

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky

Fotovoltaické elektrárny

Photovoltaic power plants

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí práce: Vít Klein, Ph.D.

Jan Vaniščík

Praha 2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vaniščák** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **420265**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Fotovoltaické elektrárny

Název bakalářské práce anglicky:

Photovoltaic power plants

Pokyny pro vypracování:

- 1) Úvod do fotovoltaiky
- 2) Rozdělení elektráren
- 3) Technická dokumentace
- 4) Návrh fotovoltaické elektrárny

Seznam doporučené literatury:

1. HONSBURG, Christiana a Stuart BOWDEN. [online]. [cit. 2018-02-01]. Dostupné z: www.pveducation.org
2. MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
3. IN-EL, spol. s r.o. Informační servis pro elektrotechniky [online]. [cit. 2018-02-01]. Dostupné z: <http://www.in-el.cz>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **13.02.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

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

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

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

V Praze dne

Podpis

Abstrakt

Tato práce se zaměřuje na návrh a technickou dokumentaci fotovoltaických elektráren. Tato práce je rešerše. Z nalezených zdrojů byl nejdříve popsán možný návrh fotovoltaické elektrárny a možnosti uplatnění dotací, které jsou podmíněny. Dále byla porovnána ČSN 62 446:2010 Fotovoltaické systémy spojené s elektrorozvodnou sítí – Minimální požadavky na systémovou dokumentaci, zkoušky uvádění do provozu a kontrolu s ČSN 62 446 - 1:2016 Fotovoltaické (PV) systémy – Požadavky na zkoušení, dokumentaci a údržbu – Část 1: Systémy spojené s rozvodnou sítí – Dokumentace, zkoušky při uvádění do provozu a kontrolu, byly uvedeny změny a příklady k jednotlivým požadavkům této normy.

Klíčová slova

Fotovoltaické elektrárny, Technická dokumentace, Návrh fotovoltaické elektrárny, Dotace pro Fotovoltaické elektrárny, ČSN 62 446:2010, ČSN 62 446 – 1:2016

Abstract

This thesis is focusing on design and technical documentation of photovoltaic power plants. This work is research. From the found sources was firstly described possible design of photovoltaic power plant and the possibilities of applying dotation which were conditional. Next was compared ČSN 62 446:2010 Grid connected systems – Minimum requirements for systém documentation, comissioning tests and inspection with ČSN 62 446-1:2016 Photovolataic (PV) systems – Requirements fot testing, documentation and maintenance – Part 1: Grid Connected systems – Documentation, commissioning test and inspection. Changes were stated and examples were given to the individual requirements of this standard.

Key words

Photovoltaic power plants, Technical documentation, Design of Photovoltaic power plants, Dotation for Photovoltaic power plants, ČSN 62 446:2010, ČSN 62 446 – 1:2016

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Vítu Kleinovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce a za jeho cenné poznatky a připomínky. A také Ing. Josefu Zíkovi (S-Power Energies s.r.o.) za rady a zapůjčení projektové dokumentace.

V Praze dne

Podpis

Obsah

ÚVOD	1
1 FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK, MODUL	2
1.1 PN PŘECHOD.....	2
1.2 FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK.....	3
1.3 TECHNOLOGIE FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU	6
1.4 FOTOVOLTAICKÝ MODUL	9
2 FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	12
2.1 POPIS FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	12
2.1.1 Střídače	13
2.1.2 Mikrostřídače	13
2.1.3 Optimizéry	14
2.2 NOSNÉ KONSTRUKCE	14
2.2.1 Konstrukce pro střechy:	14
2.2.2 Volné konstrukce:	15
2.2.3 Polohovatelné konstrukce:	15
2.3 UMÍSTĚNÍ.....	16
2.4 ZASTOUPENÍ V ČESKÉ REPUBLICE	17
2.5 TYPY FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN PODLE ZAPOJENÍ:.....	19
2.5.1 Autonomní systémy	19
2.5.2 Hybridní systémy	19
2.5.3 Systémy připojené na elektrickou rozvodnou síť	19
2.6 PODLE ZPŮSOBU VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE:	20
2.6.1 Koncentrační (Termální) elektrárny	20
2.6.2 Fotovoltaické elektrárny	20
3 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	21
3.1 DOTACE	25
4 TECHNICKÁ DOKUMENTACE	28
4.1 VÝTAH Z NORMY ČSN 62 446:2010 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY SPOJENÉ S ELEKTROROZVODNOU SÍTÍ – MINIMÁLNÍ POŽADAVKY NA SYSTÉMOVOU DOKUMENTACI,	

ZKOUŠKY UVÁDĚNÍ DO PROVOZU A KONTROLU ČÁST 4. POŽADAVKY NA DOKUMENTACI SYSTÉMU [1.16]	28
4.1 Obecně	28
4.2 Údaje o systému	29
4.2.1 Základní informace o systému	29
4.2.2 Informace o projektantovi systému.....	30
4.2.3 Informace o firmě, která provedla montáž systému.....	30
4.3 Instalační schéma	31
4.3.1 Obecně	31
4.3.2 Pole – všeobecná specifikace.....	31
4.3.3 Informace o řetězci PV	32
4.3.4 Podrobnější informace o elektrických veličinách pole	33
4.3.5 Uzemnění a přepět'ová ochrana (zaměněno s 4.3.6).....	34
4.3.6 Síť AC (střídavá síť) (zaměněno s 4.3.5).....	35
4.4 Rozložení řetězce	35
4.4 Katalogové údaje (změněno na 4.5).....	36
4.5 Informace o mechanických otázkách (změněno 4.6).....	36
4.6 Informace o provozování a provádění údržby (změněno 4.8)	37
4.7 Záložní systémy	38
4.7 Výsledky zkoušek a údaje o ověření (změněno 4.9).....	38
5 ZÁVĚR.....	39
POUŽITÉ ZKRATKY	41
6 POUŽITÁ LITERATURA.....	42
KNIŽNÍ ZDROJE	42
INTERNETOVÉ ZDROJE.....	42
7 OBRÁZKY A TABULKY.....	44
8 PŘÍLOHY.....	45

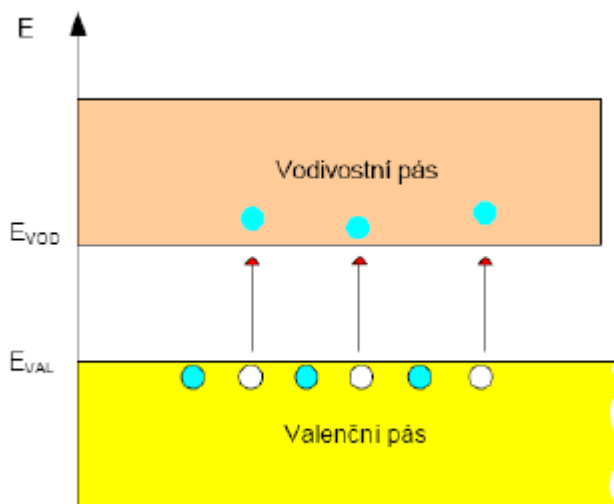
Úvod

V práci je nejdříve popsán PN přechod jako základní prvek fotovoltaického článku, který poté navazuje a je vysvětlen co se výrobní technologie týče i jeho základních vlastností a některých parametrů. Pokračuje se fotovoltaickým modulem jako konečným výrobkem. Druhá kapitola navazuje na fotovoltaické elektrárny po stránce teoretické a popisuje jednotlivé typy elektráren a jednotlivých prvků v nich začleněných. S příklady některých instalací v České republice. Třetí kapitola se zabývá návrhem fotovoltaického elektrárny na pokrytí spotřeby rodinného domu s využitím výkonových optimizérů a jsou zde uvedeny i možnosti státní podpory na FVE. V poslední kapitole jsou porovnány normy ČSN 62 446:2010 Fotovoltaické systémy spojené s elektrorozvodnou sítí – Minimální požadavky na systémovou dokumentaci, zkoušky uvádění do provozu a kontrolu, a ČSN 62 446 - 1:2016 Fotovoltaické (PV) systémy – Požadavky na zkoušení, dokumentaci a údržbu – Část 1: Systémy spojené s rozvodnou sítí – Dokumentace, zkoušky při uvádění do provozu a kontrolu. Jsou zde uvedeny příklady možného splnění požadavků normy.

1 Fotovoltaický článek, modul

1.1 PN přechod

Základním prvkem fotovoltaického článku je PN přechod tvořený polovodiči v periodické tabulce prvků v IV. skupině, anebo kombinace prvků z III. a V. skupiny či II. a VI. skupiny. Nejpoužívanější je křemík z IV. skupiny periodických prvků, jehož nerostné získávání je snadné a technologie na výrobu křemíkových ingotů dosahuje čistoty křemíku až 99 %. PN přechod je spojení polovodiče typu N s polovodičem typu P, od toho název PN. Při spojení těchto polovodičů dojde k difuzi volných většinových nosičů náboje a ke vzniku elektrického pole a rozdělení PN přechodu na tři pásy: vodivostní, valenční a zakázaný. Elektrony a díry difundují a jsou rozloženy rovnovážně v krystalické mřížce, jejich koncentrace, značena také jako intristická neboli nedotovaná (vnitřní) koncentrace náboje, je složená z elektronů ve vodivostním pásu a děr ve valenčním pásu. Difundováním elektronů a děr vzniknou exponované náboje v krystalické mřížce a tím vznikne i elektrické pole vlastní tomuto PN přechodu. [1.1]



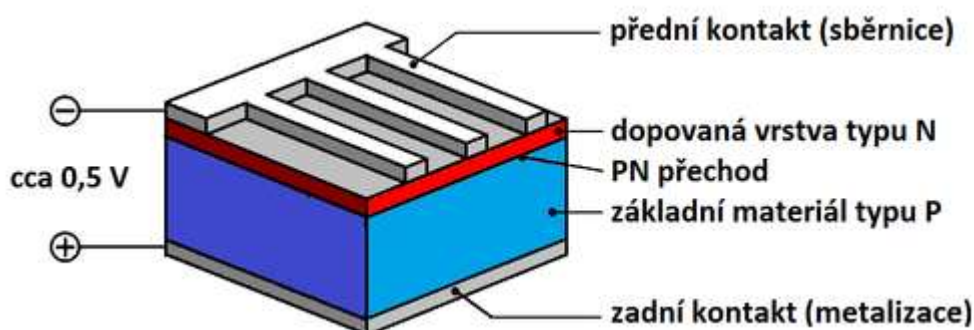
Obrázek 1.1: Pásový model vlastního polovodiče [2.1]

Při dotování hlavními nosiči náboje je zvýšen počet většinových nosičů náboje, pro typ P jsou to díry, vznikající dopováním prvkem z III. skupiny periodické tabulky, který má o jeden valenční elektron méně, a pro typ N jsou to elektrony, vznikající dopováním prvkem z V. skupiny periodické tabulky, která má o elektron více, a při jejich vazbě vzniká buď volná díra, nebo elektron. Dopování je v podstatě jeden ze způsobů na zvýšení počtu

většinových nosičů náboje v polovodiči, a zároveň snížení menšinových nosičů. Pro většinové nosiče se pak celková koncentrace rovná intristický koncentraci plus počet volných přidaných nosičů z dopování. [1.1]

1.2 Fotovoltaický článek

Fotovoltaický článek, jak bylo popsáno výše, je tvořen PN přechodem. K němu jsou dále připevněny vodivé kontakty, aby bylo umožněno odebrání většinového nosiče náboje do zátěže, předání energie a jeho následná rekombinace. Jednotlivé vlastnosti jako pravděpodobnost sběru, kvantová účinnost a spektrální odezva charakterizují článek.



Obrázek 1.2: Struktura fotovoltaického článku [2.2]

Pravděpodobnost sběru je možné popsat jako šance, že nosič generovaný dopadajícím fotonem v určitém místě článku (povrch nebo základ) bude využit PN přechodem. Tato pravděpodobnost též závisí na povrchu článku a délce cesty, kterou musí nosič urazit, aby rekombinoval. Čím blíže povrchu foton předá energii, tím menší je šance, že nosiče vytvoří světelně generovaný proud, a naopak čím blíže je zakázanému pásu, tím je šance větší.

