

Solární panely jako autonomní zdroje elektrické energie

Solar Panels As Autonomous Power Supply

Marek Sedláček

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marek SEDLÁČEK**
Osobní číslo: **A09260**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Solární panely jako autonomní zdroje elektrické energie**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte rešerši literatury, která se vztahuje ke zvolenému tématu Bakalářské práce.
2. Popište podstatu fotoelektrického jevu, spektrálního složení slunečního záření, druhů slunečních kolektorů a faktorů ovlivňující účinnost fotovoltaických systémů.
3. Popište druhy systémů dle použití (off-grind, on-grind).
4. Zhodnoťte současný stav na trhu solárních panelů a dostupných komponentů k nim (měniče, baterie, management).
5. Posudte výhodnost realizace solárního zdroje elektrické energie na odloučených místech.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 193 s. ISBN 978-80-247-2061-6.
2. SRDEČNÝ, Karel. Energeticky soběstačný dům – realita či fikce?. 2., aktualiz. vyd. Praha: EkoWATT, 2007, viii, 92 s. ISBN 978-80-7366-103-8.
3. FUKÁTKO, Tomáš. Detekce a měření různých druhů záření. 1. vyd. Praha: BEN, 2007, 189 s. ISBN 978-80-7300-193-3.
4. TKOTZ, Klaus. Příručka pro elektrotechnika. 2. dopl. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2006, 623 s. ISBN 80-867-0613-3.
5. THEMESSEL, Armin. Solární systémy: návrhy a stavba svépomocí. V Gradě 1. vyd. Praha: Grada, 2005, 116 s. ISBN 80-247-0589-3.
6. Nelumbo [online]. 2009 [cit. 2013-02-04]. Dostupné z: www.nelumbo.cz

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Pospíšilík

Ústav počítačových a komunikačních systémů

Datum zadání bakalářské práce:

25. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

30. května 2013

Ve Zlíně dne 25. února 2013

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou fotovoltaických systémů a jejich využití pro výrobu elektrické energie. Především se věnuje ostrovním fotovoltaickým systémům a komponentům k nim. Úvodem jsou popsány používané druhy, vývoj a nové trendy fotovoltaických článků, následuje dělení a popis možných systémů a komponentů ostrovních systémů. V praktické části je řešena výhodnost stavby ostrovní elektrárny na odloučených místech, porovnání ostrovních kompletů dostupných na trhu a výpočty ohledně vlivu sklonu a orientace panelů na efektivitu využití slunečního záření v různých dnech v roce.

Klíčová slova: ostrovní solární systém, solární panel, fotovoltaický článek, solární nabíjecí regulátor, měnič napětí, sluneční záření

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with photovoltaic systems and their application for electric power generation, focused on off-grid solar systems and their components. The Thesis describes types, development and new trends of photovoltaic cells, followed by description of available systems and off-grid systems' components. Practically, it evaluate off-grid power station building in secluded places and compares off-grid sets available on market. Finally, there are calculations regarding to the influence of panels' inclination and orientation on utilization efficiency of the sunlight at the different days of the year.

Keywords: off-grid solar system, solar panel, photovoltaic cell, solar charger controller, power inverter, solar radiation

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Ing. Martinovi Pospíšilíkovi za jeho ochotu, přátelské jednání a především cenné rady při vzniku této práce. Dále bych rád poděkoval rodině za velkou podporu v průběhu celého studia.

Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 FOTOVOLTAIKA	12
1.1 HISTORIE FOTOVOLTAIKY	12
1.2 PRIMÁRNÍ ZDROJ ENERGIE – SLUNCE.....	12
1.3 PRINCIP FOTOELEKTRICKÉHO JEVU A FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU.....	13
1.4 GENERAČNÍ VÝVOJ FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	14
1.4.1 První generace	14
1.4.2 Druhá generace.....	14
1.4.3 Třetí generace.....	15
1.4.4 Čtvrtá generace.....	15
2 KOMERČNĚ DOSTUPNÉ TYPY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	16
2.1 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY Z MONOKRYSTALICKÉHO KŘEMÍKU.....	16
2.2 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY Z POLYKRISTALICKÉHO KŘEMÍKU	17
2.3 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY Z AMORFNÍHO KŘEMÍKU.....	17
2.4 NOVÉ TRENDY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	19
2.4.1 Arsenid galia (GaAs).....	19
2.4.2 Diselenid mědi a india (CuInSe ₂ , CIS)	19
2.4.3 Telurid kadmnatý (CdTe).....	19
2.4.4 Články využívající organické látky.....	20
2.5 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ÚČINNOST	20
2.5.1 Sklon a orientace fv panelů	20
2.5.2 Natáčení panelů za sluncem	21
2.5.3 Koncentrátory.....	21
2.5.4 Průhledné kontakty.....	22
3 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY	23
3.1 DĚLENÍ FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ Z HLEDISKA PROVOZU	23
3.1.1 Drobné aplikace	23
3.1.2 Autonomní systémy (grind - off)	23
3.1.3 Systémy síťové (grind - on)	26
3.1.4 Hybridní systémy	27
3.2 KOMPONENTY FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ.....	28
3.2.1 Fotovoltaické panely	28
3.2.2 Solární pole (generátor).....	29
3.2.3 Akumulátor	30
3.2.4 Regulátor nabíjení	33
3.2.5 Střídač	34
4 FOTOVOLTAIKA V ČR	38
4.1 PŘÍRODNÍ PODMÍNKY V ČR	38
4.2 LEGISLATIVA (ON GRIND SYSTÉMŮ)	38
II PRAKTICKÁ ČÁST	41
5 SOUČASNÝ STAV NA TRHU SOLÁRNÍCH PANELŮ	42

5.1	VÝBĚR SPRÁVNÝCH KOMPONENTŮ.....	42
5.1.1	Fotovoltaické panely	42
5.1.2	Akumulátory	43
5.1.3	Regulátory nabíjení	44
5.1.4	Střídače.....	44
6	POSOUZENÍ VÝHODNOSTI REALIZACE SOLÁRNÍHO SYSTÉMU NA ODLOUČENÝCH MÍSTECH	45
6.1	VÝHODY AUTONOMNÍHO SOLÁRNÍHO SYSTÉMU	45
6.2	NEVÝHODY AUTONOMNÍHO SOLÁRNÍHO SYSTÉMU	46
6.3	NOVÁ LEGISLATIVA O OSTROVNÍCH SYSTÉMECH.....	46
6.4	EKONOMICKÁ VÝHODNOST STAVBY SOLÁRNÍHO OSTROVNÍHO SYSTÉMU.....	47
7	MALÉ SOLÁRNÍ OSTROVNÍ SYSTÉMY	50
7.1	SYSTÉM 480Wp (SOLAR-ELEKTRO.CZ)	51
7.2	SYSTÉM 480Wp (ESHOP.NEOSOLAR.CZ)	52
7.3	SYSTÉM 460 Wp (SOLARNI-PANELY.CZ).....	53
7.4	ZHDNOCENÍ VÝBĚRU	54
8	SOLÁRNÍ OSTROVNÍ SYSTÉM PRO RODINNÉ DOMY	56
8.1	OSTROVNÍ FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA 4000 Wp (OSTROVNI- ELEKTRARNY.CZ)	56
9	VÝPOČET INTENZITY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ DOPADAJÍCÍHO NA PANEL V ZÁVISLOSTI NA JEHO ORIENTACI A SKLONU.....	59
9.1	VÝPOČET SLUNEČNÍ DEKLINACE	59
9.2	VÝPOČET POLOHY SLUNCE	60
9.3	VÝPOČET ÚHLU DOPADU SLUNEČNÍCH PAPRSKŮ NA SOLÁRNÍ PANEL	60
9.4	VÝPOČET INTENZITY CELKOVÉHO SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ DOPADAJÍCÍHO NA FOTOVOLTAICKÝ PANEL	62
9.5	VÝPOČET IDEÁLNÍHO NÁKLONU PANELŮ BĚHEM ROKU	62
9.6	VLIV ORIENTACE PANELŮ NA IDEÁLNÍ SKLON	64
	ZÁVĚR	68
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	70
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	72
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	75
	SEZNAM OBRÁZKŮ	76
	SEZNAM TABULEK.....	77

ÚVOD

Jako autonomní zdroj elektrické energie (často označován jako ostrovní) je označován systém, který není propojen s distribuční soustavou elektrické energie, tedy pracuje na této soustavě nezávisle. Tyto systémy nachází využití v případech, kde běžné připojení na distribuční síť není vhodné nebo není technicky možné. Hlavní důvody pořízení takového systému jsou: vysoká cena za zřízení elektrické přípojky kvůli velké vzdálenosti od přípojného místa, nízké provozní náklady, ekologická výroba elektrické energie z obnovitelného zdroje a nezávislost na distribuční soustavě.

V této práci se budu věnovat solárním ostrovním systémům, které nachází využití, jak u karavanů, jachet, malých zahradních domků nebo chalup, tak i velkých systémů, které pokryjí veškerou potřebnou elektrickou energii rodinného domu. Především u těchto větších instalací bývá k fotovoltaickému systému často připojen další typ ostrovního záložního zdroje, pro případný nedostatek slunečního záření. Nejčastěji se využívá elektrocentrály, ale není výjimkou i využití větrné elektrárny, malé vodní elektrárny apod. Takový systém je potom označován za hybridní.

O tyto systémy je v poslední době velký zájem. Je to dáno hlavně snižováním cen fotovoltaických panelů a dalších komponentů solárního systému a neustálým zvyšováním cen elektrické energie od distributora.

V teoretické části se budu zabývat generačním vývojem fotovoltaických článků, různými technologiemi výroby článků a jejich novými trendy, variantami fotovoltaických systémů, faktory ovlivňujícími účinnost a podrobným popisem hlavních komponent ke stavbě solárního autonomního systému. Také přírodními podmínkami a legislativou v ČR a vývojem výkupních cen a zeleného bonusu.

Jedním z hlavních cílů práce je posouzení ekonomické výhodnosti stavby solární ostrovní elektrárny na místech, kde není k dispozici připojení k distribuční síti. Toto hodnocení bude vyplývat především ze vzdálenosti takového možného připojení. Proto hodlám porovnávat varianty zřízení elektrické přípojky a možnost postavení solárního soběstačného systému pro různé vzdálenosti přípojky elektrické energie distributora. Dále bych se v tomto bodě rád věnoval obecným výhodám a nevýhodám ostrovních systémů a nové legislativě, týkající se těchto systémů.

Dalším bodem mojí bakalářské práce bude porovnání tří malých, výkonově podobných ostrovních systémů z různých internetových obchodů a následně popis kompletní solární ostrovní elektrárny pro rodinný dům.

V posledním bodě praktické části se hodlám věnovat výpočtům intenzity sluneční energie, dopadající na fotovoltaický panel s ohledem na sklon a orientaci fotovoltaických panelů. Pomocí výpočtů budu zjišťovat ideální sklon panelů u orientace na jih a orientace na jihovýchod (jihozápad) v různých dnech během roku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 FOTOVOLTAIKA

1.1 Historie fotovoltaiky

Fotovoltaický jev byl objeven již v roce 1839 devatenáctiletým francouzským fyzikem Alexandrem Edmondem Becquerelem. Při svém pokusu vložil do nádoby naplněné elektrolytem rozdělené průlinčitou stěnou dvě platinové elektrody. K těmto elektrodám připojil Galvanometr a nádobu světlotěsně zakryl. Galvanometr neukazoval žádnou výchylku. Po odclonění nádoby se ručička galvanometru vychýlila, tedy mezi elektrodami vzniklo napětí. Šlo o první přímou přeměnu světelné energie na energii elektrickou. První fotovoltaický článek byl sestaven až v roce 1883 Cherlesem Frittssem, který potáhl polovodivý selen velmi tenkou vrstvou zlata. Toto zařízení dosahovalo pouze 1% účinnosti. Fotovoltaický jev byl fyzikálně popsán Albertem Einsteinem roku 1905 a roku 1921 dostal Nobelovu cenu zejména za objev zákonitostí fotovoltaického jevu. [5]

Fotovoltaické články s p-n přechodem, tedy vyrobené z křemíku dopovaného jiným prvkem, byly vyvinuty v Bellových laboratořích v USA v roce 1954 a jejich účinnost již dosahovala okolo 6 %. Velmi významným impulsem pro další rozvoj tohoto odvětví bylo využití článků v kosmonautice jako zdroje energie na umělých družicích. Na Zemi byly fotovoltaické články zprvu využívány ropnými společnostmi, především pro napájení osvětlení např. pro osvětlení majáků. Dále pak našly využití v místech bez elektrické sítě, hlavně pro zabezpečovací zařízení. [1,6]

1.2 Primární zdroj energie – Slunce

Slunce je naší nejbližší hvězdou, která nám více než 4 miliardy let dodává spolehlivě energii. Podle odhadů bude svítit ještě 5-7 miliard let. Z fyzikálního hlediska jde o fúzní reaktor, o průměru větším než stonásobek průměru Země. Slunce je středem sluneční soustavy a od Země je vzdáleno asi 150 milionů km. Nitro Slunce je tvořeno ze 70 % vodíkem, z 28 % heliem a z 2 % ostatními prvky. [27]

V nitru Slunce dochází při velmi vysokých teplotách k jaderné fúzi, při níž se vždy 4 jádra vodíku mění na jádro hélia. Za jednu sekundu se „spálí“ asi 600 milionů tun vodíku na helium a část této hmotnosti se vydá v podobě záření gama. Slunce tímto ztrácí za 1,24 miliardy let právě 1 % své hmotnosti. Na naši Zemi dopadá přibližně jedna dvoumiliardtina celkově vyzářené sluneční energie, však i toto množství je schopné již miliony let zásobovat veškerý život na Zemi. [27]

