíčová slova: projekt, dokumentace, PN přechod, napětí, proud, světlo, energie, vyhláška, norma, panel, článek, fotovoltaický.

Abstract

This work deals with the design of photovoltaic power plants for a functional capacity of 4,036 MWp in the Czech Republic.

The introduction is devoted to theoretical preparation including all parts associated with the design of photovoltaic power plants. The first is the description of solar radiation. Its basic parameters, energy and its use in photovoltaics. Furthermore, the transformation of solar energy by means of the PN junction and other phenomena that accompany this transformation are described. This part is followed by a description of the photovoltaic cells and panels themselves. Where their structure, parameters, types and behavior under various external influences affecting their function are described. The other chapters of the theoretical part are already devoted mainly to other elements necessary for the implementation of photovoltaic power plants. These are, for example, overcurrent and overvoltage protections, inverters and load-bearing structures of PV panels.

The practical part of the work deals with the complete design of photovoltaic power plants, which includes the developed project documentation meeting the requirements of Decree No. 499/2006 Coll., On construction documentation. The documentation is attached to the diploma thesis as an appendix. The practical part of the work deals with the effect of verbal commenting of this documentation, justification of the choice of individual elements and components, calculation of their dimensions, as well as their prices and construction costs. At the end of the work is proved the overall financial evaluation of the whole project, including various options for optimizing the design of photovoltaic power plants.

Keywords: project, documentation, PN junction, voltage, current, light, energy, decree, standard, panel, cell, photovoltaic.

Obsah

ÚVOD	3
1 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ, JEHO VLASTNOSTI A ENERGIE	5
1.1 Sluneční záření	5
1.2 Vlnová délka a světelné spektrum	6
1.3 Energie přenášená ve slunečním záření	7
1.4 Sluneční záření dopadající na povrch země	7
1.5 Rozdělení dopadajícího záření	9
1.6 Vzájemná poloha země a slunce	9
2 PŘEMĚNA ZÁŘENÍ NA ELEKTRICKOU ENERGII	11
2.1 Absorpce fotonu materiálem a jeho interakce	11
2.2 Vznik elektrické energie a pásová struktura materiálu	12
2.3 Separace nosičů náboje a proudová hustota	14
2.4 Rekombinace nerovnovážných nosičů náboje	16
2.5 Tvorba PN přechodu a jeho vlastnosti	16
3 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY A PANELE	18
3.1 Struktura fotovoltaického článku	18
3.2 Náhradní schéma FV článku	20
3.3 VA charakteristika FV článků	21
3.4 Parametry ovlivňující VA charakteristiku	23
3.5 Struktura FV panelů	25
3.6 Zapojení FV článku v panelech	26
3.7 Druhy nosných konstrukcí FV panelů	28

4	OCHRANNÉ PRVKY ELEKTRICKÝCH ROZVODŮ	30
4.1	Prvky nadproudové ochrany	30
4.2	Prvky přepětové ochrany	32
5	STRUKTURA FVE A JEJÍ PRVKY.....	35
5.1	Struktura zapojení FVE	35
5.2	Možná rozdělení FV systémů.....	36
5.3	Struktura a princip FV střídače	37
5.4	Možnosti zapojení FV střídače.....	38
5.5	MPPT a pracovní oblast měniče	40
6	POPIS PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE.....	42
6.1	Význam a struktura projektové dokumentace	42
6.2	Prvky textové části projektové dokumentace	42
6.3	Prvky výkresové části projektové dokumentace.....	44
6.4	Stupně projektové dokumentace	45
7	TEORETICKÝ ROZBOR PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE PRO VÝSTAVBU FVE	46
7.1	Úvod k praktické části	46
7.2	Legislativní náležitosti při realizaci a provozu FVE	47
7.3	Struktura PD a její jednotlivé části	50
7.4	Popis technického návrhu FVE	52
7.5	Realizační a provozní náklady FVE.....	59
7.6	Vyrobená energie FVE	60
7.7	Finanční zhodnocení navržené FVE.....	61
7.8	Možnosti technického řešení částí FVE.....	63
	ZÁVĚR	65
I.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	67
II.	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	70
III.	SEZNAM TABULEK	71
IV.	SEZNAM ZKRATEK	72
V.	SEZNAM PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE	74

Úvod

Sluneční záření je s lidstvem a samotným životem provázáno již od počátku. Postupem času však začalo být lidmi využíváno mnohem sofistikovaněji, a to zejména s rozvojem techniky. Ať už to bylo osvětlení interiéru budov pomocí systému zrcadel, nebo ohřevu vody v domácnostech a továrnách. Obě tyto varianty využití slunečního záření jsou v určité míře a komplexnějším provedení využívány dodnes. V této práci se však budu zabývat jedním, z novodobě nejmladším využitím slunečního záření, a to konkrétně jeho přeměnou na elektrickou energii.

První pokusy s fotovoltaickými články byly provedeny už v roce 1883 Charlseem Frittssem [1]. Tyto články měly však pouze 1 % účinnost přeměny energie, proto nebyly komerčně používány. Větší pokrok byl zaznamenán mezi lety 1946–1954, kdy byla dosažena účinnost článků až 6 %. Tento pokrok byl zejména podpořen využitím fotovoltaiky v kosmonautice, kde slouží jako jediný dostupný zdroj energie ve vesmíru. Do komerční sféry se však fotovoltaika dostala až v 70 letech 20. století, kdy se začaly vyrábět první fotovoltaické panely pro běžné užití. Bohužel v této době byly pořizovací náklady na fotovoltaiku oproti vyrobené energii vysoké, proto se ve většině případů používala pouze pro speciální případy, jako jsou ropné plošiny a jiné izolované objekty, které potřebovaly vlastní nezávislý zdroj energie [1]. Postupem času se tento trend měnil. Začala se totiž zavádět sériová velkovýroba a lepší technologie používané při zpracování základních materiálů FV panelů. Postupně se tak začal zvyšovat jak výkon, tak i účinnost panelů. Naopak pořizovací cena fotovoltaiky začala s novými technologiemi a velkovýrobou postupně klesat. Avšak ani na začátku 21. století nebylo pro domácnosti a firmy pořízení fotovoltaiky výhodné. Tento fakt byl však podchycen Evropskou unií. Ta se zasazuje pro změnu energetického mixu jejich členských zemí, a to zejména snížením emisí při výrobě elektrické energie a rozvojem environmentálně nezávadných obnovitelných zdrojů. Proto, aby byly lidé motivováni

k pořízení fotovoltaiky, byly členské státy Evropská unie donuceny poskytnout finanční podporu pro fotovoltaiku tak, aby její vybudování bylo vzhledem k pořizovacím nákladům a množství vyrobené energie výhodné. To bylo provedeno prostřednictvím dotací na samotnou výstavbu fotovoltaiky, a také zvýhodněním a zafixováním výkupní ceny energie z tohoto obnovitelného zdroje. Jak dotace, tak zvýhodněné výkupní ceny fungují v členských státech Evropské unie v omezené míře dodnes. Výše potřebných dotací už však pro státy není zdaleka tak tíživá jako na jejich počátku. Tento fakt je dán zejména pádem cen krystalického křemíku, který slouží jako základní materiál pro výrobu panelů, ale také velkým rozmachem a modernizací výroby, která byla z velké části v roce 2008 přesunuta do Číny [1]. To zapříčinilo velké snížení výrobních nákladů panelů a výrazně se tak zvýšila jejich finanční návratnost. Z technologické stránky došlo ke zvýšení účinnosti a výkonu panelů, který je aktuálně u těch nejmodernějších skoro dvojnásobný, než před 10 lety.

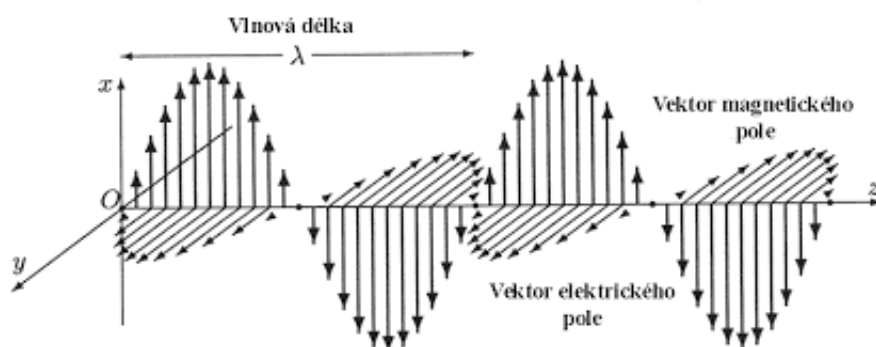
V aktuální době v naší zemi převládá výstavba střešních, malokapacitních fotovoltaických systémů. Velká fotovoltaická pole se oproti dřívějším rokům instalují pouze v malé míře, a to taky zejména kvůli ochraně zemědělské půdy a malé návratnosti investic do těchto systémů. To se však nejspíše brzo změní, jelikož se dle plánu Evropské unie budou postupně zavírány uhelné elektrárny, které na našem území tvoří až 50% vyrobené energie. Dle plánu by část výroby ze zavřených uhelných elektráren měly nahradit nově vybudované obnovitelné zdroje. Z nichž má na našem území největší potenciál na další rozšiřování právě fotovoltaika.

1 Sluneční záření, jeho vlastnosti a energie

V této kapitole budou obecně popsány fyzikální vlastnosti a chování slunečního záření na zemském povrchu. Dále zde budou popsány jednotlivé parametry slunečního záření, jak souvisejí s FV systémem a jaký mají vliv na jeho provedení a způsob instalace.

1.1 Sluneční záření

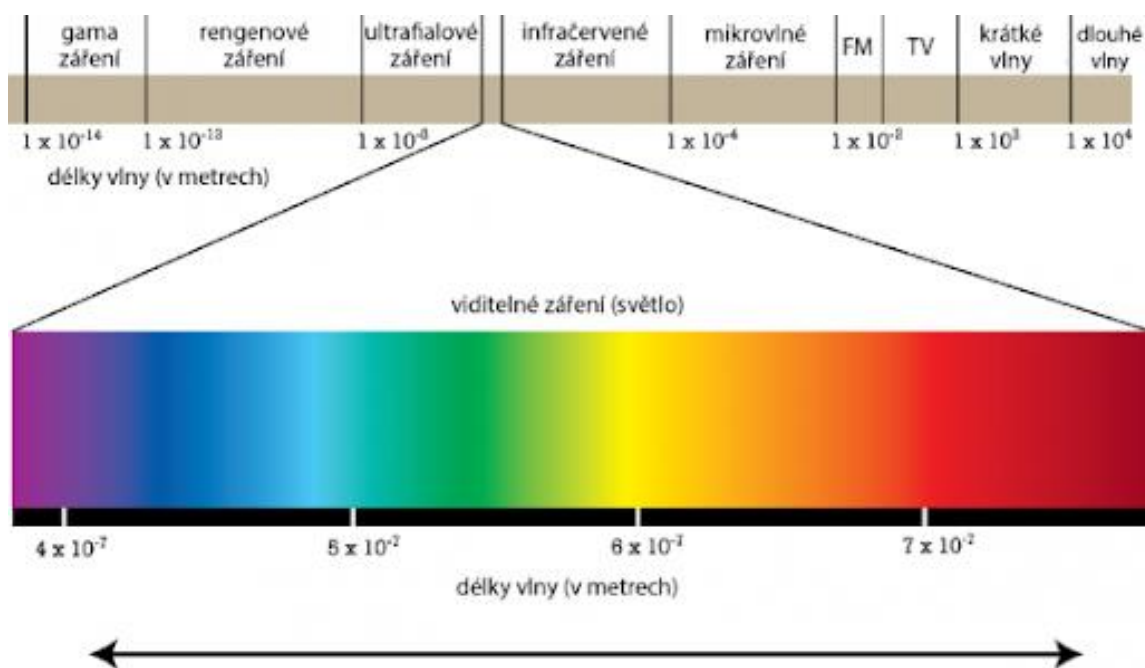
Sluneční záření vzniká vlivem jaderných přeměn v jádře slunce a následnými interakcemi na jeho povrchu. Prvně probíhá termonukleární reakce při vysoké teplotě v samotném jádru. Poté dochází ke vzniku samotného elektromagnetického záření v oblasti atmosféry slunce, kde poté dojde za pomoci solárního větru k emitaci protonů, α částic a elektronů [2]. Sluneční záření je přenášeno pomocí elektromagnetického vlnění. Elektromagnetické vlnění je druh příčného postupného vlnění, u něhož dochází k oscilaci jeho jednotlivých složek kolmo vůči směru šíření. Důležité je podotknout, že elektromagnetické vlnění nepotřebuje ke svému šíření žádný materiál a dokáže se tedy šířit i ve vakuu. Díky tomu dokáže sluneční záření i přes velkou vzdálenost země od slunce dopadnout na zemský povrch a s malými ztrátami si uchovat svojí původní energii. Energie je v elektromagnetickém záření přenášena pomocí fotonů, které svojí energii a tím i energii slunečního záření předají při interakci s krystalickou mřížkou materiálu, na které sluneční záření dopadne.



Obrázek 1: Složení elektromagnetické vlny [3]

1.2 Vlnová délka a světelné spektrum

Hlavním parametrem, který u FV určuje využitelnost dopadajícího slunečního záření je vlnová délka elektromagnetického vlnění, ta je znázorněna na obrázku 1. Vlnová délka udává vzdálenost, po které se vlnění periodicky opakuje. Vlnová délka udává jak energii, která je v záření přenášena prostřednictvím fotonu, ale také i barvu záření, která je vnímána lidským okem. Sluneční záření, které dopadá na zemský povrch obsahuje pouze určitý rozsah vlnových délek. Pomocí elektromagnetického spektra lze sluneční záření dopadající na povrch země dle jeho vlnové délky rozdělit na záření ultrafialové (pro vlnové délky menší než 380nm), záření viditelné (pro vlnové délky mezi 380 a 780nm) a záření infračervené (pro vlnové délky nad 780nm). Dopadající slunečního záření má největší obsah vlnových délek z viditelného záření, a to až z 45%. Mírně menší podíl vlnových délek je poté obsažen ze spektra IR záření. Nejmenší podíl má poté škodlivé UV, které je ve velké míře pohlceno v atmosféře, a na zemský povrch ho dopadá minimum. Pro výrobu elektrické energie pomocí FV hraje největší roli spektrum viditelného záření a pouze malá část z IR záření, kde se uplatňují pouze kratší vlnové délky na hranici s viditelným zářením.



Obrázek 2: Světelné spektrum v závislosti na vlnové délce [4]

1.3 Energie přenášena ve slunečním záření

Energie slunečního záření je uchovávána v elementární částici zvané foton. Samotný foton vyjadřuje elementární kvantum elektromagnetického pole, prostřednictvím kterého se sluneční záření šíří. Vlastnosti samotného fotonu jdou popsat jako vlastnosti částice i vlny najednou, foton však není ani jedno z těchto dvou [3]. Mezi základní vlastnosti fotonu patří zejména to, že nemůže existovat v klidu a má tak nulovou klidovou hmotnost. Za celou dobu jeho života se tedy pohybuje rychlostí světla ve vakuu. Samotný foton také nenese žádný elektrický náboj a po jeho vzniku není bez interakci fotonu s cizím tělesem při které by zanikl, nijak omezena doba jeho života. Považuje se tedy za stabilní částici, jelikož poločas jeho rozpadu lze považovat za nekonečný.

Vlivem neustálého pohybu nese foton energii definovanou vztahem (1). Kde po vyjádření frekvence, podílem rychlosti světla a vlnové délky lze vidět, že vztah pro výslednou energii fotonu a tím pádem i celkovou energii obsaženou ve slunečním záření dopadajícím na zemský povrch, je závislý pouze na jeho vlnové délce.

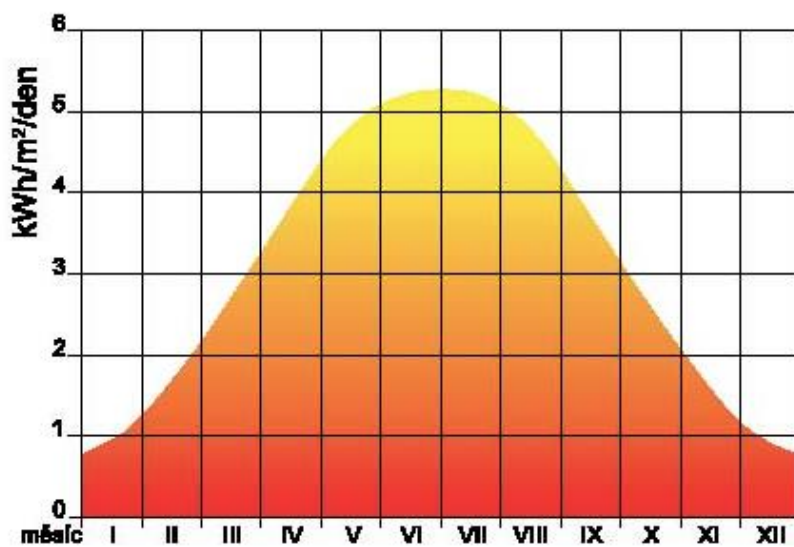
$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} [eV] \quad (1)$$

E	= energie fotonu
h	= Planckova konstanta
f	= frekvence
λ	= vlnová délka
c	= rychlost světla

1.4 Sluneční záření dopadající na povrch země

Než sluneční záření a energie, kterou v sobě nese, dopadne na zemský povrch, musí nejdříve překonat ochranou atmosféru naší planety. Při tomto průniku k zemskému povrchu může být za různých klimatických a zeměpisných podmínek velká část dopadajícího záření ztracena. Energie slunečního záření, dopadající na povrch atmosféry je vyjádřena pomocí solární konstanty jako $I_0 = 1360\text{W/m}^2$. Z této energie je však při interakci s atmosférou jeho část absorbována, rozptýlena, nebo úplně odražena zpět do vesmíru. Například za jasného dne a optimálního dopadu slunečního záření na povrch země, může na povrch dopadnout až 1000W/m^2 sluneční energie. Přičemž největší vliv na ztráty energie budou mít molekuly vzduchu a vodních par, které se budou podílet na absorpci energie až z 15%. Tyto podmínky jsou v reálném světě velmi proměnné. Může to být jednak nepřízní počasí, kdy při zatažené

obloze dojde k větší absorpci a rozptylu slunečního záření než při jasné obloze. Zatažené dny během ročního koloběhu převládají v zimním období, a naopak jasné dny zas v letním. Když k těmto proměnlivým podmínkám připočteme i excentrický oběh naší planety kolem slunce, tak lze jednoduše odůvodnit velké rozdíly dopadajícího slunečního záření v různém ročním období. V praxi to vypadá tak, že v letních měsících dopadá na zemi několikanásobně větší množství sluneční energie než v měsících zimních. To platí zejména v naší zeměpisné šířce. Naopak u zeměpisných šířek bližších rovníku se tento rozdíl postupně zmenšuje.



Obrázek 3: Dopadající sluneční energie na zemský povrch během roku [5]

V dnešní době je však nutné k samotným klimatickým podmínkám a zeměpisné poloze připočítat ještě míru znečištění v dané oblasti. Nežádoucí příměsi v atmosféře značně přispívají k rozptylu a absorpci dopadající sluneční energie. Tuto ztrátu energie lze vyjádřit pomocí součinitele znečištění Z , který závisí na obsahu příměsí a atmosférickém tlaku vzduchu. Tento koeficient byl experimentálně určen pro dané oblasti a dnes je používán jako tabulková hodnota. Hodnotu dopadajícího záření na danou plochu v určené oblasti lze určit pomocí následujícího vztahu [2]:

$$I_p = (I_0 \cdot A^{-Z}) \cdot \cos \gamma \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (2)$$

- I_p = sluneční energie na povrchu země
- I_0 = solární konstanta
- A = plocha
- Z = součinitel znečištění
- γ = úhel dopadu slunečního záření

1.5 Rozdělení dopadajícího záření

Záření, které na daný bod zemského povrchu dopadá přímo ze slunečního kotouče, je nazýváno jako přímé sluneční záření. Při průchodu atmosférou je však dopadající záření v závislosti na aktuálních klimatických a lokálních podmínkách rozptýleno od jeho přirozené dráhy k zemskému povrchu. Toto záření poté dopadá na jiný bod zemského povrchu a je nazýváno jako záření difúzní neboli rozptýlené. Posledním druhem je záření odražené neboli albedo. Tento druh záření vznikne odražením přímého, nebo difúzního záření od zemského povrchu vlivem odrazivosti materiálu, na který původní záření dopadlo. Odrazivost je základní vlastnost každého materiálu a udává se v % světelného záření, které se po dopadu na povrch objektu odrazí a není jím pohlceno.

V daném bodě na zemském povrchu je tedy celkové dopadající sluneční záření součtem všech tří zmíněných. Podíl těchto záření se mění zejména díky klimatickým podmínkám. Kdy při jasné obloze nedochází k velkému rozptylu přímého záření a záření difúzní má tak podíl pouze v řádu jednotek %. Naopak při zamračeném dni dochází k celkovému rozptylu přímého záření a na zemský povrch tak dopadá pouze záření difúzní. Rozdíl těchto dvou druhů záření není jen v jejich původu, ale hlavně také ve vlnových délkách v nich obsažených. U difúzního záření převládají kratší vlnové délky viditelného spektra, jelikož u nich dochází k častějšímu rozptylu s částicemi v atmosféře. Naopak u přímého záření převládají zase delší vlnové délky, tedy velká část viditelného a IR záření. Oba druhy záření se tedy kromě jejich původu liší také rozsahem vlnových délek, na kterých je závislá velikost v nich obsažené energie. Různý poměr obou záření a tím i dopadající energie, má poté vliv na funkčnost FV.

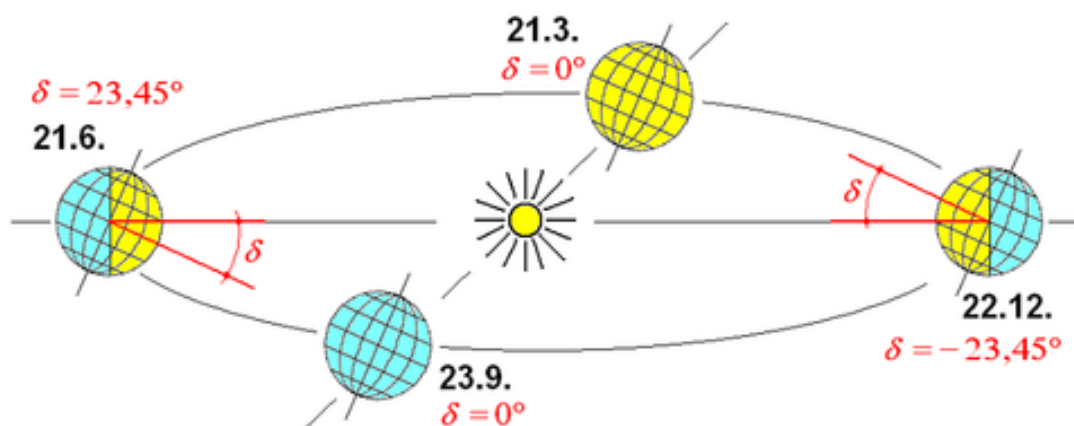
1.6 Vzájemná poloha země a slunce

Obecný pohyb země kolem slunce popisují Keplerovy zákony, které zde nebudu rozebírat. V této části se budu věnovat zejména tomu, jak se při oběhu naší planety okolo slunce mění úhel, pod kterým na zemský povrch dopadá sluneční záření. To je zapříčiněno nakláněním osy země od přirozené svislé polohy o určitý úhel, který je označován jako deklinace. Největší úhel deklinace nastává při letním a zimním slunovratu, kdy v letním období je deklinace rovna $\delta = 23,45^\circ$ a při zimním $\delta = -23,45^\circ$. Po dosažení tohoto maximálního úhlu se planeta začne postupně naklánět nazpět, dokud opět nedosáhne opačného maxima. Úhel deklinace naší planety v daný den lze jednoduše určit pomocí následujícího vztahu:

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin \left[\frac{360 \cdot (d_n + 365)}{365} \right] [^\circ] \quad (3)$$

δ = solární deklinace
 d_n = den pro určení deklinace

Výsledný úhel, pod kterým dopadá sluneční záření na povrch země, se určí jako rozdíl úhlu zenitu a vypočtené deklinace. Úhel zenitu lze získat tak, že na zkoumaném bodě povedeme vůči zemskému povrchu kolmici do středu planety. Úhel zenitu je pak úhel, který mezi sebou svírá námi vedené kolmice a rovník. Jelikož se tento úhel počítá pouze ke konkrétním bodům, je pro každou zeměpisnou šířku odlišný. Při návrhu FVE je tento údaj velmi důležitý, a to nejen pro při rozmístování FV pole, ale i pro zvolení optimálního sklonu panelů. Jedním z hlavních údajů pro návrh FVE je minimální úhel dopadajícího slunečního záření. V naší zeměpisné šířce nastává v zimním období a je roven 17° . Tento údaj má hlavní vliv na rozmístění panelů tak, aby při malém úhlu dopadajícího záření nedocházelo k vzájemnému stínění. U panelů s pevnou konstrukcí je dále potřeba zvolit ideální sklon panelů tak, aby při měnícím se dopadu slunečního záření během roku, dosáhl největší účinnosti. V tomto případě je potřeba nalezení vhodného kompromisu, jelikož pro malé úhly dopadajícího záření v zimních měsících jsou výhodné větší sklony panelů, a naopak v letních měsících při větším úhlu dopadu jsou upřednostňovány zase sklony menší. Vzhledem k tomu, že v letních měsících dopadá na povrch země výrazně více sluneční energie je sklon panelů volen tak, aby více vyhovoval letnímu období. Volený sklon v naší zeměpisné šířce, kde dosahuje největší účinnosti, je tak mezi $25 - 35^\circ$ naklonění vůči zemskému povrchu s natočením panelů na jižní stranu.