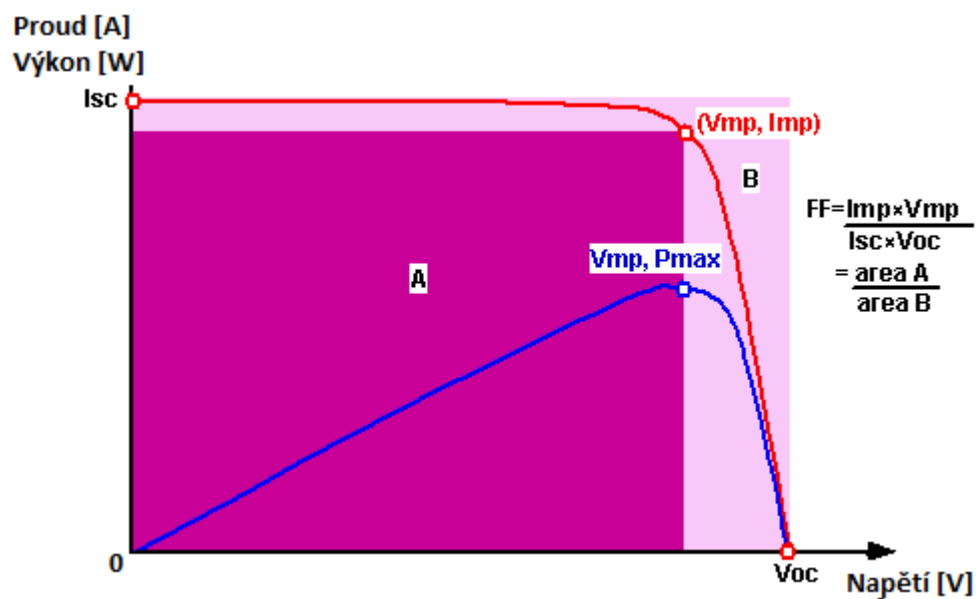
Kvantovou účinnost je možné udělat pro jednotlivé části článku (PN přechodu – emitor (N), základna (P)). Popsána je jako využitelnost světelného záření dopadajícího na článek, které vytvoří nosiče následně rekombinující v PN přechodu. Kvantová účinnost se liší jak pro emitor blíže k povrchu, kde rekombinuje modré světlo, tak pro emitor ve spodní části u základny, kde je rekombinováno světlo červené. Největší využitelnost světelného spektra je tedy mezi těmito dvěma barvami při vlnové délce od 350 do 1200 nm.

Spektrální odezva, na rozdíl od kvantové účinnosti, porovnává množství proudu vyrobeného článkem v poměru k výkonu, který dopadne na článek. Odezva se může lišit pro různé druhy článků, respektive polovodičů na články použitých. O spektrální odezvě

se dá říct, že je limitována šířkou zakázaného pásma, protože fotony s energií menší jak energie zakázaného pásma se neuplatní a článek zahřívají. Fotony s energií větší jak zakázané pásmo se využijí pouze částečně a zase dojde k zahřívání článku. Účinnost, napětí, proud a životnost článku jsou vlastnosti, které jsou teplotně závislé.

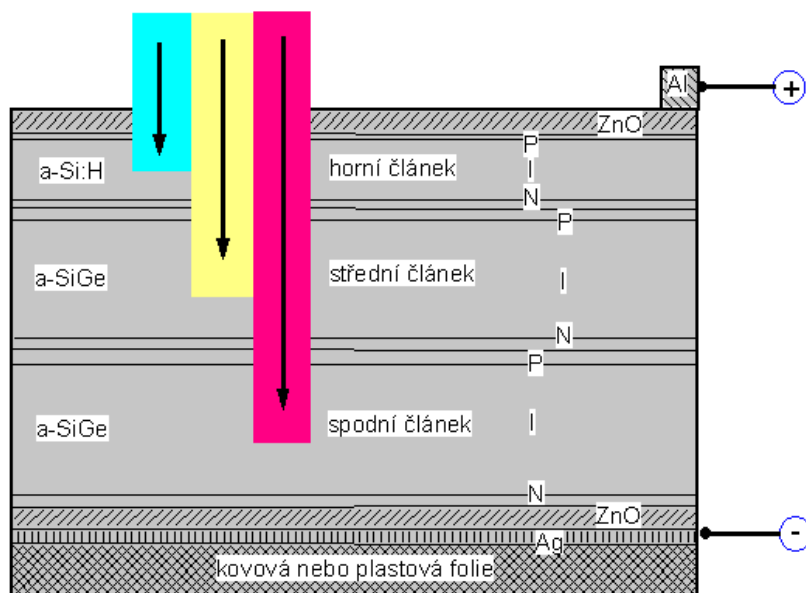
Samotný princip článku je vnitřní fotoelektrický jev, generování nosičů pomocí dopadajících fotonů samo o sobě nevyrábí proud ani napětí, pouze zvyšuje počet většinových nosičů. Článek naprázdno a bez světla nic nevyrábí, avšak při dopadů fotonů se začne vytvářet elektrické pole, které působí proti poli PN přechodu, a tím ulehčí možnost rekombinace nosičům, při připojení zátěže nosiče předají svou energii tam a posléze rekombinují v PN přechodu.

Hlavní charakterizující vlastností článku a následně i panelu je V-A charakteristika, ve které je zobrazeno chování článku. Důležitými body takové charakteristiky jsou proud nakrátko (I_{sc}), napětí naprázdno (U_{oc}), při zatíženém článku pak maximální napětí (U_{mp}) a maximální proud (I_{mp}). Z těchto čtyř hodnot lze spočítat faktor plnění (FF), který popisuje využití článku, respektive co je schopen vyrobit na prázdno a co vyrábí při zatížení. Poslední hodnota je maximální výkon (P_{mp}), který lze spočítat z maximálních hodnot napětí a proudu. Jedná se o největší možnou hodnotu výkonu, kterou je článek schopen vyrobit při standardních testovacích podmínkách. Účinnost článku je poměr výkonu vyrobeného k výkonu, který dopadl na článek. Dobré je zmínit, že krom těchto vlastností má článek i sériový a paralelní odpor, který ovlivňuje chování článku, jeho výkon a V-A charakteristiku. [1.1]



Obrázek 1.3: V-A charakteristika fotovoltaického článku [1.1]

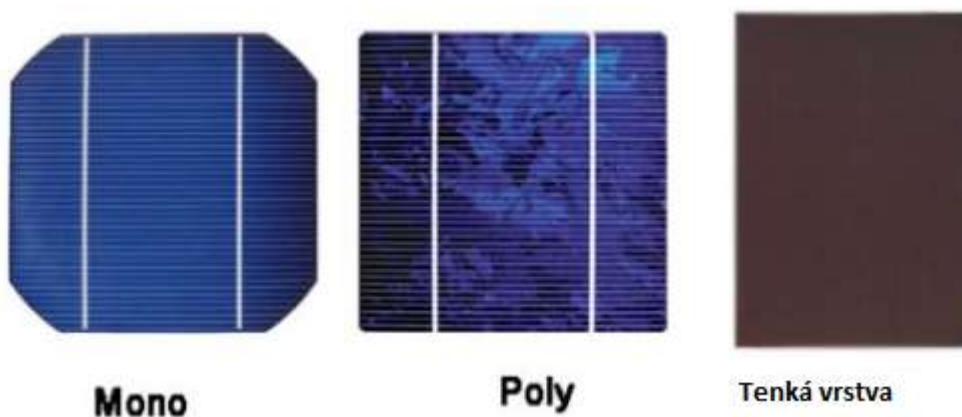
Jednou možností, jak zvýšit účinnost článku, je vyrobit „Tandemový článek“. Tandemový článek je složen z více PN přechodů na sobě, kde každý přechod má jinou šířku zakázaného pásma, a proto článek lépe využije celé světelné spektrum. Jeho účinnost se pohybuje okolo 45 % a roste s přibývajícím PN přechody. Nevýhodou je, že všechny přechody mají společný proud, který omezuje velikost zakázaných pásem. (třetí generace článků) [1.1]



Obrázek 1.4: Tandemový článek [2.3]

1.3 Technologie fotovoltaického článku

Polovodičový křemík může mít různou strukturu vzhledem k použité výrobní technologii. Mezi nejznámější struktury patří struktura monokrystalická (Czochralskiho metoda; první generace článků), multikrystalická (odlévání, stuhy, listy; první generace článků), polykrystalická (chemická depozice; druhá generace článků), mikrokrystalická nebo amorfní (naprašování plasmou; druhá generace článků). Nejpoužívanější je struktura monokrystalická, která využívá Czochralskiho metodu tažení krystalu z lázně polovodiče s dopandy jiného prvku např. Bóru. Další často používanou strukturou je multikrystalická struktura, ale jejím výsledkem je méně kvalitní polovodič než u monokrystalu.

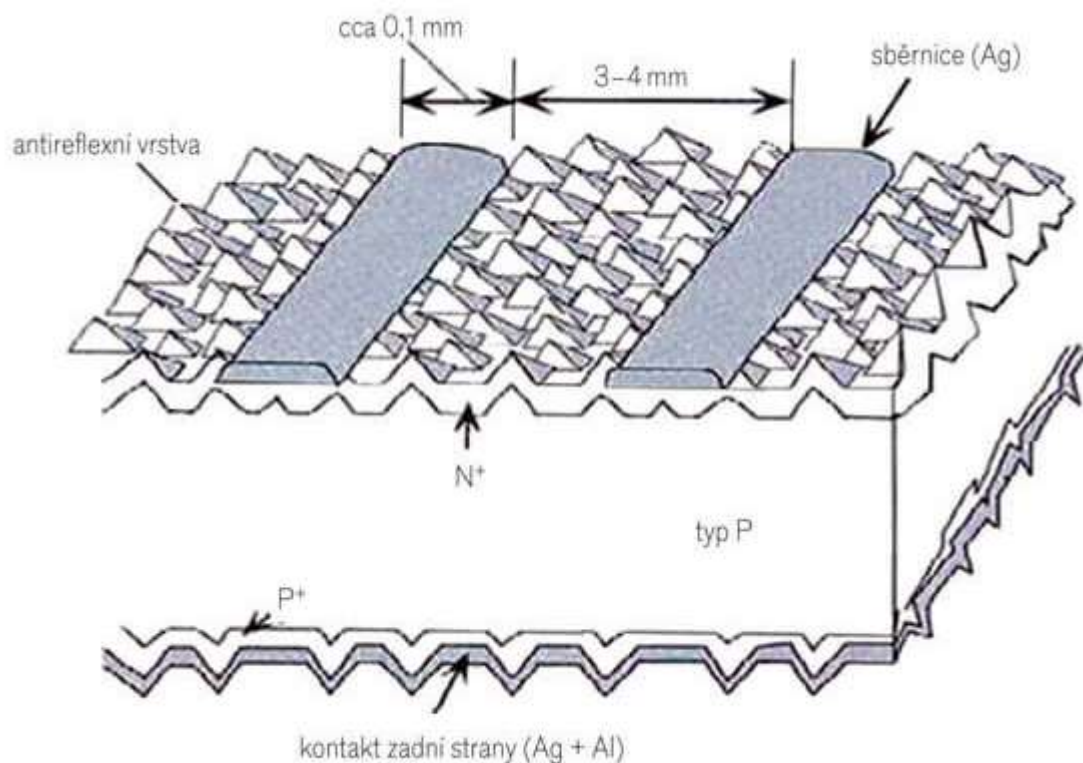


Obrázek 1.5: Typy fotovoltaických článků [1.6]

Samotný výrobek požadované struktury je poté změřen a následně opracován do vhodného tvaru pro následné použití (ingoty). Řezání samotných bloků či ingotů je prováděno pomocí pily nebo drátů (ingoty), výsledným produktem jsou tenké polovodičové destičky, které jsou využívány jako základ pro články. Články kulaté a osmihranné jsou monokrystalické, čtvercové jsou multikrystalické. Tvar ovlivňuje účinnost modulu, ale i provozní teplotu. V závislosti na použité metodě se liší další postup a tím i následné využití článků.