Zářivý výkon Slunce je $3,9 \cdot 10^{26}$ W. Na Zemi dopadá $173 \cdot 10^{15}$ W. Velikost solárního záření měřeného mimo zemskou atmosféru (přibližně ve výšce satelitů) udává tzv. solární konstanta, která činí 1360 W/m². Při průchodu záření zemskou atmosférou jsou části záření absorbovány, rozptýlovány, reflektovány a emitovány. V závislosti na počasí a denní době ozáření kolísá. Hodnota ozáření je asi 1000 W/m² a to při hezkém počasí kolem poledne. [27]

1.3 Princip fotoelektrického jevu a fotovoltaického článku

Jako fotoelektrický jev označujeme změny elektrických vlastností látek, které vznikají osvětlením těchto látek. Tento jev dělíme na vnější fotoelektrický jev a vnitřní fotoelektrický jev. Jelikož se v této práci věnuji fotovoltaice, bude nás zajímat fotoelektrický jev vnitřní, který s ní přímo souvisí. [7]

Tento jev je založený na tom, že se elektrony vázané na atomy uvnitř polovodiče uvolňují díky působení světla a stávají se volnými nosiči proudu. Dále spočívá v tom, že na rozhraní osvětlených vzájemně se dotýkajících polovodičích vzniká elektrické napětí. [7]

Princip je tedy takový, že fotony dopadají na polovodič, kde jsou elektrony pohlcovány. Pokud ale je energie fotonů dostatečně velká, elektron překonává vazebné síly v mřížce a stává se volným elektronem. Tím, že se elektron uvolní, vzniká díra, což má za následek zmenšení odporu polovodiče. U fotodiod (fotodiody křemíkové jsou základ fotovoltaických článků), tvořených krystalem s oblastmi s opačným typem vodivosti a PN přechodem vznikají volné náboje – elektrony a díry, které se pohybují mezi oběma oblastmi polovodiče vlivem napětí, které je mezi nimi. Kladně nabitá oblast typu N přitahuje elektrony, díry se pohybují směrem opačným, tedy k záporně nabitě oblasti typu P. Působením tohoto pohybu elektronů a děr se náboje obou oblastí do jisté míry vyrovnávají, takže se na přechodu PN sníží rozdíl potenciálů. To má za následek zmenšení odporu fotodiody v závěrném směru. Fotodiody se používají např. v kalkulačkách nebo pro automatické ovládání svítidel, dále jako požární hlásiče apod. [7]

1.4 Generační vývoj fotovoltaických článků

1.4.1 První generace

Jde o články vyrobené z destiček monokrystalického křemíku, v nichž je vytvořen velkoplošný p-n přechod. Stále je tento typ článků nejpoužívanějším typem fotovoltaických článků (90 %). Mezi jeho přednosti patří vysoká účinnost (v sériové výrobě 16 – 19 %, speciální struktury až 24 %) a dlouhodobá stabilita výkonu. Jeho nevýhodou je relativně velká spotřeba čistého, drahého křemíku a velká náročnost jeho výroby. Komerčně se začal prodávat v 70 letech. [1]



Obrázek 1 Článek z monokrystalického křemíku [19]

1.4.2 Druhá generace

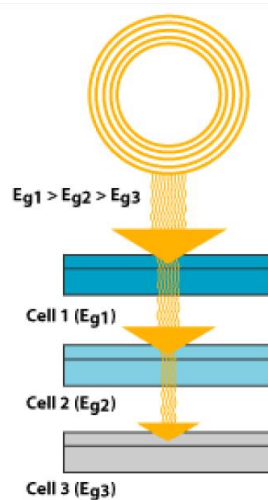
Jsou to články vyrobené z polykrystalického, mikrokrytalického nebo amorfního křemíku. Impulsem k vývoji tohoto typu článků byla především snaha o snížení výrobních nákladů, tedy snížení obsahu drahého křemíku. Tyto články mají stokrát až tisíckrát tenčí aktivní absorbující polovodičovou vrstvu. Jejich účinnost však znatelně klesla (v sériové výrobě obecně pod 10 %). Jejich hlavní nevýhodou je znatelně nižší stabilita výkonu (účinnost dále klesá s časem). Značnou výhodou těchto tenkovrstvých článků je možnost volby substrátu, na něž se tenkovrstvé struktury deponují. Např. při použití flexibilních materiálů, najdou využití tam, kde je požadována pružnost a ohebnost. Tyto články jsou využívány často armádou, která je používá jako součást oblečení nebo batohu, čímž mohou napájet např. přenosová zařízení (vysílačku, mobilní telefon atd.). Komerční prodej začal v polovině 80 let. [1]

1.4.3 Třetí generace

Tyto články používají k separaci nábojů jiné metody než je p-n přechod a také často i jiné materiály než polovodiče. Jsou to například fotoelektrochemické (fotogalvanické) články, články polymerní, které jsou složené zpravidla z polymerů s konjugovanými dvojnými vazbami a molekul fullerenu, které jsou kulového tvaru a tvořené uhlíkem. Dále se zde uplatňují nanostruktury ve formě uhlíkových nanotrubiček nebo nanotyčinek, ale také struktury kvantových teček nanesených na vhodnou podložku. Výhodou těchto článků je možnost vyladění optických a elektrických vlastností. Značnou nevýhodou je nízká účinnost a častá malá stabilita výkonu a nízká životnost. Proto se v praxi téměř nevyužívají s výjimkou flexibilních fotovoltaických modulů založených na organických polymerech. [1]

1.4.4 Čtvrtá generace

Jedná se o fotovoltaické články složené z jednotlivých vrstev. Díky tomu jsou schopné efektivně využívat širokou část slunečního spektra. Každá z vrstev pojme pouze světlo v určitém rozsahu vlnových délek. To záření, které není schopné využít, propustí do hlubších vrstev, kde je využito. Jde zde tedy o snahu maximalizovat počet absorbovaných fotonů a následně generovaných párů elektron - díra (jedná se o tzv. „proudový zisk“), ale i maximalizace využití energie dopadajících fotonů (tzv. „napěťový zisk“). [1]



Obrázek 2 Princip vícevrstvého článku [11]

2 KOMERČNĚ DOSTUPNÉ TYPY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ

Pro výrobu komerčně dostupných fotovoltaických článků se nejvíce využívá polokovový prvek křemík, který slouží jako nejvíce používaný materiál polovodičových součástek, ale i jako základní surovina pro výrobu skla. V přírodě se křemík v čisté podobě nevyskytuje, pouze jeho sloučeniny. Tento prvek tvoří 26 % až 28 % zemské kůry, čímž je po kyslíku druhým nejvíce zastoupeným prvkem zemské kůry. [14]

U mikroelektroniky je kladen důraz na vysokou čistotu křemíku, která dosahuje až 99,9999999 %. To způsobuje jeho poměrně vysokou cenu. Základním materiálem pro výrobu křemíku je oxid křemičitý (křemen). V první fázi výroby čistého křemíku je redukce oxidu křemičitého uhlíkem v elektrické obloukové peci. Tímto postupem se získá křemík o čistotě 98 % až 99 %. V další fázi se křemík převede na trichlorsilan (těkavou sloučeninu). Tato plynná sloučenina se potom vede přes vrstvu vysoce čistého křemíku o teplotě přes 1 100 °C. Přitom dochází k jejich rozkladu a vzniklý vysoce čistý křemík se ukládá v krystalické podobě na původní křemíkovou podložku. Tímto postupem vzniká polykrystalický křemík. Pro výrobu monokrystalického křemíku využíváme řízené krystalizace z taveniny. Do taveniny se vkládá krystal vysoce čistého křemíku, který se zde pomocí přesně definovaného programu otáčí a pulzuje. Teplota taveniny je také velmi pečlivě sledována a řízena. Tento proces se provádí v nádobách z čistého křemene a v inertní atmosféře argonu a na zárodečném krystalu se vylučují další vrstvy čistého křemíku. [8, 14]

2.1 Fotovoltaické články z monokrystalického křemíku

Tyto články spadají pod základní a nejstarší typ komerčně dostupných článků. Vyrábí se z tyčí (ingotů) polykrystalického křemíku obvykle pomalým tažením zárodku krystalu z taveniny velmi čistého křemíku (tzv. Czochralského metodou). Speciální drátovou pilou se tyče monokrystalického křemíku rozřežou na plátky tlusté 0,25 až 0,35 mm (dnes i 0,1 mm). Tento pokles tloušťky měl za následek zmenšení odpadu při řezání. Dále se plátky zarovnají na rovnoměrnou tloušťku a vyleští. Následně se plátky odleptají z důvodu odstranění nečistot a nepravidelností. Přidáním fosforu se na destičkách vytvoří p-n přechod. Mají vysokou účinnost téměř 20 %, ale skrze energetickou a technickou náročnost tohoto postupu se snažilo přijít na snazší a levnější řešení. [14]

Jednou z variant bylo přímo z taveniny táhnout tenký monokrystalický pásek, u něhož je nařezání na solární články mnohem snazší. Navíc se ze stejného množství křemíku dá vyrobit až dvojnásobná plocha fotovoltaického článku. Co se týče účinnosti, je o něco nižší než u článků z nařezaných velkých tyčí monokrystalického křemíku. [14]

2.2 Fotovoltaické články z polykrystalického křemíku

Tento typ je stále nejpoužívanějším typem dostupných solárních článků. Jejich výroba je realizována pomocí odlévání čistého křemíku do forem, čímž lze vyrobit vzhledné bloky (se čtvercovým nebo obdélníkovým průřezem). Tato metoda je mnohem snazší než tažení monokrystalu. Články mají horší elektrické vlastnosti než monokrystalické. Nižší proud a účinnost (14 až 15 %). Je to způsobeno tím, že na styku jednotlivých krystalových zrn je větší odpor. Značnou výhodou tohoto typu článků je levnější prvotní surovina a obdélníkový nebo čtvercový tvar (zajímavý vzhled), navíc nejsou tak citlivé na nutnost přímého osvětlení a mají dobrou schopnost pracovat i na základě rozptýleného světla. [14]



Obrázek 3 Monokrystalický článek (vlevo) a polykrystalický článek [12]

2.3 Fotovoltaické články z amorfního křemíku

U výroby článků z amorfního křemíku se spotřebuje znatelně menší množství materiálu a energií než u výše uvedených typů, což je velkou výhodou a má za následek při velkovýrobě nižší vynaložené náklady, tím pádem se dají pořídit levněji. Postup výroby je takový, že se ve vakuové komoře, při teplotě kolem 200 °C nanáší vrstva amorfního křemíku na skleněnou, nerezovou nebo plastovou podložku. Tato vrstva je velice tenká. Vrstva nepřesahuje 0,001 mm (zatímco klasické články mají tloušťku kolem 0,3 mm). Díky tomu je tato technologie označována jako Thin-film technology. Jako amorfni je tato vrstva označována proto, že nemá pravidelnou krystalickou strukturu a obsahuje určité

množství vodíku. Nevýhodou je nízká účinnost (kolem 7 %), která se však dá zvýšit vícevrstvým uspořádáním (strukury). [9, 14]

Zajímavostí je, že panely z amorfního křemíku produkují prvních 60 hodin provozu cca o 30 % vyšší výkon, než je výkon udávaný výrobcem a dále dodává o 15 % více, což se během jednoho roku ustálí až na hodnotu udávanou výrobcem. Dále netrpí oproti krystalickému křemíku na letní přehřívání, čili jeho účinnost klesá s rostoucí teplotou mnohem pomaleji. Také mají vysokou účinnost i za zhoršených světelných podmínek, která se dá srovnávat jen se současnou nejlepší technologií křemíkových modulů. Vynikající účinnosti dosahují za rozptýleného (difuzního) světla, hlavně při zatažené obloze. [9, 14]



Obrázek 4 Amorfnní moduly za slunečného počasí [9]



Obrázek 5 Amorfnní moduly za deště [9]

Tenkovrstvé moduly mění odstíny, jejich barva je různá dle aktuálního počasí a dle úhlu, ze kterého se na kolektorové pole pozorovatel dívá. [14]

2.4 Nové trendy fotovoltaických článků

Nové technologie fotovoltaických článků jsou stále vyvíjeny a zdokonalovány. Nejvíce jsou v dnešní době vyvíjeny tenkovrstvé články, které mají potenciál ke snižování nákladů výroby s růstem produkce. Objevují se řady výborných typů článků s vysokou účinností, které se ale díky své vysoké ceně uplatní např. jen pro kosmické účely. Vyvíjí se převážně články, které využívají jiné materiály než křemík. U křemíkových poly a mono článků dochází samozřejmě k vylepšování elektrických vlastností. [4]

Případy nových materiálů k výrobě fotovoltaických článků:

2.4.1 Arsenid galia (GaAs)

Tyto monokrystalické tenkovrstvé články se dají vyrobit s různými vlastnostmi a přizpůsobit je tak optimálně potřebám. Dá se u nich měnit poměr Ga/As. Mají velmi vysokou absorpci slunečního záření, díky tomu se dají vyrábět velice tenké články. Jejich velkou výhodou je, že i při vysokých teplotách (až 100 °C) se jejich efektivita nesnižuje. Proto se dají použít spolu s koncentrátory záření. Časté je použití u vícepřechodových fotovoltaických článků. Galium je málo se vyskytujícím kovem a arsen je jedovatý, což je značnou nevýhodou. [4]