Obrázek 4: Změna deklinace během ročního cyklu [6]

2 Přeměna záření na elektrickou energii

V této kapitole bude popsán princip přeměny energie slunečního záření na elektrickou energii. Dále zde bude popsáno využitelné pásmo dopadající sluneční energie, pásová struktura materiálu a obecné funkce PN přechodu a jeho využití ve FV.

2.1 Absorpce fotonu materiálem a jeho interakce

Jak již bylo uvedeno, nosičem energie slunečního záření je foton. Energie nesoucí fotonem je tedy využita k výrobě elektrické energie, která nastává uvnitř polovodičového materiálu. V minulé kapitole byla zmíněna takzvaná odrazivost materiálu. Ta dále hraje roli i u absorpce materiálu, tedy množství světla dopadajícího na povrch tělesa, které do něj dále proniká a není jako v opačném případě odraženo. Dopadající světlo je vždy částečně odraženo, nebo dále pohlceno. Součet těchto dvou možností musí vždy dát dohromady celkové množství dopadajícího slunečního záření. Je-li tedy známá jedna veličina, druhou si skrze procenta jednoduše dopočítáme. Množství slunečního záření, které prostřednictvím fotonu projde do materiálu, lze vyjádřit pomocí vztahu (4). Ve vztahu je světelné záření reprezentováno světelným tokem. Světelný tok představuje součet celkového slunečního záření, procházející danou uzavřenou plochou. Důležité je zmínit, že každá vlnová délka reaguje se stejným materiálem jinak. Proto má jeden materiál různou absorpci a odrazivost pro každou vlnovou délku.

$$\Phi_O(\lambda) = \Phi_{IN}(\lambda) \cdot (1 - R(\lambda)) [W] \quad (4)$$

Φ_O = tok fotonů, který pronikne do tělesa
 Φ_{IN} = tok fotonů dopadající na povrch tělesa
R = odrazivost povrchu tělesa

Dalším důležitým parametrem, který je potřeba zmínit je absorpční koeficient α (λ). Z převrácené hodnoty tohoto koeficientu lze vypočítat absorpční délku. Absorpční délka je opět funkcí vlnové délky. Je tedy pro každou vlnovou délku opět odlišná. Pomocí absorpční délky lze pro každou vlnovou délku určit, do jaké hloubky od povrchu je záření schopné proniknout, než při interakci s materiálem zanikne. Tento parametr je dále důležitý při optimálním návrhu FV článků, zejména pro nastavení jednotlivých vrstev materiálu tak, aby došlo k co nejúčinnějšímu pohlcení veškeré sluneční energie co do materiálu pronikne.

Samotné fotony, které proniknou do daného materiálu, zanikají při takzvané interakci. Interakce znamená to, že foton předá svojí energii jiné částici, nebo krystalové mřížce a poté zanikne. Celkově lze rozlišit tři druhy interakcí fotonů s vnitřní strukturou materiálu.

Interakce s částí krystalické mřížky: v tomto případě se spíše nízko energetické elektrony srazí s krystalickou mřížkou materiálu. Té předají svojí energii a zaniknou. Předaná energie zapříčiní pouze zvýšení teploty materiálu v podobě rozkmitání krystalické mřížky.

Interakce s volnými elektrony: při sražení s volně pohybujícím se elektronem dojde pouze k zvýšení kinetické energie fotonu a krátkodobému zvýšení teploty materiálu.

Interakce s vázanými elektrony: v tomto případě dochází k přetržení kovalentní vazby elektronu a vytvoření volného nosiče náboje. Touto interakcí tak vzniká přeměna sluneční energie na elektrickou.

2.2 Vznik elektrické energie a pásová struktura materiálu

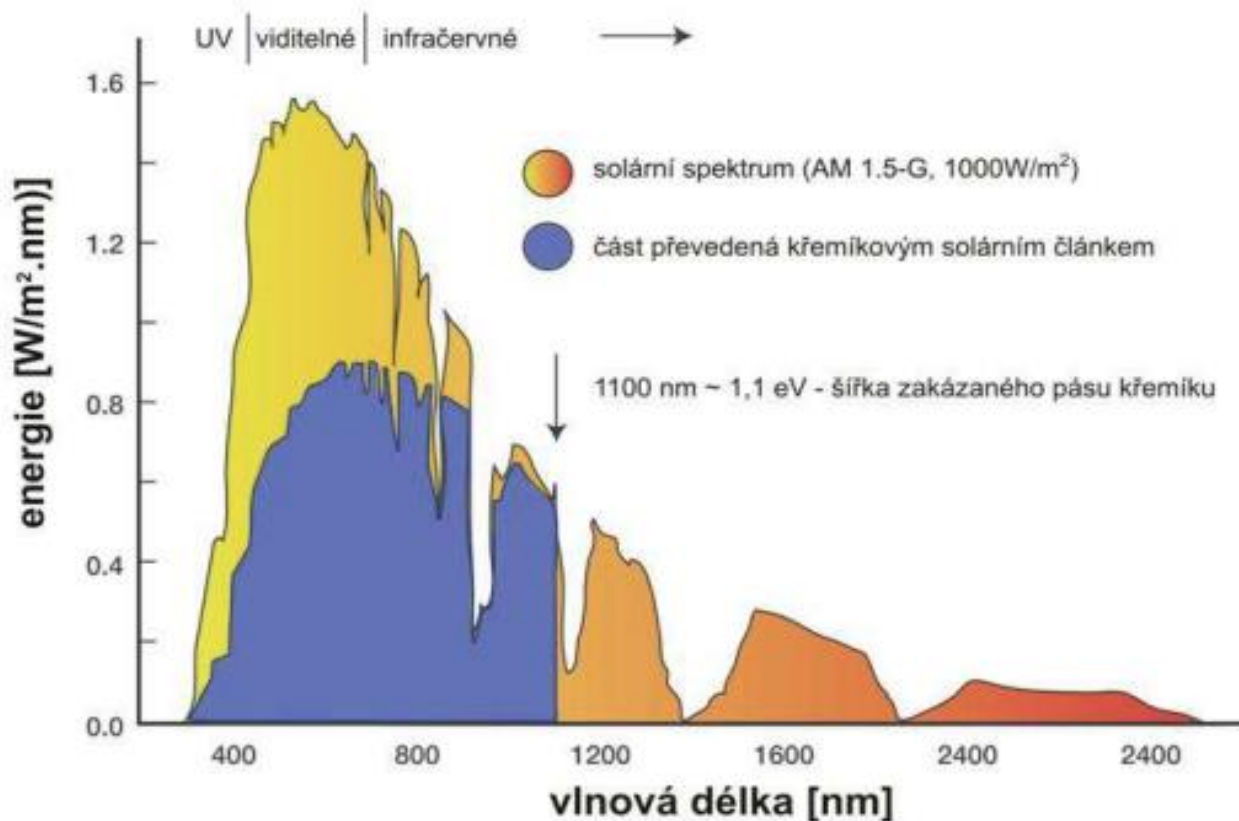
Elektrická energie v materiálu polovodiče je tedy tvořena při interakci fotonů s vázanými elektrony. Uvolněný elektron poté nese záporný elektrický náboj a volně proplouvá krystalovou mřížkou. V původním místě elektronu, odkud byl pomocí předané energie od fotonu vytrhnut, vzniká takzvaná díra, která má naopak kladný náboj. Tím tak v materiálu vznikají nerovnoměrné nosiče náboje, které tak vyvádí materiál z termodynamické rovnováhy.



Obrázek 5: Pásová struktura polovodiče bez příměsí [7]

Aby však mohla interakce proběhnout úspěšně, a dříve vázaný elektron se mohl uvolnit z kovalentní vazby, musí být foton, který se s vázaným elektronem srazí nosičem dostatečně velké energie. Vázané elektrony totiž leží ve valenčním pásu, kde jsou pevně vázány v krystalové mřížce. K tomu, aby se elektron mohl uvolnit a vytvořit tak pár elektron-díra, musí foton elektronu dodat takovou energii, která přesahuje, nebo je rovna šířce zakázaného pásu. Tím se elektron dostane do vodivostního pásu a může se v krystalové mřížce volně pohybovat. Při jevu, kdy foton dodá elektronu větší množství energie, než je potřebné na překonání zakázaného pásu, dojde k přeměně přebytečné energie fotonu na teplo a elektron svojí energii sníží tak, aby se ustálil na nejmenší energetické hladině vodivostního pásu. To je zapříčiněno tím, že při uvolnění elektronu vzniká v materiálu již zmiňovaná termodynamická nerovnováha, které se materiál brání a chce se dostat zpět do rovnováhy. Jedním z těchto kroků je přeměna přebytečné energie uvolněného elektronu.

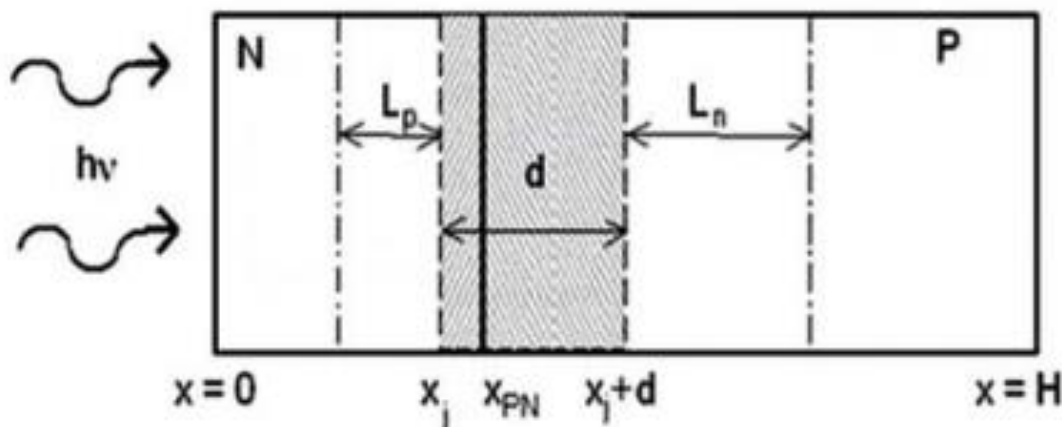
Jak bylo řečeno v první kapitole, FV dokáže využít pouze určité množství vlnových délek obsažených ve slunečním záření. Tento rozsah je dán potřebnou energií nesoucí fotonem, která umožní elektronu překonat zakázaný pás. Možné využití vlnových délek je různé pro každý materiál kvůli rozdílným šířkám zakázaného pásu, a tedy i různé potřebné energii pro jeho překonání elektrony do pásu vodivostního. Ze strany větších vlnových délek dokážeme jasně určit využitelnost záření, protože dle šířky zakázaného pásu lze určit minimální potřebnou energii pro jeho překonání. Pro malé vlnové délky taková hranice neexistuje, jelikož jejich nadbytečná energie je vždy přeměněna na teplo. Příklad využitelných vlnových délek pro FV jev v případě křemíku, jehož šířka zakázaného pásu je 1,1eV, je znázorněn na obrázku 6.



Obrázek 6: Využitelné vlnové délky pro FV jev z dopadajícího slunečního záření [8]

2.3 Separace nosičů náboje a proudová hustota

Po uvolnění elektronu, dodáním dostatečné energie fotonem, se elektron může volně pohybovat krystalickou mřížkou. Tyto volné elektrony nemívají dlouhou dobu života kvůli takzvané rekombinaci. Rekombinace znamená, že se volný elektron v mřížce přiblíží ke kladně nabitě díře, s kterou se následně spáruje. Při rekombinaci elektron předá svojí nadbytečnou energii získanou při interakci s fotonem a excituje z vodivostního pásu zpět do valenčního. Tímto jevem zanikají nerovnoměrné nosiče náboje generované slunečním zářením. K tomu, aby nerovnoměrné nosiče nezanikly, je potřeba uvolněné díry a elektrony separovat ještě před jejich rekombinací. Tato separace je prováděna pomocí PN přechodu, ve kterém se nerovnoměrné nosiče náboje rovnou generují. PN přechod je tvořen materiálem typu P, kde převládají kladně nabitě díry a materiál typu N, kde naopak převládají záporně nabitě elektrony. Na hranici těchto materiálu poté vzniká takzvaná oblast prostorového náboje, která slouží jako bariéra mezi oběma typy materiálu.



Obrázek 7: Vnitřní struktura PN přechodu [2]

Při průchodu slunečního záření se generují nerovnoměrné nosiče náboje v celém objemu PN přechodu. Výhodou PN přechodu je to, že za pomoci vnitřního elektrického pole dokáže samovolně separovat nově generované volné nosiče náboje. Separace probíhá tak, že záporně nabitě elektrony jsou směřovány do oblasti typu N a kladně nabitě díry do oblasti typu P. Tím jsou obě části postupně nabíjeny na opačnou polaritou. Separace nerovnoměrných nosičů je prováděna pomocí vnitřního elektrického pole o šířce d , označeného na obrázku 7. Nerovnoměrné nosiče náboje vygenerované v tomto prostoru jsou okamžitě urychleny do části o stejné polaritě. U volných nosičů generovaných mimo oblast prostorového náboje už to tak jednoduché není. Generované nosiče v oblastech materiálu typu N a P musí nejdříve difundovat k oblasti prostorového náboje, aby jeho silou mohly být urychleny do oblasti stejné polarity. To se však nepovede všem generovaným nosičům, jelikož před dosáhnutím této hranice stihne jejich část rekombinovat.

V této fázi již můžeme pozorovat řízený tok elektrického náboje určitou plochou, tedy proudovou hustotu. Celková proudová hustota tekoucí PN přechodem je dána jako součet proudové hustoty generované v oblasti prostorového náboje a oblastech P a N, které jsou při generaci ochuzeny o část náboje, který stihl rekombinovat. Po připojení kladné elektrody na materiál typu P a záporné elektrony na typ N a následného připojení obvodu na zátěž, začne PN přechodem do obvodu téct proud vyrobeným dopadajícím slunečním zářením. Takto provedený PN přechod slouží jako základ FV článku.

2.4 Rekombinace nerovnovážných nosičů náboje

Při nedostatečně rychlé separaci nerovnovážných nosičů náboje, dojde k jejich rekombinaci a jejich následnému zániku. Samotné rekombinace jde popsat jako samovolná snaha systému o návrat do termodynamické rovnováhy, kterou nově vygenerované nerovnovážné nosiče náboje narušují. Celkem lze takto rozeznat tři, na sobě nezávislé druhy rekombinace.

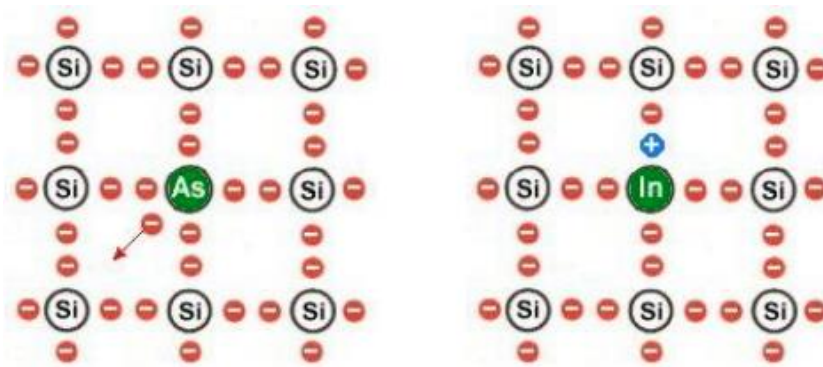
Zářivá rekombinace: nastává při rekombinaci elektronu ve vodivostním pásu s dírou ve valenčním pásu za předpokladu, že obě částice mají stejnou hybnost. Elektron pak při přechodu zakázaným pásem svojí nadbytečnou energii vydá v podobě fotonu, jehož vlnová délka bude odpovídat šířce zakázaného pásu.

Rekombinace pomocí lokálních center: vzniká díky velkému obsahu příměsí v základním materiálu. Tyto příměsi poté vytvářejí v zakázaném pásu základního materiálu vlastní hladiny a v lokálních místech tak snižují šířku zakázaného pásu.

Augerova rekombinace: probíhá stejně jako zářivá rekombinace s tím rozdílem, že foton a díra mají rozdílnou hybnost. Nadbytečná hybnost je při rekombinaci částic předána jinému elektronu ve vodivostním pásu, nebo díře ve valenčním pásu. Předaná hybnost je v podobě kinetické energie částicí postupně přeměněna na teplo. Tento druh rekombinace bývá ve většině polovodičů dominantní.

2.5 Tvorba PN přechodu a jeho vlastnosti

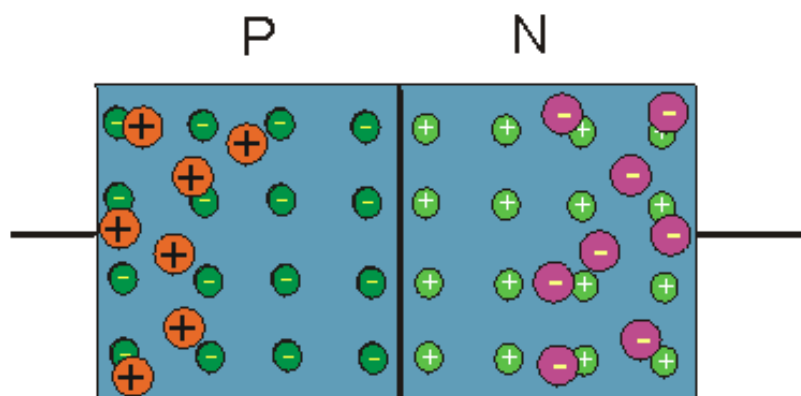
PN přechod je tvořen dvěma různými polovodičovými materiály. Materiálem typu P s vyšší koncentrací kladně nabitých děr a materiálem typu N s vyšší koncentrací záporně nabitých elektronů. Tyto materiály se tvoří pomocí dotování základního materiálu příměsí jiného materiálu o rozdílných vlastnostech. Základní materiál používaný pro tvorbu PN přechodu je čtyřmocný křemík. Pro vytvoření materiálu typu N se do křemíku přidávají příměsi pětímocného prvku, jako je například fosfor a arsen (donory). Přidáním pětímocného prvku k čtyřmocnému křemíku, vznikne vlivem příměsí v materiálu přebytek volných elektronů. Tím vznikne materiál typu N. Pro vytvoření materiálu typu P se postupuje podobně s tím rozdílem, že dotace je prováděna třímocným prvkem jako je například bor a hliník (akceptory). Vlivem příměsí tak vznikají volné, kladně nabitě díry a tím i materiál typu P.



Obrázek 8: Princip vytváření polovodičového materiálu typu N a P pomocí příměsí [9]

Po přiložení obou materiálů k sobě a vytvoření vzájemné kontaktní plochy, vznikne na přechodu materiálů oblast se silným elektrickým polem. Tato oblast vznikne prostřednictvím lavinové rekombinace volných elektronů a děr v oblasti kontaktu obou materiálů. V této oblasti poté zůstanou pouze nepohyblivé ionty, které následně vytvoří vnitřní elektrické pole. Toto pole poté neumožní zbylým volným nosičům náboje přecházet do opačně nabitě části PN přechodu a tím i rekombinovat.

Další významnou vlastností PN přechodu je, že umožňuje průchod proudu pouze v jednom směru. Lze tak rozlišovat zapojení přechodu v propustném a závěrném směru. Propustného stavu je docíleno tak, že na pozitivní pól zdroje přiložíme polovodič typu P a na záporný pól polovodič typu N. Pokud je přiložené napětí zdroje vyšší než difúzní napětí vnitřního elektrického pole PN přechodu, začnou volné nosiče náboje libovolně přecházet přes rozhraní materiálu. PN přechod tak začne propouštět elektrický proud. Závěrný směr nastane při opačném připojení elektrod zdroje na polovodiče typu N a P. V tomto případě dojde naopak k posílení vnitřního elektrického pole a pro volné nosiče náboje je ještě obtížnější touto bariérou projít. Elektrický proud tedy PN přechodem v tomto zapojení nepoteče.



Obrázek 9: PN přechod v rovnovážném stavu [10]

3 Fotovoltaické články a panely

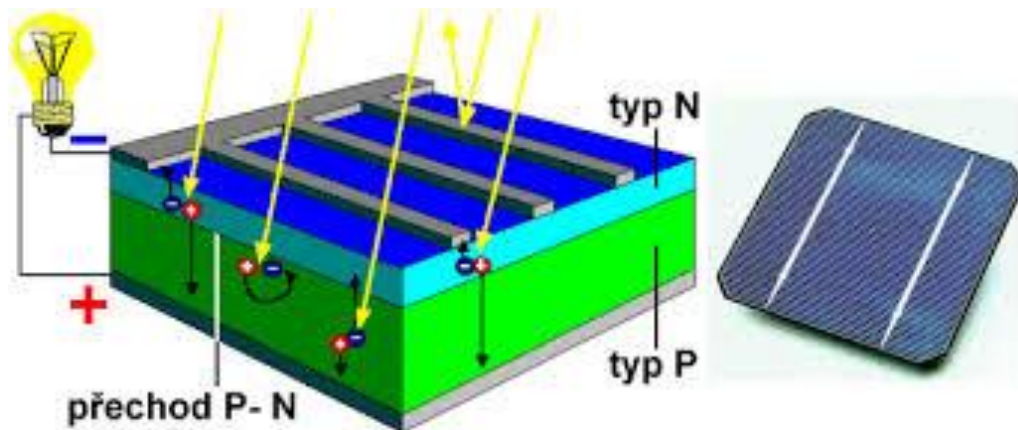
V této kapitole bude popsána struktura a provedení FV článku, jeho náhradní schéma, VA charakteristika a veličiny, které mají vliv na jeho chování. Na závěr zde bude zmíněna struktura FV panelu, jeho možné nosné konstrukce a způsob zapojení FV článků uvnitř panelu.

3.1 Struktura fotovoltaického článku

Samotný PN přechod slouží pouze pro generaci volných nosičů náboje a jejich následné separaci do oblastí o stejné polaritě. K odvodu elektrické energie z PN přechodu a minimalizaci ztrát rekombinací je potřeba provést ještě řadu technologických úkonů, po kterých je vytvořen samotný FV článek.

V dnešní době existuje již několik druhů FV článků a možných technologických postupů při jejich výrobě. Proto se v rámci této práce budu zabývat tím nejrozšířenějším typem FV článku, který bude zároveň použit v praktické části práce. Jedná se tedy o FV články vyrobené z krystalického křemíku, který byl již zčásti popsán v předchozí kapitole.