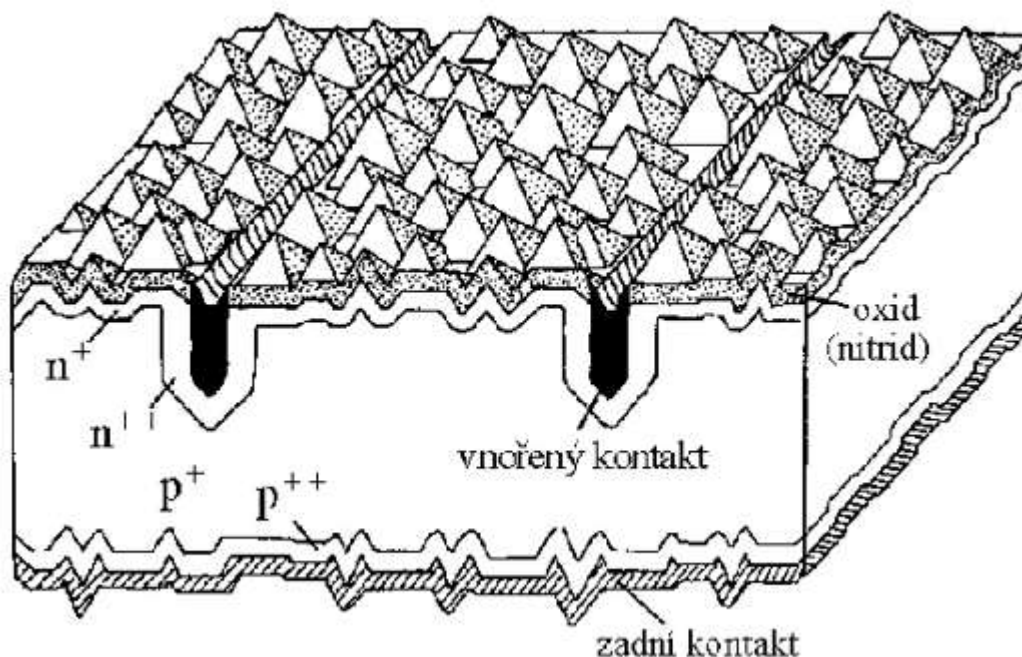
Jednou z možností je tisknutí solárních článků. Pro využití této metody má polovodičová destička křemíku tloušťku 0,5 mm a je 10x10 cm veliká (až 20x20 cm a 0,5 mm tlustá). Nejprve se článek očistí od nečistot na povrchu a poté je zahřát v peci v atmosféře fosforu, který difunduje do povrchu destičky a vytvoří N-vrstvu okolo článku. Destičky se následně skládají na sebe pro ořezání bočních stran pomocí plasmy nebo laseru. Následně se na spodní část nanese vrstva hliníku přes masku, která se vysuší a následně vypálí, tím se odstraní N-vrstva a dojde k difuzi hliníku s křemíkovou destičkou (na kontaktní hliníkovou

vrstvu se nanáší ještě vrstva stříbra pro lepší vodivost kontaktů). Poté dojde k nanesení kontaktní vrstvy z vrchní strany přes masku, která je navržena tak, aby kontakt zastínil co nejmenší část článku. Následně dojde k vypálení vrstvy a článek je připraven k uložení do modulu.



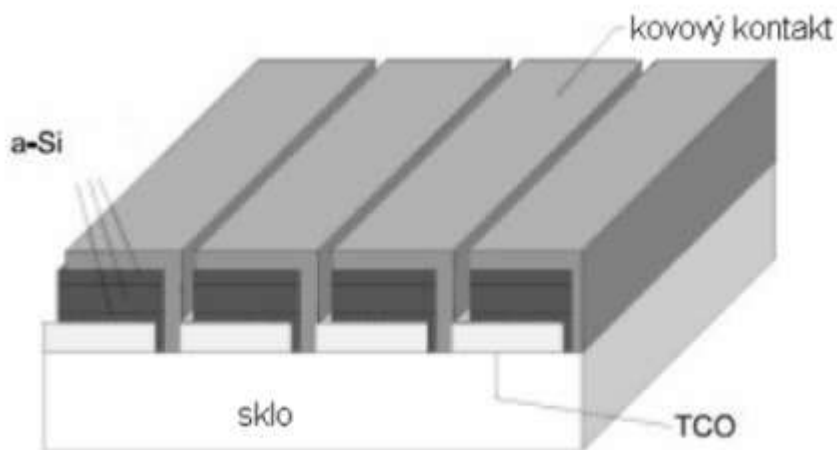
Obrázek 1.6: Fotovoltaický článek s kontakty na povrchu článku [2.4]

Další možností je vypálení kontaktu do destičky. Princip je podobný tisknutí. Nejdříve dojde k očištění destičky, následně se upraví povrch, aby měl větší absorpci světla (u multikrystalu složitější než u monokrystalu), na povrchu pak vzniknou výstupy a prohlubně ve tvaru pyramid. Následně se pokračuje stejně jako u tisku a polotovar je umístěn do pece s fosforečnou atmosférou, která při zahřátí destičky difunduje do povrchu. Destička je poté zahřáta v přítomnosti vody a na povrchu oxiduje a vytvoří ochrannou vrstvu. Do destičky se podle masky vyřežou pomocí pily prohlubně a znova se opakuje cyklus v peci s fosforečnou atmosférou. Poté se napaří hliníkový kontakt na spodní stranu destičky a je vystavena vyšším teplotám pro větší difuzi do křemíku. Destička je dále ponořena do slitiny niklu a mědi pro vytvoření kontaktů z obou stran. Nakonec dojde k oříznutí a destička je připravena pro uložení do modulu. [1.1]



Obrázek 1.7: Kontakt vypálený do destičky [2.3]

Další možností výroby jsou tenkovrstvé technologie (napařování, napařování a chemická depozice). Výhodou tenkovrstvé technologie je šetření materiálu a možnost výroby celého modulu najednou. Nevýhodou však je potřeba základového substrátu. Tloušťka tenkých vrstev je od nanometrů po několik jednotek mikrometrů. Postup při tvorbě tenkých vrstev je takový, že na substrát se nanese průhledná vodivá vrstva (TCO), která se následně laserem upraví do požadovaného tvaru. Následně dojde k depozici článku na povrch a zase odstranění nežádoucích překrytí laserem. Nakonec se nanese vrstva kontaktů a je oříznuta laserem. Výsledný článek (modul) je ještě opatřen krycí vrstvou a na spodní stranu jsou připevněny přípojovací kontakty. [1.2]

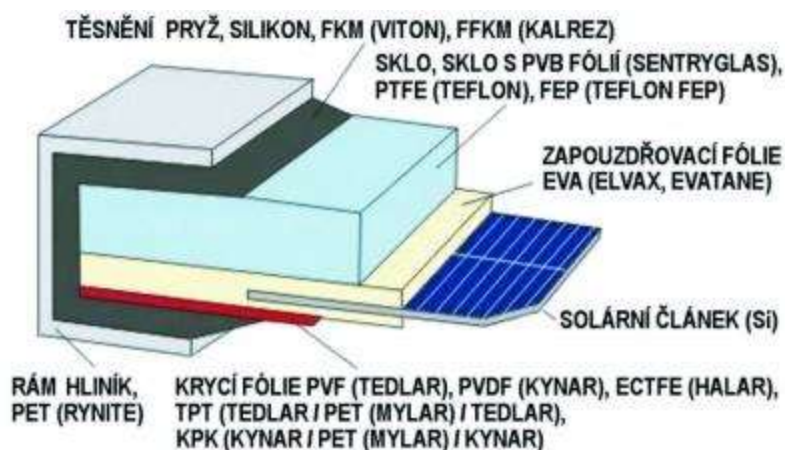


Obrázek 1.8: Struktura tenkovrstvého článku [2.4]

1.4 Fotovoltaický modul

Fotovoltaický modul je výrobek složený ze sériově-paralelní kombinace fotovoltaických článků vhodně pospojovaných a uložených tak, aby se zabránilo jejich mechanickému a atmosférickému poškození a zároveň byly splněny optimální podmínky pro výrobu elektrické energie.

Typické složení podle vrstev je vrchní transparentní vrstva, ochranná vrstva článků z obou stran, spodní vrstva a rám modulu.



Obrázek 1.9: Struktura fotovoltaického článku [1.6]

Vrchní transparentní vrstva je vrstva, která má za úkol chránit modul proti možným mechanickým a atmosférickým poškozením a podmínkám. Vrstva musí mít hladký povrch

a nelze ho proto upravit antireflexní vrstvou, která by zvýšila absorpci světla, ale zároveň zvětšila i možnost znečištění a tím pokles účinnosti modulu. (například tvrzené sklo)

Ochranná vrstva je většinou tvořena listy ethylvinylacetátu (EVA), který je transparentní a zároveň nezadržuje teplo. Listy EVA jsou vloženy z obou stran a poté se vypékají v peci pro vytvrzení a spojení s články.

Spodní vrstva nemusí být průhledná (některé moduly přijímají světlo i ze spodní strany a pak musí být vrstva transparentní), ale musí dobře odvádět teplo z modulu a být odolná proti atmosférickým podmínkám. Na spodní vrstvu se využívají listy polymerů, například Tedlar. Barvou spodní vrstvy je možné ovlivnit zpětnou odrazivost.

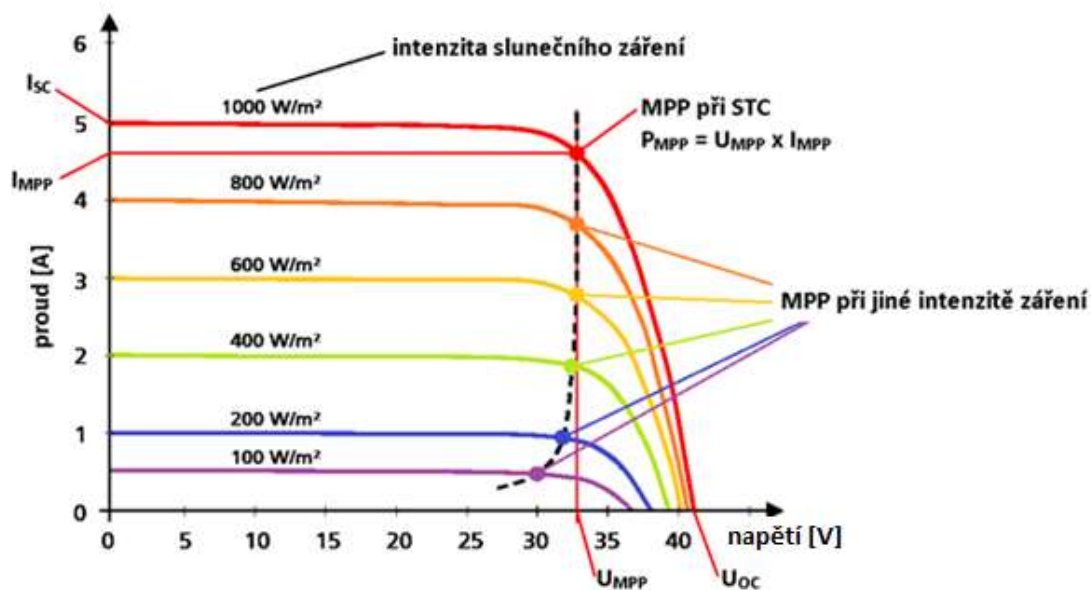
Rám modulu je vyroben z hliníku a musí také odolat prostředí, na které je modul navrhován.

Pokud by modul jako celek nebyl odolný vůči atmosférickým vlivům, mohlo by dojít ke ztrátě účinnosti celého modulu. [1.1]

Samotný modul vystavený atmosférickým podmínkám se může dostat do stavů, které ovlivní jeho výkon. Ovlivňujícími stavy jsou například hot spoty (nadměrné zahřívání článků), vnitřní chyby spojů, prasknutí vrchní vrstvy, znečištění vrchní vrstvy, anebo zastínění článků (ovlivní celý řetězec článků, pokud není zapojena by-pass dioda), a proto je dobré se těmito stavům jednat vyvarovat vhodnými opatřeními, například by-pass diodami, které dnes obsahují všechny panely na trhu, případně blokovacími diodami chránící panely proti zpětnému vybíjení zátěže (baterie) anebo pravidelnou údržbou.