2.4.2 Diselenid mědi a india (CuInSe₂, CIS)

Tyto články se díky vysoké schopnosti absorpce slunečního záření mohou vyrábět velmi tenké. V prvním μm tloušťky jsou schopné pohltit 99 % slunečního záření. Jejich účinnost se v laboratorních podmínkách pohybuje kolem 18 %. Tato účinnost je vzhledem k tomu, že jde o tenkovrstvé články velmi vysoká. Díky velmi nízké spotřebě materiálu mají s růstem produkce vyhlídky ke snižování jejich ceny. Existují i podobné články CIGS, obsahující galium jako prvek navíc. U této technologie lze očekávat brzký zajímavý vývoj. [4]

2.4.3 Telurid kademnatý (CdTe)

Jedná se o další typ tenkovrstvých článků, vyrobených ze sloučeniny kadmia a telluru, který disponuje velmi vysokou absorptivitou slunečního záření. Podobně jako u CIS článků lze tyto články vyrábět nízkonákladovými technologiemi. Značí se nízkou cenou v poměru na W výkonu a velmi krátkou dobou energetické návratnosti (za pět měsíců vyrobí více

energie než je třeba k jejich výrobě). Výzkum tohoto materiálu probíhá poměrně krátkou dobu a je považován za velmi nadějný. [4]

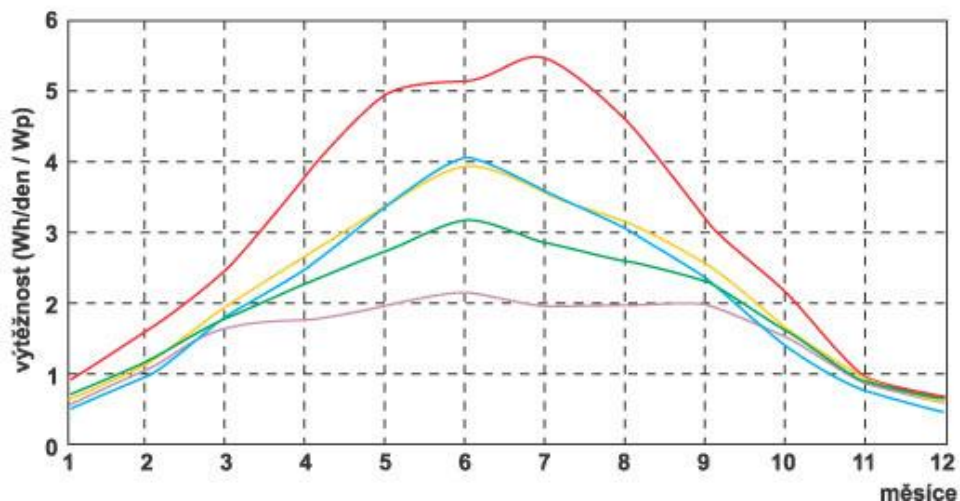
2.4.4 Články využívající organické látky

Tento nedávno vyvinutý druh článků má oproti svému protějšku, anorganickým článkům, značné výhody, jako je nižší hmotnost, flexibilní tvar apod. Polymery poskytují rychlé, levné, jednoduché a velkoobjemové zpracování. Pro fotovoltaické uplatnění jsou v kombinaci s flexibilitou organických molekul výhodné. Variabilita organických sloučenin je téměř nekonečná. Organické molekuly zvládají absorbovat velké množství záření, tím pádem materiálu není zapotřebí mnoho, což také umožňuje produkci velmi tenkých článků. Polymery bývají zpracovány ve formě roztoku, to umožňuje tisknutí fotovoltaických článků. Mezi nezanedbatelné nevýhody spadá jejich malá účinnost, která je způsobena jejich absorbováním pouze malé části spektra slunečního záření (velkým zakázaným pásem) a jejich životnost, která je hlavně ovlivněna fotodegradací aktivních materiálů. Při působení kyslíku nebo vodní páry při současném osvětlení dochází k fotooxidaci a rozkladu. Je zde tedy nutnost dbát na ochranu před vzduchem a vlhkostí. [13]

2.5 Faktory ovlivňující účinnost

2.5.1 Sklon a orientace fv panelů

Ideální orientace fotovoltaických panelů je přímo na jih. Maximální ztráty dosaženého výkonu při orientaci v rozsahu jiho-východ až jiho-západ se pohybují okolo 5%. Při vodorovné instalaci panelů dochází ke ztrátám 10 % a svislé až 30%. Ideálním sklonem je udáváno rozmezí mezi 30° až 35°. Určení ideálního sklonu panelů závisí na typu systému a na tom, jak je systém využíván. U ostrovních systémů s celoročním provozem je výhodnější větší sklon panelů (např. 49°), protože Slunce je v zimních, u ostrovních solárních systémů problémových měsících nízko. U solárních systémů s dodávkou elektrické energie do sítě je naopak optimálnější mít panely natočené s menším sklonem (např. 32°). Je to dáno tím, že během letních měsíců je nejvíce slunečních dnů, na Zemi dopadá 75 % ročního úhrnu globálního záření a Slunce je vysoko. [25]



| sledování pohybu slunce | 90° - svisle | 68° | 30° | 0° - vodorovně |

Obrázek 6 Výťažnost v závislosti na náklonu fotovoltaických panelů

2.5.2 Natáčení panelů za sluncem

Montáží fotovoltaických panelů na pohyblivý stojan lze výrazně zvýšit denní produkci vyrobené elektrické energie. U menších systémů se využívá automatického natáčení kolem jedné osy, což umožňuje sledovat denní pohyb slunce po obloze. Změna výšky slunce nad obzorem se během roku několikrát ručně přenastaví. U systémů větších zařízení umožňuje automatické natáčení kolem dvou os, natáčení bývá řízeno počítačem, který má v paměti uloženou pozici slunce v každém okamžiku. [1]

2.5.3 Koncentrátory

Jedná se o zařízení, které je schopné „sebrat“ sluneční záření z velké plochy a koncentrovat je na menší plochu solárního článku (panelu), čímž výrazně zvyšuje jeho výkon. Solární články při vyšším světelném toku zpravidla poskytují vyšší účinnost. Lze zde využít dražších a účinnějších typů článků, které se dosud využívaly převážně pro vesmírné účely. [1]

Dělení koncentrátorů dle optických prvků ke koncentraci:

- koncentrátory zrcadlové (s rovinným nebo parabolickým zrcadlem),
- koncentrátory čočkové (běžné spojné čočky, Fresnelovy čočky),
- koncentrátory založené na jiných způsobech (např. fluorescenční, dielektrické). [1]

2.5.4 Průhledné kontakty

Sběrné kontakty neboli mřížka na fotovoltaickém článku nám zastihuje určitou část dopadajícího záření. Jedním ze způsobu řešení je použití průhledné elektricky vodivé vrstvy, zpravidla se využívá oxidu cínu. [1]

3 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY

3.1 Dělení fotovoltaických systémů z hlediska provozu

3.1.1 Drobné aplikace

Nejmenší, ale nezanedbatelný podíl patří na fotovoltaickém trhu jeho drobným aplikacím. Patří sem převážně kalkulačky, ale také v posledních letech stále populárnější nabíjecí zařízení pro mobilní telefony, notebooky, fotoaparáty, MP3 přehrávače aj. Také se s nimi můžeme setkat u parkovacích automatů, semaforů, informačních tabulí apod. [11]



Obrázek 7 Solární nabíječka pro mobilní telefony [20]



Obrázek 8 Fotovoltaický panel napájecí dopravní značku [21]

3.1.2 Autonomní systémy (grind - off)

Jedná se o systémy nezávislé na rozvodné síti (často označované jako ostrovní systémy). Tyto systémy bývají instalovány tam, kde není k dispozici rozvodná síť nebo není účelné zde budovat elektrickou přípojku. Využijeme je zejména tam, kde jsou náklady na

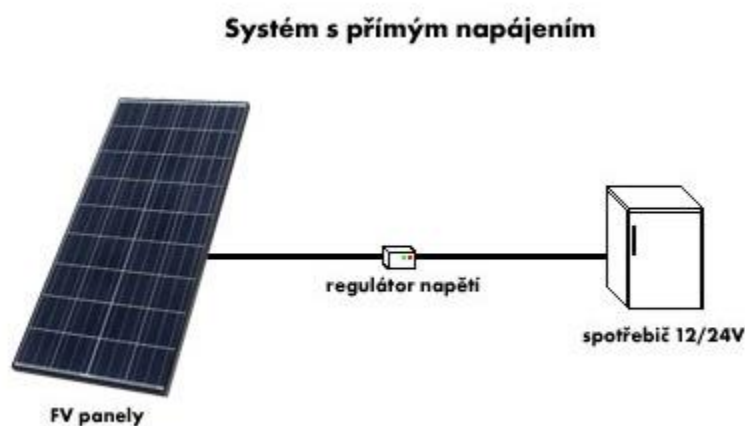
vybudování přípojky k rozvodné síti srovnatelné nebo vyšší s náklady na fotovoltaický systém. To se odvíjí především od vzdálenosti rozvodné sítě, která bývá v těchto případech udávána větší než 500 – 1000 m. [14]

Autonomní systémy mohou být jak malé jednoúčelové (např. napájení parkovacího automatu) nebo univerzální (např. napájení celého domu). Výkony autonomních systémů se pohybují v rozsahu 1 W – 10 kW špičkového výkonu. [14]

Dále tyto systémy dělíme do tří základních skupin:

Systémy s přímým napájením

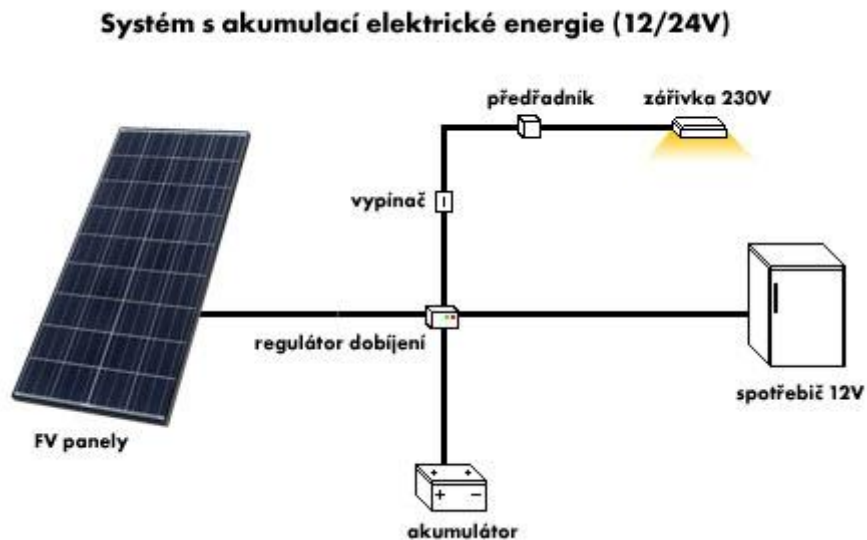
Spotřebič je v tomto případě funkční jen po dobu dostatečné intenzity slunečního záření. Systém je založen na prostém propojení solárního modulu a spotřebiče přes regulátor napětí bez přídavných zařízení. Příklady použití: čerpání vody pro závlahu, nabíjení akumulátorů malých přístrojů, napájení ventilátorů k odvětrání uzavřených prostor. [14]



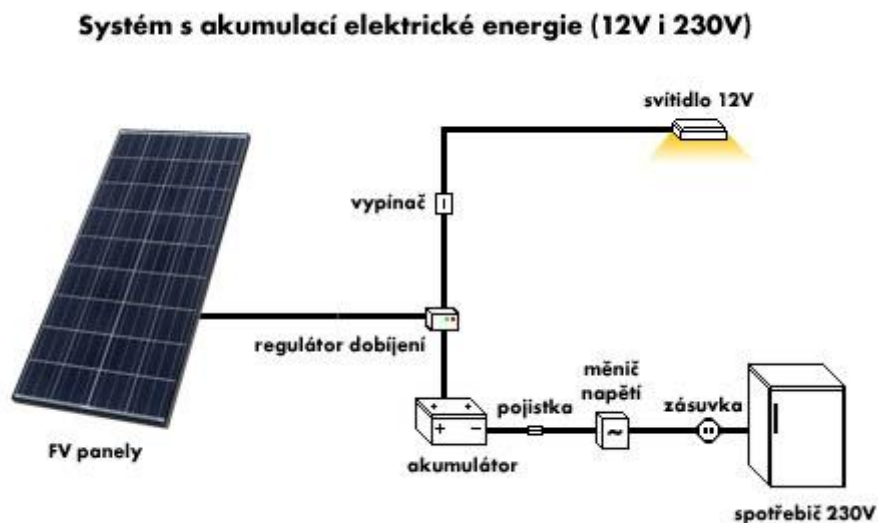
Obrázek 9 Ostrovní systém s přímým napájením [15]

Systémy s akumulací elektrické energie

Tento druh systémů je typický představitel systémů nezávislých na rozvodné síti. Používají se tam, kde je zapotřebí elektrické energie i mimo dobu slunečního záření. Proto je tento systém vybaven akumulátory. Díky regulátoru dobíjení je zajištěno optimální nabíjení a vybití akumulátorů, což je pro životnost akumulátorů velmi důležité. K tomuto systému lze připojit spotřebiče napájené stejnosměrným proudem, kde napětí bývá zpravidla 12 nebo 24 V. Za použití střídače (měniče SS napětí na střídavé) lze připojit i běžné síťové spotřebiče 230 V/~50 Hz. Příklady použití: zdroj elektrické energie pro chaty a rodinné domy, napájení dopravní signalizace, světelné reklamy nebo při campingu a jachtingu. [14]