Základem pro tvorbu FV článku je již zmíněný pětimocný křemík. Ten je technologicky ošetřen od jakýchkoliv nežádoucích příměsí a nečistot na takzvaných 6N, tedy na materiálovou čistotu s přesností na šest desetinných míst. Takto čistý křemík je poté dotován borem, aby se z něj stal polovodič typu P. Tento materiál je pak nařezán na malé destičky čtvercového tvaru o nejběžnějším rozměru $156 \times 156 \text{ mm}^2$ a tloušťce okolo $200 \mu\text{m}$. Na jedné straně destičky se poté provede texturace povrchu pomocí leptání. Texturace povrchu je prováděna kvůli zmenšení jeho odrazivosti. Na vyleptanou stranu destičky je poté difúzí při vysoké teplotě dotován pětimocný prvek. Tím se na destičce vytvoří tenká vrstva polovodiče typu N. Tím se uvnitř destičky vytvoří PN přechod a oblast prostorového náboje.



Obrázek 10: Struktura FV článku [11]

Takto vyrobený PN přechod slouží jako základní materiál pro různé výrobní metody finálního FV článku. Aktuálně nejrozšířenější metoda pro výrobu FV článku je metoda PERC, která z větší části vychází z dříve používané metody BSF. Dále se tedy budu věnovat pouze popisu těchto dvou metod.

Na stranu PN přechodu, kde je polovodič typu N je poté nanесena pasivační a antireflexní vrstva. Antireflexní vrstva slouží jako již zmíněná texturace povrchu k potlačení odrazivosti materiálu. Pasivační vrstva slouží ke snížení povrchové rekombinace nerovnovážných nosičů náboje tím, že povrch polovodiče pokryje tenkou vrstvou dielektrika vhodných vlastností. Posledním krokem je vytvoření elektricky vodivých kontaktů na obou stranách PN přechodu, sloužících k odvodu generovaného proudu. Na obou stranách destičky jsou kontakty provedeny nanесením vodivé pasty pomocí síťotisku. Na straně polovodiče typu N jsou ve svislém směru vytvořeny takzvané sběrnice, na které jsou po celé délce článku ve vodorovné rovině připojeny užší sběrnice, nazývané prsty. Touto strukturou vodivých cest je zajištěn sběr volných nosičů náboje na horní vrstvě FV článku. Nevýhodou je, že těmito sběrnicemi je zároveň snížena osvětlená plocha PN přechodu a tím i snížena generace nerovnoměrných nosičů náboje. Proto je snaha plochu těchto sběrnic co nejvíce minimalizovat. Kvůli lepší vodivosti jsou sběrnice na horní straně FV článku prováděny pastami na bázi stříbra. V případě zadní strany polovodiče typu P, je pastou zakrytá jeho celá plocha. Takto ošetřený PN přechod již můžeme nazvat FV článkem.

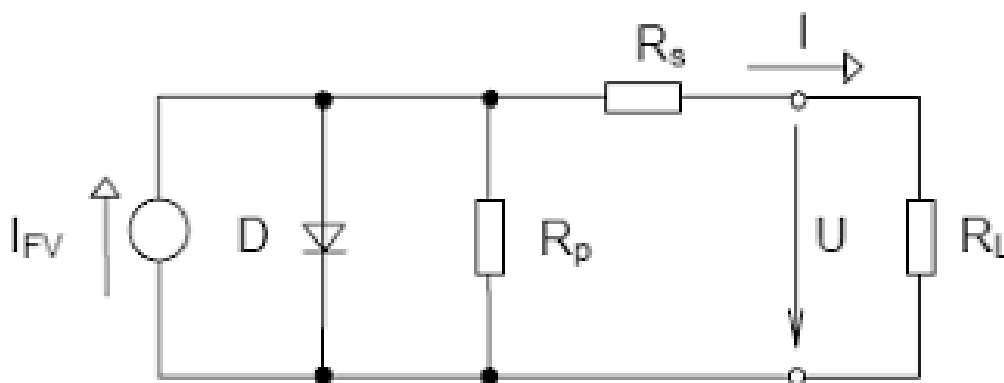
Rozdíl mezi zmíněnými metodami pro výrobu FV článků nastává v provedení kontaktu u polovodiče typu P. U tohoto typu polovodiče se na jeho zadní straně navíc tvoří silně dotovaná vrstva stejného typu polovodiče P⁺. Ta slouží k minimalizaci přechodového odporu, mezi polovodičem a kontaktem z nanесené pasty. Jeho nevýhodou je však to, že

v této oblasti způsobuje vyšší rekombinaci nerovnovážných nosičů náboje, a je tím sám zdrojem nežádoucím ztrát. Metoda PERC tento problém řeší minimalizací těchto dotovaných oblastí P⁺. To je provedeno vytvořením systému vodivých sběrnic, jako na přední straně článku.

Na závěr je dobré podotknout, že pro výrobu FV článku se používají hlavně dva druhy křemíku, a to monokrystalický a multikrystalický. Tyto druhy křemíku se mimo svého vzhledu, vnitřní struktury a rozdílném způsobu výroby polovodičových destiček, liší zejména svojí účinností přeměny energie slunečního záření. Kde monokrystalický křemík dosahuje relativní účinnosti až 20%. Oproti němu křemík multikrystalický dosahuje menší 18% maximální účinnosti. Jediný rozdíl při zpracování polovodičových destiček z těchto materiálů na FV články nastává při texturaci jejich povrchu. Kdy se pro dané křemíkové materiály používají jiné druhy leptadel.

3.2 Náhradní schéma FV článku

Výsledný FV článek lze jednoduše popsat pomocí jeho náhradního obvodu. Zdrojem proudu I_{FV} je samotný PN přechod. V tom je proud generován pomocí ozářené plochy a následné proudové hustoty vygenerovaných nerovnovážných nosičů náboje. Dioda D reprezentuje zpětně tekoucí proud v propustně polarizovaném PN přechodu. Paralelní odpor R_P vyjadřuje technologické nedokonalosti v materiálu, které zapříčiňují mikrosvody [2]. Sériový odpor R_S vyjadřuje vlastní a přechodový odpor sběrnic, zařizující odvod elektrického proudu z PN přechodu. Napětí na výstupu článku U je tedy oproti vnitřnímu napětí na diodě U_J zmenšeno o úbytek napětí na sériovém odporu.



Obrázek 11: Náhradní schéma FV článku [2]

Z náhradního schématu lze dále vyjádřit hodnotu výstupního proudu FV článku. Ten je roven proudu I_{FV} tvořeným tokem nerovnovážných nosičů náboje, od kterého se poté odečte zpětně protékající proud diodou D a proud paralelním odporem R_P , který se v tomto případě chová jako zkrat. Rozepsání jednotlivých proudů tekoucím náhradním schématem lze dostat rovnicí (5). Z této rovnice jde vypočítat značnou závislost výstupního proudu FV článku na jeho sériovém odporu R_S .

$$I = A_{ill} \cdot J_{PV} - I_{01} \left[\exp \left(e \cdot \frac{U + R_S \cdot I}{kT} \right) - 1 \right] - I_{02} \left[\exp \left(e \cdot \frac{U + R_S \cdot I}{2kT} \right) - 1 \right] - \frac{U + R_S \cdot I}{R_P} [A] \quad (5)$$

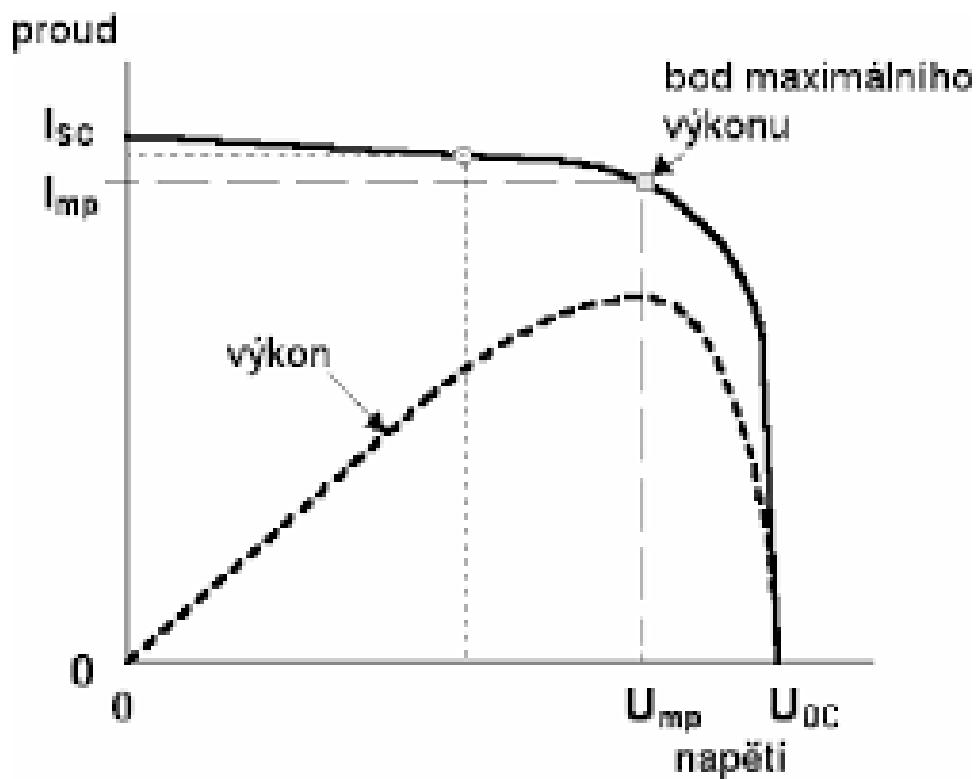
I	= výstupní proud
A_{ill}	= ozářená plocha
J_{PV}	= proudová hustota nerovnoměrných nosičů
I_{01}	= difúzní složka proudu
I_{02}	= rekombinační složka proudu
U	= výstupní elektrické napětí
R_S	= sériový odpor
R_P	= paralelní odpor
T	= teplota

Generovaný elektrický proud je závislý na ozáření plochy FV článku a proudové hustotě nerovnovážných nosičů náboje. Celkový proud protékající zpětnou diodou má dvě složky. Proud I_{01} představuje klidovou proudovou hustotu v celé ploše materiálu. Tím se rozumí stav, kdy je PN přechod jako dioda zapojen v závěrném stavu. Proud I_{02} představuje proudy generované v oblasti prostorového náboje PN přechodu. Ty vznikají prostřednictvím rekombinačních center, které v zakázaném pásu vytváří vlastní energetické hladiny. Tento elektrický proud poté odpovídá energetické poloze a koncentraci těchto uměle vytvořených hladin. Poslední složkou je proud tekoucí paralelním odporem R_P , který lze jednoduše vyjádřit pomocí Ohmova a 2. Kirchhoffova zákona.

3.3 VA charakteristika FV článků

Proměnné chování FV článku za různých podmínek lze sledovat na jeho VA charakteristice neboli vzájemné závislosti výstupního proudu a napětí. Nejdůležitějšími parametry této VA charakteristiky jsou napětí naprázdno U_{OC} a proud nakrátko I_{SC} . Napětí naprázdno představuje maximální napětí, které může článek dodat. Toto napětí vzniká na rozpojených kontaktech

dostatečně ozářeného FV článku. Proud nakrátko zase představuje maximální možný dodávaný proud článku. Ten na dostatečně ozářeném článku vznikne při zkratování jeho kontaktů. Dalším důležitým parametrem VA charakteristiky je výstupní výkon. Ten je dán součinem výstupního napětí a proudu FV článku. Výkon článku je závislý na jeho pracovním bodě, který je dán zátěží, na kterou je článek připojen. V praxi tuto zátěž představuje FV střídač. Střídač tak svým vnitřním obvodem dokáže libovolně měnit pracovní bod VA charakteristiky článku a tím i jeho výstupní výkon. Pracovní bod je přepínán tak, aby vždy bylo dosaženo maximálního možného výkonu článku. Ten je poté dán hodnotami maximálního proudu a napětí I_{mp} a U_{mp} .



Obrázek 12: VA charakteristika FV článku [12]

Další důležité hodnoty vyplývající z VA charakteristiky jsou činitel plnění FF a účinnost článku μ . Činitel plnění slouží jako ukazatel kvality provedení článku a použitého materiálu. Z geometrického hlediska činitel plnění porovnává plochy tvořené maximálním výkonem P_{mp} a relativním maximálním výkonem daným součinem krajních hodnot VA charakteristiky. Účinnost článku udává, v jakém poměru je dopadající sluneční energie přeměněna na energii elektrickou.

$$FF = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{U_{OC} \cdot I_{SC}} [-] \quad (6)$$

FF = činitel plnění
 U_{mp} = hodnota napětí odpovídající maximálnímu výkonu
 I_{mp} = hodnota proudu odpovídající maximálnímu výkonu
 U_{OC} = napětí naprázdno
 I_{SC} = proud nakrátko

$$\mu = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{P_{in}} [\%] \quad (7)$$

μ = účinnost FV článku
 U_{mp} = hodnota napětí odpovídající maximálnímu výkonu
 I_{mp} = hodnota proudu odpovídající maximálnímu výkonu
 P_{in} = dopadající sluneční záření

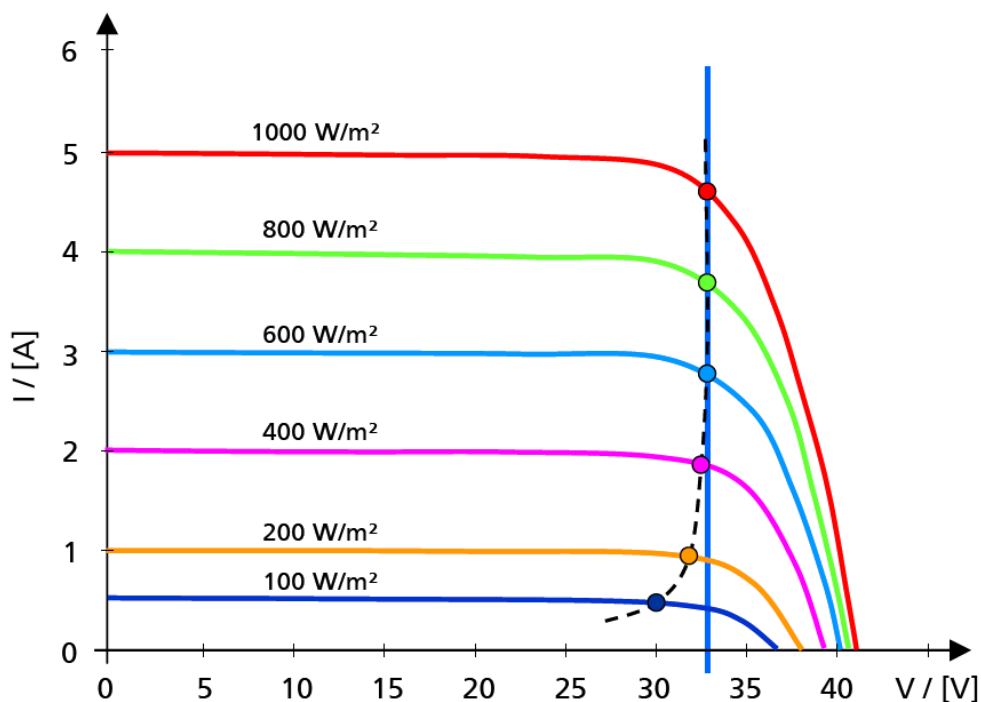
3.4 Parametry ovlivňující VA charakteristiku

V předchozí části kapitoly jsem zmínil, že FV střídač svým vnitřním obvodem musí reagovat na změnu VA charakteristiky článku a měnit tak jeho pracovní bod. Tím je dosaženo toho, že článek bude za proměnlivých okolních podmínek dodávat stále jeho aktuálně možný maximální výkon. Okolní veličiny ovlivňující VA charakteristiku článku jsou jeho teplota a ozáření jeho povrchu.

Ozáření představuje množství dopadající sluneční energie, která v FV článku generuje nerovnovážné nosiče náboje. Proud nakrátko je na ozáření přímo závislý, proto s poklesem ozáření prudce klesá i maximální proud a s ním i maximální možný výkon článku. Napětí nakrátko má k ozáření závislost logaritmickou. Se změnou ozáření se tedy napětí článku mění velmi pozvolna. V případě ozáření se může jednat buď o skokové změny, které například způsobí krátkodobé zastínění mrakem procházejícím po obloze, nebo změny dlouhodobé, které nastávají při nepříznivých klimatických podmínkách během dne, nebo při celkovém poklesu průměrné ozáření dané ročním obdobím.

V případě teploty je efekt opačný. Proud článku se vlivem teploty téměř nemění a zůstává téměř konstantní. Naopak napětí na rostoucí teplotu reaguje prudkým poklesem, a tedy i snížením výstupního výkonu článku. Experimentálně určený pokles napětí naprázdno s rostoucí teplotou pro křemíkové články je okolo 0,4%/K [14]. Napětí naprázdno tedy poklesne o 0,4% při nárůstu teploty článku o 1K. V případě nárůstu teploty se jedná spíše o

postupný a ustálený stav. Články se ohřívají vlivem dopadajícího slunečního záření, nebo i od okolního materiálu ve kterém jsou umístěny.



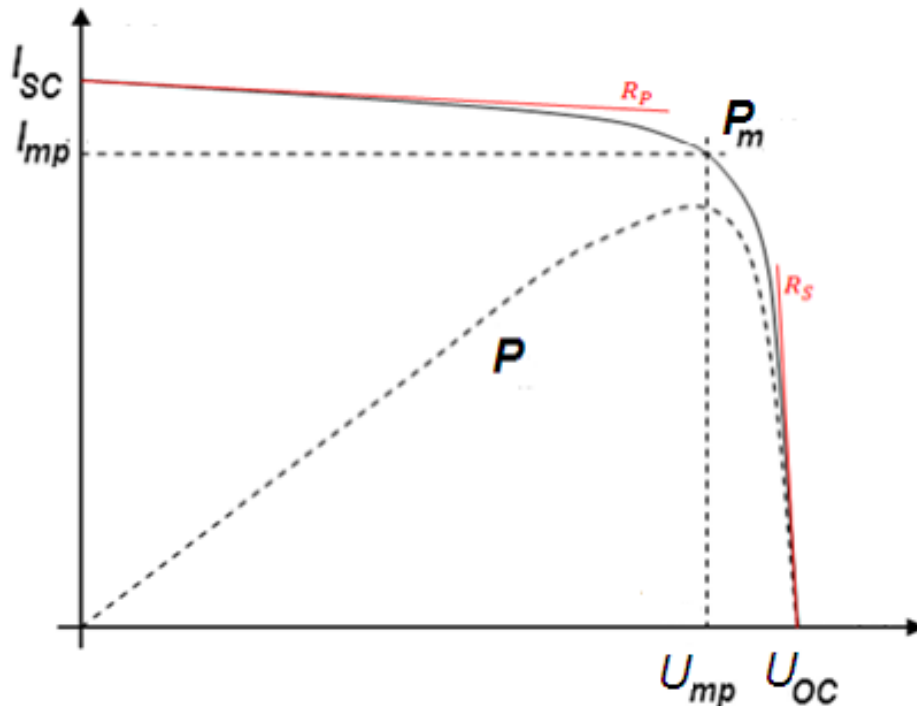
Obrázek 13: Změna VA charakteristiky FV panelu při změně ozáření [13]

Mimo teplotu a ozáření mají na tvar VA charakteristiky článku také vliv jeho sériový a paralelní odpor. Tedy veličiny dané kvalitou použitého materiálu a výrobního procesu FV článku. Tyto parazitní odpory ovlivňují směrnice napětí naprázdno a proudu nakrátko. Tím dochází k snižování maximálního výkonu článku. Nepříznivý vliv těchto odporů na VA charakteristiku je zjišťován pomocí zmíněného činitele plnění FF. Ten tedy slouží jako ukazatel kvality článku.

Sériový odpor článku způsobuje nežádoucí úbytek napětí. Ten vzniká na sběrnících odvádějící proud z PN přechodu. Hodnota ideálního sériového odporu by byla rovna 0Ω . V tomto případě by nedocházelo k žádnému úbytku napětí a hodnota napětí článku by tedy byla konstantní a rovna napětí nakrátko. To je však technologicky nemožné a vždy tak bude docházet k menšímu úbytku napětí vlivem tohoto odporu. Při větším nárůstu sériového odporu dochází k poklesu generovaného napětí (způsobeným úbytkem na odporu), což zapříčiní snížení proudu a ve výsledku i celkového výkonu FV článku.

Paralelní odpor článku naopak způsobuje pokles protékajícího proudu článkem. Ideální článek by měl mít tento odpor roven nekonečnu. Vlivem materiálových nedokonalostí

a vnitřních poruch však není možné takového vnitřního odporu dosáhnout. Oproti sériovému odporu je pokles paralelního odporu nežádoucí. Jeho pokles zapříčiní pokles směrnice proudu, který může poté mít za následek snížení napětí naprázdno.



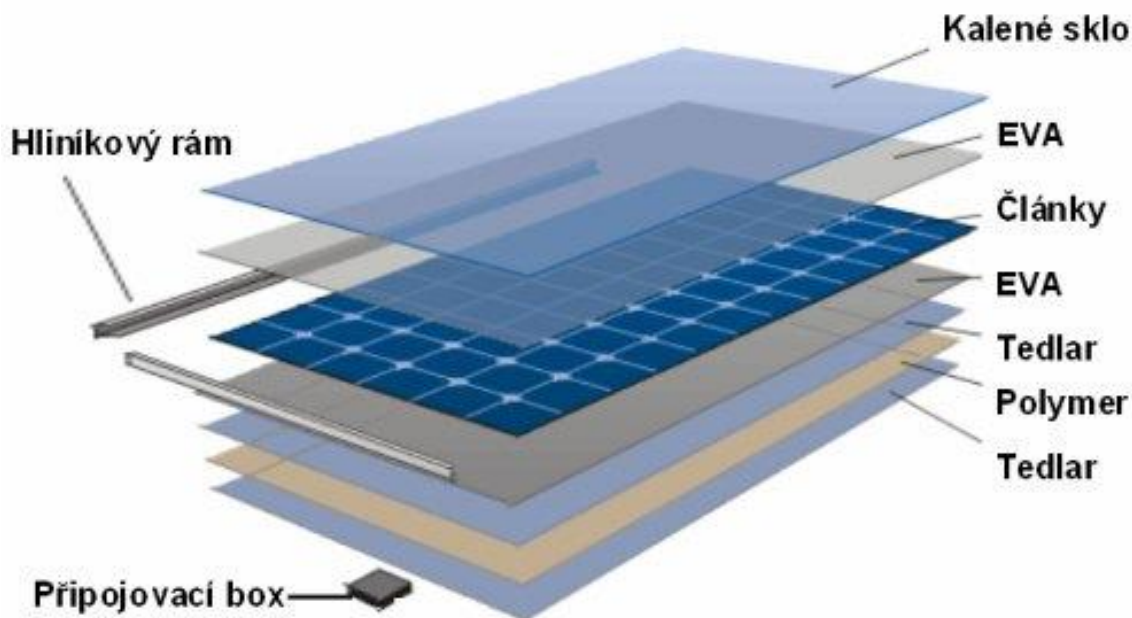
Obrázek 14: Vliv sériového a paralelního odporu na VA charakteristiku [14]

3.5 Struktura FV panelů

Samotné FV články určené pro výrobu elektrické energie by v praxi byly těžko použitelné. Zejména by to bylo kvůli jejich malému výstupnímu výkonu, který dosahuje pouze několik jednotek až desítek wattů, ale také kvůli jejich malé odolnosti vůči klimatickým vlivům. Článkům je tak potřeba poskytnout dostatečnou ochranu a také navýšit výstupní výkon FV. To se provádí prostřednictvím FV panelů, které pro články slouží jako ochranná schránka, uvnitř které jsou všechny články vzájemně pospojovány. Panely tak umožňují sčítání výkonu jednotlivých článků a také jeho následné vyvedení na svorky panelu. Výstupní svorky FV panelů lze propojit s dalšími panely a sečíst tak výkony dalších článků. Při vzájemném propojení více FV panelů vzniká FV pole.