Výsledný fotovoltaický modul je nakonec testován při standardních testovacích podmínkách:

- Vzdušná masa 1,5 AM a 0 AM pro články využití ve vesmíru
- Záření dopadající na modul $1 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$
- Teplota článku $25 \text{ }^\circ\text{C}$
- Čtyřbodová metoda měření pro odstranění přechodových odporů článků/sonda



Obrázek 1.10: V-A charakteristika fotovoltaického modulu [2.2]

NOCT neboli běžná provozní teplota článku se zjišťuje při těchto podmínkách:

- Záření dopadající na modul $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
- Teplota okolí $20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Rychlost větru $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Upevnění modulu (přístup vzduchu ke spodní straně)

Vliv na výsledky NOCT a testování má návrh modulu, rozložení a tvar článků, použité technologie a materiály. [1.1]

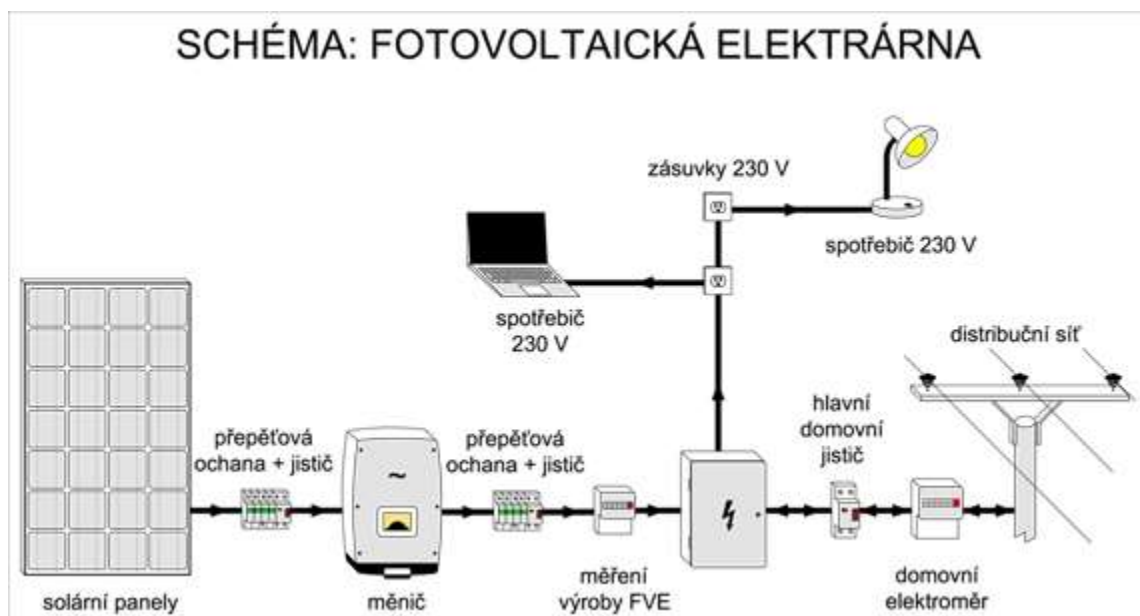
2 Fotovoltaické elektrárny

2.1 Popis fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaická elektrárna je vhodné zapojení prvků pro přeměnu energie, řízení výroby, akumulaci a přenos energie k soustavě uživatele (počet prvků se může lišit v závislosti na typu elektrárny, viz kapitola 2.2 Typy fotovoltaických elektráren podle zapojení).

Základními prvky fotovoltaické elektrárny jsou:

- Fotovoltaické panely
- Rozvody DC
- DC ochranná část a jištění, vypínač
- Střídač, případně hybridní střídač (dobíjení baterií)
- AC ochranná část a jištění, vypínač
- Měření výroby fotovoltaické elektrárny
- Rozvody elektrické energie (domovní, distribuční síť nebo jiné)



Obrázek 2.11: Fotovoltaická elektrárna bez regulace spotřeby [1.3]

Dalšími možnými prvky jsou Měníče DC/DC a WATTroutery. WATTroutery jsou zařízení pro řízení vlastní spotřeby, v případě dostatečného příkonu z fotovoltaické elektrárny spustí postupně až 4 zařízení připojená k jeho spínaným kontaktům. Dále je možné nastavit postupně, při jakém příkonu se jaká zátěž připojí (pouze ohmické zátěže). [1.3]

Fotovoltaické panely byly popsány výše v kapitole 1. Fotovoltaický článek, modul.

Ochranná část a jištění DC je zajištěno přepětovou ochranou, vhodnými jističi a vypínačem pro případné zákroky či práce na zařízeních.

Střídače jsou zařízení pro přeměnu DC proudu a napětí na AC. Jsou dimenzovány tak, aby pracovaly v bodě maximálního výkonu fotovoltaických panelů. [1.4]

Některé z důležitých parametrů střídače jsou:

- Účinnost – přeměna energie (Maximální a Euro - průměrná)
- Maximální rozsah napětí a proud vstup / výstup
- Účinnost přizpůsobení MPPT regulátoru – schopnost reagovat na změny na vstupu DC
- Účinník
- Komunikace
- Ochrany
- Běžné pracovní podmínky
- Topologie – bez transformátoru, s transformátorem (nutné pro tenkovrstvé technologie)

[1.5]

2.1.1 Střídače

Mohou být jednofázové nebo třífázové, záleží na velikosti elektrárny a zapojení střídače. Jsou to měniče stejnosměrného napětí na střídavé. V poslední době se užívá kvůli ceně a hmotnosti střídačů bez transformátorových. Zapojení střídače může být:

- Panel – jeden střídač na jeden panel (vysoká účinnost / ekonomické náklady u větších instalací)
- Řetězcem – jeden střídač na řetězec panelů (vyšší účinnost / střední ekonomické náklady)
- Centrální – jeden střídač na všechny panely (nižší účinnost vzhledem k počtu prvků / malé náklady) [1.4]

2.1.2 Mikrostrídače

Jedná se o střídače pro použití při zapojení střídače na každý panel. Jsou instalovány přímo na panel. Jejich pomocí se využije přeměněná energie díky nezávislosti na ostatních

panelech a zároveň se dají na dálku ovládat (odpojení panelu). Nevýhodou je cena, malý pracovní rozsah, životnost a to, že legislativně nevyhovují legislativním požadavkům na elektrotechniku. [1.4]

2.1.3 Optimizéry

Jsou to DC/DC měniče, které je možno připevnit přímo na panel. Díky jejich použití se zvýší účinnost střídače, který má stabilní DC napětí na vstupu, a odpadá nutnost sledování bodu maximálního výkonu (nemusí regulovat velké odchylky jednotlivých napětí panelů). Mezi výhody jejich použití patří lepší využití energie, monitoring, spojení více typů panelů i velikostí řetězců, vzdálené ovládání, životnost. Nevýhodou je vyšší cena. [1.4]

2.2 Nosné konstrukce

2.2.1 Konstrukce pro střechy:

Rozdíl mezi oběma typy střech je ve využití aktivní plochy, na kterou dopadá sluneční záření. Sedlové střechy oproti plochým jsou lépe využity díky možnosti skládání panelů doslova vedle sebe.

- Sedlové střechy

Konstrukce se skládá z hliníkových profilů, které jsou upevněny na střechu pomocí háků, a na ni jsou poté umístěny řetězce panelů. Výhodou je cena a jednoduchá instalace. Používá se u střech se sklonem 35° s orientací na jih.



Obrázek 2.12: Konstrukce na sedlovou střechu [2.5]

- Ploché střechy

Konstrukci tvoří ocelové pozinkované profily ve tvaru trojúhelníků (ukotveny ke střeše), které tvoří nosný prvek pro hliníkové profily, na ně jsou zase namontovány panely. Výhodou je lepší chlazení panelů ze spodní strany. Nevýhodou je cena, náročnější řešení na montáž a při špatném návrhu zastínění jednotlivých panelů navzájem (nevyužití plného potenciálu střechy).



Obrázek 2.13: Konstrukce na rovnou střechu a volné prostranství [2.6]

2.2.2 Volné konstrukce:

Jsou konstrukce umístěné na volném prostranství například louky, pole a podobně. Tyto konstrukce se, podobně jako u ploché střechy, skládají z ocelových pozinkovaných profilů, které zajistí potřebný náklon panelů, a z nosné části pro hliníkové nebo jiné profily pro bezpečné připevnění a ukotvení panelů. Výhodou je dobrý přístup a možnost servisu panelů v podstatě kdykoliv. Nevýhodou je cena, pracnost a nutnost dimenzování na lokální atmosférické podmínky.

2.2.3 Polohovatelné konstrukce:

Typ konstrukcí, které se v průběhu dne otáčejí postupně za zdrojem dopadajícího záření a tím zvyšují množství přeměněné energie a výkon, který dopadne kolmo na povrch panelu. Rozlišují se polohovatelné systémy jednoosé (náklon panelu) a dvouosé (náklon a otočení). Nevýhodou systémů je počáteční cena a servis, kterou na druhou stranu vyvážejí zvýšená produkce elektrické energie. [1.6] [1]

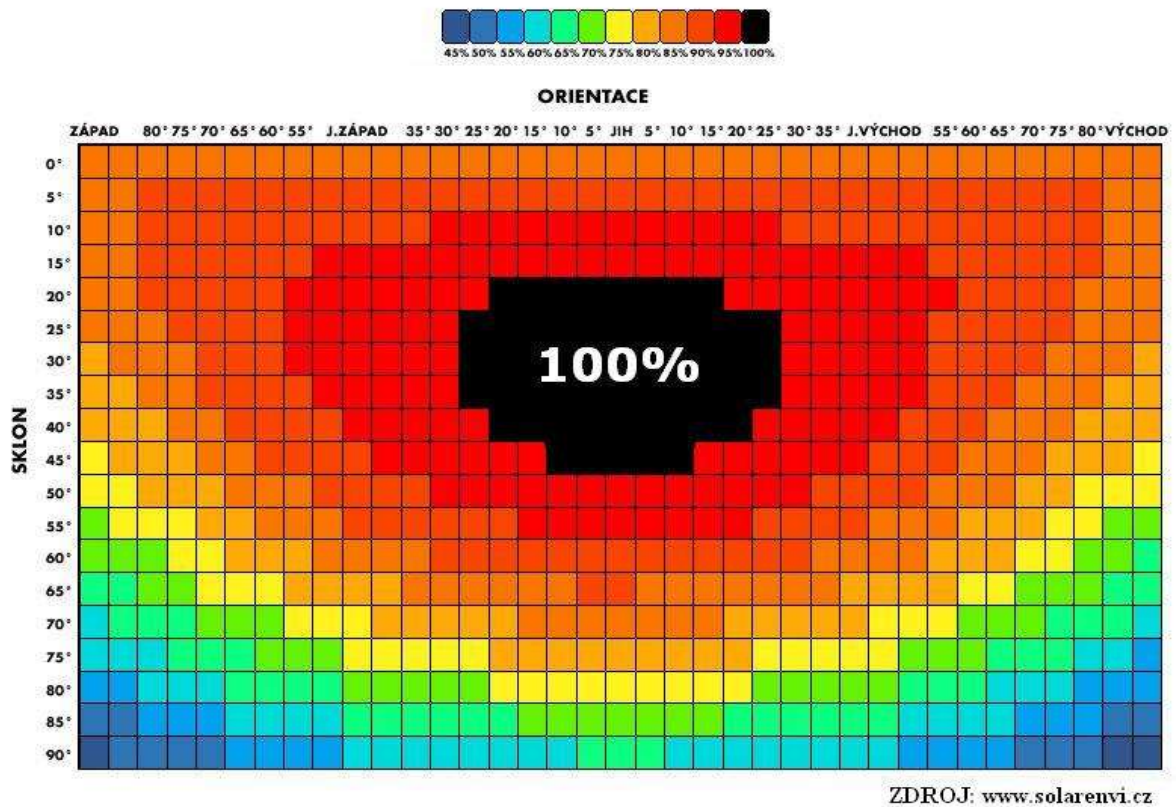


Obrázek 2.14: Polohovatelná konstrukce nosné části [2.7]

2.3 Umístění

Další důležitou částí návrhu fotovoltaické elektrárny je optimální umístění celého systému. Optimální sklon na naše podmínky je $35 - 45^\circ$ orientací přímo k jihu s maximální odchylkou $10 - 15^\circ$ na západ, ale optimální náklon a orientace se může lišit vzhledem k Slunci, které cestuje po obloze a tím mění svou vzdálenost vůči panelu a ovlivňuje velikost výkonu dopadajícího na panel. Zároveň ovlivňuje i možnost zastínění panelů okolními předměty (panely na rovné střeše či volném prostranství, stromy nebo okolní budovy). [1.6]

Vliv orientace a sklonu fotovoltaických panelů na jejich výkon



Obrázek 2.15: Vliv orientace a sklonu panelů na jejich výkon [1.7]

2.4 Zastoupení v České Republice

V ČR jsou hlavním zastupitelem fotovoltaických elektráren elektrárny tvořené křemíkovými fotovoltaickými panely o různých výkonech, jak malé tzv. off-grid (může být i větší) do cca 20-30 kW, tak i střední (v řádech 100 kW až do 1 MW), což už mohou být elektrárny jak off-grid tak on-grid, a velké zhruba od 1 MW a výše, které jsou primárně on-grid a jsou určeny pro výrobu elektrické energie a následné dodání do distribuční sítě.

Citováno ze Struktura instalací FVE z různých pohledů zdroj [1.8]

„FVE o instalovaném výkonu do 20 kWp mohou provozovat osoby bez odborné kvalifikace. FVE o instalovaném výkonu do 30 kWp se netýká tzv. solární daň (v minulosti tvořily samostatnou kategorii státní podpory, stejně jako FVE do 5 kWp).“ **Tab. č. 4**

Název	Výkon [MW]	Obec	Majitel
FVE - Hotel Tranzit	0,02	Praha	ACRON spol s.r.o.
FVE - Vágnerová	0,003	Praha	Alice Vágnerová
FVE Melichar	0,013	Praha	Antonín Melichar
FVE - Antonín Šarboch	0,009	Praha	Antonín Šarboch
Továrna na stroje	0,005	Praha	Attl a spol s.r.o. Továrna na stroje

Tabulka 2.16: Příklad malých fotovoltaických elektráren [1.9]

Název	Výkon [MW]	Obec	Majitel
FVE 2N	0,05	Praha	2N spol s.r.o.
FVE - Ostrovského 253, Praha 5	0,0729	Praha	Cassius Investment, a.s.
FVE Auto Jarov	0,0075	Praha	Auto Jarov s.r.o.
FVE Dejvice FSv	0,04	Praha	ČVUT v Praze
FVE Dobratická	0,061	Praha	Conact, s.r.o.