Obrázek 10 Ostrovní systém s akumulací elektrické energie (12/24 V)
[15]

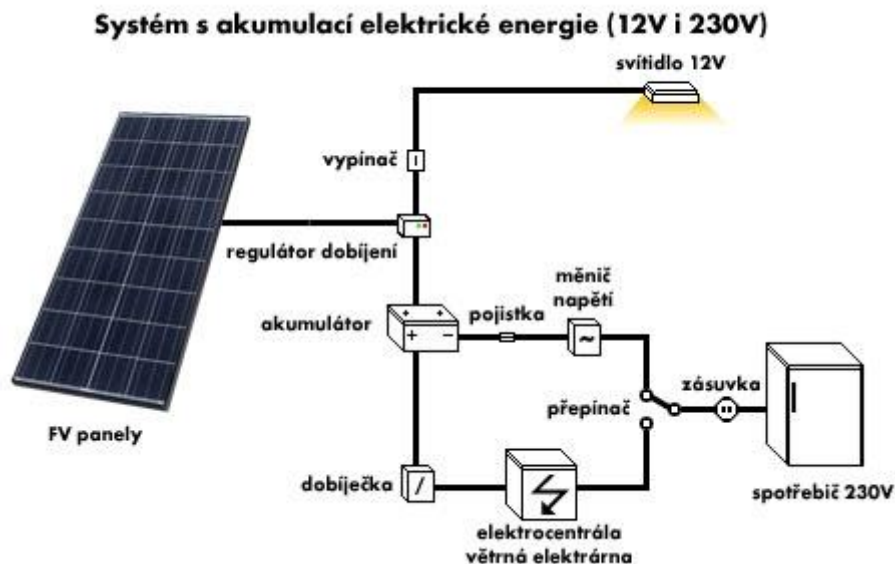


Obrázek 11 Ostrovní systém s akumulací elektrické energie
s měničem napětí (12 V i 230 V) [15]

Hybridní ostrovní systémy

Tyto systémy nacházejí využití tam, kde je nutný přístup k elektrické energii celoročně a bývá zde používáno zařízení s vysokým příkonem. Protože v zimním období získáme z fotovoltaického zdroje podstatně méně elektrické energie než v období letním, je nutné tyto systémy navrhnout na zimní provoz. Následkem je zvýšení instalovaného výkonu

fotovoltaického systému a podstatné zvýšení pořizovacích nákladů. Výhodnější alternativu představuje rozšíření systému doplňkovým zdrojem elektrické energie, který pokryje potřebu elektrické energie v obdobích s nedostatečným slunečním zářením. Jde např. o větrnou elektrárnu, elektrocentrálu, kogenerační jednotku apod. Příklad použití: Napájení budov s celoročním provozem v lokalitách bez připojení k elektrické síti. [14]

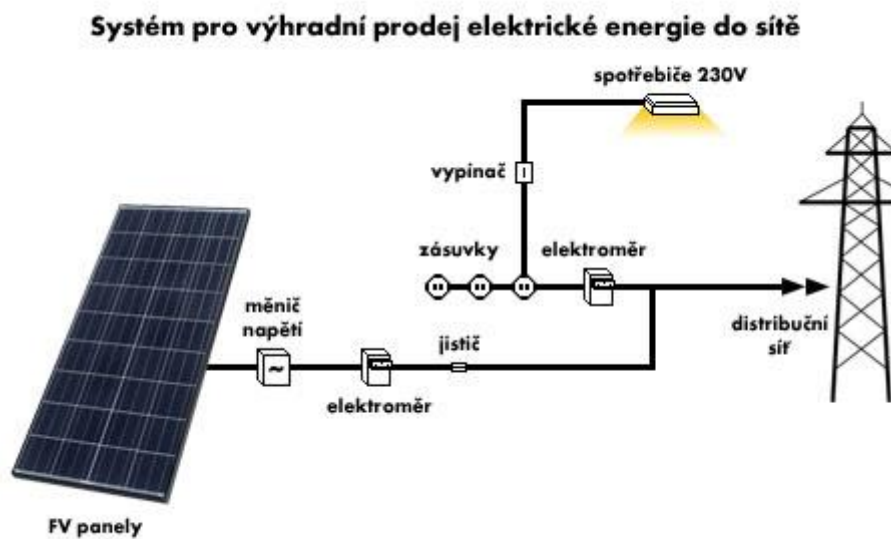


Obrázek 12 Hybridní ostrovní systém s akumulací elektrické energie (12 V i 230 V) [15]

3.1.3 Systémy síťové (grind - on)

Jedná se o fotovoltaické systémy, které se uplatňují v oblastech s hustou elektrorozvodnou sítí. Systém produkuje energii výhradně pro výkup. Skládá se z panelů připojených na napěťový měnič a elektroměr, který zajišťuje odpočet vyrobené energie. Z pohledu distribuční společnosti je celý systém připojen přes jistič a přepětovou ochranu ještě před hlavní elektroměr. Výkupní cena za elektřinu vyrobenou v roce 2013 pomocí slunečního záření je stanovena rozhodnutím Energetického regulačního úřadu a to od 1. 1. do 30. 6. na 3,41 Kč/kWh pro instalace do 5 kW_p a pro instalace v rozmezí 5 kW_p až 30 kW_p je cena stanovena na 2,83 Kč/kWh. Během druhé poloviny roku se ceny sníží o dalších 40 ha. [9]

Motivem pro pořízení tohoto typu fotovoltaické elektrárny jsou úspory, potažmo i zisk. Výkupní ceny i zelené bonusy se však oproti minulým letem razantně snížily a snižují. [9]

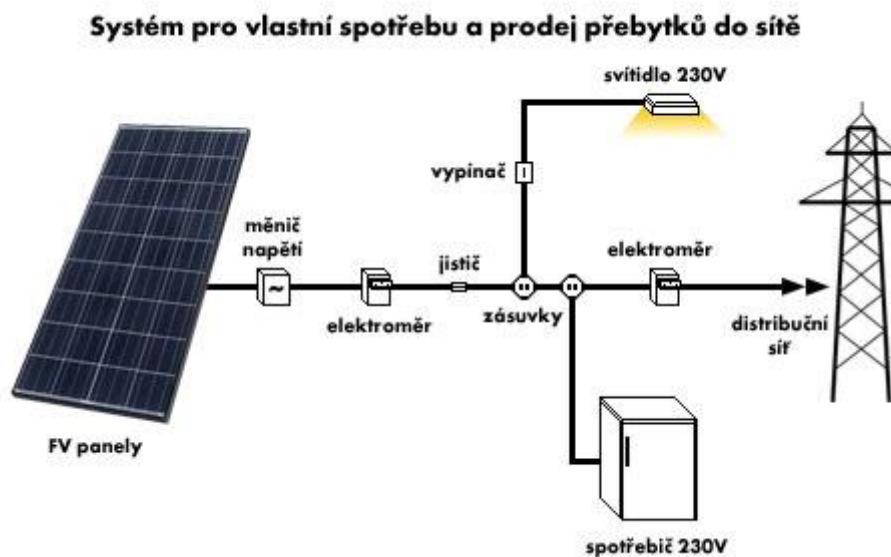


Obrázek 13 Síťový systém pro výhradní prodej elektrické energie do sítě [9]

3.1.4 Hybridní systémy

Jde o druh systému, u kterého lze využívat svoji vyrobenou energii a v případě přebytků energii dodávat do sítě. Systém obsahuje fotovoltaické panely připojené na napěťový měnič a elektroměr pro odpočet vyrobené energie. Tento okruh je připojen na samostatný jistič a přepětovou ochranu do rozvaděče v daném objektu. Solární systém je připojen za hlavní elektroměr z pohledu distribuční společnosti. [9]

Za každou vyrobenou kW/h výrobce získá tzv. zelený bonus. V roce 2013 od 1. 1. do 30. 6. činí tento bonus u elektráren do 5 kW_p 2,86 Kč/kWh. U elektráren v rozmezí 5 kW_p a 30 kW_p bonus činí 2,28 Kč/kWh. Tuto energii můžete buď sami celou spotřebovat, nebo nespotebované přebytky volně prodat distributorovi elektrické energie (PRE, EON, ČEZ), kdy nad rámec zeleného bonusu obdržíte smlouvenou tržní cenu cca 0,65 Kč/kWh. Tato částka je přičtena k zelenému bonusu. Hranice, kolik energie musíte sami spotřebovat a kolik ji můžete prodat distributorovi, přitom není stanovena. [10]



Obrázek 14 Hybridní systém pro vlastní spotřebu a prodej přebytků do sítě [9]

3.2 Komponenty fotovoltaických systémů

3.2.1 Fotovoltaické panely

Za účelem získání vyššího napětí, snazší manipulace a ochrany před okolními vlivy prostředí se několik solárních článků spojuje dohromady. Tento celek nazýváme fotovoltaickými panely (moduly). [2]

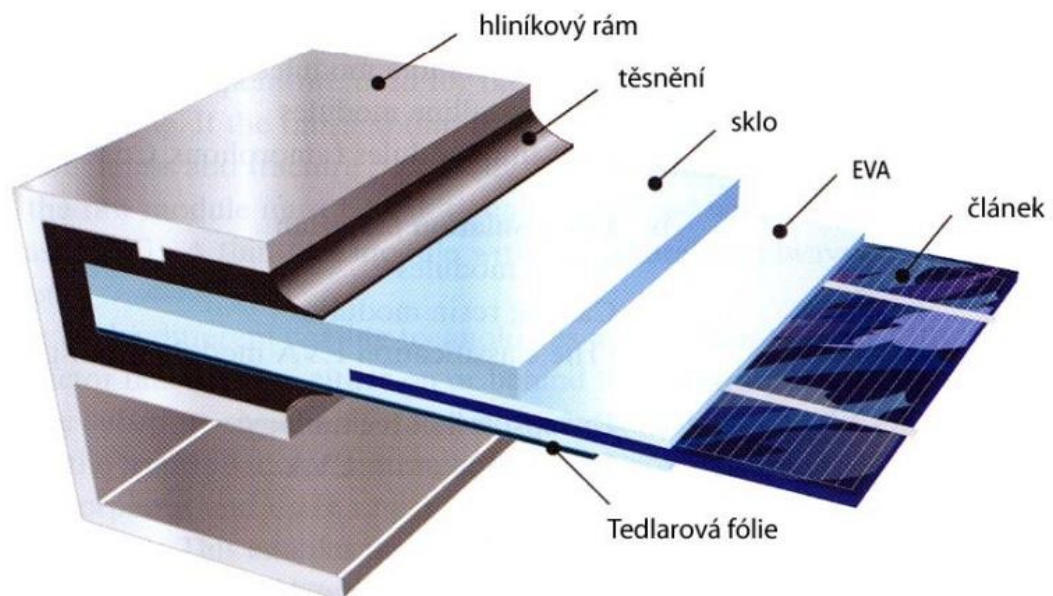
V těchto panelech se zapojuje větší počet solárních článků převážně do série. Toto zapojení se praktikuje hlavně proto, aby se sečtením napětí jednotlivých článků (v pracovním bodě cca 0,5 V) vytvořilo dobře použitelné výstupní napětí panelu. Např. 36 článků zapojených do série: $36 \cdot 0,5 \text{ V} = 18 \text{ V}$. [2]

V tomto případě (všechny články zapojené do série) všemi články teče stejný proud. V případě, kdy nejsou články stejnoměrně osvětleny, vyrábějí různě velké proudy. Protože v sériovém obvodu musí téct stejný proud, vyrábí celý modul jen takový proud, jaký vyrábí nejmenší osvětlený solární článek. K nulovému výkonu panelu tedy stačí zastínit pouze jeden článek. [2]

Konstrukce fotovoltaických panelů

Mechanická konstrukce panelů má velký význam. Jde především o dosažení vysoké životnosti panelů, tedy o snahu křehké články ochránit před ničivými vlivy okolního prostředí. [2]

Jádro panelu je tvořeno vakuovou laminací, kdy jsou pospojované články (36 až 96 kusů) zapouzdřeny do etylenvinylacetátové (EVA) fólie. Tento laminát je chráněn z přední strany vysoce průhledným speciálně tvrzeným sklem a ze strany zadní tedlarovou fólií. Pro lepší manipulaci a zvýšení tuhosti se nakonec laminát zasazuje do hliníkového rámu. Svorkovnice s vyvedenými kontakty je umístěna na zadní straně panelu. [2]



Obrázek 15 Skladba panelu s krystalickými křemíkovými články (EVA - Etylen-Vinyl-Acetát) [3]

Životnost nejčastěji používaných druhů panelů, tedy panelů na bázi krystalického křemíku, je minimálně 25 let a většinou je ještě vyšší. Účinnost těchto panelů se pohybuje kolem 12 až 18 % a jmenovitý výkon mezi 100 až 300 i více W_p . [3]

3.2.2 Solární pole (generátor)

K dosažení většího výkonu, než je výkon jednoho panelu, propojujeme více panelů mezi sebou. Tento obvod tvoří solární generátor. Je třeba dbát na to, aby byly všechny panely

spojené mezi sebou stejného typu a byly od stejného výrobce. Zanedbání tohoto pravidla by mohlo vést v důsledku rozdílných napětí řetězců nebo nestejných proudů panelů v jenom řetězci ke značným ztrátám výkonu. [2]