Struktura panelů se skládá z několika vrstev materiálu, které jsou poté za pomoci těsnění vloženy do hliníkových rámců. Vrchní vrstvu panelu tvoří speciálně upravený druh skla. Pomocí příměsí a doplněním antireflexní vrstvy se zlepšuje propustnost slunečního

záření sklem. Temperováním skla se zase navýší jeho mechanická odolnost před klimatickými vlivy v daném okolí. Další vrstvu v panelu tvoří speciálně vytvořený materiál zvaný EVA (ethylene-vinyl acetate). EVA je světelně transparentní materiál, který odděluje křehké FV články od tvrdého skla a zabraňuje tak jejich mechanickému poškození. V další vrstvě jsou umístěny samotné články, které jsou zapuštěny v EVA. V této vrstvě zároveň dochází k vzájemnému propojení článků. Způsob propojení článků závisí na metodě jejich výroby. Nižší vrstvy panelů se poté můžou svým složením lišit. Většinou obsahují materiály, které mají dostatečné izolační i mechanické vlastnosti. Funkce těchto vrstev je tedy čistě ochranná, jelikož zabraňují poškození FV článků ze spodní strany. Na tyto zadní vrstvy jsou poté vyvedeny výstupní kontakty propojených FV článků, které jsou zakončeny na přidělaném propojovacím boxu.

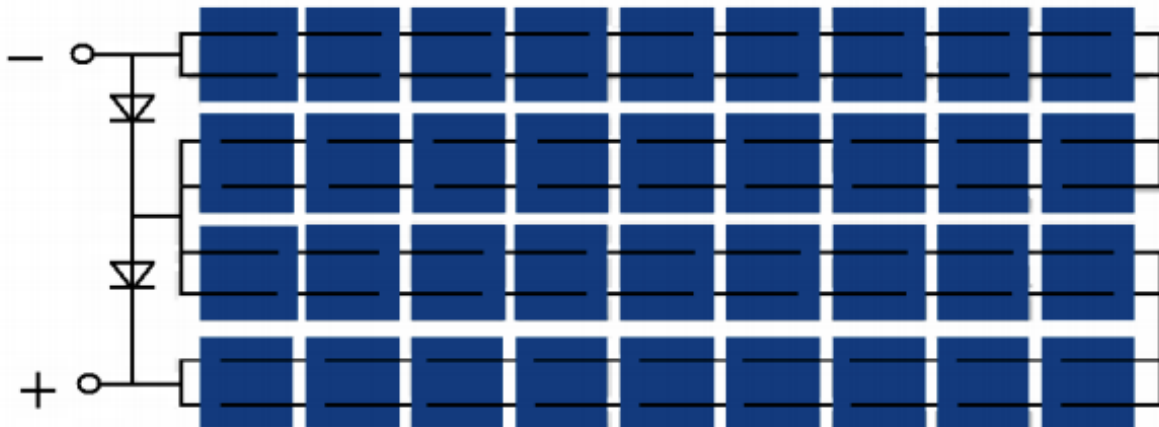


Obrázek 15: Struktura FV panelu [16]

3.6 Zapojení FV článku v panelech

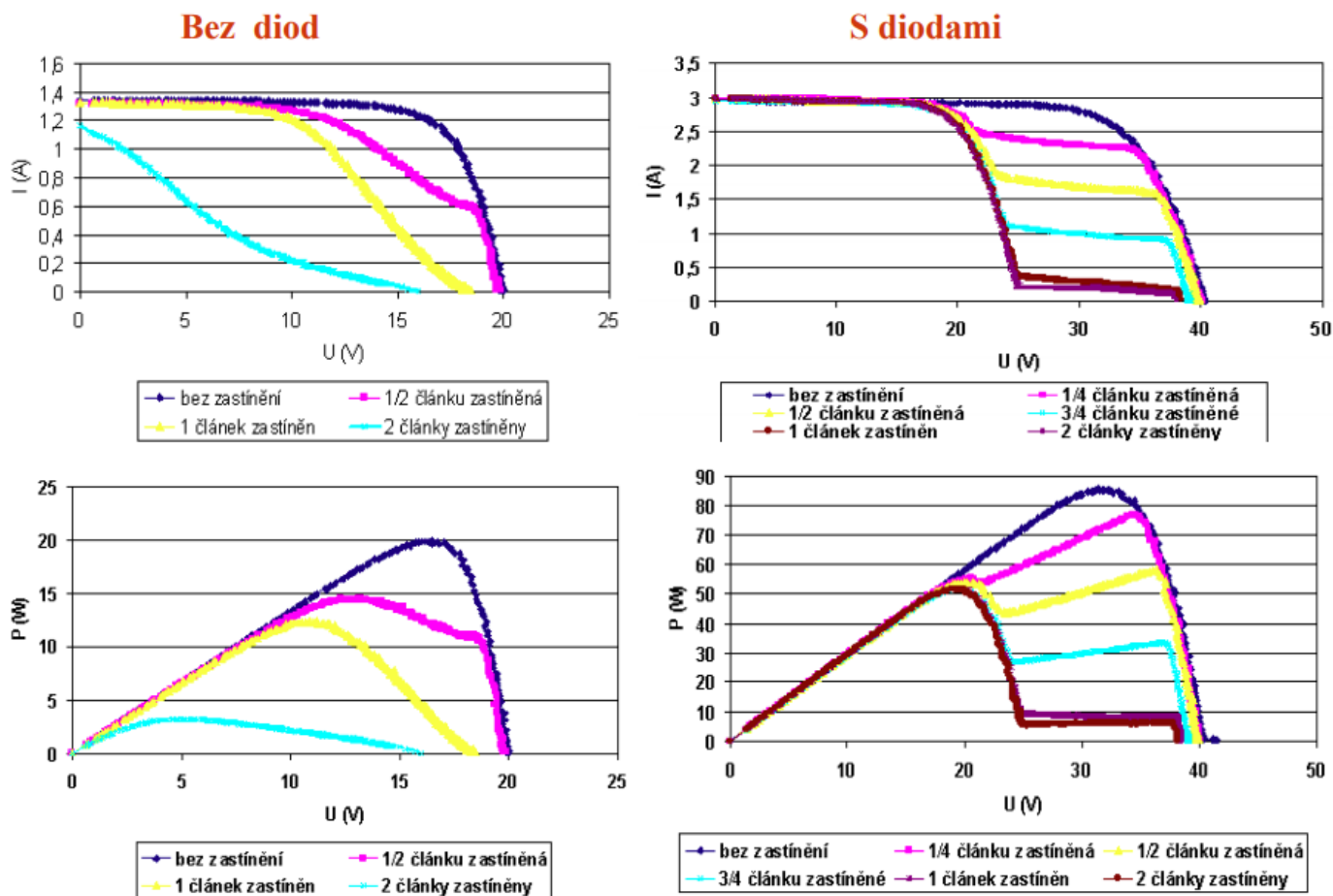
Pro navýšení výstupního výkonu fotovoltaiky, je potřeba ve vhodné kombinaci vzájemně pospojovat jednotlivé články uvnitř FV panelů. Články lze zapojit sériově, nebo paralelně a tím tak prakticky sčítat jejich VA charakteristiky. Při paralelním řazení článku je navyšován výstupní proud panelu. V tomto řazení jsou tedy sčítány hodnoty proudů nakrátko jednotlivých článků. U sériového řazení článků je sčítáno jejich napětí naprázdno. Při

sériovém řazení článků je tak navyšováno celkové výstupní napětí panelu. Sériové a paralelní řazení článků lze bez omezení v panelu kombinovat. Různým uspořádáním článků v panelu je možné si dle potřeby navolit hodnoty výstupního napětí a proudu panelu. Výkon panelu však při jakémkoliv řazení článku zůstává teoreticky stejný.



Obrázek 16: Možné zapojení FV článků uvnitř panelu [15]

V případě sériového pospojování článků však nastává velké riziko snížení výstupního výkonu panelu. V sériovém zapojení článků totiž dochází k vzájemnému omezování proudu. To může nastat při částečném zastínění některého z článků v FV panelu. Skokové snížení ozáření v článku zapříčiní pokles jím generovaného proudu. Všemi ostatními články zapojenými v sérii s takto postiženým článkem bude protékat omezená hodnota proudu daná hodnotou ozáření zastíněného článku. To zapříčiní značný pokles výstupního výkonu panelu. Tomuto jevu lze zabránit přidáním bypass diod, které se zapojují paralelně k různým segmentům sériově zapojených FV článků. Diody fungují tak, že v případě zastínění některého FV článku postiženou část řetězce skrze sebe přemostí a zabrání tak omezení proudu v ostatních sériově zapojených článkách. Odpojením části článků v panelu také dochází ke ztrátě výkonu panelu. Avšak tato ztráta je v porovnání s poklesem výkonu při omezení proudu ve všech sériově zapojených článcích značně menší. Samotné bypass diody jsou zpravidla umísťovány do izolovaného boxů umístěném na zadní straně panelu, odkud jsou poté propojovány s jednotlivými řetězci FV článků.



Obrázek 17: Vliv bypass diod na VA charakteristiku při zastínění článků [15]

3.7 Druhy nosných konstrukcí FV panelů

Aby došlo k co nejúčinnějšímu využití dopadající sluneční energie, musí FV panely vůči dopadajícímu záření svírat vhodný úhel. K naklánění panelů vůči slunečnímu záření jsou využívány různé typy nosných konstrukcí, na které se jsou FV panely připevněny. Celkem jsou takto využívány tři druhy nosných konstrukcí.

Pevné konstrukce slouží k nepohyblivému uchycení panelů. Při použití této konstrukce je tedy nutné zvolit pro danou lokaci optimální natočení a sklon panelů tak, aby bylo využito co největší množství dopadající sluneční energie za celé roční období. Aktuálně se jedná o nejrozšířenější nosnou konstrukci pro FV panely. Hlavní výhodou těchto konstrukcí je jejich malá cena a jednoduchá instalace do téměř všech druhů prostředí. Oproti ostatním typům konstrukcí má však nejmenší účinnost využití dopadajícího záření během ročního cyklu.

Konstrukce s jednoosým natáčením oproti pevným konstrukcím umožňuje natáčení panelů okolo jedné osy. Nakláněním panelů je buď umožněno sledování pohybu slunce během dne při stálém sklonu panelů, nebo sledování změny úhlu dopadajícího slunečního záření v závislosti na velikosti deklinace. Změna polohy slunce, kterou panely dokáží sledovat, je dána pohyblivou osou konstrukce. Druhý konstantní parametr konstrukce musí být stejně jako u pevné konstrukce pečlivě volen vzhledem k místu, kde je konstrukce realizována. Oproti pevným konstrukcím dosahují zhruba o 10% vyšší účinnosti. Jejich značnou nevýhodou je jejich cena a také náklady na údržbu, spojenými s poruchovostí otáčecího mechanismu.

Konstrukce s dvouosým natáčením umožňují maximální využití sluneční energie, jelikož kombinuje obě možnosti natáčení jednoosého systému. Tím dosahují oproti pevným konstrukcím až o 30% větší účinnosti. Jejich nevýhodou je stejně jako u jednoosých systémů velká cena a také poruchovost. Dále je také možné se bavit o neefektivním využití plochy, na které je systém instalován.



Obrázek 18: FV panely s dvouosým natáčením [17]

4 Ochranné prvky elektrických rozvodů

V této kapitole budou popsány nadproudové a přepět'ové ochrany, využívané k ochraně zařízení a živých bytostí v elektrických rozvodech. Bude zde popsán jejich princip, struktura a nároky na ně kladené vzhledem k místu jejich využití.

4.1 Prvky nadproudové ochrany

Prvky nadproudové ochrany slouží k tomu, aby vlivem nárůstu proudu procházejícího obvodem nad jeho jmenovitou hodnotu, nedošlo k poškození připojených zařízení, nebo ohrožení lidského života. Tento nárůst proudu nastává při zkratování obvodu, průrazu izolace zařízení, nebo při nadměrném zatížení přístrojů v obvodu, které má za následky vyšší proudový odběr.

Prvky nadproudové ochrany se do elektrického obvodu zapojují sériově tak, aby byly před chráněnými zařízeními. Ochrany tak protéká celkový proud obvodu. Při nárůstu proudu nad stanovenou mez ochrany tento obvod svými vnitřními kontakty rozpojí. Tím zamezí možnému poškození elektrických zařízení a případně i vytvoření nebezpečného dotykového napětí. Způsob, jakým nárůst proudu jednotlivé ochrany detekují a jak obvod rozpojují se liší dle typu nadproudové ochrany.

Proudové jističe jsou nutnou součástí jakékoliv elektrické instalace v prostředí koncových uživatelů. Dle parametrů obvodu, které chrání, jsou jističe vyráběny v různých hodnotách jmenovitého proudu. Například pro zásuvkové obvody se používají většinou jističe se jmenovitou hodnotou proudu 16A a pro světelné obvody 10A. Důležité je také zmínit, že jističe mohou vypínat jak AC tak i DC proudy a mohou být instalovány na všechny tři fáze najednou, nebo v jedno fázovém provedení zvlášť pro každou jednu fázi.

Detekce nadproudů u nejrozšířenějšího typu elektromagnetického jističe, probíhá pomocí elektromagnetu a bimetalu. Elektromagnet reaguje prakticky okamžitě na prudký nárůst proudu obvodem (převyšující násobek jmenovité hodnoty), který bývá zpravidla způsoben zkratem. Bimetal zas reaguje na dobu působení nadproudu. Při vybavení jističe dojde k rozepnutí jeho vnitřních kontaktů a tím i přerušeni dodávky proudu do obvodu. Při rozpojení kontaktů vzniká elektrický oblouk, který je poté uvnitř jističe uhašen v zhasací komoře.

Dalším důležitým parametrem jističů je jejich vypínací charakteristika, díky které se jističe rozdělují do skupin typu C, D a B. Charakteristika všech typů jističů je stejná pro oblast detekovaných proudů vlivem přetížení obvodu, tedy oblast pozvolně rostoucích nadproudů zapříčiněných přetížením zařízení v obvodu. Rozdíl nastává při vypínání vysokých hodnot, převyšující jmenovitou hodnotu jističe. Vypínací hodnoty vysokých nadproudů jednotlivých typů jističů jsou dány takto: Jističe typu B – vypínají do 0,1s při 3-5 násobku proudu nad svou jmenovitou hodnotu proudu. Jističe typu C - vypínají do 0,1s při 5-10 násobku proudu nad svou jmenovitou hodnotu proudu. Jističe typu D - vypínají do 0,1s při 10-20 násobku proudu nad svou jmenovitou hodnotu proudu. Horní vybavovací hranice jednotlivých typů jističů jsou takto rozděleny zejména kvůli tomu, že v některých případech se velké proudové špičky, které několikanásobně přesahují jmenovitou hodnotu proudu, mohou v obvodech vyskytnout i za normálních provozních podmínek. To může nastat například při spínání motorů, nebo počítačů, které mají při svém startu na krátkou dobu několikanásobně větší odběr proudu a způsobují tak proudové špičky. Typ jističe pro obvody volíme tedy dle chráněného zařízení a možných proudových špiček, kterými jsou při svém neporuchovém provozu zdrojem.

Proudové chrániče jsou stejně jako jističe nezbytnou součástí většiny elektrických instalací. Na rozdíl od jističů slouží k detekci úniku proudu z obvodů a zabraňují tak vzniku nebezpečného dotykového napětí. Proudový chránič reaguje především na velmi malé změny proudu, a to v řádech 10-30mA. Proudový chránič funguje na principu porovnávání proudu, který do obvodu přitéká skrze fázové vodiče L1, L2 a L3 a proudu z něho tekoucího středním vodičem N. To je v chrániči provedeno pomocí sčítacího transformátoru. V tom se přitékající a odtékající proud o stejné velikosti, ale opačném směru navzájem vyruší. Tím v jádře transformátoru protéká výsledný nulový magnetický tok a do jeho cívky není indukován žádný elektrický proud. Při poruše v obvodu, kdy by část elektrického proudu odtékala jinou cestou, než středním vodičem, by nastala mezi proudy v transformátoru nerovnováha.

Výsledný magnetický tok v jádru transformátoru by tak již nebyl nulový a do sekundární cívky součtového transformátoru by naindukoval napětí. Proud v sekundárním obvodu při překročení nastavené meze (odpovídající dovolené mezi proudů) pomocí citlivého relé aktivuje rozpínací mechanismus chrániče. Z toho lze usoudit, že proudový chránič primárně slouží k detekci poškození izolace elektrických zařízení, jejímž vlivem by se elektrický proud mohl dostat na kostru zařízení a vytvořit tak pro živé bytosti nebezpečné dotykové napětí.

Pojistky historicky patří mezi prvně používané nadproudové ochrany. Oproti proudovým jističům mají však tu nevýhodu, že po jejich vybavení je potřeba pojistku vyměnit. Detekce nadproudů v pojistkách totiž funguje na principu přetavení drátku, kterým protéká proud celého obvodu. Tento drátek má vzhledem ke svým rozměrům, a také zbytku vedení velký odpor. Vlivem protékajícího proudu na drátku vznikají ohmické ztráty, které se projevují přeměnou elektrické energie na energii tepelnou. Tyto ztráty jsou přímo závislé na kvadrátu protékajícího proudu. To má za následek, že když pojistkou protéká nepřipustná hodnota proudu, je vlivem ohmických ztrát drátku dodáno nadměrné množství tepelné energie, než na kterou byl konstruován. Nadměrnou tepelnou energií je pak drátek přetaven a tím dojde k rozpojení obvodu.

4.2 Prvky přepět'ové ochrany

Prvky přepět'ové ochrany slouží v rozvodné v síti k omezení napět'ových a proudových vln přesahující hodnoty jmenovité, na které jsou elektrické rozvody a přístroje v dané oblasti dimenzovány. Slouží tak zejména k ochraně elektrických zařízení připojených k rozvodné síti, samotného vedení a také živých bytostí před účinky přepětí [18].

Přepětím v rozvodné síti se rozumí takovému napětí, které svojí hodnotou přesahuje nejvyšší povolenou hodnotu napětí, při kterém je daná oblast vedení provozována. Za přepětí je považováno napětí, které by jmenovité provozní napětí překročilo o více než 20%. Po překročení této hranice již může dojít k poškození izolace všech připojených zařízení. Samotná přepětí mají dva druhy zdrojů. Běžnějším zdrojem přepětí bývají přechodové děje, které nastávají při spínacích procesech v síti. Méně časté, ale o to nebezpečnější přepětí vzniká při úderu blesku do vedení, nebo jeho blízkého okolí. Přepětí od obou zmíněných zdrojů má parametry krátkých impulsů o velkých špičkových hodnotách. Tyto impulsy se pak od místa vzniku šíří vedením v podobě vlny.

Princip přepětových ochran spočívá v tom, že pro takto vzniklé přepětové vlny vytvoří novou vodivou cestu. Ta je vytvořena pomocí zkratování obvodu v místě přepětové ochrany po dobu působení přepětové vlny. To je provedeno tak, že při výskytu přepětí přepětová ochrana spojí pracovní vodiče (L, N), s vodičem ochranným (PE). Ochranným vodičem je poté přepětová vlna svedena dále do země. Při tomto přesměrování protéká přepětovou ochranou velký proud, který v praxi může dosáhnout až 50kA. Proto jsou některé druhy přepětových ochran podobně jako pojistky po jejich zapůsobení zničeny. Takovéto ochrany je tedy potřeba často kontrolovat a po jejich každém zapůsobení vyměnit za nové.

Stejně jako u proudových ochran, je potřeba jednotlivé úseky vedení před přepětím chránit selektivně. Dle druhu chráněných zařízení, umístění a hodnotě bleskového proudu, který musí přepětová ochrana po dobu působení přepětové vlny nechat sebou protéct, rozdělujeme ochrany do takzvaných bezpečnostních tříd [18].

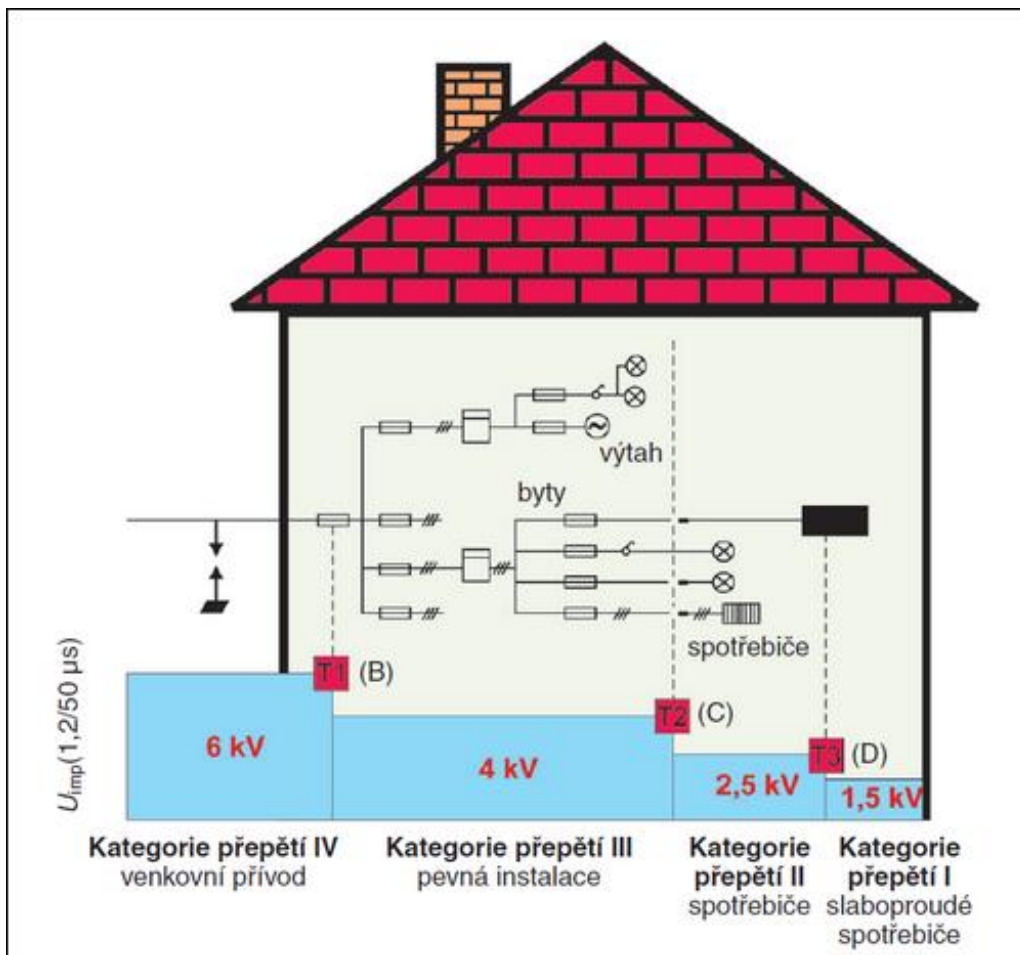
Třída A: v této třídě jsou používány svodiče přepětí pro ochranu vysokonapětových rozvodů. Všechny tyto ochrany jsou umístěny v takzvané nulté oblasti, tedy venkovním prostředí, kde daná zařízení nejsou kryta před účinky atmosférického přepětí.

Třída B: neboli svodiče bleskových proudů. Slouží jako první stupeň ochrany proti přepětím uvnitř budov. Druh těchto přepětových ochran se umísťuje na přechodu 0 a 1 oblasti. Tedy přechodu kabelového vedení do prostoru zařízení, která jsou chráněna proti atmosférickému přepětí. Pod tímto přechodem si můžeme například představit průchod kabelového vedení stěnou do budovy. Ochrany tohoto typu by měli být zapojeny co neblíže k hranici těchto oblastí, aby v případě úderu blesku nedošlo k nežádoucímu šíření přepětí uvnitř budovy. Tyto přepětové ochrany tedy slouží k svodu bleskových proudů a musí tedy být schopné odvést bleskový proud o maximální velikosti až 50kA. Dalším parametrem svodičů přepětí je zbytková hodnota napětí bleskového proudu, která vzniká za svodičem. V případě ochran třídy B, hodnota tohoto napětí nesmí přesáhnout 4kV. U následujících tříd přepětových ochran povolená velikost zbytkového napětí klesá. Prvky této třídy bývají v provedení jiskřiště (bleskojistky).

Třída C: nazývané také jako jemné ochrany. Slouží k omezení přepětí vzniklým nepřímým úderem blesku do vedení a přepětím vzniklým při spínacích cyklech. Přepětové ochrany této třídy musí umožnit odvod opakovaných proudových impulsů o velikosti 15kA,

nebo jednorázových o velikosti 40kA. Tyto ochrany mohou být provedeny pomocí polovodičových varistorů, nebo stejně jako ochrany typu B pomocí jiskřiště. Tyto ochrany slouží jako druhý stupeň ochrany proti přepětí v budovách. Nejčastěji se umísťují do podružných rozvaděčů uvnitř budov za ochrany třídy B. Minimální délka kabelového propojení mezi těmito ochranami by neměla být menší než 15m [18].