Tabulka 2.17: Příklad středních fotovoltaických elektráren [1.9]

Název	Výkon [MW]	Obec	Majitel
FVE Ralsko	55,762	Ralsko	ČEZ Obnovitelné zdroje, s.r.o
FVE Mimoň Ra 3	17,494	Mimoň	AREA-GROUP CL a.s.
FVE Vranovská Ves	16,033	Vranovská Ves	ČEZ Obnovitelné zdroje, s.r.o
FVE Czech Vepřek	35,103	Nová Ves	FVE Czech NOVUM s.r.o

Tabulka 2.18: Příklad velkých fotovoltaických elektráren [1.9]

Úplně první fotovoltaická elektrárna FVE Mravenečník byla postavena v letech 1998-2002 a v současné době slouží k demonstračním účelům informačnímu středisku Jaderné elektrárny Dukovany. [1.10]

Počet sekcí solárního pole	2
Úhel sklonu pole	jih, 45 °
Nastavení úhlu sklonu	pevné
Jmenovitý výkon	2 x 5kW
Jmenovité napětí ss sběrnice	330 V
Výstupní střídavé napětí	230 V
Celkový počet FV panelů	2 x 100
Typ FV panelů	M - S 36 - 53
Maximální výkon FV panelu	53 W
Celková plocha FV panelů	75 m ²
Rozměry elektrárny	18 x 32 m
Celková zastavěná plocha	580 m ²

Tabulka 2.19: Parametry FVE Mravenečník [1.10]

2.5 Typy fotovoltaických elektráren podle zapojení:

2.5.1 Autonomní systémy

Prvním typem jsou fotovoltaické elektrárny autonomní neboli off-grid, jsou to elektrárny, které jsou využívány tam, kde není možnost připojení na elektrickou rozvodnou síť nebo je požadavek na určitou energetickou soběstačnost zařízení či objektu. Tyto elektrárny se vyznačují hlavně tím, že kromě fotovoltaických panelů či pole a měniče mají navíc akumulátory energie a případně měnič na výstupu, je-li požadavek na střídavou veličinu pro spotřebič.

2.5.2 Hybridní systémy

Druhým typem jsou takzvané hybridní systémy, které jsou v podstatě systémy autonomní rozšířené o další druhy nezávislých zdrojů, například elektráren obnovitelných zdrojů elektrické energie jako jsou vodní, větrné, geotermální, biomasa atd. Principem těchto systémů je akumulace energie v bateriích a poté její další využití v rámci spotřeby.

2.5.3 Systémy připojené na elektrickou rozvodnou síť

Posledním typem jsou fotovoltaické elektrárny připojené na rozvodnou síť, do které v průběhu dne dodávají svůj výkon pomocí měničů. Hlavní výhodou těchto systémů je právě přímé připojení na elektrickou rozvodnou síť, a tudíž odpadá nutnost energii akumulovat do velkých a drahých baterií. Výrobu těchto elektráren reguluje dispečink distribuční sítě.

2.6 Podle způsobu využití sluneční energie:

2.6.1 Koncentrační (Termální) elektrárny

Termální elektrárny využívají slunečních kolektorů, které jsou schopny absorbovat sluneční energii a využít ji k ohřevu teplotně nosného média. Tento typ je vhodný především k ohřevu vody, vytápění nebo do solárních komínů. Koncentrační elektrárny za pomoci zrcadla nebo soustavy zrcadel tvořících parabolu, soustřeďují sluneční záření do ohniskového absorberu. Tímto způsobem je možné dosáhnout výrazně vyšších teplot než u předchozího typu. Díky tomu je možné tuto energii využít k nepřímé přeměně slunečního záření na elektrickou energii.

2.6.2 Fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaické elektrárny jsou elektrárny, které využívají fotovoltaických panelů, které jsou tvořeny fotovoltaickými články zapojenými v sériově-paralelní kombinaci, která zlepšuje vlastnosti článku vzhledem k podnebí a provozním podmínkám. Fotovoltaické články jsou tvořeny technologicky vytvořeným PN přechodem, který při dopadu slunečního záření generuje elektrickou energii na jeho elektrodách. Účinnost jednotlivých článků se liší vzhledem k použité technologii výroby jednotlivých komponent (např. monokrystalický, multikrystalický a amorfní články, případně tandemový).

3 Návrh fotovoltaické elektrárny

Při návrhu je důležité se rozmyslet, na co se bude fotovoltaická elektrárna využívat a jaké možnosti jsou k dispozici (poloha, plocha, finanční prostředky...). Výkon elektrárny se může ovlivnit využitím různé technologie panelů, nosnou konstrukcí, umístěním. Pro správné dimenzování je potřeba zohlednit klimatické podmínky v dané oblasti, možnosti čerpání podpory na obnovitelné zdroje, výkon dopadající na povrch v dané lokalitě, možnost připojení na distribuční síť, možnosti akumulace vyrobené energie, a nakonec finanční možnosti investora. Návrh se dá rozložit do dvou možností, buď vím, co chci s vyrobenou energií dělat a jak velkou mám průměrnou měsíční spotřebu energie, nebo mám omezenou stavební plochu a je mi jedno kolik energie vyrobím. V návrhu se budu zabývat lokalitou v Praze pro rodinný dům, kde bude elektrárna na střeše. Požadavek je pokrýt spotřebu objektu. (K návrhu lze využít stránky PVGIS.)

Například v prvním případě bude průměrná měsíční spotřeba mezi 150 – 250 kWh z tabulky „Průměrné měsíční doby slunečního svitu“, která je dostupná od Českého hydrometeorologického ústavu [1.11], na jeho webových stránkách lze zjistit průměrnou dobu, kdy na panely může dopadat sluneční záření (doba se v průběhu roku pohybuje od 50 do 300 hodin měsíčně). Zvolená průměrná doba slunečního svitu, která se pohybuje okolo 150 hodin za celý rok (v zimních měsících menší v letních větší) a průměrná měsíční spotřeba se dále dosadí do vzorce níže. Výsledná hodnota výkonu je to, co je potřeba vyrobit, aby se pokryla spotřeba. Zvolené hodnoty kvůli rezervě jsou 200 kWh a 100 hodin.

$$P_p = \frac{P_{ms}}{P_{mds}} = \frac{200}{100} = 2 \text{ [kWh, h, kW]} \quad (1),$$

kde P_p je potřebný výkon, P_{ms} je průměrná měsíční spotřeba,

P_{mds} je průměrná měsíční doba svitu

**Tento příklad je pouze ilustrativní*

Instalovaný výkon elektrárny by tedy měl být okolo 2 kW. Ve chvíli, kdy je zjištěn tento parametr, je možné přistoupit k výběru panelů.

Špičkový výkon panelů (výkon při optimálních podmínkách) může být až 320 W_p , záleží na zvolené technologii panelu. Je vhodné vybrat všechny panely tak, aby měly parametry

stejně, při použití optimizérů (panel či řetězec) či mikrostrídačů (přímo implementován na panel) tak být nemusí, ale doporučuje se.

Pro tuto instalaci je na výběr například z 60 článkových panelů **GWL/Sunny Poly 280 Wp** od výrobce **GWL/Power** anebo **Solární panel Q Cells – 280 Wp** od výrobce **Q-CELLS**. V tomto příkladu se dále bude pokračovat s panely od výrobce **Q Cells**, jejich špičkový výkon je 280 Wp, vzhledem k tomu, že v ČR nejsou vždy optimální podmínky, bude uvažován špičkový výkon panelů menší, cca 210 Wp. To znamená, že bude potřeba přibližně 9 – 10 kusů panelů. Parametry těchto panelů jsou níže:

Solární panel Q Cells – 280 Wp

Minimální výkon (P_{mpp})	280 Wp
Minimální napájecí napětí (V_{mpp})	31,67 V
Minimální proud (I_{mpp})	8,84 A
Minimální napětí naprázdno (V_{oc})	38,97 V
Minimální proud nakrátko (I_{sc})	9,41 A
Minimální účinnost (η)	$\geq 16,8 \%$

V této instalaci dále bude využito výkonových optimizérů **P300** od výrobce **SolarEdge**, které budou přidány na panely. Přidáním optimizérů bude dosaženo nejen stabilního výstupního napětí, ale i možnosti vzdálené správy a přehledu všech panelů. Parametry tohoto typu výkonového optimizéru jsou:

Optimizér P300 SolarEdge

Jmenovitý vstupní výkon DC	< 300 W
Absolutní maximální vstupní napětí	48 V _{dc} (V_{oc} za nejnižší teploty)
Provozní rozsah MPPT	8-48 V _{dc}
Maximální zkratový proud (I_{sc})	11 A _{dc}
Maximální účinnost	99,5 %
Vážená účinnost (Euro)	98,8 %
Kategorie přepětí	II.

V dalším kroku se vybere vhodný střídač, díky použití optimizérů bude střídač pracovat s vyšší účinností. Je zvolen hybridní střídač pro možnost krátkodobého záskoku při výpadku distribuční sítě. Jednou možností je jednofázový střídač (GoodWe 3048-EM) nebo třífázový (SolarEdge SE4K). Střídač se vybere výkonově větší, než je vyrobený výkon kvůli výkonové rezervě, a zároveň aby se tepelně nepřetěžoval střídač. Hybridní střídač GoodWe 3084-EM má parametry:

GoodWe 3084-EM

Max. výkon DC (W)	3 900
Max. vstupní napětí DC (V)	550
Rozsah MPPT	100 ~ 500
Náběhové napětí (V)	125
Rozsah MPPT při plném zatížení (V)	280 ~ 500
Jmenovité vstupní DC napětí (V)	360
Max. vstupní proud (A)	11
Max. zkratový proud (A)	13,8
Počet MPP trackerů	1
Počet stringů na MPP tracker	1
Rozměry (Š x V x H)	347 x 432 x 175 mm
Hmotnost	16 kg

Při pohledu na parametry lze vidět, že instalace má výkonovou rezervu, o stabilní vstupní napětí se postará 10 optimizérů (maximální výstupní napětí až 60 V) a maximální proud, který poteče při provozu přes sériové zapojení panelů, bude okolo vypočtených 7 – 9 A. To znamená, že při špičkovém výkonu panelů 280 W_p a nominálním napětí střídače 360 V bude napětí na optimizéru vypočteno následovně:

$$I_{no} = \frac{n \cdot P_p}{U_{nst}} = \frac{10 \cdot 280}{360} = 7,8 \text{ A [A, -, W}_p, \text{ V]} \quad (2),$$

kde I_{no} je jmenovitý proud DC strany, n – počet kusů panelů,

P_p – špičkový výkon panelu, U_{nst} – jmenovité napětí na vstupu do střídače

$$U_{op} = \frac{P_p}{I_{no}} = \frac{280}{7,8} = 36 \text{ V [V, V, A]} \quad (3),$$

kde U_{op} je napětí na optimizéru, P_p je špičkový výkon panelu,

I_{no} – jmenovitý proud DC strany

Dále se dá elektrárna doplnit o akumulaci do baterií (pouze baterie určené pro fotovoltaiku) při použití hybridního střídače. Při dimenzování baterií je důležité vzít v potaz, jak dlouho se domácnost bude zásobovat a co vše se bude používat. Baterie se zapojí do série a jejich maximální napětí a vybíjecí proud nesmí překročit jmenovité hodnoty střídače (48 V a 50 A) v době výpadku sítě. Vybrány byly gelové baterie typu **GE150-12 12V150AH**, jejichž základními parametry jsou jmenovité napětí 12 V a kapacita 150 Ah. Vzhledem k parametrům střídače (48 V) se mohou zapojit 4 kusy těchto baterií do série a tím zvýšit akumulovaný výkon:

$$P_a = n \cdot U \cdot C = 4 \cdot 12 \cdot 150 = 7\,200 \text{ [kWh, -, V, Ah]} \quad (4),$$

kde P_a je akumulovaný výkon, n – počet kusů baterií, U – napětí baterie,

C – kapacita baterie

Při spotřebě okolo 2 kW to znamená, že domácnost se zásobí energií po dobu:

$$t_z = \frac{P_a}{P_{ins}} = \frac{7\,200}{2\,000} = 3,6 \text{ [hod, Wh, W]} \quad (5),$$

kde t_z je doba zálohy, P_a – akumulovaný výkon, P_{ins} – instalovaný výkon

Další možnou položkou v návrhu je WATTrouter, regulátor nebo jiný prvek kontrolující výrobu a využití vyrobené elektřiny.