Zapojení

Zapojení panelů je možné jak sériově, tak paralelně. U menších ostrovních zařízení, kde je systémové napětí dáno běžným akumulátorovým napětím 12 V se zpravidla všechny panely zapojují paralelně. Což znamená, že napětí zůstává v obvodu všude stejné a násobí se proud. Je-li zapotřebí vyššího napětí, než je napětí panelu, je potřeba zapojit několik panelů do série. Jde hlavně o systémy spojené s rozvodnou sítí, kde se z důvodu omezení elektrického proudu pracuje až s napětím několik set voltů. Při takovémto zapojení se napětí řetězce (často nazývaného jako „string“) rovná součtu napětí všech jednotlivých panelů a proud řetězce se rovná proudu jednoho panelu. Existuje také možnost paralelního zapojení pokud možno stejných řetězců. [2]

3.2.3 Akumulátor

Jde o zásobník energie, který se využívá u autonomních systémů. Je to elektrochemické zařízení, které lze oproti bateriím opakovaně nabíjet. V akumulátorech se ukládá elektrický proud prostřednictvím vratných chemických pochodů. Známe různé druhy konstrukce akumulátorů, které se liší hlavně prvky, které se zúčastňují na procesu ukládání. Jako osvědčený, velmi používaný druh akumulátorů u ostrovních systémů jsou olověné akumulátory. Dále existují akumulátory nikel-kadmiové, nikel-metalhydridové, lithium-iontové atd. [2]

Důležité pojmy okolo akumulátoru:

Kapacita

Kapacita akumulátoru je veličina udávající množství elektrického proudu, které lze odebrat z akumulátoru do jeho úplného vybití. Její jednotkou je Ah (ampérhodina). Takže při uvedení na akumulátoru kapacity 100 Ah lze po dobu 100 h odebírat proud 1 A, dokud se zcela nevybije. Užitečná kapacita však není konstantou, avšak silně záleží na velikosti vybíjecího proudu. Při odběru vyšších proudů (kratší doba vybíjení) je kapacita značně menší než při dlouhodobém odběru proudů malých. Velikost kapacity je tedy silně závislá na velikosti odebíraného proudu. U solárních akumulátorů se kapacita obvykle uvádí pro vybíjecí dobu 100 h a označuje se C_{100} . Vybíjecí proud však není jediným prvkem

ovlivňujícím skutečnou kapacitu akumulátoru. Velkou roli zde hraje i okolní teplota. Čím je akumulátor chladnější, tím méně proudu je možno odebrat v důsledku pomaleji probíhajících chemických reakcí. [2]

Stav nabití

Jde o právě dostupnou část kapacity akumulátoru. Stav nabití akumulátoru se dá měřit několika způsoby. Například měřením napětí akumulátoru naprázdno. U tohoto způsobu měření by měl být akumulátor nejméně 4 h v klidu (nevydávat, nepřijímat proud). Při měření napětí 12 voltového akumulátoru krátce po nabití zjistíme, že hodnota může činit i přes 14 V. Naopak krátce po intenzivním vybíjení jen 11 V. Tato metoda měření není nákladná, ale je velmi nepřesná. Využívá se zpravidla jen u aplikací se solárním výkonem do 100 W_p. [2]

Druhým způsobem zjištění stavu nabití je měření hustoty kyseliny v akumulátorech. Tato metoda je samozřejmě možná jen u takových akumulátorů, u kterých je kyselina přístupná. V nabitém stavu je hustota kyseliny kolem 1,28 g/cm³. Při vybitém asi 1,14 g/cm³. [2]

Existuje také možnost mít v obvodu připojen indikátor stavu napětí (čítač ampérhodin). Tento čítač načítá a odečítá proudy tekoucí z a do akumulátoru a indikuje momentální stav nabití. Tuto funkci má i většina regulátorů nabíjení. [2]

Tabulka 1 Vliv stavu nabití na výstupní napětí a hustotu kyseliny v akumulátoru

Napětí akumulátoru	Stav nabití	Hustota kyseliny	Stav nabití
11,98 V	0%	1,14 g/cm ³	0%
12,13 V	20%	1,17 g/cm ³	20%
12,28 V	40%	1,20 g/cm ³	40%
12,42 V	60%	1,22 g/cm ³	60%
12,57 V	80%	1,25 g/cm ³	80%
12,72 V	100%	1,28 g/cm ³	100%

Nabíjecí a vybíjecí cykly

Životnost akumulátoru je také dána počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů, které akumulátor snese. Udává tedy maximální počet nabití a vybití. Rozlišujeme dva druhy cyklů. Úplné cykly a částečné cykly. U cyklů úplných se akumulátor vybije až ke koncovému vybíjecímu napětí. Při odebrání jen části kapacity akumulátoru, cyklus nazýváme

částečným. Počet cyklů částečných je značně vyšší než počet úplných cyklů. V praktickém provozu se akumulátory většiny solárních systémů vybíjejí jen částečně. [2]

Energetická účinnost

Energetická účinnost je poměrem energie, kterou může akumulátor vydat k energii přivedené do akumulátoru. Vzhledem ke ztrátám akumulované energie je účinnost menší než 1. Většinou se účinnost pohybuje kolem 70 % až 85 %. [2]

Samovybíjení

Každý akumulátor se časem samovolně vybije. Děje se to kvůli vedlejším reakcím u elektrod. Samovybíjení probíhá při pokojové teplotě poměrně pomalu. Jde o 2 % až 10 % jmenovité kapacity za jeden měsíc. Tyto hodnoty závisí na hlavně na konstrukčním typu používaného akumulátoru. Např. u některých typů akumulátorů s tekutým elektrolytem je samovybíjení až 5x rychlejší než u gelových akumulátorů s pancéřovými deskami. [2]

Typy akumulátorů:

Startovací baterie

Tento typ akumulátoru s mřížkovými je využíván hlavně v automobilech. Proto byl při vývoji kladen důraz na malou hmotnost a potřebu místa a také nízkou cenu. Dále musí být akumulátor schopen dodávat krátkodobě vysoké proudy (pro startér automobilu). Po tomto částečném vybití následuje v praktickém provozu opětovné dobíjení z dynamu. Vzhledem k vysokému samovybíjení (až 20 % za měsíc) a schopností snést malý počet cyklů nabíjení jsou pro ukládání solární energie méně vhodné. [2]

Solární akumulátory

Jedná se o obměněné startovací baterie. Mají zesílené mřížkové desky a větší životnost (snesou 2x až 3x větší počet cyklů). I samovybíjení je mnohem menší (2 % až 10 %). Tyto akumulátory nejsou nákladné, bývají používány u zařízení s nízkou spotřebou energie (víkendové chaty, obytné automobily, čluny atd.). [2]

Stacionární akumulátory

Jsou akumulátory s pancéřovými deskami, které bývají pevně umístěné. Jsou velmi robustní. Mají až 5x vyšší cyklickou životnost než akumulátory solární. Jejich životnost dosahuje až 20 let, za předpokladu správných denních nabíjecích a vybíjecích cyklech

s hloubkou vybití od 30 do 40 %. Tento druh akumulátorů se využívá pro ukládání velkého množství elektrického proudu. Cenově jsou 2x až 3x dražší než akumulátory solární. Vzhledem ale k jejich až pětinasobné životnosti jsou stále tyto akumulátory hospodárnější než solární. [2]

Bezúdržbové akumulátory, gelové akumulátory

U bezúdržbových akumulátorů se používá speciálních přísad (vápník, stříbro) do materiálu pro elektrody, u kterých při nabíjení pod koncovým nabíjecím napětím nedochází k uvolňování plynů. Mají zcela uzavřenou konstrukci. [2]

Gelové akumulátory mají místo kapalného elektrolytu elektrolyt pevný (gelový) a spadají pod bezúdržbové akumulátory. Jejich největší slabinou je velká citlivost na přebíjení a to kvůli svému nízkému koncovému nabíjecímu napětí. Tuto hodnotu napětí je tím pádem třeba nastavit na regulátoru napětí obezřetně. [2]

3.2.4 Regulátor nabíjení

Tato část autonomního systému tvoří spojovací článek mezi soustavou spojených panelů, tedy solárním generátorem, akumulátorem a spotřebičem. Stará se o správný chod nabíjení a vybíjení akumulátoru. Jeho hlavní úkoly tedy jsou:

- Zajistit optimální nabíjení akumulátoru. Jde zde o zajištění nejvyšší životnosti akumulátoru. Regulátor musí při dosažení úplného nabití odpojit solární generátor.
- Zabránit vybíjení akumulátoru přes solární generátor. Bez použití regulátoru nebo manuálního odpojení generátoru od akumulátoru by se akumulátory přes noc vybíjely v důsledku toho, že se solární generátor bez slunečního záření chová jako spotřebič. Je to v důsledku jeho vnitřního odporu.
- Chránit akumulátor před hlubokým vybitím. Jakmile dojde ke snížení napětí akumulátoru pod hodnotu koncového vybíjecího napětí (příznak úplného vybití), regulátor odpojí spotřebiče. Bez odpojení by mohlo dojít k hlubokému vybití, tedy poškození akumulátoru. [2]

Volby regulátoru:

Důležité je přizpůsobení systému, např. nastavení na regulátoru správné napětí akumulátoru 12 nebo 24 V (není-li regulátor stanoven již ve výrobě pro určité systémové napětí) a nastavení na konkrétní typ používaného akumulátoru. Nastavení správného systémového napětí zvládají některé typy regulátorů automaticky. Dále regulátory

disponují některými ochrannými funkcemi, jako jsou: hlídání velikosti proudu do spotřebiče, napětí akumulátoru a teploty nabíjecího regulátoru nebo i ochrana před přepólováním. Nejdůležitější funkcí v oblasti řízení provozu je varování předtím, než zareaguje ochrana před hlubokým vybitím, když je v akumulátoru ještě malé množství energie. Uživatel tím pádem může včas snížit spotřebu energie a zabránit tak včas odpojení celé zátěže. Ke zjištění tohoto stavu se používá indikace nabití pomocí světelných diod nebo LCD displeje na regulátorech. V mnoha případech je zapotřebí indikace napětí akumulátoru nebo stavu napětí dálkově. Bývá instalovaná na místě nejčastějšího pobytu majitele. U velkých systémů se pro nepřetržitou kontrolu připojuje regulátor k počítači. [2]

3.2.5 Střídač

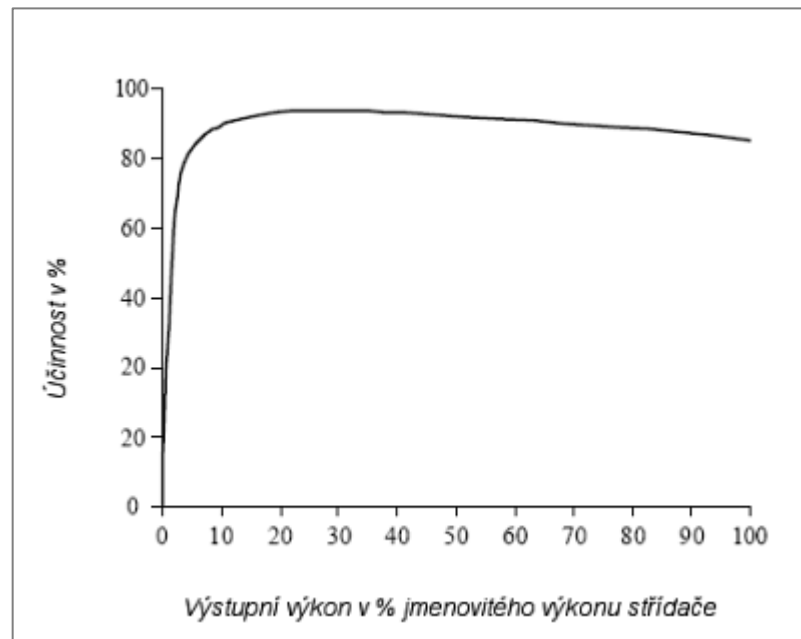
Neboli měnič stejnosměrného napětí na střídavé. Stejnosměrné napětí (napětí z akumulátoru) nelze využít pro běžné domácí spotřebiče (230 V, 50 Hz). Proto využíváme střídač, který elektronicky pomocí výkonových tranzistorů stejnosměrný proud „rozseká“ na střídavý. Tento proud se až 20 000x za sekundu zapíná a vypíná a potom je ho možno pomocí transformátoru přetransformovat na vyšší výstupní napětí. Střídače dělíme na izolované střídače a střídače paralelně se sítí. Izolované střídače jsou používány pro autonomní systémy bez připojení na veřejnou rozvodnou síť a pracují bez vnějšího nastavování veličin (frekvence, napětí). Střídače paralelní se sítí jsou navrženy speciálně pro systémy spojené se sítí (systémy síťové, hybridní systémy). U těchto střídačů se solární proud mění přímo, tj. bez ukládání, na proud střídavý. Nastavují se na frekvenci a napětí sítě a posílají do sítě vyrobený solární elektrický proud synchronně se sítí. [2]

Důležité pojmy

Střídače pro autonomní systémy se vyrábí s výkonem mezi 100 W a 6 kW a pro jmenovitá vstupní napětí 12 V, 24 V, 48 V. Musíme dbát na to, aby vstupní jmenovité napětí střídače souhlasilo se jmenovitým napětím použitého akumulátoru. Střídače používané pro síťové systémy se vyrábí v rozmezí výkonu od 100 W do 12 kW (velké třífázové i 30 kW a více). Maximální účinnost dobrých střídačů se dnes pohybuje kolem 95% v širokém rozsahu (např. mezi 30 % a 100 % jmenovitého výkonu). Střídač má většinu času k dispozici jen malou část maximálního vstupního výkonu, proto má i při malém vytížení dobrá účinnost svůj význam. Zjišťování účinnosti při různém vytížení udává tzv. evropská účinnost. Zjišťuje účinnosti při 5 %, 10 %, 20 %, 30 %, 50 % a 100% jmenovitého výkonu a vypočte se vážený průměr, který odpovídá poměrům ozáření ve střední Evropě. Evropská účinnost

tedy udává střední účinnost, které dosahuje střídač v solárních zařízeních ve střeoevropských klimatických podmínkách v ročním průměru. [2]

$$\eta_{euro} = 0,03 \cdot \eta_{5\%PN} + 0,06 \cdot \eta_{10\%PN} + 0,13 \cdot \eta_{20\%PN} + 0,1 \cdot \eta_{30\%PN} + 0,48 \cdot \eta_{50\%PN} + 0,2 \cdot \eta_{100\%PN} \quad (1)$$