Třída D: slouží jako poslední, třetí vrstva přepětových ochran. Umísťuje se za přepětové ochrany typu C a slouží zejména k ochraně koncových zařízení citlivých na přepětí, jakou jsou například počítače, nebo jiná kancelářská technika. Tyto ochrany jsou nejčastěji provedeny polovodičovým varistorem, nebo transilem. Jejich umístění je voleno co nejblíže k chráněnému objektu. V praxi jsou tyto ochrany instalovány v zásuvkách, nebo v upravených prodlužovacích přívodech.



Obrázek 19: Řazení tříd přepětových ochran [18]

5 Struktura FVE a její prvky

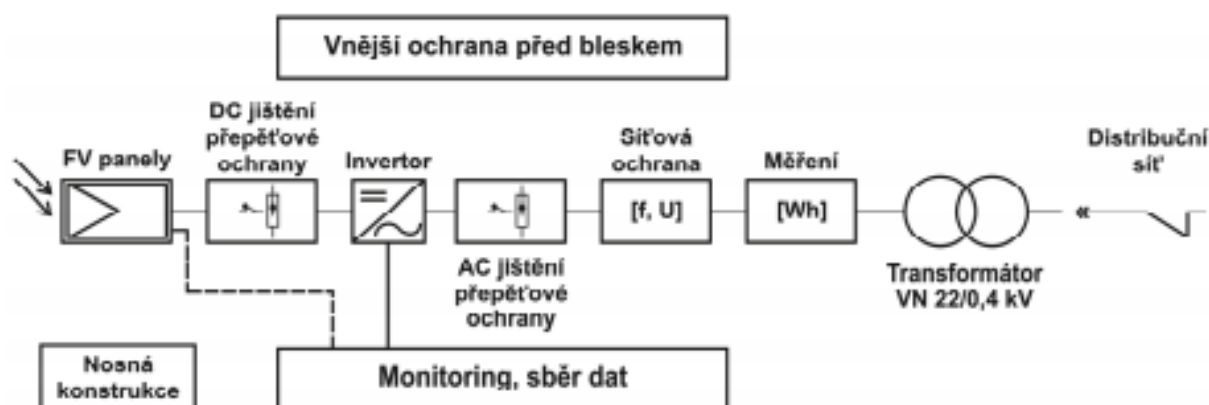
V této kapitole budou popsána možná zapojení FVE v závislosti na místě a rozsahu její instalace. Dále zde bude popsána struktura, vlastnosti a možná zapojení FV střídače a podmínky jejich dimenzování vůči připojeným FV panelům.

5.1 Struktura zapojení FVE

Možnosti zapojení FV elektrárny jsou vzhledem k místu její instalace a způsobem využití vyrobené energie různé. Přesto pro většinu takto lišících se FVE existuje blokové schéma osahující dané prvky, které jsou potřebné k jejich stálému a efektivnímu provozu.

Základem každé FV elektrárny jsou samozřejmě FV panely, umístěné na nosné konstrukci zajišťující jejich optimální sklon vůči dopadajícímu záření. V případě pozemních instalací FVE tato konstrukce slouží i pro uchycení dalších prvků, jako jsou například rozvaděče s ochranami a FV střídače. Tyto prvky tak musí mít navíc dostatečnou odolnost před vnějšími klimatickými vlivy. Naopak v případech střešní instalace FVE bývají všechny prvky, mimo nosné konstrukce a FV panelů, umístěny ve vnitřních prostorech budovy. Jak již bylo naznačeno, FV panely jsou dále skrze stejnosměrné přepěťové a nadproudové ochrany připojeny k FV střídači. Ten slouží k přeměně stejnosměrné elektrické energie, které jsou FV panely zdrojem, na střídavou. Na výstupní straně FV střídače jsou opět zapojeny přepěťové a nadproudové ochrany, již ale pro střídavou elektrickou energii. Dále musí zapojení obsahovat síťovou ochranu a měření vyrobené, popřípadě dodávané energie do distribuční sítě. Síťovou ochranou se dá rozumět kontrola výstupních parametrů elektrické energie vyrobené FVE, která by měla být dodána do distribuční soustavy. Kontrolovanými parametry jsou zejména velikosti výstupní frekvence a napětí střídače, které v nejlepším případě musí být stejné, jako napětí a frekvence distribuční sítě. S touto problematikou je úzce spojen monitoring stavu a

sběr dat FVE. Následujícím prvkem struktury FVE je transformátor, který slouží jak ke galvanickému oddělení FVE od sítě, tak převodu napětí FVE na napětí distribuční sítě, tedy 22kV. Další nezbytnou součástí každé FVE je ochrana před bleskem a jeho destruktivními účinky. Ta je mimo přepět'ových ochran prováděna pomocí hromosvodu a ochranného uzemnění. V případě střešních instalací může ochranu FVE poskytovat již nainstalovaný hromosvod budovy. V jiných případech je nutné tento ochranný prvek doplnit v rámci vybudování FVE.



Obrázek 20: Schéma zapojení FVE [2]

5.2 Možná rozdělení FV systémů

Jak jsem již naznačil, struktury FVE se mohou značně lišit dle místa jejich instalace, a také místa využití jimi vyrobené energie. Dle těchto kritérií a následného způsobu zapojení, lze FVE rozdělit do několika možných skupin.

Autonomní systémy, také nazývané jako ostrovní, jsou FVE nepřipojené k distribuční soustavě. Tím pádem jejich struktura neobsahuje prvky potřebné, pro dodávání vyrobené elektrické energie do sítě. Takovéto systémy se vyskytují na často odlehlých místech, bez možnosti připojení k distribuční síti. Spotřeba vyrobené elektrické energie tedy probíhá rovnou v místě výroby. To však může být problematické, jelikož výroba energie pomocí FV je závislá na klimatických podmínkách a omezenému času výroby během dne. Proto tyto systémy bývají vybaveny akumulátory, sloužící k uchování energie, pro kterou se v době její výroby nenašla její okamžitá spotřeba. Takovéto akumulátory pak slouží jako záskokový zdroj FV v době spotřeby, kdy pomocí FV není možné vyrábět elektrickou energii.

Hybridní systémy jsou autonomní systémy, které jsou kromě FV doplněny o další zdroje elektrické energie. Těmi mohou být například jiné druhy OZE jako jsou větrné elektrárny a jiné. Jelikož je dodávaný výkon z OZE velmi proměnlivý, bývají tyto systémy doplněny například dieselagregáty, tedy spolehlivými zdroji elektrické energie, které by OZE v případě jejich výpadku zaskočili. Tím u těchto systémů velmi klesá riziko výpadků energie a s ním spojené vysoké požadavky na drahé bateriové systémy.

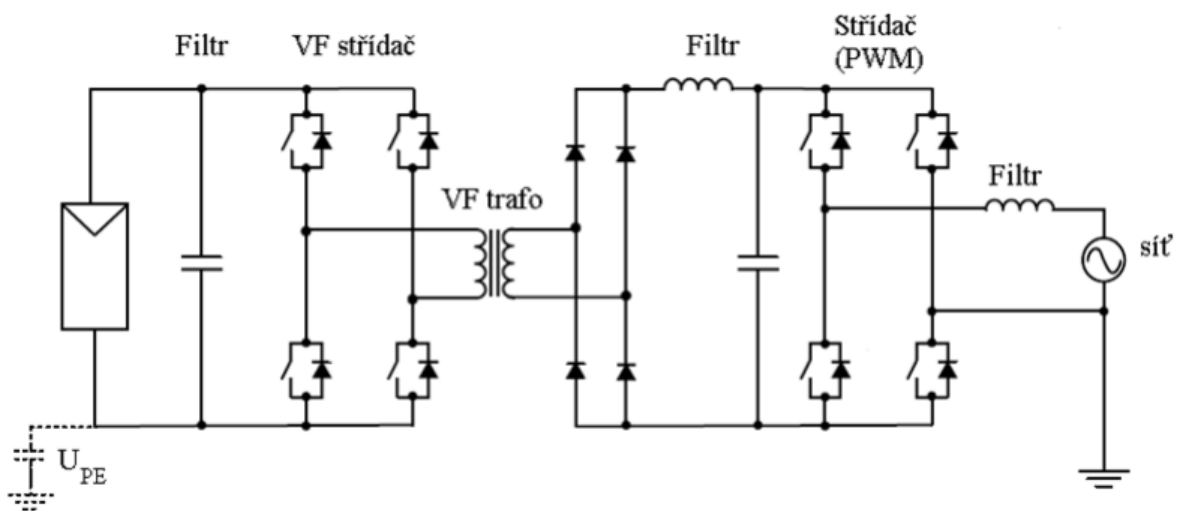
Systémy připojené k rozvodné síti patří v dnešní době k těm nejrozšířenějším, a to zejména kvůli velkým cenám baterií a místu jejich instalace. Akumulátory lze tímto způsobem zapojení FVE úplně vypustit, nebo značně snížit jejich potřebnou velikost, a s tím i velké pořizovací a provozní náklady. V praxi lze tuto skupinu ještě rozdělit zejména na instalace pro vlastní spotřebu a FVE sloužící pouze k dodávání elektrické energie do distribuční sítě. S instalací pro vlastní spotřebu se můžeme setkat zejména v domácnostech, kde je vyrobená energie primárně určena k dorovnání spotřeby uvnitř objektu a nabíjení akumulátoru. Případné přebytky vyrobené energie, které nejdou aktuálně spotřebovat, nebo uskladnit v bateriích jsou pak dodány do distribuční sítě. S FVE sloužící čistě pro dodávání elektrické energie do distribuční sítě se můžeme setkávat v podobě vysokokapacitních FV polí pozemní instalace.

5.3 Struktura a princip FV střídače

Z předchozích částí této kapitoly lze usoudit, že FV střídač se dá považovat za srdce FVE. Kromě převodu stejnosměrné elektrické energie na střídavou, dále řídí jak výstupní hodnoty FV panelů, tak i celé FVE. Zároveň všechny tyto hodnoty monitoruje a předává vzdálenému dispečinku, nebo provozovateli distribuční sítě.

Převod DC/AC je v měniči realizován pomocí čtyř plně ovládatelných polovodičových spínačů v můstkovém zapojení. Tyto spínače jsou řízeny algoritmem na bázi pulsně šířkové modulace neboli PWM. Ta funguje na principu kopírování střední hodnoty referenčního signálu prostřednictvím obdélníkových impulsů tvořených zapínáním a vypínáním zmíněných polovodičových spínačů. Jako referenční hodnotu algoritmus PWM v tomto případě používá napětí a frekvenci sítě. Tím je zajištěna kvalita výstupních parametrů FVE umožňující její dodávání energie do distribuční sítě. Na výstupu střídače ještě bývá umístěn filtr vyšších harmonických, jejichž je zmíněný polovodičový střídač zdrojem.

FV střídače mohou být dále doplněny transformátorem. Ten slouží ke galvanickému oddělení FV panelů a sítě. Důvodem tohoto oddělení je možný vznik svodových proudů, které vznikají vlivem rozdílných hodnot zemních potenciálů FV pole a sítě. Dále za těchto podmínek vzniká uvnitř řetězců FV panelů vlivem jejich parazitních kapacit rozdílná polarizace vůči zemi. Tento efekt pak značně přispívá k degradačním procesům FV článků a postupně tak snižuje jejich maximální výkon. Značnou nevýhodou střídačů s transformátorem oproti střídačům bez transformátoru je jejich výrazně větší cena, hmotnost a hlavně o 1-2% menší účinnost [19].



Obrázek 21: Zapojení FV střídače s transformátorem [19]

5.4 Možnosti zapojení FV střídače

Kvůli různým druhům instalace FVE, vznikla také potřeba vytvoření FV střídače pro ně vhodných. Jak jsem zmínil, hlavním úkolem střídače je přeměna elektrické energie FV panelů na střídavou, kontrola a řízení výstupních hodnot FV panelů a samotného střídače vůči distribuční síti a následný monitoring těchto hodnot. Zásadní rozdíl nastává v tom, zda je v daném systému umístěn akumulátor, a také jakým způsobem jsou FV panely do střídače zapojeny.

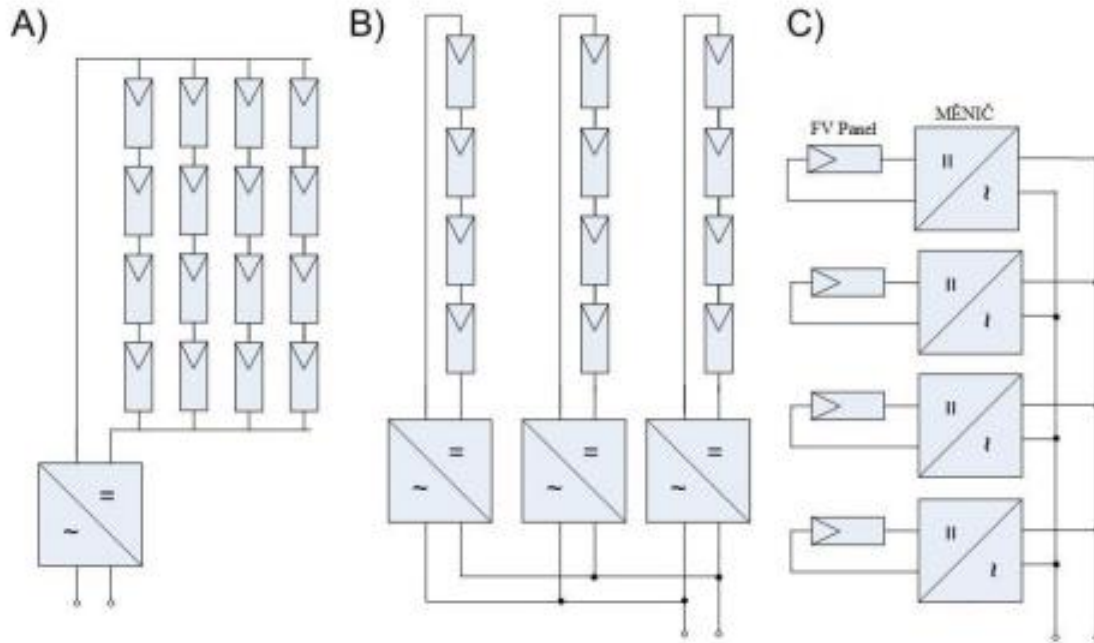
V případě, kdy jsou v rámci FVE instalovány akumulátory, je potřeba použití takzvaných hybridních FV střídačů. Ty mají oproti klasickým střídačům vestavěný DC obvod sloužící k nabíjení baterie, a opačně zas k odběru energie v ní uložené. Z tohoto DC obvodu můžou být zároveň napájeny jiná elektrická zařízení. Hybridní měniče slouží také jako ochranný regulátor baterie. Střídač tak zabraňuje zbytečnému přebíjení a hlubokému vybití

baterie, jelikož tyto stavy značně snižují životnost a také její maximální kapacitu. S takovou strukturou FVE se lze setkat u domovních instalací a u elektráren s menším instalovaným výkonem. Další vlastností FV střídačů, dle kterých je lze rozlišit, je způsob zapojení FV panelů na jejich DC straně. Dle způsobu zapojení FV panelů lze střídače rozdělit do tří základních skupin.

Centrální střídače slouží k propojení velkého množství FV panelů, v podobě paralelně zapojených řetězců. Tím je možné jím řídit velký počet FV panelů. Jejich výhodou je jejich velká účinnost, kvalita výstupní energie a také cenová výhodnost při použití měničů vyššího výkonu. Velkou nevýhodou měničů tohoto typu je horší MPPT, který probíhá naráz pro všechny zapojené panely. Většinou se s tímto typem měničů setkáme u velkým FV polí o výkonech několika MW.

Řetězcové střídače na rozdíl od centrálních měničů slouží pouze k ovládání jednotlivých řetězců FV panelů. Jejich výhodou je zejména lepší MPPT, který je prováděn pro menší počet FV panelů v daném řetězci. Nevýhodou těchto měničů je pak jejich větší poruchovost a také vyšší cena při použití vícero střídačů tohoto typu. Proto jsou ve většině případů využívány pro malé a střední FVE o výkonech několika kW.

Modulové střídače, jak jejich název napovídá, slouží k zapojení pouze jednoho FV panelu. Tímto zapojením je umožněn nejlepší možný MPPT a tím i maximální vyrobená energie panelem. Střídače tohoto typu bývají umístěné na zadní straně panelů v kompaktním provedení. Značnou nevýhodou těchto střídačů je jejich velká cena při použití více FV panelů a jejich obtížná říditelnost projevující se na kvalitě výstupních hodnot frekvence a napětí FVE. Tyto moduly jsou instalovány poměrně zřídka. Zejména se s nimi můžeme setkat v malých instalacích obsahujících pouze několik FV panelů [19].



Obrázek 22: Možnosti zapojení FV střídačů s panely [2]

5.5 MPPT a pracovní oblast měniče

Metoda MPPT slouží k tomu, aby za proměnlivých klimatických podmínek, kdy dochází k změně VA charakteristiky článku, byl článkem za daných podmínek dodáván vždy maximální možný výkon. Toho je dosaženo pomocí změny pracovního bodu panelu FV střídačem tak, aby při jakékoliv změně VA charakteristiky odpovídal bodu maximálnímu výkonu.

Ve střídači je toto sledování výkonu provedeno pomocí DC/DC měniče, který dokáže řídit napětí FV panelů. Tento DC/DC měnič tvoří Boost converter, který je tvořen indukčností a plně ovládatelným polovodičovým spínačem. Pomocí doby zapnutí a vypnutí polovodičového spínače, lze řídit střidu napětí na zátěži a tím i napětí FV panelu. Závislost napětí FV panelu na napětí zátěže a intervalu spínání je daná rovnicí 8.

$$U_{PV} = U_Z \cdot \frac{t_{on} + t_{off}}{t_{on}} [V] \quad (8)$$

U_{PV} = napětí FV panelu

U_Z = napětí zátěže

t_{off} = doba vypnutí spínače

t_{on} = doba zapnutí spínače

Doba sepnutí a rozepnutí spínače je řízena na principu již zmíněné PWM. Ovládací obvod PWM je řízen pomocí speciálního algoritmu MPPT. Tento algoritmus v reálném čase zpracovává výstupní hodnoty napětí a proudu FV panelu, z kterých poté určuje aktuálně možnou maximální hodnotu výkonu. Z této hodnoty pak algoritmus určí potřebnou hodnotu napětí pro dosažení tohoto výkonu. Ta je poté odečtena od aktuální hodnoty napětí panelu a výsledná odchylka napětí je předána řídicímu obvodu PWM. Pomocí spínače je pak v panelu navoleno napětí, odpovídající aktuálně maximálnímu možnému výkonu [19].

Hodnoty takto nastavitelného napětí střídačem a jím protékajícího proudu, jsou vzhledem k jeho vlastnostem omezené. Tím se vymezuje takzvaná pracovní oblast střídače, tedy možná oblast výskytu pracovních bodů FV panelu. Takto vymezená oblast poté překrývá zejména pravou část VA charakteristiky panelů, ve které jsou obsaženy všechny pracovní body nutné pro dosažení maximálního výkonu FV panelů. Zmíněné podmínky slouží jako zásady pro správný návrh FV střídače a do něj připojených panelů. Z hlediska střídače je tedy nutné počet do něj zapojených FV panelů volit tak, aby jejich výstupní hodnoty nepřesahovaly jeho pracovní oblast, respektive vstupní hodnoty napětí a proudu, na které je daný střídač konstruován.

6 Popis projektové dokumentace

V této kapitole bude popsán význam projektové dokumentace (dále jen PD) při realizaci jakéhokoliv projektu. Dále zde budou popsány jednotlivé části PD, nároky na ní kladené ze strany právních předpisů a jednotlivé stupně PD v závislosti na pokroku při realizace daného projektu.

6.1 Význam a struktura projektové dokumentace

PD se dá obecně nazvat jako postupně rozvíjející se návod pro realizaci daného projektu, nebo výrobě jakéhokoliv přístroje. Kromě toho slouží také ke koordinaci jednotlivých technologií, zanesení připomínek různých stran a dotčených orgánů a v neposlední řadě také prokázání, že daná instalace je realizována podle platných právních předpisů a technických norem.

Samotnou PD se zabývá Vyhláška č. 499/2006. Sb. o dokumentaci staveb. Ta obecně definuje pojem PD a její jednotlivé části, které musí dle vyhlášky obsahovat. Obsah každé PD se může lišit v závislosti na typu systému, kterým se zabývá. Tím ze strany legislativy na PD vznikají dle charakteru daného projektu, který je předmětem řešení PD, různé nároky na její obsah a jednotlivé části.

Obecně se každá PD dá rozdělit na textovou a výkresovou část, které se v popisu realizace projektu vzájemně doplňují. V následující části kapitoly budou popsány prvky obsažené v těchto částech PD při návrhu FVE.

6.2 Prvky textové části projektové dokumentace

Textová část PD slouží k slovnímu popisu řešení projektu jak ze strany legislativy, tak i skutečnosti, vycházejících z vlastností a provozních parametrů instalované technologie, nebo zařízení. Často je v ní odkazováno na následnou výkresovou část, s kterou se vzájemně

doplňují. Jednotlivé prvky, s kterými se v textové části PD zabývající se návrhem FVE lze setkat jsou následujícími:

Průvodní technická zpráva slouží jako úvod k projektu. Zpráva popisuje místo, na kterém bude daný projekt realizován. Dále zde musí být zmíněný investor, nebo také vlastník celého projektu a zhotovitel PD. Zpráva tak musí obsahovat jasně dané identifikátory, dle kterých bude možné zúčastněné firmy, nebo fyzické osoby zpětně dohledat [20].

Souhrnná technická zpráva slouží ke koordinaci připomínek všech dotčených orgánů a také nároků ze strany legislativy, dle kterých je projekt realizován. Kromě stanovisek dotčených orgánů, jimiž jsou například vlastníci okolních pozemků, hasičský záchranný sbor, nebo správci zařízení, v jejichž ochranném pásmu by byl daný projekt realizován, jsou zde jmenovány podmínky kladené na projekt daného typu ze strany legislativy a následný způsob jejich řešení.

Zpráva technického řešení se zabývá zejména technickou stránkou projektu. Je v ní řešeno zejména provedení daná instalace, koordinace různých profesí a popis použitých zařízení. Technická zpráva se tak velmi často odkazuje na výkresovou část PD, s kterou se v popisu realizace dané instalace vzájemně doplňuje.

Výkaz výměr je seznam, obsahující soupis všech prací, materiálu a technických zařízení potřebných pro realizaci daného projektu. Jeho struktura a míra specifikace jednotlivých položek se může lišit dle požadavků ze strany investora, nebo samotného stupně PD.

Stavební deník jako jediný ze zmiňovaných položek není tvořen zhotovitelem PD. Přesto je pro realizaci projektu velmi důležitý. Stavební deník slouží pro zápis jednotlivých technologických úkonů při fyzické realizaci stavby. Je zde zaznamenán druh práce, čas jejího konání a zúčastněné osoby. Slouží tak zejména ke kontrole a koordinaci jednotlivých prací na staveništi. Tento deník bývá ve správě zodpovědné osoby, která je povinna provádět zápisy jednotlivých prací. Po ukončení a předání stavby je zodpovědnou osobou deník předán k archivaci.

6.3 Prvky výkresové části projektové dokumentace

Za prvky výkresové části PD se označují výkresy a schémata, která znázorňují fyzické umístění jednotlivých zařízení a objektů a způsob jejich vzájemného propojení. Zejména tak slouží jako názorné doplnění slovního popisu projektu, provedeném v textové části PD. Dle významu jednotlivých výkresů a schémat a způsobu, jakým danou část projektu popisují, lze rozdělit do několika skupin. Při návrhu FVE je ve výkresové části PD nutné uvést následující druhy výkresů a schémat.

Situační a koordinační výkresy navazují zejména na průvodní a souhrnnou technickou zprávu. Je v nich zakreslena celková stavba s přilehlým okolím, spolu se základními kótami a případnými ochrannými pásmy jednotlivých objektů. Pro názorné zobrazení celého projektu bývají tyto výkresy v zpravidla větším měřítku, jako je 1:200 a 1:500.