U tohoto příkladu se použije nosná konstrukce na sedlové střeše. Umístění a orientace panelů bude co nejvíce na jih a náklon okolo 35 ° pokud to střecha dovolí, díky využití polykrystalických panelů a optimizérů se dosáhne až o 25 % lepšího využití dopadající energie i při jiné orientaci a náklonu.

Poslední částí je kabeláž a vybrání vhodného jištění a ochran. Vzhledem k proudu DC části instalace se vybere venkovní kabeláž odolná proti UV záření o průměru 2,5 mm², na případné jištění na straně DC budou stačit prvky, které zvládnou jmenovité hodnoty provozního napětí a proudu. Co se týče AC strany, výstup z měniče se bude jistit 16 A jističem s charakteristikou typu B, za kterým se umístí elektroměr (vhodné kombinovat s WATTrouterem, či jiným regulačním prvkem) pro měření vlastní spotřeby.

3.1 Dotace

Dotace, či podpory pro fotovoltaické elektrárny jsou určeny pro malé elektrárny (do 10 kW) a pro firmy na skladování a výrobu elektrické energie.

Firmy mohou dostat podporu od 60 do 80 % celkové ceny podle velikosti firmy. Maximální výška podpory je 30 milionů a minimální 50 000 Kč. Tyto podpory probíhají v rámci programů na snížení CO₂ v ovzduší, do kterého spadají nejen fotovoltaické elektrárny s možností akumulace do baterií, ale i nákup elektromobilů a vybudování nabíjecích stanic, které budou zužitkovávat vyrobenou energii. [1.12]

Dotace pro malé elektrárny do 10 kW, které spadají do programu Nová zelená úsporám, jsou limitovány základními podmínkami oblasti C3 (případně oblasti A a B) a podmínkami jednotlivých podoblastí. Důležité je, že hlavní spotřeba elektrické energie probíhá v objektu a nikde jinde. [1.13] [1.14]

Základní podmínky pro získání dotace jsou:

- Instalovaný výkon maximálně 10 kW
- Účinnost panelů a modulů (tenkovrstvé >10 %, mono a polykrystalické >15 %, nevztahuje se na fotovoltaické střešní krytiny a fasády)
- Fotovoltaická elektrárna bude instalována přímo na objektu.
- Vhodné zpracování projektové dokumentace

Jednotlivé podmínky podoblastí jsou uvedeny v tabulkách a doplněny o tyto požadavky: [1.13] [1.14]

- Měnič musí mít minimální účinnost 94 % (Euro účinnost), MPP tracker 98 % (týká se všech)
- Objem zásobníku teplé vody musí být min. 80 litrů na každý instalovaný kWp fotovoltaiky. Zásobník slouží pouze pro akumulaci energie z fotovoltaické elektrárny a ne jiného zdroje. (týká se pouze ohřevu teplé vody C3.3 a C3.4)
- Systém musí být vybaven baterií o velikosti 1,75 kWh na každý instalovaný kWp fotovoltaiky. Při využití novějších technologií lze použít i velikosti 1,25 kWh.

Snížený požadavek nelze uplatnit pro akumulátory na bázi olova (týká se pouze ohřevu teplé vody)

- Připojení k distribuční soustavě po roce 2016

Sledovaný parametr	Označení [Jednotky]	C.3.4	C.3.5	C.3.6	C.3.7
Celkový využitelný zisk	Q_{fv} [kWh·rok ⁻¹]	≥1700	≥1700	≥3000	≥4000
Minimální míra využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby	[%]	70	70	70	70
Akumulace přebytků energie do teplé vody	-	povinná	možná	možná	možná
Minimální měrný objem zásobníku teplé vody nebo akumulární nádrže	[l·kWp ⁻¹]	80	-	-	-
Akumulace přebytků energie do elektrických akumulátorů	-	možná	povinná	povinná	povinná
Minimální měrná kapacita akumulátorů	[kWh·kWp ⁻¹]	-	1,75/1,2 5	1,75/1,2 5	1,75/1,2 5

Tabulka 3.20: Požadované parametry v podoblastech podpory C.3.4, C.3.5, C.3.6 a C.3.7 [1.13]

Podoblast podpory	Typ systému	Výše podpory [Kč/dům]
C.3.1	Solární termický systém na přípravu teplé vody	35 000
C.3.2	Solární termický systém na přípravu teplé vody a vytápění	50 000
C.3.3	FV systém pro přípravu teplé vody s ohřevem	35 000
C.3.4	FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem ≥1700 kWh·rok ⁻¹	55 000
C.3.5	FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem ≥1700 kWh·rok ⁻¹	70 000
C.3.6	FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem ≥3000 kWh·rok ⁻¹	100 000
C.3.7	FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem ≥4000 kWh·rok ⁻¹	150 000

Tabulka 3.21: Výše podpory v podoblasti podpory C.3 [1.13]

Citováno z „Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám“ [1.13]

„Minimální rozsah projektové dokumentace pro podoblast podpory C.3

1. Technická zpráva v souladu s přílohou č. 5 odst. D vyhl. č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb, ve znění pozdějších předpisů, v případě návrhu fotovoltaického systému doplněná o popis zajištění splnění požadavků na požární bezpečnost v souladu s vyhláškou č. 23/2008 Sb., o technických podmínkách požární ochrany staveb, ve znění pozdějších předpisů.

2. Výkresová část v souladu s přílohou č. 5 odst. D vyhl. č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb, ve znění pozdějších předpisů, obsahující minimálně tyto body:

- půdorys střechy nebo jiné konstrukce, na které bude systém umístěn, se znázorněním umístění solárních termických nebo fotovoltaických panelů s uvedením jejich sklonu a orientace vůči světovým stranám, zakreslením stínících překážek, schematickým znázorněním rozvodů, kótováním, popisovou legendou nebo popisem u jednotlivých prvků.*
- pro solární termické systémy schéma zapojení zdroje do systému vytápění (je-li realizováno) a ohřevu TV i se zakreslením regulačních a pojistných prvků, napojení na stávající rozvody studené, teplé a cirkulační vody, popisovou legendou nebo popisem u jednotlivých prvků,*
- pro fotovoltaické systémy zjednodušené schéma s uvedením základních komponent systému, jejich vzájemné propojení a propojení s hlavními rozvaděči, ochrannými a regulačními prvky, napojení na distribuční síť apod.“*

Jednou ze zajímavých možností využití dotace může být i možnost fotovoltaické fasády za účelem snížení energetické náročnosti budovy. Samotná fotovoltaická fasáda má stejnou záruku i životnost jako panely (25 let), a zároveň při jejím použití nedochází k přílišnému ohřívání objektu slunečním zářením, které je přeměněno na energii následně využitou v rámci objektu. Co se týče stránky estetické, s dobou pokročila i technologie a umožňuje fotovoltaické prvky ve fasádě schovat pod nejrůznější vzory. Ve fasádách se používají hlavně amorfní křemíkové panely kvůli nezměněné účinnosti ve svislé poloze a orientaci vůči jiným světovým stranám. [1.15]

Více informací k Nové zeleným úsporám na stránkách zdroje. [1.13]

4 Technická dokumentace

Tato kapitola se bude věnovat tomu, jak mají vypadat součásti technické dokumentace k fotovoltaické elektrárně. Využije se zde norma *ČSN EN 62446:2010 Fotovoltaické systémy spojené s elektrorozvodnou sítí – Minimální požadavky na systémovou dokumentaci, zkoušky při uvádění do provozu a kontrolu*. A norma *ČSN EN 62446-1:2016 Fotovoltaické (PV) systémy – Požadavky na zkoušení, dokumentaci a údržbu – Část 1: Systémy spojené s rozvodnou sítí – Dokumentace, zkoušky při uvádění do provozu a kontrola*. Protože norma ČSN EN 62446-1:2016 nahrazuje ČSN EN 62446:2010, která platí do 23. 2. 2019, budou porovnány tyto normy, co se technické dokumentace týče, uvedu změny (v textu podtržení znamená normu 62 446 – 1 a přeškrtnuté jsou změny vůči 62 446:2010).

Jednotlivé body jsou doplněny o výstřižky a texty z projektové dokumentace od společnosti S-Power Energies s.r.o., které budou omezeny jen na základní potřeby normy, aby nedošlo ke sdílení citlivých údajů.

Níže je přeložená česká verze ČSN EN 62446:2010 ze zdroje [1.16].

4.1 Výtah z normy ČSN 62 446:2010 Fotovoltaické systémy spojené s elektrorozvodnou sítí – Minimální požadavky na systémovou dokumentaci, zkoušky uvádění do provozu a kontrolu část 4. Požadavky na dokumentaci systému [1.16]

4.1 Obecně

Účelem této kapitoly je uvést minimální dokumentaci, která by měla být poskytována po provedení instalace systému PV připojeného k elektrické rozvodné síti. Tato informace zajistí, že klíčová data systému budou běžně k dispozici zákazníkovi, inspektorovi nebo technikovi provádějícímu údržbu. Dokumentace zahrnuje základní data systému a informace, o nichž se předpokládá, že budou poskytnuty v příručce pro provoz a údržbu.

4.2 Údaje o systému

4.2.1 Základní informace o systému

Jako minimum musí být poskytnuty následující informace o systému. Tato “štítková” informace by měla být obvykle umístěna na titulní straně souboru dokumentů pro systém.

- a) identifikační údaje projektu (pokud to přichází v úvahu),
- b) jmenovitý výkon systému (typový štítek) (kW DC nebo kVA AC),
- c) moduly PV a střídače – výrobce, typ a počet,
- d) datum instalování,
- e) datum uvedení do provozu,
- f) jméno zákazníka,
- g) adresa sídla.

Akce a zákazník	FVE
Místo instalace	Praha
Kraj	Praha
Stavební úřad	
Zakázkové číslo	
Datum instalace	25.3.2015
Datum uvedení do provozu	25.6.2015
Vypracoval	
Zodp. Projektant	
Stavebník	

Typ panelů	Q Cells 280 Wp
počet panelů	10 ks
DC výkon	2 800 Wp
AC výkon	3 000 W
počet střídačů	1 ks
DC výkon střídače	3 900 W
typ střídače	Hybrid Invertor GOODWE GW3084-EM

Tabulka 4.22: Identifikační údaje 1

4.2.2 Informace o projektantovi systému

Jako minimum musí být poskytnuta informace o všech firmách odpovědných za návrh systému. Jestliže za návrh systému odpovídá více než jedna firma, měla by být následující informace poskytnuta o všech firmách, a to s popisem jejich úlohy při navrhování systému.

- a) projektant systému, firma,
- b) projektant systému, kontaktní osoba,
- c) projektant systému, poštovní adresa, telefonní číslo a adresa elektronické pošty (e-mail).

Firma	
Kontaktní osoba	
Adresa	
Jméno, adresa a oprávnění zpracovatele dokumentace	

Tabulka 4.23: Informace o projektantovi

4.2.3 Informace o firmě, která provedla montáž systému

Jako minimum musí být poskytnuta informace o všech firmách odpovědných za montáž systému. Jestliže za instalaci systému odpovídá více než jedna firma, měla by být následující informace poskytnuta o všech firmách, a to s popisem jejich úlohy na systému.

- a) montáž systému, firma,
- b) montáž systému, kontaktní osoba,
- c) montáž systému, poštovní adresa, telefonní číslo a adresa elektronické pošty (e-mail).

Firma	
Kontaktní osoba	
Adresa	
Jméno, adresa a oprávnění zpracovatele dokumentace	

Tabulka 4.24: Informace o montážní firmě

4.3 Instalační schéma

4.3.1 Obecně

Jako minimum musí být poskytnuto jednopólové instalační schéma. Toto schéma musí být okomentováno tak, aby obsahovalo informace podrobněji rozvedené v následujících článcích (4.3.2 až 4.3.6):

POZNÁMKA:

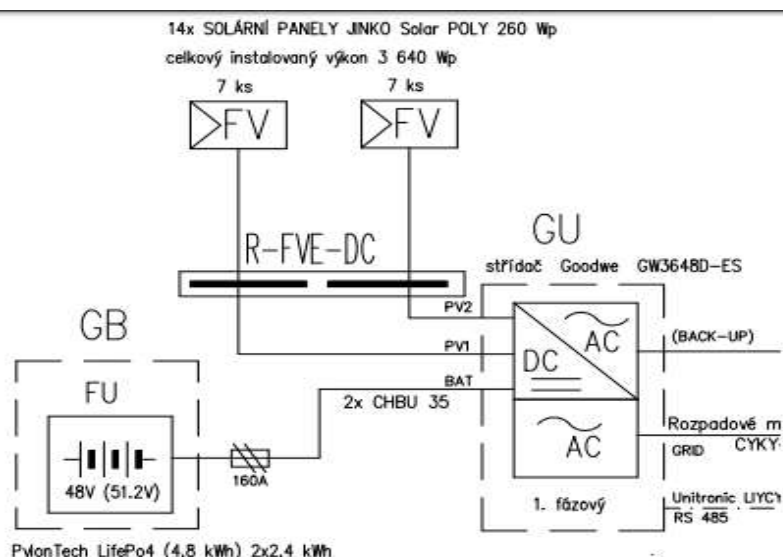
Obecně se předpokládá, že tato informace bude uvedena jako komentář k jednopólovému instalačnímu schématu. Za určitých okolností, obvykle pro rozsáhlé systémy, jejichž plocha na schématu může být omezena, může být tato informace předložena ve formě tabulky.