Obrázek 16 Závislost účinnosti střídače na velikosti jmenovitého výkonu [22]

Další důležitou věcí je odolnost střídače proti zkratu a přetížení. Při zkratu se střídač automaticky vypne a zabrání tak poškození sebe samotného i poškození jiných součástí solárního elektrického zařízení. Při vzniku přetížení střídač odpojí spotřebič, čímž se zabrání poškození zařízení. [2]

Druhy střídačů dle výstupní charakteristiky:

Obdélníkový

Jednoduché obdélníkové střídače se v dnešní době již téměř nepoužívají a to kvůli svému výstupnímu napětí, které obsahuje mnoho vyšších harmonických a je náchylné k rušení. [2]

Lichoběžníkový

Lichoběžníkový střídač se přibližuje svojí charakteristikou k sinusovému, jelikož jeho obdélníkové napětí je odstupňované. Nicméně také obsahuje vyšší harmonické výstupní napětí, čímž může v důsledku strmých hran rušit provoz některých přístrojů, zejména indukčních spotřebičů (např. elektromotorů). Může u nich docházet ke značným ztrátám, což vede k zahřátí, v krajním případě až ke zničení spotřebiče. I přes tyto nedostatky jsou velmi používaným typem střídačů u ostrovních systémů. Jsou cenově dostupné a dosahují dobrých účinností. Pro síťový provoz nejsou díky přítomnosti vyšších harmonických vhodné. [2]

Sinusový

Sinusové střídače vyrábějí sinusové výstupní napětí bez téměř žádných vyšších harmonických. Tím pádem všechny elektrické přístroje fungují bez problémů. U ostrovních systémů se využívá tento typ střídače na spotřebiče citlivé na rušení. Jde například o audio zařízení, výpočetní techniku či motory. Hlavní využití je však u systémů spojených se sítí. [2]

Druhy střídačů dle použitého druhu systému:

Střídače pro autonomní solární systémy

Jak už je uvedeno v prvním odstavci o střídačích, je střídač nutný u ostrovních systémů tam, kde je potřeba napájet obvyklé spotřebiče na střídavý proud. Je zde potřeba zvolit střídač s dostatečně velkým výstupním výkonem. Střídač totiž musí být schopen dodávat maximální trvalý výkon všech současně spuštěných spotřebičů a to po dobu časově neomezenou. Jeho jmenovitý výkon musí být roven nejméně hodnotě součtu příkonů všech současně připojovaných spotřebičů na 230 V. Často udávaný špičkový výkon může být i 3x vyšší než výkon jmenovitý. Špičkový výkon je potřebný k zapínání indukčních spotřebičů tedy spotřebičů s elektromotorem (např. lednice, vysavač) a je k dispozici jen po několik sekund. Tyto spotřebiče při rozběhu odebírají zlomek sekundy až několiknásobek uváděného příkonu. Některé střídače určené pro ostrovní využití disponují funkcemi regulátoru napětí, čímž jdou ušetřit výdaje na regulátor napětí. [2]

Střídače pro solární systémy spojené se sítí

Tyto střídače paralelně připojené k rozvodné síti jsou schopny převádět solární napětí na střídavé, které je slučitelné s rozvodnou sítí (230 V, 50 Hz). Solární proud je přeměněn a jde přímo do sítě, bez jakéhokoli jeho ukládání. Střídače tohoto typu musí neustále sledovat napětí v síti a to tak, že při výpadku nebo odpojení sítě z bezpečnostních důvodů napájení ihned ukončí. Je to hlavně kvůli umožnění bezpečné práci energetiků na síti (např. při opravářských pracích). [2]

Dělení střídačů dle konstrukčního řešení:

Modulový střídač – každý panel je vybaven svým modulovým střídačem napětí. Instalují se přímo na modul. Výstupy všech střídačů jsou propojeny paralelně. [2]

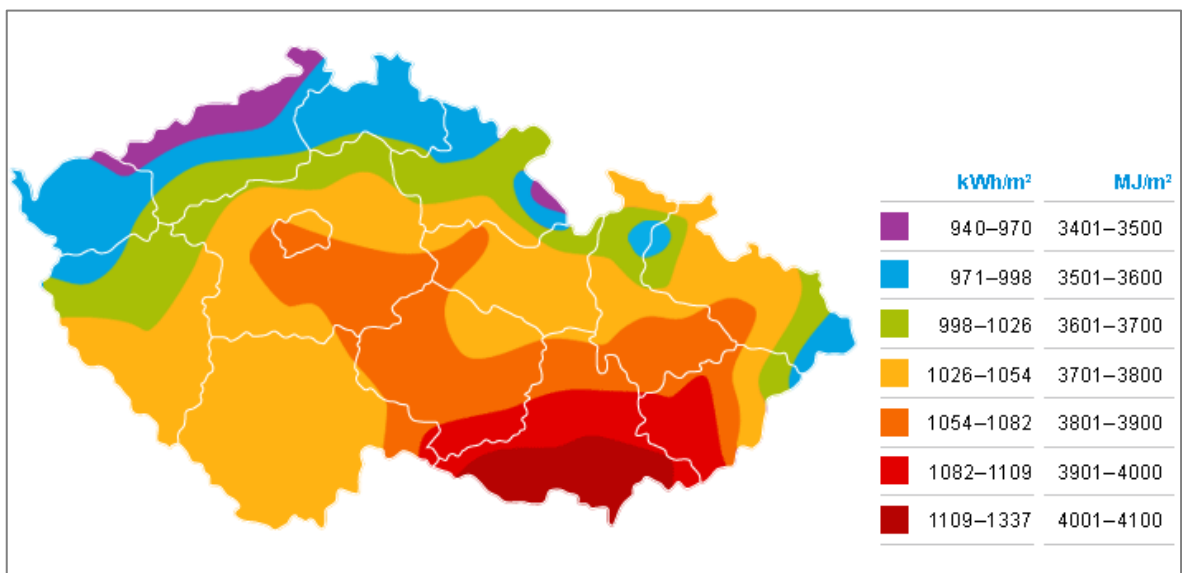
Centrální střídač generátoru – celý výkon solárního generátoru je zde přeměněn na střídavý proud. Solární generátor je v tomto případě složen z několika paralelně zapojených řetězců, kde je řetězec složen z několika do série zapojených panelů. [2]

Řetězcový střídač – každý řetězec je připojen na svůj střídač. Na svém střídavém výstupu jsou zapojeny paralelně. [2]

4 FOTOVOLTAIKA V ČR

4.1 Přírodní podmínky v ČR

Mezi hlavní faktory ovlivňující provoz fotovoltaických zařízení v České republice patří zeměpisná šířka, roční doba, oblačnost a lokální podmínky, sklon plochy, na kterou sluneční záření dopadá a další. Na 1 m² vodorovné plochy dopadne 950–1340 kWh energie. Podle Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) se roční množství slunečních hodin pohybuje v rozmezí 1331–1844 hod. V odborné literatuře je uváděno rozmezí 1600–2100 hod. Z pohledu praktického využití pak platí, že z jedné instalované kilowaty běžného systému (fotovoltaické články z monokrystalického, popř. polykrystalického křemíku, běžná účinnost střídačů apod.) lze za rok získat v průměru 800–1100 kWh elektrické energie. [16]



Obrázek 17 Množství slunečního záření dopadajícího na vodorovnou plochu v kWh/m² za rok (ČR) [17]

4.2 Legislativa (on grid systémů)

V České republice je na základě zákona č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů možné budovat fotovoltaické elektrárny. Podle tohoto zákona, distribuční společnosti působící na českém trhu (ČEZ, E-ON a PRE) jsou povinny vykoupit vyrobenou elektrickou energii za předem stanovenou a garantovanou cenu, s garantovaným nárůstem ceny (u přímého výkupu) 2-4 % ročně po dobu 20 let. [23]

Provozování fotovoltaické elektrárny je podnikání podle zvláštního předpisu (Energetického zákona, č. 458/2000Sb.). Na tuto činnost je potřeba mít licenci Energetického regulačního úřadu, která je obdobou živnostenského listu, tedy opravňuje k podnikání v daném oboru. Tento úřad případně přiděluje IČO osobě, která ještě nebyla podnikatelem. Další nutností jsou obchodní smlouvy s firmou provozující distribuční soustavu (ČEZ, E.ON, PRE), na základě kterých pak majitel sluneční elektrárny fakturuje distribuční společnosti vyrobenou energii. Od ledna 2013 smlouvy o výkupu s distribučními firmami zanikly a výplata přešla na organizátora trhu s energiemi - společnost OTE a.s. [23]

Výše uvedený zákon č. 180/2005 Sb. byl novelizován zákony č. 137/2010 Sb., č. 281/2009 Sb., č. 330/2010 Sb. a č. 402/2010Sb. [23]

Zásadní změny jsou:

„Elektrárny zprovozněné po 1. 3. 2011 mají nárok na zelený bonus/přímý výkup pouze v případě instalací na střeších nebo fasádách jedné budovy spojené se zemí pevným základem, která je evidována v katastru nemovitostí, přičemž instalovaný výkon výroby nesmí přesáhnout 30 kWp.“ [23]

„Od odvodu solární daně 26% resp. 28% (přímý výkup a zelený bonus) týkající se FVE uvedených do provozu od 1. 1. 2009 do 31. 12. 2010 jsou osvobozeny výroby s instalovaným výkonem do 30 kW, které jsou umístěny na střešní konstrukci nebo obvodové zdi jedné budovy spojené se zemí pevným základem evidované v katastru nemovitostí.“ [23]

ř./sl.	Druh podporovaného zdroje (výrobný)	Datum uvedení výrobný do provozu		Instalovaný výkon výrobný [kW]		Jednotarifní pásmo provozování	
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		b	c	d	e	j	k
500	Výroba elektřiny využitím slunečního záření	-	31.12.2005	-	-	7 273	6 343
501		1.1.2006	31.12.2007	-	-	15 260	14 330
502		1.1.2008	31.12.2008	-	-	14 882	13 952
503		1.1.2009	31.12.2009	0	30	13 964	13 414
504		1.1.2009	31.12.2009	30	-	13 862	12 932
505		1.1.2010	31.12.2010	0	30	13 005	12 455
506		1.1.2010	31.12.2010	30	-	12 903	11 973
507		1.1.2011	31.12.2011	0	30	7 803	7 253
508		1.1.2011	31.12.2011	30	100	6 141	5 211
509		1.1.2011	31.12.2011	100	-	5 723	4 793
510		1.1.2012	31.12.2012	0	30	6 284	5 734
511		1.1.2013	30.6.2013	0	5	3 410	2 860
512		1.1.2013	30.6.2013	5	30	2 830	2 280
513		1.7.2013	31.12.2013	0	5	2 990	2 440
514		1.7.2013	31.12.2013	5	30	2 430	1 880

Obrázek 18 Vývoj výkupní ceny a zeleného bonusu (ERÚ) [10]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 SOUČASNÝ STAV NA TRHU SOLÁRNÍCH PANELŮ

Ceny fotovoltaických komponentů, především fotovoltaických panelů značně klesají. Celosvětově největší nezávislý online trh solárních panelů a měničů společnost Sologico (dříve pvXchange) od roku 2009 zveřejňuje aktuální cenový index globálního vývoje velkoobchodních cen solárních modulů. Již 10 let se cena všech komerčně dostupných typů fotovoltaických panelů stále snižovala. Např. mezi roky 2008 a 2009 cena spadla přibližně o čtvrtinu. Během roku 2012 došlo také k velmi výraznému poklesu cen a to v rozsahu mezi 25 % až 34 %. Nejvíce klesla cena krystalických panelů z Číny. [28]

Na začátku roku 2013 se však snižování cen zastavilo a naopak je během února a března pozorován menší cenový nárůst a to zejména ve větších výkonových třídách panelů. Prvního března tohoto roku bylo totiž zveřejněno nařízení komise EU, kterým se zavádí celní evidence dovozu krystalických křemíkových fotovoltaických modulů a jejich klíčových komponentů (tj. článků a destiček) pocházejících nebo odesílaných z Číny. Za účelem této registrační procedury je možnost uvalení retroaktivního cla na dovoz levných panelů z Číny do zemí Evropské unie. Aktuálně se mluví o clu ve výši 47 %, které by mělo platit od 6. června. Hlavním důvodem pro zavedení tohoto cla jsou stížnosti evropských výrobců na údajné dumpingové ceny. [28]

Cena fotovoltaických panelů se dnes pohybuje kolem 0,8 € / Wp (z Číny 0,55 € / Wp) u krystalických panelů, u tenkovrstvých panelů je cena přibližně 0,5 € / Wp. [28]

5.1 Výběr správných komponentů

5.1.1 Fotovoltaické panely

Od výběru vhodných fotovoltaických panelů pro ostrovní systémy se odvíjí cena celého systému. Je třeba dbát na správné vlastnosti fotovoltaických panelů. Konkrétní problém, který při výběru nesprávných panelů nastává, je jejich příliš vysoké napětí, které regulátor nestačí zregulovat pro nabíjení akumulátoru. Tím se přebytečné napětí mění na tepelnou energii v regulátoru a nijak se nevyužije.