Výkresy technického řešení slouží především k znázornění fyzického umístění jednotlivých zařízení a kabelových tras. Takovéto prvky a kabelové trasy musí být vždy vhodně označeny příslušnou značkou a popiskem tak, aby bylo možné je dohledat ve zbylých částech PD. Kvůli tomu, aby všechny popisky a značky byly čitelné, bývají tyto výkresy vykresleny v menším měřítku, nebo v případě větších projektů dále rozděleny na více částí.

Bloková schémata slouží jako doplnění výkresů technického řešení. Naopak je v nich řešena struktura a způsob zapojení dané technologie než její fyzické umístění. V blokovém schématu by měl být každý prvek označen tak, aby bylo možné dohledat jeho přesnou technickou specifikaci v textové části PD, nebo jeho fyzické umístění ve výkresech technického řešení.

Liniová schémata jsou druh drátového blokového schématu, který řeší čistě elektrické rozvody. Jsou v něm rozkresleny jednotlivé vodiče a dále i kontakty zařízení, na které jsou připojeny. V každém úseku schématu musí být jasně označen a specifikován daný typ kabelu, kterým je rozvod proveden. To samé platí i pro elektrická zařízení, která se ve schématu vyskytují. Liniová schémata poté slouží jako návod pro tvorbu rozvaděčů a také samotných elektrických rozvodů.

6.4 Stupně projektové dokumentace

Dle pokroku při realizaci projektu, se mění jak struktura samotné PD, tak i obsah jejích jednotlivých částí. Na základě stupně PD se také mění požadavky na ní kladené ze strany legislativy, tak i ze strany investora a realizační firmy. Mimo jmenované, se v praxi lze setkat například s PD ve stupni pro územní rozhodnutí, nebo demoličních prací. Tyto stupně však mohou být zastoupeny dokumentací pro stavební povolení, která se zabývá stejnou problematikou jako dva zmíněné stupně PD. V případě státních a rozsáhlejších zakázek, je možné se setkat s tenderovou PD, která slouží k výběru zhotovitele jak samotné PD, tak i realizační firmy. V případě malých projektů, který řeší například jen menší technické úpravy, se lze ještě setkat s jednostupňovou PD, která v průběhu realizace projektu nahrazuje všechny zmiňované stupně. Při návrhu FVE se lze nejčastěji setkat s následujícími stupni PD.

Dokumentace pro stavební povolení označovaná zkratkou DSP, slouží jako podkladový materiál úřadům, k udělení stavebního povolení pro daný projekt. V tomto stupni je tedy spíše dbáno na vyjádření jednotlivých dotčených orgánů a vlivu projektu na jeho okolí. Dále je tento stupeň PD zaměřen především na obsah zmíněných situačních a koordinačních výkresů. V DSP se tedy řeší zejména hlavní parametry dané stavby a fyzické umístění jednotlivých zařízení. Technické provedení stavby a její jednotlivé komponenty v tomto stupni PD není nutné podrobněji specifikovat.

Dokumentace pro provedení stavby označovaná zkratkou DpPS, je tvořena na základě finální verze DSP. Na rozdíl od DSP zde už musí být podrobně popsáno technické řešení celého projektu a také zde musí být podrobně specifikována všechna použitá zařízení. Tím je tato PD oproti předchozímu stupni doplněna zejména o výkresy a textové dokumenty zabývající se technickou stránkou projektu. Na základě této dokumentace je pak stavebníkem daný projekt fyzicky realizován.

Dokumentace skutečného provedení stavby označovaná zkratkou DSPS, je posledním stupněm PD vycházejícím z přechodí DpPS. V tomto stupni PD jsou zanesené případné změny v projektu, vzniklé při jeho fyzické realizaci. Na základě této PD, která znázorňuje reálné provedení dané stavby, jsou pak prováděny revizní zkoušky, budoucí údržba a případné opravy. DSPS je po realizaci projektu a uvedením do provozu příslušným orgánem archivována. Tím je možné realizaci celého projektu považovat za ukončenou.

7 Teoretický rozbor projektové dokumentace pro výstavbu FVE

Poslední kapitola bude zaměřena na praktickou část diplomové práce, týkající se návrhu velkokapacitní FVE. Pro tento účel byla vypracována příložená PD. V kapitole bude teoreticky popsán a zdůvodněn jak návrh samotné elektrárny, tak i výběr a dimenzování jejich jednotlivých komponentů. Závěr kapitoly se bude zabývat finanční zhodnocení celého projektu, včetně možných variant při optimalizaci návrhu FVE.

7.1 Úvod k praktické části

V rámci praktické části práce jsem dle zadání vypracoval PD zabývající se návrhem FVE pozemní instalace o výkonu 4,036MWp. Nutné je zmínit, že elektrárna je postavená na reálném místě a je přizpůsobená jeho podmínkám, ale i tak se jedná o fiktivní projekt, který nebude fyzicky realizován. Proto vytvořená PD nebude obsahovat některé údaje, které by jinak dle legislativy obsahovat musela. Jedná se například o jména vlastníků dotčených pozemků, objednatele PD a další identifikační údaje.

Dále je nutné zmínit, že příložená PD v rámci FVE řeší zejména část elektrické instalace a nejsou v ní podrobně řešeny ostatní profese, které by v rámci celkové realizace FVE byly potřeba. Tomu odpovídá i reálný příklad z praxe, kdy se na celkovém vývoji daného projektu podílí několik projektantů různých profesí, mezi kterými probíhá vzájemná koordinace.

Vytvořená PD je dle v zadání práce ve stupni DpPS, čímž je zejména zaměřena na technické řešení FVE. Tímto způsobem je popsána pouze část náležitostí potřebných k celkové realizaci a následnému provozování FVE. Ostatní náležitosti nutné k provozu a výstavbě FVE mimo zmíněný stupeň PD, budou popsány v následující části kapitoly.

7.2 Legislativní náležitosti při realizaci a provozu FVE

V předchozí kapitole jsem zmínil DSP, která je předstupněm DpPS a slouží tak jako počátek každého projektu. Na rozdíl od DpPS se tento stupeň zabývá zejména vlivem stavby na okolí a plnění nároku na ní kladených ze strany legislativy.

Na základně předložené DSP vydává pro daný projekt úřad stavební povolení k jeho fyzické realizaci. Vytvořená DSP, stejně jako ostatní stupně PD, musí obsahovat prvky a splňovat požadavky kladené Vyhláškou č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb, ve znění posledních předpisů. Stavební povolení je pak úřadem po posouzení DSP vydáno na základě Zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění posledních předpisů. Požadavky, kladenými těmito právními předpisy, je dán potřebný obsah DSP k tomu, aby na jejich základě mohlo být pro stavbu uděleno stavební povolení. DSP dle požadavků má obsahovat stručný popis pozemku na kterém by se stavba měla realizovat dle Zákona č. 256/2013 Sb., o katastru nemovitostí (katastrální zákon), ve znění posledních předpisů, charakteristiku stavby a způsob jejího využití, vliv stavby na její přilehlé okolí a životní prostředí při a po realizaci díla, způsobu realizace stavby a nakládání se vzniklými odpady.

V rámci popisu pozemku je potřeba provést několik úkonů, jako je geodetické zaměření pozemku, měření radonu, hydrogeologický průzkum pro vsakování vody, poskytnutí dokladu o vlastnictví pozemku, který je předmětem stavby a výpis z katastru nemovitostí.

Popis charakteru stavby se provádí stejně jako v technické zprávě. Je zde zejména potřeba uvést princip FVE a její hlavní účel, zda se jedná o novostavbu dočasnou či trvalou, základní předpoklady pro dobu výstavby a její finanční náklady. Dále by zde měly být popsány územní podmínky pro připojení stavby k stávající infrastruktuře a způsob, jakým bude napojení provedeno.

Vliv stavby na okolí bývá z hlediska stavebního povolení nejnáročnější na posouzení. Jednak je nutné posoudit vliv stavby na své okolí při výstavbě a následném provozu FVE, na základě Zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivu na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí), ve znění posledních předpisů. Toto posouzení musí být provedeno u každé budoucí stavby bez ohledu na to, kde se nachází. Další nutná posouzení vlivu stavby na okolí a jejich rozsah už se odvíjí od umístění stavby a lze je rozdělit do tří skupin.

Jako první skupinu lze označit majitele všech sousedních pozemků a staveb. V tomto případě je potřeba od dotčených osob získat jejich písemný souhlas s realizací stavby. V případě, že by daná osoba se stavbou nesouhlasila, neznamená to konec projektu, jelikož o tom rozhoduje příslušný stavební úřad. Na vyjádření dotčených osob však při svém rozhodnutí může úřad na základě opodstatněnosti jejich připomínek přihlédnout a stavbu tak zamítnout.

Druhou skupinou jsou stavbou dotčené orgány. V tomto případě se jedná o orgány státní správy, do jejichž pole působnosti by daná stavba zasahovala. Jedná se například o stavbu v památkové oblasti (Zákon č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, ve znění posledních předpisů), národním parku (řešeno v rámci životního prostředí) a oblasti působnosti města, nebo obce. Dále je například nutné řešit, zda budoucí stavba nezasahuje do ochranného pásma jiné stávající stavby. V nejčastějším případě to bývají ochranná pásma pozemních komunikací, řešená na základě Zákona č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění posledních předpisů. V případě každé stavby je dotčeným orgánem hasičský záchranný sbor na základě Zákona č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů. Ten udává povinnost vypracování požárně bezpečnostního řešení, pro každou novostavbu.

Poslední dotčenou skupinou jsou provozovatelé stávajících inženýrských sítí, do kterých by stavba zasahovala. Jedná se například o stávající trasu přenosové, nebo distribuční soustavy, sdělovacích kabelů a potrubí vodovodu. Všechny zmíněné trasy mají svá ochranná pásma, které je nutné při návrhu stavby brát v potaz, jelikož na rozdíl od ochranných pásem pozemních komunikací je nelze narušit. Ochranná pásma elektrických inženýrských sítí jsou řešena na základě Zákona č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o elektronických komunikacích), ve znění posledních předpisů, Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů (dále jen Energetický zákon). Dle daného typu inženýrské sítě je potřeba si dohledat příslušný právní předpis, zabývající se jeho ochranou.

Pro poslední dvě jmenované skupiny platí, že od každého dotčeného orgánu, či provozovatele sítě, je potřebné k zamýšlené stavbě získat takzvaná stanoviska. Ty jsou daným orgánem dodána v předepsané lhůtě na základě DSP zaslané stavebníkem. Stanoviska dotčených orgánů mohou k provedení projektu obsahovat připomínky, které je potřebné do projektu zapracovat, a poté opětovně odeslat k posouzení. Tento proces se opakuje, dokud

nebude dosaženo kladného stanoviska od všech dotčených orgánů. Takto připomínkováná DSP je poté se všemi stanovisky dotčených stran odeslána k posouzení stavebním úřadem.

V případě mé práce, kde se dotčený pozemek nachází v zemědělském půdním fondu, není možné na tomto pozemku realizovat žádnou výstavbu. Prvně je potřeba tento pozemek vyjmout z půdního fondu na základě Zákona č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu. O vyjmutí pozemku se žádá kontaktním formulářem na příslušném odboru životního prostředí, který o vyjmutí rozhodne na základě vlivu stavby na životním prostředí dle zmíněného zákona o posuzování vlivu na životní prostředí.

Pro připojení FVE k síti vznikají ze strany legislativy na provozovatele další nároky na základě zmíněného Energetického zákona, Vyhlášky č. 359/2020 Sb., o měření elektřiny a Vyhlášky č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě. Na základě zmíněných právních předpisů byl provozovateli distribučních soustav zpracován soupis pravidel pro provozování distribučních soustav. Problematikou připojení k distribuční síti se pak zabývá příloha č. 4, Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulčních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy (dále jen PPDS). Na základě této přílohy a podmínek jí kladenými podává vlastník žádost o připojení příslušnému provozovateli distribuční sítě, ke které se chce připojit.

Pro uvedení elektrárny do provozu a dodávání energie do sítě musí vlastník FVE s výkonem větší než 10kW zažádat o udělení licence k výrobě elektrické energie. Licence se uděluje fyzické osobě na základě zmíněného energetického zákona a Vyhlášky č. 8/2016 Sb., o podrobnostech udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích a Zákona č. 500/2004 Sb., správní řád. Žádost je podána v podobě formuláře Energetickému regulačnímu úřadu (dále jen ERU). Licence pro výrobu elektrické energie je vydávána s platností 25 let a po jejím vypršení je nutné jí vlastníkem výroby opětovně obnovit. Při výrobě energie z podporovaných i nepodporovaných zdrojů do distribuční sítě, pro provozovatele dále plyne povinnost registrace do Centrálního informačního systému operátora trhu s elektřinou (dále jen OTE).

Další důležitou částí každého projektu jsou technické normy. Technické normy slouží jako návod pro provedení daného systému, jeho dimenzování a odolnosti vůči vnějším vlivům v daném prostředí. Technické normy, dle kterých je FVE navrhována a následně provozována jsou zmíněné v příložené PD, a proto je zde již nebudu zmiňovat. Na závěr je však dobré zmínit, že na rozdíl od právních předpisů, není dodržování technických norem povinné. To nastává pouze v případě, že je daná norma přímo zmíněna v právním předpisu. Přesto je však

důležité se obsahem norem řídit, jelikož při selhání daného systému, který může vést k finanční škodě, nebo k úhoně na zdraví, je v soudním procesu nutné prokázat, že daný systém byl proveden v souladu s technickými normami. V případě prokázání neshody, veškerá zodpovědnost připadá na zhotovitele PD dokumentace, který systém v dané podobě navrhnul, nebo na stavebníka, který se naopak návrhem systému dle PD neřídil.

7.3 Struktura PD a její jednotlivé části

Přiložená PD, týkající se návrhu FVE je vytvořena ve stupni DpPS, pro část elektroinstalace. Dle vyhlášky o dokumentaci staveb je dokumentace rozdělena na výkresovou a textovou část, tj. prvky potřebné k realizaci stavby. Její jednotlivé prvky jsou označeny identifikačním číslem, podle kterého jsou dle seznamu dokumentace v příslušné složce řazeny. Každá část je zároveň opatřena počtem listů, přičemž každý výkres nadměrné velikosti je složen do formátu A4 a počítá se jako jeden list. Textová část PD obsahuje následující prvky:

Technická zpráva obsahuje základní údaje o stavbě, jejím účelu, dotčených pozemků a stran, podílejících se na realizaci stavby. Dále se zpráva věnuje hlavně slovnímu popisu technického provedení FVE ze strany elektroinstalace s odkazem na technické normy, dle kterých byl daný návrh proveden. Ve zprávě jsou dále uvedeny podmínky kladené provozovatelem distribuční sítě na připojení FVE k síti a podmínky kladené na použitá zařízení ze strany právních předpisů a technických norem.

Organizace výstavby se zabývá organizací staveniště při realizaci FVE. Je zde řešena bezpečnost při práci na staveništi, doprava, uskladnění materiálu a odpadu, hygienické podmínky na staveništi a harmonogram řešící posloupnost jednotlivých úkonů na stavbě, jejich časovou náročnost a v neposlední řadě i návaznost. V rámci organizace výstavby je dále vytvořen výkres ZOV, zachycující jednotlivé úložné plochy a popis základních tras na staveništi.

Výkaz výměr slouží jako soupis všech materiálů a prací, potřebných k realizaci projektu FVE. Jednotlivé prvky jsou ve výkazu v rámci elektroinstalace členěny do několika sekcí, pro které je následně proveden mezisoučet. U každého prvku je uveden jeho stručný popis a základní parametry. V případě potřeby může být popis doplněn o přesný typ daného zařízení. Počet daného materiálu se udává v odpovídajících jednotkách. V případě, že se

v jedné položce jedná například o soubor několika kusů materiálu, je jednotka udána jako kpl. Nakonec je pro každou položku uvedena cena za jeho jednu jednotku a cena za jeho celkové potřebné množství. Všechny ceny ve výkazu výměr jsou uvedeny včetně DPH. V případě většího množství materiálu byla na některé druhy materiálu uplatněna množstevní sleva, dle nabídky dodavatele.

Popis prvku	Typ	Jednotka	množství	cena za kus	cena celkem
Uzemnění					
svorka spojovací pro spojení zemnicích pásků	SR 02	ks	656	20,50 Kč	13 448,00 Kč
svorka spojovací pro spojení vodiče a pásku	SR 03 K	ks	265	21,53 Kč	5 705,45 Kč
svorka (oko) připojovací pro připojení vodičů 7-10mm	SpB	ks	475	32,82 Kč	15 589,50 Kč
uzemňovací drát průměru 8mm	Fe/Zn	m	1200	24,21 Kč	29 052,00 Kč
uzemňovací pásek 30x4mm	Fe/Zn	m	8350	52,50 Kč	438 375,00 Kč

Tabulka 1: výřez z výkazu výměr

Kabelová kniha slouží jako seznam veškeré natažené kabeláže v rámci výstavby FVE. Každý kabel musí mít své jasné a unikátní označení, které je vždy uvedeno v prvním sloupci v seznamu. Dále je uveden typ kabelu, včetně jeho dimenze, počtu žil a jeho celkové délky. Popis kabelu dále musí obsahovat zařízení, která daný kabel spojuje a stručný popis kabelové trasy ve které je veden. V případě, že kabel prochází několika druhy kabelových tras, udává se prostředí, kde leží nejdelší část jeho trasy.

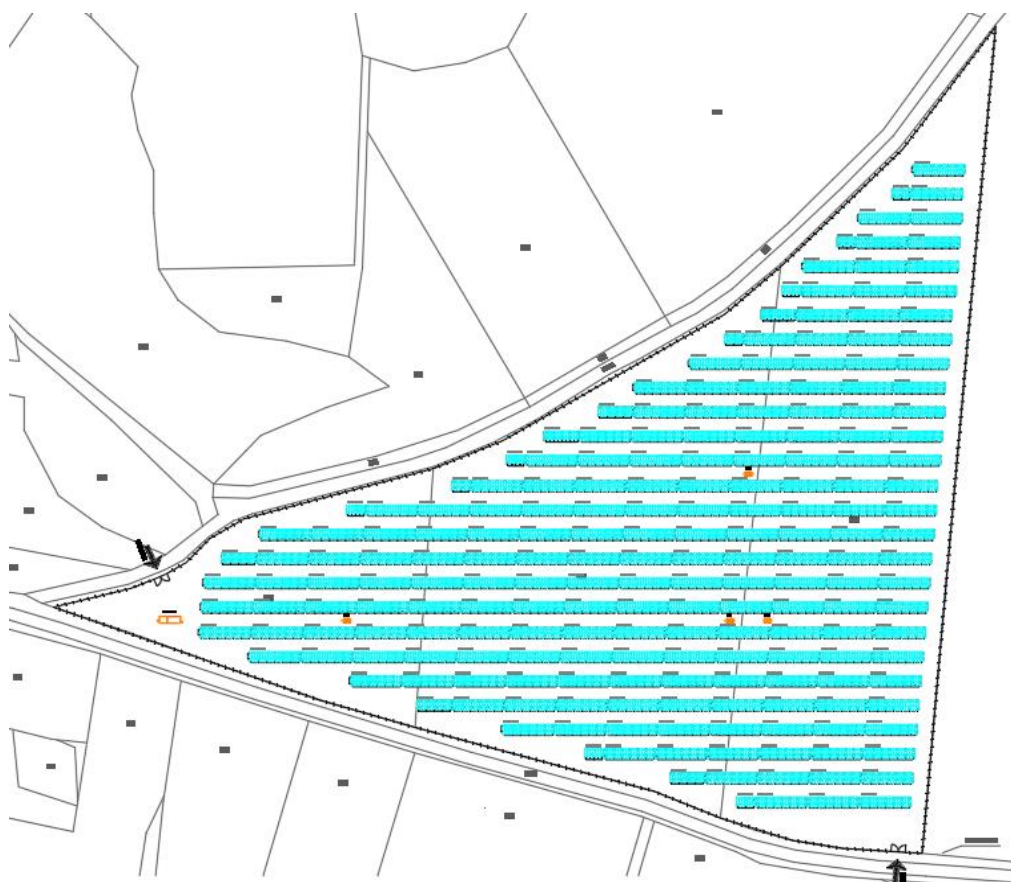
číslo kabelu	Typ kabelu	Průřez [mm2]	Délka [m]	Spojtuje (napájení Z / Ukončení V)	Uložení kabelu
AC kabely mezi měniči GR a rozvaděči RZ.AC					
WL-01	AYKY-J	3x95+70	25	Měnič GR.01 - RZ.AC.01	Kabelová chránička v zemi 100mm
WL-02	AYKY-J	3x95+70	12	Měnič GR.02 - RZ.AC.01	Kabelová chránička v zemi 100mm
WL-03	AYKY-J	3x95+70	23	Měnič GR.03 - RZ.AC.02	Kabelová chránička v zemi 100mm
WL-04	AYKY-J	3x95+70	8	Měnič GR.04 - RZ.AC.02	Kabelová chránička v zemi 100mm
WL-05	AYKY-J	3x95+70	42	Měnič GR.05 - RZ.AC.03	Kabelová chránička v zemi 100mm
WL-06	AYKY-J	3x95+70	44	Měnič GR.06 - RZ.AC.03	Kabelová chránička v zemi 100mm

Tabulka 2: výřez z kabelové knihy

Výkresová část obsahuje všechny potřebné výkresy, pro realizaci FVE. Jsou v ní obsaženy půdorysy pro dané technologie zahrnující pohled na celkovou plochu elektrárny, včetně celkové situace objektu. Dále je ve výkresové části obsažen výkres blokového schématu celé FVE, zapojení FV panelů s rozvaděči a střídači a liniová schémata pro tvorbu jednotlivých elektrických rozvaděčů. Pro doplnění půdorysů stavby, jsou zde dále obsaženy boční pohledy na jednotlivé prvky FVE, jako jsou nosné konstrukce FV panelů, trafostanice a elektrické rozvaděče.

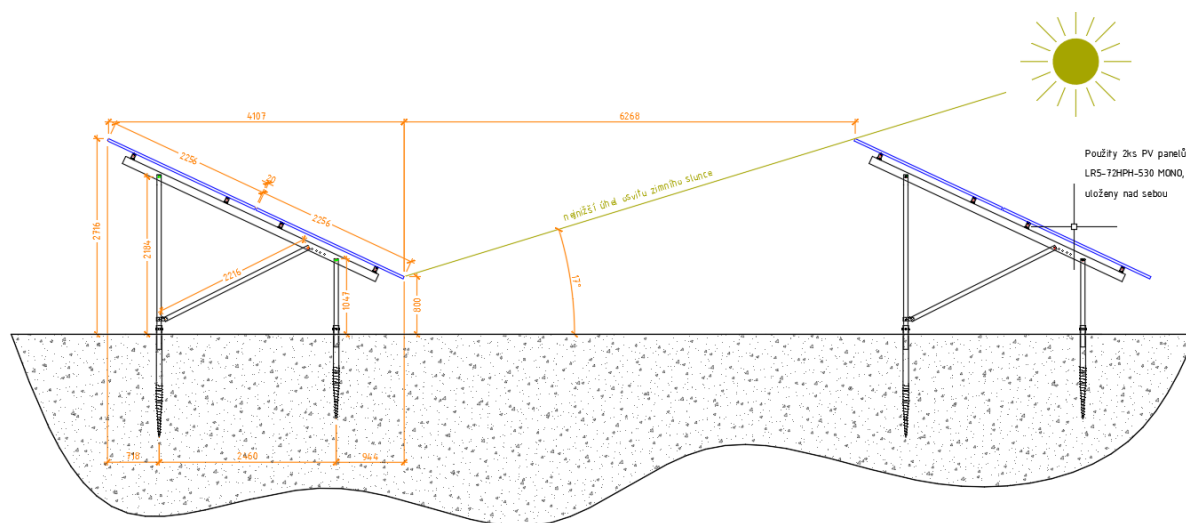
7.4 Popis technického návrhu FVE

Místo stavby se nachází na východ od obce Třebesko, okres Příbram. FVE bude instalována na třech parcelách č. 814, 815 a 816 o celkové rozloze 57 491m². Jedná se o rovinnou plochu, která aktuálně slouží jako orná půda. Okolo celé stavby bude veden plot o výšce 2m, s dvěma příjezdovými branami o šířce 6m. V rámci výstavby FVE bude instalováno celkem 7 616ks FV panelů o jmenovitém výkonu 530Wp. Podrobnější popis panelů včetně jejich parametrů je uveden v příložené PD. Panely budou umístěny na hliníkové konstrukci se zemními závrtky o sklonu vůči horizontální rovině 25°. V rámci elektrárny budou dále instalovány 4 kompaktní trafostanice s uložením do šterkového lože, osazené transformátory 1000kVA 22/0,4kV. Dále bude v objektu instalována kontejnerová rozvodna VN uchycená na zemních vrutech, s kabelovými přívody ze spodu. Trafostanice budou umístěny mezi jednotlivými řadami FV tak, aby nedošlo k zastínění zadní řady panelů a bylo dodrženo dvoumetrové ochranné pásmo trafostanic. Kontejnerová rozvodna VN bude umístěna v západní části elektrárny, a to zejména kvůli navržené přípojce k DS. Umístění zmiňovaných objektů a nosných konstrukcí je znázorněno ve výkresu č. VD-01 Celková situace.