4.3.2 Pole – všeobecná specifikace

Instalační schéma musí obsahovat následující informace pro projekt pole:

- typ(y) modulů
- celkový počet modulů
- počet řetězců
- počet modulů v řetězci.
- označení, který řetězec patří k danému střídači

V případě, kdy je pole rozděleno na více podpolí, instalační schéma bude obsahovat návrh pole – podpolí a všechny informace výše uvedeny v 4.3.2 pro každý pod pole.

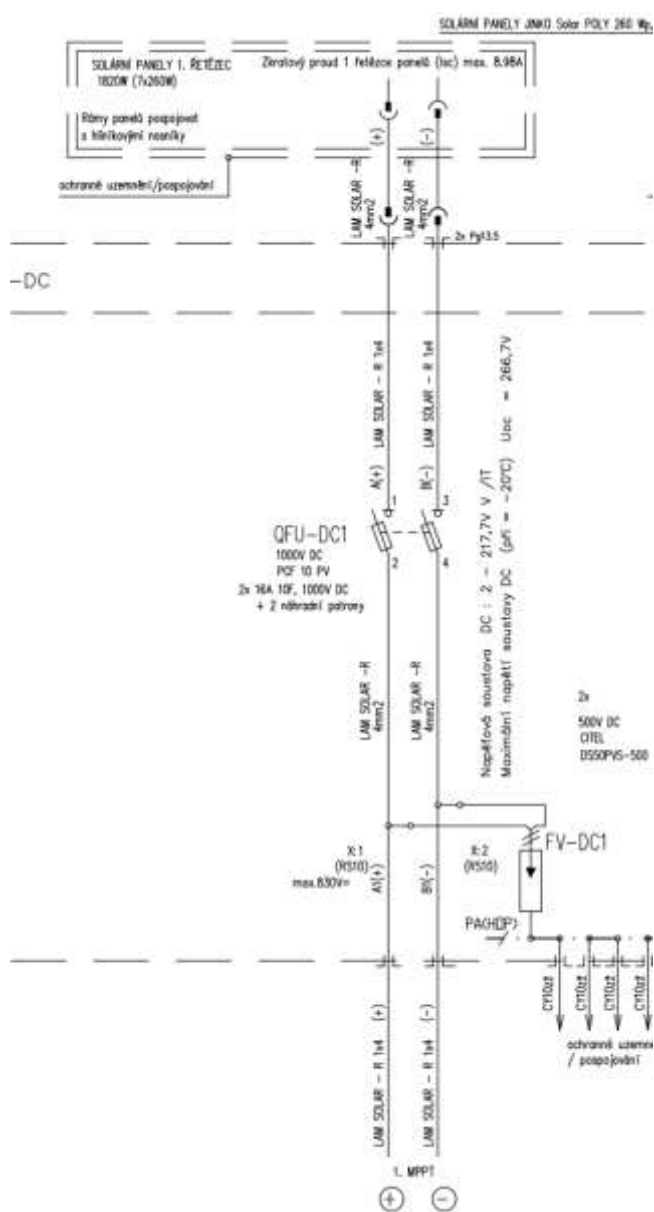


Obrázek 4.25: Jednopólové instalační schéma

4.3.3 Informace o řetězci PV

Instalační schéma nebo specifikace systému musí obsahovat následující informace o řetězci PV:

- specifikace kabelu řetězce – velikost a typ,
- specifikace nadproudového ochranného přístroje pro ochranu řetězce (pokud je jím řetězec vybaven) – typ a jmenovité hodnoty napětí/proud,
- typ blokovací diody (pokud to přichází v úvahu).



Obrázek 4.26: Detail DC části

4.3.4 Podrobnější informace o elektrických veličinách pole

Instalační schéma nebo specifikace systému musí obsahovat následující informace o elektrických veličinách pole (kde vybaveno):

- a) specifikaci hlavního kabelu pole – velikost a typ,
- b) umístění rozvodnice polí (~~pokud to přichází v úvahu~~),
- c) typ izolátorů pro stejnosměrné napětí, jejich umístění a jmenovité hodnoty (napětí/proud)
- d) nadproudový ochranný zařízení (pokud to přichází v úvahu) – typ umístění a jmenovité hodnoty (napětí/proud).
- e) Další ochranné obvody (jako arc fault protection) jejich typ, umístění a jmenovité hodnoty (pokud možno).

„Rozvaděče R-FVE

Rozvaděč je/bude umístěn v objektu – v rozvodně (nebo ve venkovních prostorách k tomu určených). Rozvaděč R-FVE je ocelová plechová skříň, rozměry dle potřeby a výpočtu oteplení v krytu minimálně IP40/IP20 (V případě venkovního umístění minimálně IP65).

Pro kabelové rozvody jsou v projektu navrženy následující typy kabelů:

Kabely DC – PU izolace, např. typ Solar Cabel, Flex-Sol

Kabely AC – CYKY – J

Poznámka: průřez kabelů je volen vzhledem k jmenovitým proudům.

Rozvaděče R-FVE

Jsou připojeny směrem ke střídači/střídačům kabelem CYKY – J 5x25 mm² a jeho odpor střídavého vedení mezi střídači a rozvaděčem R-FVE, by neměl být vyšší než 0,5 Ω. Směrem k přívodu kabelem CYKY – J 5x25 mm² nebo vyšším průřezem.“

Úryvek 4.23: Informace o systému

4.3.5 Uzemnění a přepět'ová ochrana (zaměněno s 4.3.6)

Instalační schéma nebo specifikace systému musí obsahovat následující informace o uzemnění a přepět'ové ochraně:

- a) podrobné informace o všech vodičích pro uzemnění/pospojování – průřezy a spojovací místa typy, včetně podrobností o konstrukci kabelu použitého k ekvipotenciálnímu pospojování pole tam, kde je provedeno,
- b) podrobné informace o jakýchkoliv spojeních na existující systém ochrany před bleskem (LPS),
- c) podrobné informace o všech instalovaných přepět'ových ochranách (jak na střídavých, tak na stejnosměrných vedeních) včetně místa, typu a jmenovitých hodnot.

„Ochrana před bleskem se skládá:

Vnější ochrana před bleskem – jímací systém, systém svodů, systém uzemnění.

Vnitřní ochrana před bleskem – potenciálové vyrovnání – pospojení, systém ochrany před přepětím

Vnitřní ochrana před bleskem:

Z hlavní ochranné přípojnice HOP je vyveden vodič 10 mm², do rozvaděče R-FVE. Dále budou vzájemně propojeny všechny kovové konstrukce, tj. síťové inventory, kabelové žlaby, pomocí vodičů minimálního průřezu CYA 6 mm² žluto-zelený, ale i všechna elektrická zařízení třídy I., na ekvipotenciálovou přípojnici, která je propojená s obvody hlavního pospojení HOP.

Ochrana fotovoltaických systémů, třída I. a II.

Na vstupu měniče (DC), je zapojena vnitřní přepět'ová ochrana (ochrana plusových a minusových sběrnic fotovoltaického systému před účinky přepětí).

Ochrana napájecí sítě TN-S, třída II. :

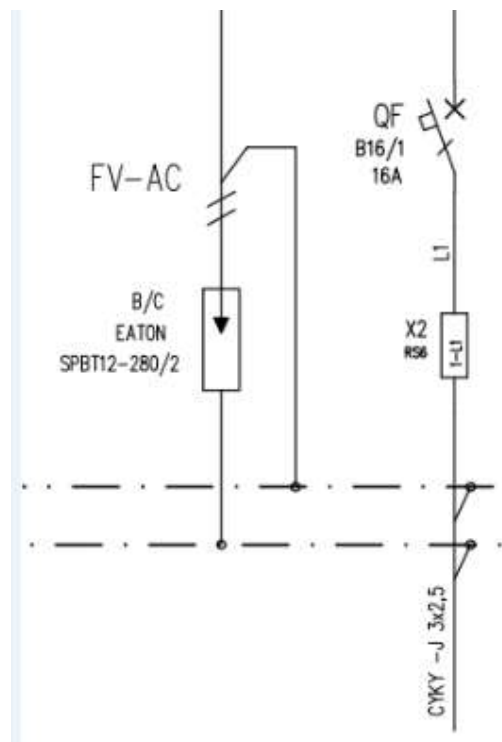
Na výstupu z měniče (AC), instalovat kompaktní přepět'ovou ochranu třídy II – 230/4 TN – S, AC, minimální parametry: T1 + T2 (I. + II, B + C) $I_{imp} = 12,5 \text{ kA}$, $I_n = 50 \text{ kA}$ a $I_{max} = 50 \text{ kA}$.“

Úryvek 4.28 Informace o ochraně systému

4.3.6 Síť AC (střídavá síť) (zaměněno s 4.3.5)

Instalační schéma musí obsahovat následující informace o systémech AC:

- umístění izolátorů pro střídavé napětí, typ a jmenovité hodnoty
- umístění nadproudového ochranného zařízení na střídavý proud, typ a jmenovité hodnoty
- umístění proudového chrániče, typ a jmenovité hodnoty (pokud jsou osazeny).



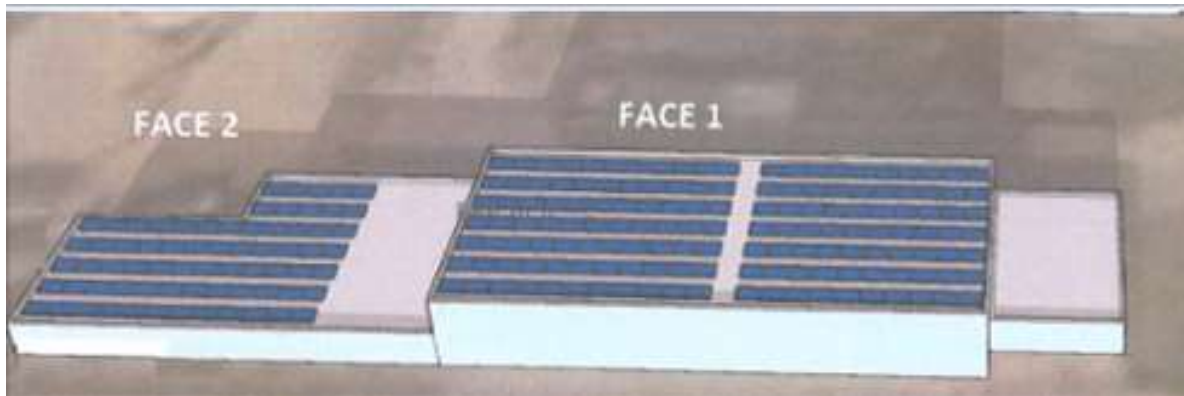
Obrázek 4.29: Detail AC část

4.4 Rozložení řetězce

Pro systémy tří a více řetězců bude přiloženo dispoziční schéma PV systému, kde bude vidět, jak je pole rozděleno a spojeno do řetězců.

POZNÁMKA:

To je konkrétně užitečné při hledání chyb ve větších PV systémech a na systémech montovaných na budovách, kde je omezený přístup k panelům.



Střecha FACE	Výkon panelu [Wp]	Počet panelů	Celkový výkon [kWp]	Azimut	Sklon [°]	Střídač
1	275	147	40,425	152	15	GUI-60
2	275	70	19,25	152	15	GUI-61

Obrázek a Tabulka 4.30: Dispoziční výkres

4.4 Katalogové údaje (změněno na 4.5)

Katalogové údaje musí být poskytnuty alespoň pro následující součástky systému:

- katalogové údaje pro veškeré typy modulů použitých v systému – podle požadavků IEC 61730-1,
- katalogové údaje střídačů všech typů, které jsou v systému použity.

POZNÁMKA:

Rovněž by se mělo uvažovat o poskytnutí katalogových údajů pro ostatní důležité součásti systému.

- jsou přiloženy katalogový listy tří prvků fotovoltaické elektrárny (panel, optimizér, střídač) [3.1,3.2,3.3]

4.5 Informace o mechanických otázkách (změněno 4.6)

Musí být poskytnuty i údaje o systému montáže polí.