Tabulka 2 Srovnání parametrů FV panelů dostupných na trhu

Výrobce a typ	S-Energy SM-220PA8	Suntech STP 210 – 18/Ud	Kyocera KD 210 GH-2P	Kyocera KD240G H-2PB	Suntech STP 240S – 20/Wd	REC PE 240	Canadian Solar CS6P	Avancis PowerMax 125Wp
Výkon [Wp]	220	210	210	240	240	240	240	125
Svorkové napětí [V]	29,30	26,40	26,60	29,80	30,20	29,70	29,90	44,00
Optimální provozní proud [A]	7,51	7,95	7,90	8,06	7,95	8,17	8,03	2,84
Účinnost [%]	13,86	14,20	14,10	14,50	14,50	14,50	14,92	11,70
Typ	Poly	Poly	Poly	Poly	Mono	Poly	Poly	CIS
Počet článků (ks)	60	54	54	60	60	60	60	-
Hmotnost (kg)	19,00	16,80	18,50	21,00	19,80	18,00	20,00	19,60
Rozměry (mm)	1620 x 980 x 50	1482 x 992 x 35	1500 x 990 x 36	1662 x 990 x 46	1665 x 991 x 50	1665 x 991 x 38	1638 x 982 x 40	1595 x 672 x 45
Cena (s DPH)	21 779 Kč	16 939 Kč	16 320 Kč	8 785 Kč	7 410 Kč	6 600 Kč	5 900 Kč	4 011 Kč

5.1.2 Akumulátory

Solární akumulátory jsou u ostrovních systémů nezbytnou součástí. Důvodem je potřeba využívat elektrickou energii po celý den, ne jen tehdy, kdy fotovoltaické panely vyrábí elektrickou energii. Při výběru je třeba dbát na správné parametry akumulátorů do systému. Nesprávným výběrem se snižuje jejich životnost. Správný výběr může zaručit svoji funkčnost až 20 let s počtem 3000 cyklů. U parametrů solárních akumulátorů je třeba dbát na vysokou odolnost cyklického nabíjení a vybíjení, regeneraci při hlubokém vybití, nízký stupeň samovybíjení, vysokou hodnotu energetického výkonu, autorizovaný servis výrobce a jejich spolehlivost.

5.1.3 Regulátory nabíjení

Pro správný chod nabíjení a vybíjení akumulátorů, které velmi ovlivňují životnost akumulátorů, slouží regulátory nabíjení. Dále slouží pro ochranu akumulátorů před hlubokým vybitím a přebitím, ochranu před přepólováním, před zkratem a přepětím, před zpětnými proudy a před přehřátím a přetížením.

Při výběru regulátoru se musíme řídit vlastnostmi fotovoltaických panelů a to především hodnot napětí a proudu. Většina regulátorů na trhu zvládá napětí z fotovoltaických panelů do cca 47 V. Pro zvládnutí vyššího napětí je třeba vybrat regulátor s funkcí sledování bodu maximálního výkonu (Maximum Power Point tracking, MPPT), který má tuto hodnotu vyšší. Tyto regulátory mají pokročilou technologii a jsou výkonnější o 30%. Od tohoto faktu se ale také odvíjí jejich vyšší cena.

5.1.4 Střídače

Jsou to měniče stejnosměrného napětí na střídavé, čímž slouží pro možnost používání všech spotřebičů s napětím 230 V. Tvoří tedy soběstačnou síť střídavého napětí splňující veškeré standardy kvality. U výběru ostrovního střídače je třeba myslet na např. budoucí možnost rozšíření systému o větrné elektrárny, diesel generátoru apod. Dražší střídače zvládají funkce regulátoru napětí a ovládací jednotky remote control.

6 POSOUZENÍ VÝHODNOSTI REALIZACE SOLÁRNÍHO SYSTÉMU NA ODLOUČENÝCH MÍSTECH

6.1 Výhody autonomního solárního systému

Mezi výhody ostrovního řešení solárních systémů bych zařadil:

- možnost výběru systémů od desítek W_p po systémy velké několik kW_p , (balkónová řešení, chaty, chalupy až po rodinné domy),
- provoz nezávislý na veřejné síti,
- neustálé zvyšování cen elektrické energie u distributorů,
- zatím bez nutnosti schvalování stavby systému,
- zatím i možnost stavby celého systému svépomocí, bez nutnosti platit za osobu oprávněnou k těmto instalacím (dle přechodného ustanovení novely zákona 406/2000 Sb. o hospodaření energií bude tato nutnost platná od 1. 1. 2014),
- minimální až žádné nebezpečí úrazu způsobeným elektrickým proudem, díky tomu, že se zde nepoužívá vysokých napětí ani extrémních proudů,
- snižování cen komponentů fotovoltaických systémů,
- možnost pozdějšího rozšiřování nebo měnění vlastností celého systému a to i jen poučeným uživatelem,
- rychlý technologický vývoj fotovoltaiky i dalších prvků ke stavbě solárního systému a možnost následné výměny těchto komponentů (akumulátorů, fotovoltaických panelů apod.) za komponenty s vylepšenými vlastnostmi,
- dnes již značný výběr mezi technologiemi fotovoltaických panelů,
- to, že jde o ekologickou výrobu elektrické energie bez hluku, nebezpečného odpadu, ničení životního prostředí atd. a při výrobě, používání ani likvidaci fotovoltaických panelů nevzniká jedovatý nebo jinak nebezpečný odpad,
- poměrně příznivé přírodní podmínky v ČR z hlediska velikosti dopadu sluneční energie (zejména pak v Jihomoravském a Zlínském kraji).

6.2 Nevýhody autonomního solárního systému

Naopak mezi nevýhody ostrovních systémů bych uvedl:

- omezené množství energie v zimním období (nutnost použití elektro centrály nebo naddimenzování celého solárního systému),
- stále dlouhou dobu návratnosti investice (pořizovatel oceňuje spíše jiné přednosti),
- značně omezenou životnost některých typů akumulátorů (zejména olověných – 2 až 5 let),
- žádné dotace na výstavbu systému,
- to, že při přibližném přepočtu ceny jedné kWh vyrobené fotovoltaickým systémem je zatím cena víc než dvakrát dražší (cca 12 Kč/kWh) s porovnáním ceny jedné kWh od veřejného distributora elektrické energie (necelých 5 Kč/kWh), avšak na odloučených místech a nutnosti zřízení elektrické přípojky delší než cca 400 m, se fotovoltaické řešení ekonomicky vyplácí vždy,
- nutnost uskomnit svoje energetické nároky (záleží na dimenzování celého systému).

6.3 Nová legislativa o ostrovních systémech

Novela zákona. 406/2000 Sb. o hospodaření energii

Dne 20. 9. 2012 bylo přehlasováno veto prezidenta republiky Václava Klause a byla schválena novela zákona 406/2000 Sb. o hospodaření energii. V § 7 odst. 4 písm. b) tohoto zákona je uvedena nutnost provedení instalace zařízení využívající energii z obnovitelných zdrojů tzv. oprávněnou osobou. Přesné znění odstavce 4: *„Stavebník, vlastník budovy nebo společenství vlastníků jednotek jsou dále povinni: b) zajistit v případě instalace vybraných zařízení vyrábějících energii z obnovitelných zdrojů v budově, aby tuto instalaci provedly pouze osoby podle § 10d; zajištění se prokazuje předložením kopie daňových dokladů týkajících se příslušné instalace a kopie oprávnění podle § 10f.“* Paragraf 10d popisuje tuto oprávněnou osobu jako fyzickou osobu, která je držitelem oprávnění uděleného ministerstvem a stanovuje podmínky udělení tohoto oprávnění. Mezi tyto podmínky spadá úspěšné absolvování odborného proškolení, které se prokazuje protokolem o absolvování odborného proškolení, bezúhonnost a odborná způsobilost.

Podle přechodných ustanovení zákona je tato povinnost platná až od 1. 1. 2014. Rok 2013 je tedy přechodný pro získání příslušných oprávnění a nastavení celého systému. Jako

sankce za nedodržení povinností daných touto novelou zákona je možné udělit fyzické osobě pokutu ve výši 50 000,- až 100 000,- Kč.

6.4 Ekonomická výhodnost stavby solárního ostrovního systému

Ekonomická výhodnost stavby autonomního solárního systému na místech, kde není zavedena elektrická přípojka, se odvíjí především od vzdálenosti možného připojení na veřejnou síť. Dále potom záleží na terénu, dostupnosti připojení, způsobu provedení připojení (přípojka provedená venkovním vedením, kabelovým vedením nebo jejich kombinací) apod.

Elektrická přípojka nízkého napětí je definována od rozvodného zařízení společnosti, která v dané oblasti distribuuje elektrickou energii do přípojkové skříně (hlavní domovní skříně, hlavní kabelová skříně). Pro takové přípojky do délky 50 m platí díky zákonné změně z roku 2005 to, že je hradí příslušná energetická společnost. V minulosti domácnost za takovéto připojení zaplatila částku přibližně od 5 000 Kč až do 20 000 Kč. V tomto případě bych jasně zvolil připojení elektrické energie ze sítě.

V případě, kdy je délka přípojky delší než 50 m, hradí náklady na zřízení sám žadatel o připojení. V praxi tomu ale tak vždy není. Jedná-li se např. o parcelu s více pozemky a plánovanými přípojkami, je možné, že i přípojku delší než 50 m uhradí sám provozovatel distribuční soustavy. Potom by žadatel hradil jen hlavní jistič (běžně 12 500 Kč, 25A).

Já však s takovou možností, při výpočtu výhodnosti stavby solárního soběstačného systému počítat nebudu, jelikož řeším stavbu solárních systémů v místech odloučených. V tom případě budu počítat s cenou elektrické přípojky kolem 1000 Kč/m. Pro určení hraniční vzdálenosti, od které je výhodnější postavit si soběstačný solární systém, potřebuji v první řadě vědět celkovou cenu tohoto systému. Cena takového systému, který zvládá napájení kompletního odběru rodinného domu (např. 4 MWh ročně), viz níže popsaný systém 4 000 W_p z webu ostrovni-elektřarny.cz se pohybuje kolem 340 000 Kč. K této částce bych přičetl cenu nezbytné elektrocentrály pro zimní provoz a případné rozšíření systému. Tím se dostáváme hrubým odhadem k částce 400 000 Kč.

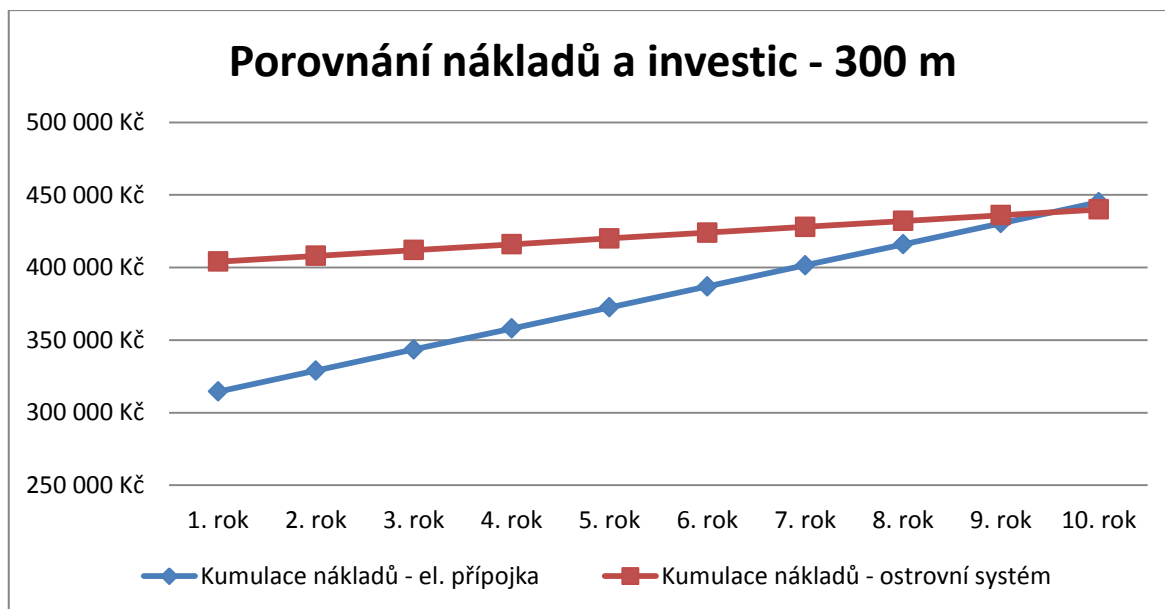
To znamená, že cena za přípojku dlouhou 400 m je stejná jako pořizovací cena kompletního solárního systému, tím pádem by šetření na elektřině nastalo okamžikem dostavení solárního systému. U takové vzdálenosti a nutnosti platit obrovskou částku za přípojku je volba ostrovního systému jasná. Při nutnosti budovat přípojku dlouhou 300 m

je tomu však už jinak. Uvažujeme-li spotřebu domácnosti 3 MWh ročně, cena za elektrickou energii zaplacená za rok by se pohybovala kolem 14 500 Kč. Tato zaokrouhlená částka vychází po vynásobení aktuálního průměru ceny elektrické energie (4,83 Kč/kWh). Dále bych do výpočtu zakomponoval možnou spotřebu elektrocentrály (budu počítat s částkou 4 000 Kč).