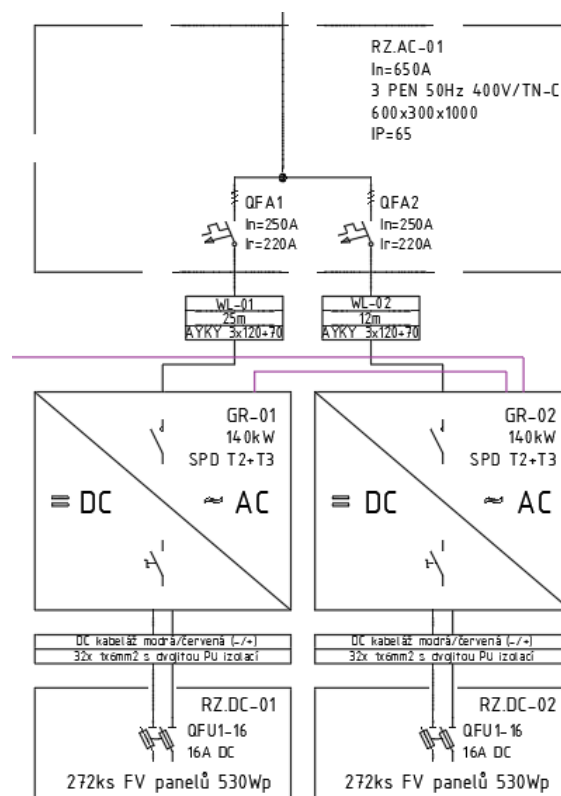
Obrázek 23: Celková situace objektu

Umístění FV panelů na nosných konstrukcích a uspořádání jednotlivých řad FV panelů je znázorněno na následujícím obrázku 24. Sklon panelů 25° jsem oproti optimální sklonu pohybující se okolo 35° volil zejména kvůli rozměrům panelů. Při vyšším sklonu panelů by výrazně vzrostla výška jednotlivých řad a tím pádem i potřebná odstupová vzdálenost mezi jednotlivými řadami kvůli vzájemnému stínění. V praxi je tento problém částečně řešen pomocí takzvaných half-cut FV panelů, které umožňují přemostění svojí dolní poloviny. To má za následek, že při vodorovném zastínění panelu dojde k odpojení jeho spodní poloviny a snížení jeho výkonu o 50%. Tímto způsobem je možné zmenšovat rozestupy jednotlivých řad s tím, že záměrně zastíníme následující řadu a snížíme její výkon o polovinu. Zároveň je tímto způsobem možné na danou plochu umístit více řad FV panelů. Vzhledem k tvaru pozemku, na kterém provádím návrh FVE jsem tuto možnost nevyužil. Jelikož bych snížením výkonu dlouhých řad FV panelů docílil přidáním pouze malých řad na zadní části pozemku elektrárny. Dalším problémem, který je třeba v souvislosti s řadami FV panelů řešit, je jejich vzdálenost od plotu. Ochranné pásmo plotu, ve kterém se nesmí nacházet žádná konstrukce je 2,5m. V mém případě jsem volil vzdálenost od plotu ve všech částech FVE 6m, aby byla vytvořena dostatečná cesta pro pohyb těžké techniky a jiných dopravních prostředků během výstavby a následného provozu elektrárny. V případě mé práce jsem zvolil natočení panelů přímo na jižní stranu. Další možností je natočení panelů na takzvaný pravý jih, tedy natočení panelů s $2-5^\circ$ odklonem na jihozápad. To má za následek mírné zvýšení výkonu bez ohledu na úhel sklonu panelů. V praxi bývá umístění FV jeden z nejtěžších úkolů. Zejména když je na ploše různých tvarů potřeba dosáhnout instalovaného výkonu požadovaným investorem. Poté je nutné vzít v potaz všechny zmíněné náležitosti při umísťování FV panelů a optimalizovat jejich návrh.



Obrázek 24: Boční pohled na řady FV panelů

Celková struktura elektrárny je naznačena ve výkresu č. VD-10 Blokové schéma FVE. Elektrárna bude celkem složená ze 4 bloků transformátorů 1000kVA 22/0,4kV. Každý transformátor je dále propojen s modulárním rozvaděčem RZ.VNH v rozvodně VN. V rozvaděči VN bude každý přívod z transformátoru opatřen 3f pojistkami s odpojovačem 50A/22kV. Přivedený výkon z trafostanic bude poté veden skrze měřící blok k hlavnímu vypínači, sloužícímu jako oddělovací místo elektrárny. Vypínač dále bude pomocí navrhnuté VN přípojky propojen s nadzemním vedením VN DS. Do každého transformátoru bude skrze rozvaděče RZ.TH a RZ.AC zapojeno 7 FV střídačů o výstupním výkonu 140kW. V rozvaděči RZ.TH budou jednotlivé přívody z podružných rozvaděčů RZ.AC jistěny pomocí 3-pólových odpínacích bloků s nastavitelnou nadproudovou spouští. Spouště jsou nastaveny dle jistěného přívodu na 420 a 630A. V rozvaděčích RZ.AC, sloužících ke sloučení výkonu ze střídačů, budou jednotlivé přívody ze střídačů také jistěny pomocí 3-pólových odpínacích bloků, s nadproudovou spouští nastavenou na 220A. Na DC straně střídačů jsou dále osazeny rozvaděče RZ.DC. V rozvaděčích budou jednotlivé stringy FV panelů osazeny 2-pólovými pojistkovými odpojovači, s vložkami 16A gG. Ochrana proti přepětí je zajištěna pomocí vestavěných ochran umístěných na všech vnitřních DC a AC kontaktech střídačů. Schémata jednotlivých rozvaděčů jsou znázorněna ve výkresu č. VD-17 Schémata rozvaděčů.



Obrázek 25: Zapojení FV střídačů s rozvaděči RZ.AC

Při vyvedení výkonu z měničů jsem zejména dbal na to, aby v co nejmenší vzdálenosti došlo k převodu napětí na vyšší napěťovou hladinu, a snížil se tak úbytek napětí na kabelovém vedení vyvolaný velkým protékajícím proudem dle vzorce 9.

$$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I}{G \cdot A} [V] \quad (9)$$

- l = délka vodiče
- I = proud protékající vodičem v daném úseku
- G = vodivost materiálu jádra vodiče
- A = průřez jádra vodiče

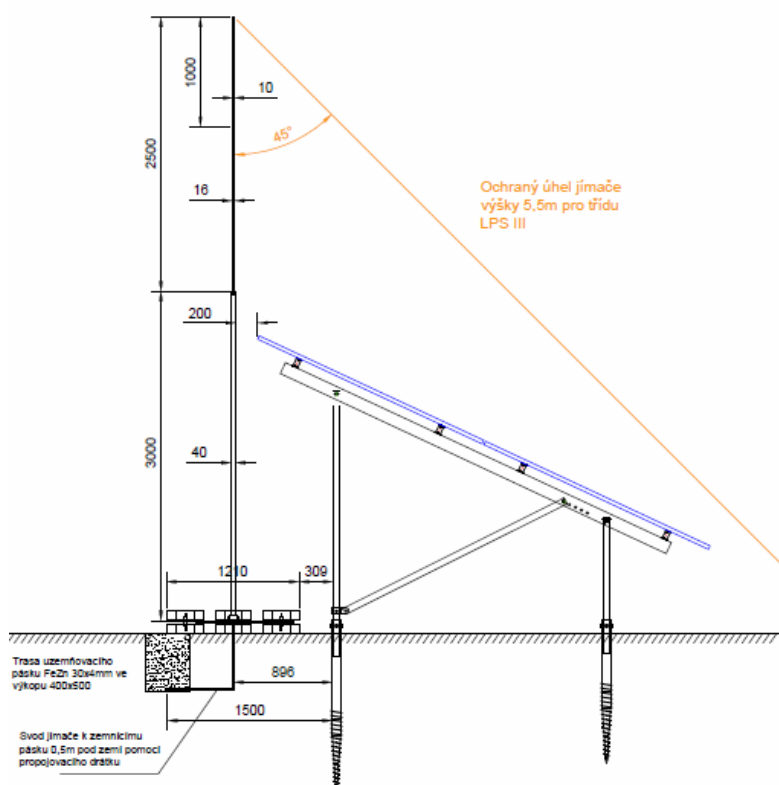
Při dimenzování kabeláže jsem dále dbal na to, aby kabelem neprotékal vyšší jmenovitý proud, než je udáván výrobcem při daném uložení kabelu. V tomto ohledu jsem nastavil všechny proudové ochrany tak, aby jejich vybavovací hodnoty nepřekročily maximální povolené proudové zatížení kabelu. Hodnoty jednotlivých proudových ochran jsou zároveň nastaveny tak, aby byl splněn princip selektivity.

Při plánování kabelových tras, jsem se řídil technickou normou ČSN 73 6005 – Prostorové uspořádání vedení technického vybavení. Dle požadavků normy jsem pro podzemní trasy kabelů jednotlivých technologií navrhl výkopy dané hloubky tak, aby při křížení, nebo souběhu kabelových tras různých technologií vždy došlo k dodržení předepsané odstupové vzdálenosti ve svislém i vodorovném směru. Všechny podzemní kabelové trasy jsem navrhl pomocí pevných kabelových chrániček vhodné dimenze vůči chráněnému kabelu. Tím je dle normy vytvořen kabelový kanál, zajišťující kabelům jak ochranu proti fyzickému namáhání, tak i ochranu proti rušení od ostatních kabelových tras jiných technologií. Podrobnější popis provedení kabelových tras je uveden ve výkresu č. VD-16 Vzor uložení kabelů.

Způsob zapojení FV panelů a střídače je znázorněn ve výkresu č. VD-11 Zapojení FV panelů a střídače. V mém případě jsem zvolil řetězcový měnič o maximálním výstupním AC výkonu 140kVA. DC strana měniče je opatřena 12 MPP trackery o maximálních vstupních hodnotách 1100V/28A. Maximální DC vstupní výkon střídače je 190kW. Podrobnější popis použitého střídače je uveden v příložené PD. V mém případě jsem volil zapojení 16 řetězců, kdy jeden řetězec obsahuje 17, sériově zapojených FV panelů. Parametry jednoho řetězce FV panelů jsou 12,85A/702,95V/9010W. Ze sériového řazení panelů v řetězcích lze usoudit, že jediný volitelný parametr řetězce je jeho napětí. To je potřeba volit v závislosti na vstupních parametrech střídače. Jmenovité napětí řetězce je potřeba zvolit dostatečně velké ze dvou

důvodů. Prvně aby dostatečně převyšovalo minimální provozní napětí měniče 250V pro jednotlivé MPP trackery a za druhé, aby napětí leželo v napěťovém rozsahu MPP trackeru 500-800V. Zároveň napětí řetězce nesmí být moc velké, jelikož v zimních měsících dochází vlivem snížené teploty k navýšení výstupního napětí panelů, které v konečném součtu může přesáhnout maximální napětí jak střídače, tak samotných FV panelů. Rezerva napětí se v tomto případě spočítá pomocí teplotního koeficientu panelu dodaného výrobcem a minimální možnou teplotou v oblasti, kam by panely měli být instalovány.

V rámci ochrany před bleskem, byl objekt FVE dle jeho parametrů, účelu a charakteru zařazen do třídy LPS III. V tomto ohledu jsem dle souboru norem ČSN 62305-1-4 navrhnul dostatečnou ochranu před bleskem v podobě mřížové zemnicí soustavy a rozmístění jímačů na základě principu ochranného úhlu a valící se koule. Dle ochranného úhlu 45° pro danou třídu LPS, jsem zvolil výšku jímačů 5,5m. Jímače budou umístěny na povrchu země ve své nosné konstrukci, v dostatečné vzdálenosti za řadami FV panelů. Nutné je zmínit, že v případě metody ochranného úhlu, by byly dostačující jímače o výšce 5m. Delší jímače jsem volil kvůli tomu, abych na základě metody valící se koule mohl jímače umísťovat ob jednu řadu FV panelů. Jímače jsou dle metody valící se koule, pro kouli o poloměru 45m rozmístěny tak, aby vzdálenost mezi jímači v jedné řadě nebyla větší než 20m a také aby délka úhlopříčky čtverce, tvořícího dvěma páry jímačů z vedlejších řad nepřesahovala 30m.



Obrázek 26: Umístění jímačů u FV pole

Dle zmíněných pravidel pro rozmístění jednotlivých jímačů dojde k ochraně celého FV pole před přímým úderem blesku. Všechny jímače, stejně jako pracovní vodiče, nosné konstrukce FV panelů, střídače, rozvaděče a trafostanice v objektu elektrárny, budou připojeny na zemnicí soustavu uloženou v hloubce 0,5m. Ta je tvořena FeZn páskem tvořící zemnič typu B okolo všech konstrukcí FV panelů. Uvnitř zemniče je dále v rámci celé plochy FVE vybudována mřížová struktura o velikosti oka 10x15m. Dle normy stačí pro třídu LPS III velikost oka mřížové soustavy 15x15m. Menší velikost oka jsem zvolil kvůli nutnosti vést zemnicí pásek u každé řady FV panelů. Jelikož se v mém případě jedná o oddálenou jímací soustavu, bylo nutné brát v potaz i minimální ochranou vzdálenost jímače, od chráněného zařízení. Tedy vzdálenost, při které již nedojde k přeskočení bleskového proudu z jímače na toto zařízení. Ochranná vzdálenost je vypočítána dle vzorce 10. V mém případě vyšla ochranná vzdálenost jímače 2cm, kterou jsem zejména kvůli praktickým důvodům pro umístění jímačů několikrát překročil. Na závěr je nutné zmínit, že stín vrhající jímačem na zadní řady FV panelů není nutné brát v potaz, jelikož při průměru jímací tyče 16mm a méně, dojde při velké vzdálenosti mezi jednotlivými řadami k dostatečnému rozptýlení jejího stínu.

$$s = k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} \cdot l \text{ [m]} \quad (10)$$

- s = ochranná vzdálenost jímače
- k_i = koeficient závislý na třídě LSP (0,04 pro LPS III)
- k_c = koeficient závislý na bleskovém proudu (pro zemnič typu B $k_c=0,5$)
- k_m = koeficient závislý na izolačním materiálu (pro vzduch $k_m=1$)
- l = délka svodu

Monitoring a ovládání celého systému ze strany provozovatele DS a vlastníka elektrárny, je proveden pomocí rozvaděče RTU s GSM komunikátor pro dálkový přenos, bezdrátovým přijímačem HDO provozovatele DS a ústředny FV střídačů od výrobce SMA. Ovládání systému a sběr dat ze strany vlastníka, probíhá pomocí sériové sběrnice RS 485, kterou jsou jednotlivé FV střídače propojeny s ústřednou FV systémem. Dle výrobce může být na jedné sběrnici umístěno maximálně 10 zařízení a její délka by neměla přesáhnout 1000m. Všechny tyto podmínky jsem při svém návrhu dodržel, jelikož na každé z celkem 4 linek je umístěno 7 FV střídačů z příslušného bloku elektrárny. Pomocí této sběrnice dochází jak k ovládání střídačů ze strany ústředny, tak i ke sběru jejich provozních dat. Výstupní parametry elektrárny jsou ústředně předány pomocí analyzátoru sítě, připojeného k měřicímu bloku rozvaděče RZ.VNH 22kV. Přenos dat vlastníkovi, nebo jakékoliv třetí straně, je pak

proveden pomocí internetového routeru připojeného k ústředně FVE. Ovládání elektrárny a zobrazení předaných dat je poté provedeno pomocí softwaru doporučeného výrobcem daného systému.

Komunikace s provozovatelem DS bude zajištěna pomocí rozvaděče RTU s GSM komunikátorem a bezdrátovým přijímačem HDO. Rozvaděč RTU bude propojen s ústřednou FV systémem, která bude pomocí GSM komunikátoru předávat provozovateli DS parametry dodávané energie do DS a informace o aktuálním stavu FVE. Ústředna FVE bude dále opatřena takzvaným ovládacím vstupem pro vysílač HDO. Tím bude provozovateli DS umožněno zadávání příkazů pro systém FVE, na které musí do 1 minuty od přijetí signálu HDO zareagovat. Provozovateli DS bude skrze vysílač HDO a rozvaděč RTU umožněno dálkové odepnutí hlavního vypínače v rozvaděči RZ.VNH. Povinné údaje předávané provozovateli DS a provozní podmínky jím kladeným na výrobní připojené do DS jsou určeny na základě zmíněné přílohy č. 4 PPDS, dle které FVE v mé práci spadá do výkonové kategorie výroben B2 – nesynchronní výrobní moduly. V rámci měření energie, bude dále na vnější straně oplocení elektrárny instalován fakturační elektroměr, ve vlastnictví provozovatele DS, který je povinen ho na své náklady dodat a také instalovat. Mimo zmíněný fakturační elektroměr není způsob napojení provozovatele DS na systém FVE pevně daný. Ve většině případů je tento problém řešen dle standardů daného provozovatele, nebo na základě vzájemné dohody s vlastníkem FVE.

Všechna zmíněná zařízení pro komunikaci a monitoring budou napájena z rozvaděče pro vlastní spotřebu RZ.VV-01. Rozvaděč bude napájen z rozvaděče RZ.TH-04, trafostanice TR 4 přes pojistkový odpojovač 3x50A gG. Mimo zmíněná zařízení bude rozvaděč napájet i ostatní elektrická zařízení v kontejnerové rozvodně VN. Z hlediska ochrany před dotykovým napětím bude pro zásuvkové a světelné okruhy v rozvaděči instalován proudový chránič. Vlastní technickou spotřebu nebude nutné přímo měřit, jelikož bude zpětně dopočítávána z výstupních hodnot FV střídačů a fakturačního elektroměru.

Pro napojení elektrárny k DS je v PD znázorněna trasa přípojky VN o celkové délce 125m. Přípojka by byla zakončena na zvoleném sloupku nadzemního vedení DS 22kV, opatřeného odpínačem a případnou přepět'ovou a nadproudovou ochranou. Dodávka zařízení umístěných na sloupku vedení VN je v režii provozovatele DS. Podrobnější popis připojení navržené FVE k DS zde dle zadání diplomové práce nebude řešen.

Dle zadání měla být součástí návrhu FVE možnost akumulace energie. Od tohoto bodu zadání jsem upustil zejména z důvodu, že s původní instalací akumulátorů v rámci FVE

jsem počítal kvůli ztrátě vyrobené energie, která by nastala při odepnutí od sítě vlivem nadbytečné dodávky elektrické energie. Tento faktor je lehký potlačen na základě dobře postavené výkupní smlouvy, uzavřené mezi vlastníkem a účastníkem trhu s elektrickou energií. Další důvody jsou zejména ekonomické, jelikož instalace bateriových systémů je v dnešní době stále velmi nákladná a má malý potenciál návratu financí. Dále je nutné přihlídnout ke krátké době životnosti baterií a degradaci jejich výkonu. Instalace baterií by měla také vliv jak na samotné střídače, tak i celý zbytek struktury elektrárny, jejíž části by kvůli souběžné výrobě a dodávce energie z baterií, musely být oproti normálnímu stavu předimenzovány.

7.5 Realizační a provozní náklady FVE

Celkové náklady na výstavbu zmiňované FVE, o instalovaném výkonu 4,036MWp, jsem určil na základě přiloženého výkazu výměr. Výkaz obsahuje soupis všech prací a materiálu, potřebných k realizaci a následnému provozu a demontáži FVE. Celková pořizovací cena elektrárny byla stanovena jako 67 282 599,68 Kč.

Uzemnění a jímací soustava	2 474 371,45 Kč
FV panely, konstrukce, zařízení pro monitoring a tran. energie	49 113 596,72 Kč
Kabelové trasy	1 481 397,35 Kč
Rozvaděče	1 242 734,80 Kč
Ostatní práce a profese	12 970 500,00 Kč
Cena celkem	67 282 599,68 Kč

Tabulka 3: Celková cena výstavby FVE a jejich jednotlivých profesí

Provozní náklady FVE jsem rozdělil na stále měsíční náklady a nahodilé náklady vzniklé nutností opravy, nebo výměny poškozených zařízení FVE. V měsíčních nákladech je zahrnuto zabezpečení elektrárny v podobě poplatku za připojení na pult centrální ochrany systému EZS a pronájem bezpečnostní zásahové firmy v případě narušení areálu FVE. Dále je zde zahrnut poplatek za monitoring a regulaci elektrárny specializovanou firmou. Do měsíční ceny nákladů na údržbu jsou dále rozloženy náklady spojené s údržbou areálu a zařízení FVE. Tím je myšleno sekání trávy v okolí FV panelů, odklizení sněhu z panelů a revize systému FVE prováděné specializovanou firmou. Tyto měsíční náklady budou vlivem inflace každých 5 let navýšeny o 10%. Náklady na opravu a výměnu poškozených zařízení FVE bude od pátého roku provozu elektrárny stoupat o 50 000 Kč, každý následujících 5 let. Tím je

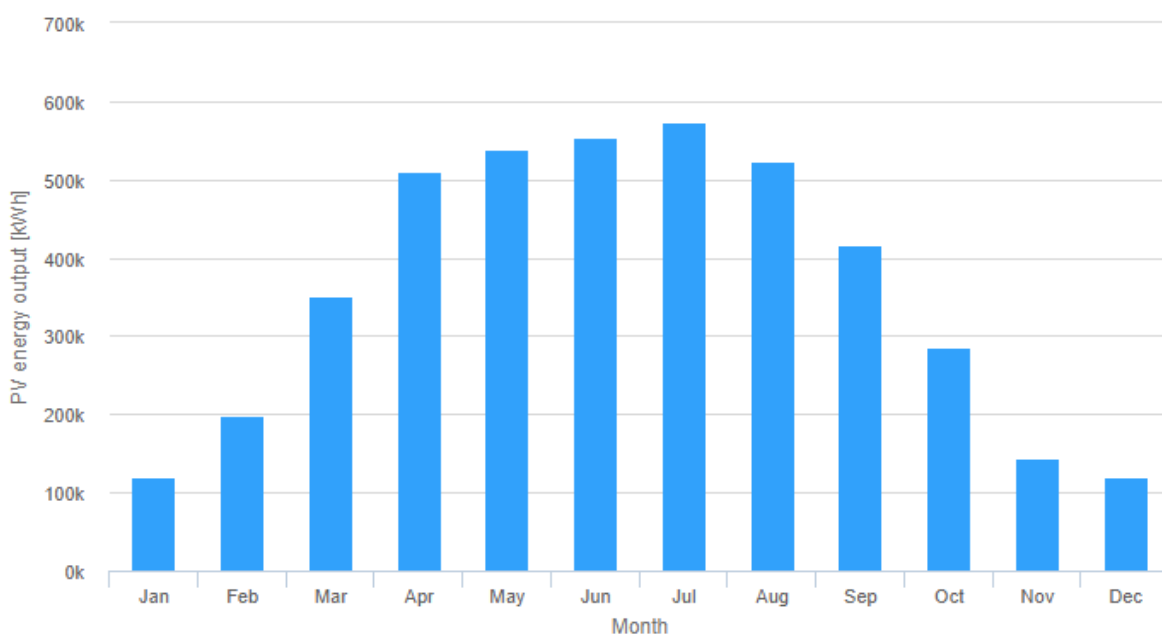
zejména simulována končící doba záruky některých zařízení, ale také i častější nahodilost poruch vlivem materiálové únavy a opotřebení přístrojů v pozdějším období provozu elektrárny.