„Technický popis

Na střechu domu budou / jsou na pomocné konstrukce (konstrukce pro sedlové střechy) namontovány solární panely (polykrystalické, 22 kusů). „

Úryvek 4.31: Montážní systém na sedlové střechy

4.6 Informace o provozování a provádění údržby (změněno 4.8)

Musí být poskytnuty informace o provozování a provádění údržby. Jako minimum musí tato informace obsahovat následující body:

- a) postup ověřování správného provozování systému
- b) seznam toho, co dělat v případě poruchy systému
- c) postup nouzového přerušení provozu/odpojení
- d) doporučení údržby a čištění (mechanické, stavební nebo elektrické části) - pokud je třeba.
- e) s čím je třeba uvažovat při jakýchkoliv budoucích pracích na budově, které by se mohly týkat PV polí,
- f) dokumenty týkající se záruk na PV moduly a střídače – aby obsahovala datum začátku záruky a lhůtu, do kdy záruka platí,
- g) dokumenty o jakýchkoliv použitelných řemeslných pracích nebo záruky odolnosti proti atmosférickým vnějším vlivům.

Úryvek 4.32: Údržba

Zařízení je zapojeno do vnitřní instalace domu, veškeré práce na zařízení bude provádět dodavatel v rámci záruky nebo jako pozáruční servis, případně po uplynutí doby záruky jiný kvalifikovaný dodavatel potřebných služeb.

Vlastník výroby zajistí (zadá odbornému dodavateli) pravidelné revize zařízení výroby. Lhůta pravidelných revizí je dle ČSN 33 1500 (tabulka 1, prostředí venkovní poř.č.14) 4 roky.

Úryvek 4.33: Obsluha

Výrobna nevyžaduje pravidelnou obsluhu. Vlastník výroby bude odečítat na měniči celkovou výrobu el. energie a na čtyřkvadrantním elektroměru spotřebu a přetok do sítě distributora.

Úryvek 4.34: Čištění

Vlastník výroby zajistí pravidelné čištění fotovoltaických panelů. Předpokládaná četnost čištění je 2x ročně, případně dle znečištění panelů.

4.7 Záložní systémy

Dokumentace k jakémukoliv záložnímu systému přidruženému k PV systému (jako požární alarm, detektory kouře, atd). Dokumentace bude obsahovat jak informace o provozu, tak návrhu.

- příklad nebude uveden

4.7 Výsledky zkoušek a údaje o ověření (změněno 4.9)

Musí být k dispozici kopie veškerých výsledků zkoušek a údajů o ověření. Jako minimum musí tyto kopie zahrnovat výsledky zkoušek při revizi uvedené v kapitole 5 této normy.

- příklad nebude uveden, výsledkem této části je podčást článku č. 5 této normy.

5 Závěr

Cílem práce bylo porovnat normu ČSN 62 446:2010 Fotovoltaické systémy spojené s elektrorozvodnou sítí – Minimální požadavky na systémovou dokumentaci, zkoušky uvádění do provozu a kontrolu, která končí začátkem roku 2019, s normou ČSN 62 446 - 1:2016 Fotovoltaické (PV) systémy – Požadavky na zkoušení, dokumentaci a údržbu – Část 1: Systémy spojené s rozvodnou sítí – Dokumentace, zkoušky při uvádění do provozu a kontrolu, která ji nahrazuje. Obě dvě normy popisují problematiku minimálních požadavků technické dokumentace fotovoltaických elektráren. Normy se liší v podkapitolách 4.3.3 – 4.3.5, kde je nyní možnost použít specifikaci systému místo instalačního schématu, což může být pro projektanta usnadnění práce. Dále přibyly detailnější požadavky na zpracování, například u 4.3.2, a nakonec přibyly články 4.4 Rozložení řetězce a nový 4.7 Záložní systémy, kde v 4.4 je požadován dispoziční výkres a s popisem a u 4.7 je kladen požadavek na dokumentaci a provoz dalších případných bezpečnostních prvků instalace.

Dále bylo cílem uvést čtenáře do problematiky fotovoltaických elektráren a přiblížit možný postup při návrhu fotovoltaické elektrárny, který je z mého pohledu neoptimálnější a využívá nové možnosti na trhu. Tato problematika se samozřejmě týká i stránky technologické, která se neustále vyvíjí a na trh přicházejí nové možnosti, jak zvýšit účinnost elektrárny nebo ušetřit při její výstavbě pomocí podpor pro menší samospotřebitele.

V práci jsem při návrhu elektrárny uvedl příklad možného využití výkonových optimalizérů, které podle mého názoru v budoucnosti fotovoltaiky ještě důležitou roli sehrají. Jejich doplněním do stávajících systémů je možné zvýšit účinnost až o 25 % nejen u střídače, ale i dalších prvků instalace, a tím zajistit stabilnější práci výroby a snížit náklady spojené s údržbou a případnými poruchami, které by bez monitoringu nebyly vidět.

Možnost využití podpor je jedno z mála hlavních lákadel pro budoucí investory v oblasti menších fotovoltaických elektráren. Podmínky pro dotace nejsou až tak nespelnitelné a při vhodném návrhu systému mohou pokrýt až 50 % celkové investice a snížit tím její návratnost.

Nezbytnou součástí celého fotovoltaického systému jakéhokoliv výkonu je technická dokumentace, která spadá pod stavební zákon (183/2006 Sb.) a hlavně vyhlášku č. 499/2006 o dokumentaci staveb, do které spadají i minimální požadavky dle ČSN 62 446:2010 Fotovoltaické systémy spojené s elektrorozvodnou sítí – Minimální

požadavky na systémovou dokumentaci, zkoušky uvádění do provozu a kontrolu, a ČSN 62 446 - 1:2016 Fotovoltaické (PV) systémy – Požadavky na zkoušení, dokumentaci a údržbu – Část 1: Systémy spojené s rozvodnou sítí – Dokumentace, zkoušky při uvádění do provozu a kontrolu, které jsou v textu zmíněny v kapitole 4. (požadavky na technickou dokumentaci) a doplněny o všechny změny, které dosud proběhly. Jednotlivé body byly doplněny příklady úryvků, tabulek a obrázků (pro lepší představu co je vlastně normou žádáno) z dokumentací zapůjčených od společnosti S-Power Energies, která na českém trhu úspěšně podniká a má za sebou nemálo projektů a instalací.

Při psaní práce jsem se seznámil s dalšími možnostmi fotovoltaických elektráren a technologií, které se používají pro zvýšení účinnosti a lepší možnosti správy jejich jednotlivých částí. Dozvěděl jsem se o zajímavých možnostech čerpání podpor nejen na fotovoltaické elektrárny, ale i na technologie zlepšující energetickou soběstačnost. Při psaní kapitoly 4. Technická dokumentace bylo nutné pročíst obě normy a porozumět projektové dokumentaci, kterou má každý dodavatel jinou, ale i přesto musí splňovat požadavky uvedené v normách. Zároveň jsem měl možnost setkat se s odborníky z praxe s dlouholetou zkušeností a něco se přiučit.

Použité zkratky

FF – faktor plnění

I_{mp} – maximální proud

I_{sc} – proud nakrátko

U_{oc} – napětí naprázdno

U_{mp} – maximální napětí

P_{mp} – maximální špičkový výkon

PV – Fotovoltaika

6 Použitá literatura

Knižní zdroje

[1] MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

Internetové zdroje

[1.1] HONSBURG, Christiana a Stuart BOWDEN. Photovoltaic Education Network. *Photovoltaic Education Network: PN Junction, Solar Cell Operation, Design of Silicon Cell, Manufacturing Silicon Cell, Modules and Arrays* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.pveducation.org/>

[1.2] MORAVEC, Jan. Oenergetice. : *Polovodiče: Fotovoltaické články z krystalického křemíku a tenkovrstvé články* [online]. 8.3.2017 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/polovodice-fotovoltaicke-clanky-krystalickeho-kremiku-tenkovrstve-clanky/>

[1.3] Solární experti. *Solární experti: Jak funguje střešní fotovoltaická elektrárna?* [online]. 25.2.2015 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-stresni-fotovoltaicka-elektrarna/>

[1.4] KLIMEK, Ing. Petr a Ing. Bronislav BECHNÍK. TZB. *TZBinfo: Střídač pro fotovoltaickou elektrárnu. Jakou technologii zvolíte?* [online]. 11.3.2013 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-stresni-fotovoltaicka-elektrarna/>

[1.5] Czech RE Agency. TZB. *TZBinfo: Fotovoltaický střídač - účinnost není vše* [online]. 20.4.2009 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5571-fotovoltaicky-stridac-ucinnost-neni-vse>

[1.6] CNE. *Czech Nature Energy: Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>

[1.7] VR OZE: Fotovoltaické elektrárny. *VR OZE: Fotovoltaika - obecně i konkrétně* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.nemakej.cz/fotovoltaicky-jev-a-idealni-podminky-pro-solarni-elektrarny.php>

[1.8] SKLENÁŘ, Oldřich Mgr. TZB. *TZBinfo: Fotovoltaika v České republice v roce 2014* [online]. 22.12.2014 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/12162-fotovoltaika-v-ceske-republice-v-roce-2014>

[1.9] JV Project. *Seznam a mapa solárních elektráren v ČR: Seznam a mapa elektráren* [online]. 1.8.2014 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z:

<http://www.elektrarny.pro/seznam-elektraren.php?kj=&os=&vn-od=&vn-do=&nv=&ml=&le=&zobraz=Hledej>

[1.10] BURKET, Daneš. TZB. *TZBinfo: Dukovanská fotovoltaická elektrárna (I)* [online]. 31.7.2006 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3438-dukovanska-fotovoltaicka-elektrarna-i>

[1.11] CHMI. *Český hydrometeorologický ústav: Měsíční data* [online]. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data>

[1.12] HROMÁDKOVÁ, Eva. TZB. *TZBinfo: Firmy mohou získat až 80% dotaci na pořízení systému výroby a skladování elektřiny, většina z nich o tom neví* [online]. 29.4.2017 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/uspory-obnovitelna-energie/15688-firmy-mohou-ziskat-az-80-dotaci-na-porizeni-systemu-vyroby-a-skladovani-elektriny-vetsina-z-nich-o-tom-nevi>

[1.13] NZU. *Nová zelená úsporám: Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám* [online]. 4.9.2017 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: http://www.novazelenausporam.cz/file/867/nzu_zavazne-pokyny-pro-zadatele-rd-3-vyzva_06-2017.pdf

[1.14] ZILVAR, Jiří Mgr. TZB. *TZBinfo: Příspěvek na fotovoltaiku pro rodinné domy v Nové zelené úsporám* [online]. 22.11.2015 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zelena-uspোরam-na-tzb-info/13476-prispevek-na-fotovoltaiku-pro-rodinne-domy-v-nove-zelene-uspোরam>

[1.15] SCHNEIDER, Jakub Ing. ASB: odborný stavební portál. *ASB: FOTOVOLTAICKÉ FASÁDY – NOVÝ PŘÍNOS PRO STAVBU* [online]. 11.3.2011 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/konstrukce-a-prvky/fasady/fotovoltaicke-fasady-novy-prinos-pro-stavbu>

[1.16] KŘÍŽ, Michal Ing. IN-EL: Informační servis pro elektrotechniky. *IN-EL: Dokumentace, zkoušky a kontroly fotovoltaiky – ČSN EN 62446* [online]. 31.10.2013 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.in-el.cz/referat/103219/dokumentace-zkousky-a-kontroly-fotovoltaiky-csn-en-62446>

PVGIS – Dostupné na - <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

7 Obrázky a tabulky

[2.1] [online] Dostupné na - <http://oenergetice.cz/technologie/polovodice-zaklady-polovodicove-techniky/>

[2.2] [online] Dostupné na - <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice>

[2.3] [online] Dostupné na - <https://www.fzu.cz/popularizace/premena-slunecni-energie-v-energii-elektrickou#vyroba>

[2.4] [online] Dostupné na - <http://oenergetice.cz/elektrina/polovodice-fotovolticke-clanky-krystalickeho-kremiku-tenkovrstve-clanky/>

[2.5] [online] Dostupné na - <http://www.bauermade.info/cs/reference/>

[2.6] [online] Dostupné na - <http://www.sunwave.cz/konstrukce-fotovoltaika0>

[2.7] [online] Dostupné na - http://www.amsoft-ova.cz/CZ_ref_FVE.html

[2.8] Projektová dokumentace S-Power Energies s.r.o. – kapitola 4

8 Přílohy

[3.1] Katalogový list Q Cells

[3.2] Katalogový list Power Optimizer P300

[3.3] Katalogový list Střídač GoodWe 3084-EM