Provozní rok	Měsíční náklady na údržbu	Roční náklady na opravu FVE	Roční provozní náklady
1 rok	45 000,00 Kč	50 000,00 Kč	590 000,00 Kč
5 rok	49 500,00 Kč	50 000,00 Kč	644 000,00 Kč
10 rok	54 000,00 Kč	100 000,00 Kč	748 000,00 Kč
15 rok	58 500,00 Kč	150 000,00 Kč	852 000,00 Kč
20 rok	63 000,00 Kč	200 000,00 Kč	956 000,00 Kč
25 rok	63 000,00 Kč	200 000,00 Kč	956 000,00 Kč

Tabulka 4: Provozní náklady FVE

7.6 Vyrobená energie FVE

Simulace vyrobené energie navrhnutého FV systémem byla provedena pomocí veřejně přístupného výpočetního programu PVGIS. Simulace byla provedena pro uvedené místo stavby, se zmíněnými základními parametry instalovaných FV panelů. V rámci výpočetního programu bylo v rámci systému FVE počítáno s 11% ztrátami vyrobené energie. V těchto ztrátách je zahrnuta i vlastní technologická spotřeba, na jejíž proplácení v rámci výkupu nemá vlastník elektrárny nárok.



Obrázek 27: Graf roční výroby FVE v prvním roce provozu [21]

Vyrobená energie v prvním roce provozu FVE byla programem stanovena na hodnotu 4 336,66MWh. V následujících letech provozu elektrárny bude celková vyrobená energie elektrárny klesat, v závislosti na degradaci výkonu FV panelů daným jejich výrobcem. Při prvním roce provozu se maximální výkon panelu sníží o 2%. Po dobu životnosti panelů je pak tato ztráta výkonu snížena na 0,55% z maximálního výkonu za rok, a to až na 85,35% na konci životnosti panelů po 25 letech.

Provozní rok	Vyrobená energie [MWh]	Ztráta výkonu FV panelů
1 rok	4336,66	100,00%
5 rok	4154,52	95,80%
10 rok	4054,78	93,50%
15 rok	3916,00	90,30%
20 rok	3796,75	87,55%
25 rok	3677,48	84,80%

Tabulka 5: Vyrobená energie za dobu životnosti FVE

7.7 Finanční zhodnocení navrhnuté FVE

Pro předmětnou FVE, na základě Zákona č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění posledních předpisů, není možné při výkupu energie využití podpory ve formě výkupní ceny, nebo zeleného bonusu. Výkupní cena vyrobené energie FVE je tak stanovena na základě smlouvy uzavřené se spotřebitelem energie, nebo účastníkem trhu s elektřinou. Výkupní ceny energie vyrobené FVE se aktuálně pohybují mezi 1000 – 1200Kč/MWh. V rámci mé FVE jsem tak stanovil počáteční výkupní cenu jako 1180Kč/MWh. Pro hrubý odhad vývoje výkupní ceny, jsem s touto cenou počítal až do 13 roku výroby. Od 14 roku výroby je počítáno s výkupní cenou 1227,2 Kč/MWh, tedy se 4% nárůstem oproti původní ceně. Těmito hodnotami jsem chtěl simulovat možný propad i růst výkupních cen elektrické energie, které jsou v takto dlouhém časovém horizontu těžko předvídatelné.

V rámci daní je provozovatel FVE povinen platit DPH z vyrobené energie a dle udělené licence také jako podnikatel DPPO. Celkovou platbu těchto daní jsem orientačně určil jako 15% z celkového ročního zisku, po celou dobu životnosti FVE. Navrhnuté FVE se dále netýká Solární daň, která se vztahuje pouze na FVE uvedeny do provozu v roce 2010 a Energetická daň, jejíž plátcí jsou koncoví uživatelé vyrobené energie.

Dle Zákona č. 541/2020 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších předpisů, připadá platba příspěvku na recyklaci FV panelů uvedených do provozu po 1.1. 2013 na jejich dodavatele, který dané panely uvedl na trh. Proto nebude recyklace panelů ve výsledném výpočtu zahrnuta.

V tabulce 6 lze vidět, že orientační návratnost elektrárny by při daných pořizovacích a provozních nákladech a určené výkupní ceně, byla necelých 20 let. Kdy na konci své orientační životnosti 25 let, byl provozovateli při zvyšujících se provozních nákladech generován celkový zisk 18 506 139,21 Kč. K tomuto modelu je však nutné doplnit, že se jedná o zjednodušenou verzi reálného případu, jelikož zde není počítáno se způsobem financování celého projektu, přesným výpočtem daní a také s případnou potřebou odkoupení stavebních parcel. O tyto položky by pak byla snížena nejen celková návratnost FVE, ale hlavně i výsledný generovaný zisk na konci životnosti elektrárny.

Rok provozu FVE	Vyrobená energie FVE dodané do DS [MWh]	Daň za vyrobenou energii	Roční provozní náklady FVE	Čistý zisk z vyrobené energie	Odečtení zisku od pořizovacích nákladů
1	4336,66	679 088,82 Kč	590 000,00 Kč	3 848 169,98 Kč	-63 434 429,70 Kč
2	4249,93	663 737,04 Kč	590 000,00 Kč	3 761 176,58 Kč	-59 673 253,12 Kč
3	4226,08	659 515,31 Kč	590 000,00 Kč	3 737 253,40 Kč	-55 935 999,72 Kč
4	4202,22	655 293,57 Kč	590 000,00 Kč	3 713 330,21 Kč	-52 222 669,51 Kč
5	4178,37	651 071,83 Kč	590 000,00 Kč	3 689 407,03 Kč	-48 533 262,49 Kč
6	4154,52	638 750,09 Kč	644 000,00 Kč	3 619 583,84 Kč	-44 913 678,65 Kč
7	4130,67	634 528,35 Kč	644 000,00 Kč	3 595 660,66 Kč	-41 318 017,99 Kč
8	4106,82	630 306,61 Kč	644 000,00 Kč	3 571 737,47 Kč	-37 746 280,52 Kč
9	4082,97	626 084,87 Kč	644 000,00 Kč	3 547 814,29 Kč	-34 198 466,23 Kč
10	4059,11	621 863,14 Kč	644 000,00 Kč	3 523 891,10 Kč	-30 674 575,13 Kč
11	4035,26	602 041,40 Kč	748 000,00 Kč	3 411 567,92 Kč	-27 263 007,22 Kč
12	4011,41	597 819,66 Kč	748 000,00 Kč	3 387 644,73 Kč	-23 875 362,48 Kč
13	3987,56	593 597,92 Kč	748 000,00 Kč	3 363 721,55 Kč	-20 511 640,94 Kč
14	3963,71	617 439,23 Kč	748 000,00 Kč	3 498 822,30 Kč	-17 012 818,64 Kč
15	3939,86	613 048,62 Kč	748 000,00 Kč	3 473 942,18 Kč	-13 538 876,46 Kč
16	3916,00	593 058,01 Kč	852 000,00 Kč	3 360 662,07 Kč	-10 178 214,39 Kč
17	3892,15	588 667,40 Kč	852 000,00 Kč	3 335 781,96 Kč	-6 842 432,43 Kč
18	3868,30	584 276,80 Kč	852 000,00 Kč	3 310 901,85 Kč	-3 531 530,58 Kč
19	3844,45	579 886,19 Kč	852 000,00 Kč	3 286 021,73 Kč	-245 508,85 Kč
20	3820,60	575 495,58 Kč	852 000,00 Kč	3 261 141,62 Kč	3 015 632,78 Kč
21	3796,75	555 504,97 Kč	956 000,00 Kč	3 147 861,51 Kč	6 163 494,29 Kč
22	3772,89	551 114,36 Kč	956 000,00 Kč	3 122 981,40 Kč	9 286 475,69 Kč
23	3749,04	546 723,76 Kč	956 000,00 Kč	3 098 101,29 Kč	12 384 576,97 Kč
24	3725,19	542 333,15 Kč	956 000,00 Kč	3 073 221,17 Kč	15 457 798,14 Kč
25	3701,34	537 942,54 Kč	956 000,00 Kč	3 048 341,06 Kč	18 506 139,21 Kč

Tabulka 6: Finanční zhodnocení technické části FVE

7.8 Možnosti technického řešení částí FVE

Na závěr práce jsem se rozhodl uvést další možné postupy při optimalizaci návrhu jednotlivých částí FVE a jejich dopady na celkové provedení systému a jeho cenu.

Volba výkonu panelů a jejich umístění: volba výkonu FV panelu se v dnešní době odvíjí jak od jeho velikosti, kdy je většího výkonu panelů dosahováno zejména zařazením více FV článků v rámci jednoho panelu, ale také i dle pořizovací ceny panelu, odvíjející se od ceny za jeden Wp. V rámci umístění panelů, je myšlen zejména úhel jejich sklonu vůči horizontální rovině. Jak jsem již zmínil, ideální sklon panelu v naší zeměpisné šířce se pohybuje okolo 35°. Takovéto zvyšování sklonu panelů má zejména vliv na cenu nosných konstrukcí, které jsou oproti konstrukcím pro menší sklony až o 20-30% dražší. Zároveň je větším sklonem zvýšena výška FV pole, která navyšuje nutné rozestupy jednotlivých řad. V dnešní době se tento problém dá na úkor úmyslného snižování výkonu celých FV řad, vyřešit pomocí FV panelů se zmíněnou technologií half-cut.

Volba FV střídačů: v rámci velkých FV polí se používají hlavně zmíněné řetězcové, nebo centrální střídače. Přičemž každý ze zmíněných střídačů má z hlediska řízení své vstupní a výstupní energie výhody a nevýhody. V praxi platí, že čím je větší výstupní výkon měniče, tím je následný návrh velkokapacitní elektrárny ekonomicky výhodnější než při použití vícero méně výkonných střídačů. Při volbě střídače je také nutné sladit jeho vstupní parametry na kontaktech MPPT pro vhodné připojení FV panelů daných parametrů. Při návrhu množství zapojených panelů je dále nutné brát zřetel na to, aby vstupní DC výkon vedený do střídače z FV panelů výrazně nepřevyšoval maximální AC výstupní výkon střídače. Při výrazném překročení poměru těchto výkonů z DC strany, by pak docházelo střídačem k nežádoucímu omezování vyrobené energie FV panely. V ideálním případě by měl vstupní DC výkon střídače převyšovat výstupní AC výkon o ztráty na střídači, danými jeho účinnostmi.

Provedení kabelových tras: při vedení kabelových tras v rámci FVE, je vždy výhodnější vést co největší část kabelové trasy pomocí DC vedení, a to zejména kvůli výrazně menším cenám DC kabeláže. Z tohoto důvodu je vždy výhodné umísťovat střídače v blízkosti hlavní kabelové trasy. V rámci rozvodů NN, se lze bavit zejména o druhu materiálu jádra vodičů a snižování počtu paralelně vedoucích kabelů na minimum pomocí podružných rozvaděčů. Z hlediska materiálu je pro kabely s žilami vodičů o průměru větším než 10mm,

výhodnější volit vždy hliníkové kabely, oproti měděným. To zejména kvůli velkému cenovému rozdílu těchto kabelů, kdy kabely s jádrem z hliníku jsou až pětinašobně levnější než kabely s měděnými jádry. Pro kabely s žilami menších průřezů, je zas dobré používat kabely s měděnými jádry, a to zejména kvůli jejich lepším mechanickým a vodivým schopnostem, oproti kabelům hliníkových.

Závěr

V teoretické části jsem provedl popis principu přeměny slunečního záření na elektrickou energii a okolních podmínek, které mají na tuto přeměnu vliv. Dále jsem se věnoval popisu principu a struktury zařízení použitých v navržené FVE.

V praktické části práce, jsem na reálném místě u obce Třebsko v Příbramském kraji, na pozemku o rozloze 57 491m² provedl návrh volně stojící FVE o instalovaném výkonu 4,036MWp. V prostoru elektrárny je navržena instalace 7 616ks FV panelů o maximálním výkonu 530Wp, společně s 28 FV střídači o výstupním výkonu 140kW, 4 kompaktních trafostanic osazenými transformátory 1000kVA 22/0,4kV a stavební buňkou, sloužící jako technické zázemí a rozvodna VN. Návrh elektrárny se zabývá vyvedením výkonu na patu elektrárny. Pro připojení s vnější rozvodnou sítí, je v návrhu vyznačena trasa přípojky VN, včetně náležitostí, které musí splňovat. Dle zadání práce, se v rámci návrhu FVE měl realizovat akumulací systém elektrické energie. Kvůli ekonomickým a technickým důvodům jsem akumulací systém elektrické energie do návrhu FVE nezařadil.

V rámci návrhu FVE jsem dle vyhlášky č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb, vypracoval odpovídající projektovou dokumentaci ve stupni DpPS zaměřující se zejména na elektroinstalaci. Dokumentace obsahuje textové a výkresové prvky, dle kterých by v rámci FVE bylo možné realizovat všechny části FVE, sloužící k přenosu a výrobě elektrické energie.

V textové části diplomové práce, zabývající se praktickou částí, jsem se věnoval slovnímu popisu technického provedení navržené FVE, jejímu hrubému finančnímu zhodnocení a možným optimalizacím v rámci návrhu FV systému. Ve finančním zhodnocení projektu jsem určil celkové náklady na realizaci FVE jako 67 282 599,68Kč. V rámci výpočtů jsem uvažoval proměnné provozní náklady i výkupní cenu, kterou jsem v rámci na základně aktuální tržní ceny energie FVE v prvním roce provozu elektrárny stanovil jako

1180Kč/MWh. Finanční návratnost FVE by dle určených podmínek byla 20 let, s generovaným ziskem na konci životnosti elektrárny 18 506 139,21Kč. Jak jsem již zmínil, tyto výsledky jsou postaveny na základě zjednodušeného finančního modelu, kdy v reálném případě by celková návratnost i generovaný zisk mohli být ještě o něco horší. Hlavním parametrem ovlivňující výhodnost investice do FVE je však stále výkupní cena vyrobené elektrické energie a její vývoj v průběhu životnosti elektrárny.

Na základě těchto ekonomických ukazatelů lze také simulovat aktuální stav FVE v České republice. Kde i při klesajících pořizovacích nákladech FVE, bez dostatečné podpory ze strany státu ve formě zvýhodněných výkupních cen, není dosahováno optimální návratnosti celkové investice, včetně výsledného zisku. Zejména kvůli těmto důvodům dochází v oblasti výstavby nových FVE na našem území k stagnaci. Toto tvrzení potvrzuje i statistika OTE, dle které bylo v rámci centrálního systému v roce 2020 registrováno celkem 148 FVE o celkovém výkonu 12,3MW.

I. Seznam použité literatury

- [1] DOLEŽAL, Martin; NEVŘALOVÁ, Jana; OTÝPKA, Miloslav; VALA, Věroslav. *Solární energie* [online]. Tábor: Střední průmyslová škola strojní a stavební, Tábor, Komenského 1670, 2013 [cit. 2021-12-4]. Kapitola Historie fotovoltaiky, s. 34.
- [2] P. Mastný a kol., *Obnovitelné zdroje elektrické energie*, ČVUT v Praze, 2011, ISBN 978-80-01-04937-2
- [3] SOBOTKA, Jindřich a Karel ŠUHAJDA. *Mikrovlňná teorie v praxi* [online]. 3. 4. 2017 [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/15568-mikrovlanna-teorie-ve-stavebni-praxi>
- [4] Elektromagnetické spektrum. In: *PION* [online]. [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <http://www.pion.cz/cs/clanek/elektromagneticke-spektrum-225>
- [5] Využijete sluneční energii. Jak? Poradíme vám. *Itest* [online]. 11.8. 2006 [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://www.itest.cz/old/solar/vyuzijte-slunecni-energii.htm>
- [6] KAŇKA, Jan. Deklinace slunce v průběhu desetiletí. In: *Tzbinfo* [online]. 19. 3. 2012 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/denni-osvetleni-a-osluneni/8381-deklinace-slunce-v-prubehu-desetileti>
- [7] Elektrické vlastnosti pevných látek. In: *Encyklopedie Fyziky* [online]. [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/773-elektricke-vlastnosti-pevnych-latek>
- [8] Obnovitelné zdroje elektrické energie: Kurz 3. In: *Vyuka hradebni* [online]. [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/773-elektricke-vlastnosti-pevnych-latek>
- [9] BEŠTA, M. PN přechod. In: *Mbest* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <http://www.mbest.cz/wp-content/uploads/2013/01/T1.4-PN-p%C5%99echod.pdf>
- [10] PN přechod - dioda. In: *Elektross* [online]. [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: http://elektross.gjn.cz/soucastky/jeden_prechod/dioda.html
- [11] Fotovoltaika: Solární (fotovoltaické) články. In: *CEZ* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>

- [12] MORAVEC, Jan. Princip funkce fotovoltaického článku. In: *O energetice* [online]. 13. 2. 2017 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/polovodice-fotovoltaicky-jev-parametry-fotovoltaickeho-clanku>
- [13] STAUDACHER, Dietmar. Fotovoltaické systémy s východo-západní orientací a pouze jedním střídačem. In: *OZE* [online]. 18. 3. 2013 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9667-fotovoltaicke-systemy-s-vychodo-zapadni-orientaci-a-pouze-jednim-stridacem>
- [14] BENDA, Vítězslav. *2. přednáška (ver. 2020)*. FEL CVUT, 2020.
- [15] BENDA, Vítězslav. *4. přednáška (ver. 2020)*. FEL CVUT, 2020.
- [16] HAMR, Tomáš. Analýza PID fotovoltaických elektráren v ČR [online]. Brno, 2016 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=130295. Bakalářská práce. VUT v Brně.
- [17] Solární elektrárna: TRACKER TT50 Dvousé polohovací zařízení. In: Termsenergy [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <http://www.termsenergy.cz/content/files/text20140717095825/terms-tracker-tt50-cz.pdf>
- [18] BEŠTA, Martin. Přepětová ochrana. In: Mbest [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <http://www.mbest.cz/wp-content/uploads/2013/01/T1.6-Přepětová-ochrana.pdf>
- [19] BENDA, Vítězslav. *8. přednáška (ver. 2020)*. FEL CVUT, 2020.
- [20] Vyhláška č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb
- [21] EU science HUB: Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [online]. [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>

II. Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: SLOŽENÍ ELEKTROMAGNETICKÉ VLNY [3]	5
OBRÁZEK 2: SVĚTELNÉ SPEKTRUM V ZÁVISLOSTI NA VLNOVÉ DÉLCE [4]	6
OBRÁZEK 3: DOPADAJÍCÍ SLUNEČNÍ ENERGIE NA ZEMSKÝ POVRCH BĚHEM ROKU [5]	8
OBRÁZEK 4: ZMĚNA DEKLINACE BĚHEM ROČNÍHO CYKLU [6]	10
OBRÁZEK 5: PÁSOVÁ STRUKTURA POLOVODIČE BEZ PŘÍMĚSÍ [7]	13
OBRÁZEK 6: VYUŽITELNÉ VLNOVÉ DÉLKY PRO FV JEV Z DOPADAJÍCÍHO SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ [8]	14
OBRÁZEK 7: VNITŘNÍ STRUKTURA PN PŘECHODU [2]	15
OBRÁZEK 8: PRINCIP VYTVÁŘENÍ POLOVODIČOVÉHO MATERIÁLU TYPU N A P POMOCÍ PŘÍMĚSÍ [9]	17
OBRÁZEK 9: PN PŘECHOD V ROVNOVÁŽNÉM STAVU [10]	17
OBRÁZEK 10: STRUKTURA FV ČLÁNKU [11]	19
OBRÁZEK 11: NÁHRADNÍ SCHÉMA FV ČLÁNKU [2]	20
OBRÁZEK 12: VA CHARAKTERISTIKA FV ČLÁNKU [12]	22
OBRÁZEK 13: ZMĚNA VA CHARAKTERISTIKY FV PANELU PŘI ZMĚNĚ OZÁŘENOSTI [13]	24
OBRÁZEK 14: VLIV SÉRIOVÉHO A PARALELNÍHO ODPORU NA VA CHARAKTERISTIKU [14]	25
OBRÁZEK 15: STRUKTURA FV PANELU [16]	26
OBRÁZEK 16: MOŽNÉ ZAPOJENÍ FV ČLÁNKŮ UVNITŘ PANELU [15]	27
OBRÁZEK 17: VLIV BYPASS DIOD NA VA CHARAKTERISTIKU PŘI ZASTÍNĚNÍ ČLÁNKŮ [15]	28
OBRÁZEK 18: FV PANELY S DVOUOSÝM NATÁČENÍM [17]	29
OBRÁZEK 19: ŘAZENÍ TŘÍD PŘEPĚŤOVÝCH OCHRAN [18]	34
OBRÁZEK 20: SCHÉMA ZAPOJENÍ FVE [2]	36
OBRÁZEK 21: ZAPOJENÍ FV STŘÍDAČE S TRANSFORMÁTOREM [19]	38
OBRÁZEK 22: MOŽNOSTI ZAPOJENÍ FV STŘÍDAČŮ S PANELY [2]	40
OBRÁZEK 23: CELKOVÁ SITUACE OBJEKTU	52
OBRÁZEK 24: BOČNÍ POHLED NA ŘADY FV PANELŮ	53
OBRÁZEK 25: ZAPOJENÍ FV STŘÍDAČŮ S ROZVADĚČI RZ.AC	54
OBRÁZEK 26: UMÍSTĚNÍ JÍMAČŮ U FV POLE	56
OBRÁZEK 27: GRAF ROČNÍ VÝROBY FVE V PRVNÍM ROCE PROVOZU [21]	60

III. Seznam tabulek

TABULKA 1: VÝŘEZ Z VÝKAZU VÝMĚR	51
TABULKA 2: VÝŘEZ Z KABELOVÉ KNIHY	51
TABULKA 3: CELKOVÁ CENA VÝSTAVBY FVE A JEJÍCH JEDNOTLIVÝCH PROFESÍ.....	59
TABULKA 4: PROVOZNÍ NÁKLADY FVE.....	60
TABULKA 5: VYROBENÁ ENERGIE ZA DOBU ŽIVOTNOSTI FVE	61
TABULKA 6: FINANČNÍ ZHODNOCENÍ TECHNICKÉ ČÁSTI FVE	62

IV. Seznam zkratk

FVE	Fotovoltaická elektrárna
FV	Fotovoltaický
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PD	Projektová dokumentace
AC	Alternating current
DC	Direct current
DS	Distribuční soustava
PS	Přenosová soustava
DPS	Dokumentace pro stavební povolení
DpPS	Dokumentace pro provádění stavby
DSP	Dokumentace skutečného provedení.
UV	Ultrafialové
IR	Infračervené
VA	Voltampérová
BSF	Back surface field
PECR	Passivated emitter and rear cell
PWM	Pulse width modulation
MPPT	Maximum power point tracking
OTE	Operátor trhu s elektřinou
ERU	Energetický regulační úřad

PPDS	Pravidla provozovatelů distribučních soustav
DPH	Daň z přidané hodnoty
DPPO	Daň z příjmů právnických osob
LPS	Lighting protection system

V. Seznam projektové dokumentace

Jméno přílohy	Počet stran
Projektová dokumentace	60
Textová část	31
Technická zpráva.....	17
Organizace výstavby.....	7
Výkaz výměr.....	3
Kabelová kniha.....	4
Výkresová část	29
Celková situace.....	1
Umístění závrťů nosných konstrukcí.....	1
Rozdělení FV panelů.....	1
Trasy kabelů AC a DC.....	1
Trasy sdělovacích kabelů.....	1
Uzemnění a jímací soustava.....	1
Výkopy pro kabelové trasy.....	1
Pohled na rozvodnu VN.....	1
Boční pohled na nosné konstrukce.....	1
Blokové schéma FVE.....	1
Zapojení FV panelů a střídače.....	1
Boční pohled na trafostanici.....	1
Boční pohled na jímací soustavu.....	1
Pohled na 3f hnízdo.....	1
Pohled na rozvaděče.....	1
Vzor uložení kabelů.....	1
Schémata rozvaděčů.....	12
Výkres ZOV.....	1