Zřízení přípojky 300 m dlouhé by tedy vyšlo na 300 000 Kč. K této částce by se každým rokem přičítala částka za spotřebovanou energii, tedy 14 500 Kč. Tímto se dostávám k otázce, za jakou dobu se cena za zřízení přípojky i s náklady na spotřebovanou energii přiblíží nákladům vybudování a provozu ostrovního solárního systému (400 000 Kč vybudování + 4 000 Kč roční náklady na spotřebu elektrocentrály).

Tabulka 3 Porovnání nákladů obou variant během deseti let

	1. rok	2. rok	3. rok	4. rok	5. rok
Kumulace nákladů - el. přípojka (Kč)	314 500	329 000	343 500	358 000	372 500
Kumulace nákladů - ostrovní syst. (Kč)	404 000	408 000	412 000	416 000	420 000
	6. rok	7. rok	8. rok	9. rok	10. rok
Kumulace nákladů - el. přípojka (Kč)	387 000	401 500	416 000	430 500	445 000
Kumulace nákladů - ostrovní syst. (Kč)	424 000	428 000	432 000	436 000	440 000



Obrázek 19 Porovnání nákladů a investic – elektrická přípojka, ostrovní systém během 10 let

Zhodnocení výsledků ohledně ekonomické výhodnosti stavby solárního ostrovního systému

Během necelých deseti let se tedy investice a náklady na provoz obou variant srovnají. Solární systém však zvládne dalších 10 let provozu (dle záruky, garance výkonu) bez větších investic a šetřit tím výdaje za elektrickou energii. Tato úspora mi vyšla pro dalších 10 let provozu na 105 000 Kč. Vzhledem k neustále se zvyšujícím cenám elektrické energie by doba srovnatelných výdajů mohla být ještě o něco kratší. Naopak energetický regulační úřad zavedl poplatky za každou spotřebovanou MWh 7,56 Kč v ostrovních systémech. Nárůst ceny a tyto poplatky, jsem do svých výpočtů nezahrnul.

Z mých výpočtů vyplývá, že i při vzdálenosti 300 m od přípojky elektrické energie od distributora je volba ostrovního systému ekonomicky zajímavou možností. Tuto vzdálenost však považuji za krajní. V případě vzdálenosti 200 m od přípojky elektrické energie se investice a náklady na provoz obou variant srovnají až za necelých 17 let. Při rozhodování v této situaci bych doporučil zbudování přípojky k elektrické síti a to hlavně kvůli následné blízké nutnosti výměny baterií, panelů a dalších komponentů u solárního systému za nové, což by znamenalo značné náklady. Tím by se solární systém ve srovnání s vybudováním přípojky ekonomicky nevyplácel.

7 MALÉ SOLÁRNÍ OSTROVNÍ SYSTÉMY

Těmito malými solárními systémy je myšleno zařízení o výkonu cca 30 W_P až 600 W_P s napětím 12 V, 24 V případně 230 V. Instalují se v místech bez přívodu elektrické energie od distribuční sítě tedy například na chatách, chalupách, zahradních domcích, jachtách, karavanech atd. Využívají se převážně v letním období. Mezi výhody malých solárních systémů bych zařadil velice snadnou instalaci (možnost instalace celého systému svépomocí), vysokou spolehlivost systému, nulové provozní náklady, téměř žádnou údržbu a to, že výroba elektřiny je ekologická, nevydávají škodliviny ani hluk.

Vybral jsem z různých e-shopů v této kategorii 3 ostrovní systémy s podobnými výkony, avšak s velmi rozdílnými cenami. U všech variant jsou použity polykrystalické panely. Tyto ostrovní sety s právě takovými výkony jsou u zákazníků velice oblíbené. Jsou schopny vyprodukovat 1700 – 1900 Wh denně.

Ke zjištění toho, zda bude tento systém stačit na napájení všech přístrojů, je třeba si vypočítat jejich denní spotřebu. Spotřebu jednotlivých přístrojů napájených solárním systémem ve Watech vynásobíme počtem hodin předpokládaného provozu za den. Výsledkem bude celková potřeba Wh (watthodin) za den.

Spotřebiče vhodné pro připojení: úsporné žárovky, malé žárovky, LED TV, rádio, PC, notebook, nabíječky mobilů, malá lednička, elektrické nářadí do 400W, čerpadla 24V nebo 230V do 300W.

7.1 Systém 480Wp (solar-elektro.cz)

Tento set obsahuje:

- 2 ks panel Canadian Solar 240 W Poly (rozměr 2x 1650x990x50mm),
- 1 ks + 1 ks MC4 konektor pro připojení panelu,
- 5 m + 5 m solární kabel,
- regulátor nabíjení EPsolar 2210 MPPT (20 A, 100 VDC),
- 2 ks + 2 ks olověné svorky akumulátorů,
- 2 ks Akumulátor YAUSA 100 Ah /12 V.



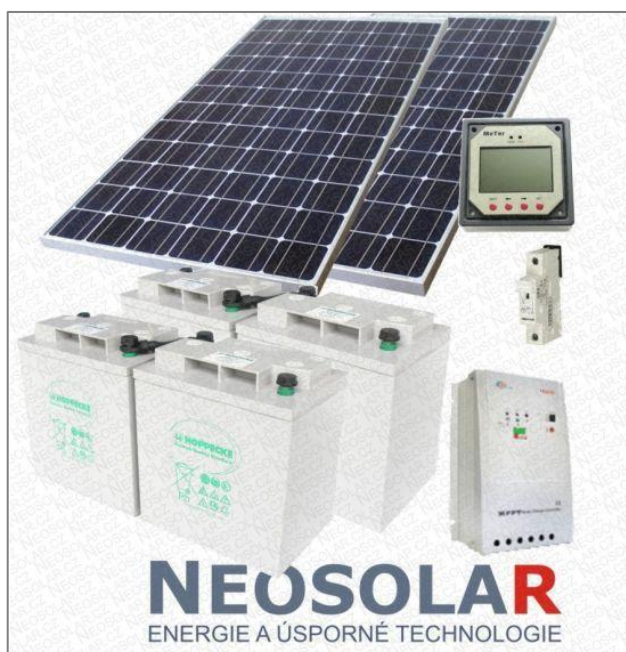
Obrázek 20 Systém 480 Wp – solar-elektro.cz [24]

Tento systém pracuje na systémovém napětí 12 V. Čínské panely Canadian Solar 240 W_p mají účinnost 14,9 % a jeden váží 19 kg. Jedná se o kvalitní solární moduly, se zárukou 12 let na 90% výkon a 25 let na 80% výkon. Set nezahrnuje žádný jistič, měnič napětí ani konstrukční systém pro uchycení panelů. Energie se akumuluje do dvou údržbových baterií Yuasa 100 Ah / 12 V zapojených do série. Tyto akumulátory jsou dle vysokého startovacího proudu běžné automobilové akumulátory, které nejsou pro ostrovní fotovoltaické systémy vhodné. Je to dáno především jejich malou životností. Zaměstnanci obchodu se však brání tím, že jimi testované 3x dražší solární akumulátory vydrželi pouhé 3 roky provozu, naopak tyto běžné automobilové akumulátory mají údajně po více jak roku stále 80% účinnost. Znamenalo by to tedy častou výměnu tohoto komponentu nebo investici do dražšího akumulátoru. Regulátor EPsolar 2210 je vybaven funkcí MPPT (Maximum PowerPoint Tracking) – sledování bodu maximálního výkonu. Montáž a dopravu zdarma firma nezajišťuje.

7.2 Systém 480Wp (eshop.neosolar.cz)

Tento set obsahuje:

- 2ks Solární panel IBC PolySol 240 W_p,
- regulátor nabíjení EPsolar TR-4210RN MPPT (40 A, 100 VDC),
- displej k regulátoru MPPT,
- akumulátor Hoppecke 250 Ah Solar.bloc,
- DC jistič 20 A a pojistný odpojovač akumulátoru 63 A + 2x náhradní pojistka,
- sada 8 ks "Z" držáků pro uchycení panelu na střechu.



Obrázek 21 Systém 480 Wp – eshop.neosolar.cz

[24]

Tento systém taktéž pracuje se systémovým napětím 12 V, nezahrnuje měnič napětí. Solární panely Německé firmy IBS jsou v parametrech srovnatelné s předchozími canadian solar panely. I udávaná záruka výkonu je stejná. IBS je ale společnost zabývající se fotovoltaikou již přes 30 let a jejím výrobkům bych dal před těmi čínskými přednost. Velkým rozdílem s předchozím kompletem je akumulátor. Tyto akumulátory německého výrobce Hoppecke byly vyvinuty přímo pro použití v solárních systémech. Jedná se o bezúdržbové baterie s elektrolytem vázaným ve skelném rouně (AGM). Mají vysokou životnost (klasifikace "high performance" podle normy EUROBAT), výkon, odolnost vůči cyklickému provozu.

Dalším výhodou je to, že set obsahuje DC jistič a pojistný odpojovač akumulátoru, který chrání proti zkratu na akumulátoru. Obsahem zde není kabeláž, konektory pro připojení kabeláže k panelu a svorky pro připojení k akumulátoru, což jsou komponenty nutné pro funkční kompletaci systému. Vše jde na e-shopu doobjednat. Regulátor napětí má také funkci MPPT a snáší 2x větší maximální proud akumulátoru. K regulátoru firma dodá i externí LCD displej, který zobrazuje chybová hlášení, výstupní data, informace o operačním systému apod. Montáž a dopravu zdarma firma nezajišťuje.

7.3 Systém 460 Wp (solarni-panely.cz)

Tento set obsahuje:

- 2 ks fotovoltaického panelu Trina Solar TSM PC05, 230 W_p,
- regulátor nabíjení EPsolar 3215 MPPT (30 A, 100 VDC),
- měnič 12 V/230 V 1600 W, modifikovaná sinusovka,
- 4 ks gelový akumulátor 100 Ah,
- set konstrukce na sedlovou střechu,
- elektromateriál.

Poslední z mnou vybraných solárních setů je systém s názvem Chata vikend plus 460 W_p. Mezi komponenty spadá měnič napětí, tím pádem je možné využívat běžných spotřebičů na 230 V. Set obsahuje fotovoltaické panely firmy Trina solar, která se řadí mezi 3 největší čínské výrobce fotovoltaiky. Tyto panely dosahují účinnosti 14,1 % a na svoji výkonnostní třídu jsou poměrně drahé. Další součástí jsou gelové akumulátory s velmi velkou kapacitou. Jsou stejně jako u předchozího kompletu bezúdržbové a jejich životnost je také velmi vysoká (max. 12 let). Solární regulátor nabíjení má také funkci MPPT. Dalším komponentem je konstrukce na přichycení panelů na sedlovou střechu a veškerý elektromateriál. Oproti předchozím kompletním systémům cena zahrnuje dopravu a montáž celého systému.

7.4 Zhodnocení výběru

Tabulka 4 Srovnání ostrovních setů

	Systém 480Wp (solar-elektro.cz)	Systém 480Wp (eshop.neosolar.cz)	Systém 460Wp (solarni-panely.cz)
FV panely	2x Canadian Solar 240W Poly	2x IBC PolySol 240Wp	2x Trinasolar TSM-PC05 230 Wp Poly
Min. potřebná plocha	2x 1650x990x50mm	2x 1650x992x45mm	2x 1650 x 992 x 40mm
Systémové napětí	12 V	12 V	12 V, 230 V
Regulátor	EPsolar 2210 MPPT (20A, 100VDC)	EPsolar 4210RN MPPT (40A,100VDC)	EPsolar 3215 MPPT (30A,100VDC)
Akumulátory	2x YAUSA 100Ah	1x Hoppecke 250Ah Solar.bloc	4x gelový akumulátor 100Ah
Životnost akumulátoru	1 – max. 2 roky	10 - 12 let	max. 12 let
Svorky k akumulátoru	Ano	-	Ano
Měnič	-	-	12V/230V 1600W, modifikovaná sinusovka
Jistič	-	DC jistič 20A, Pojistný odpojovač akumulátoru 63A	Ano
Uchycení panelů	-	Sada 8ks "Z" držáků	Set - sedlová střecha
Konektory k panelu	2x MC4 konektor	-	Ano
Kabeláž	2x 5 m solárního kabelu	-	Ano
Montáž	Svépomocí	Svépomocí	V ceně
Doprava zdarma	-	-	Ano
Cena s DPH	16 172 Kč	32 830 Kč	65 907 Kč

U prvního mnou vybraného ostrovního systému 480 Wp z obchodu solar-elektro.cz jsou hlavním nedostatkem akumulátory. Automobilové akumulátory by se musely v nejlepším případě každé dva roky měnit. Použití tohoto typu akumulátoru je v solárních systémech nevhodné. Dalším velkým nedostatkem je to, že obchod do své nabídky nezahrnul jističe. Jističe proti zkratu, přepětí apod. jsou v těchto systémech velice důležité, řekl bych nezbytné. Dále set postrádá konstrukci k uchycení panelů na střechu.

Třetí Systém 460 Wp z e-shopu solarni-panely.cz se mi zdá poněkud drahý. Cenu zvyšují zbytečně drahé panely a náklady započtené v ceně za montáž, která se v tomto případě dá zvládnout svépomocí. Systém na druhou stranu obsahuje kompletní vybavení ostrovní elektrárny i s měničem a disponuje velkou kapacitou akumulátorů.

Ideální volbou bych shledal Systém 480Wp z internetového obchodu eshop.neosolar.cz. Tento set obsahuje velice kvalitní komponenty, jako jsou akumulátory hoppecke s velmi vysokou odolností a životností, panely firmy IBC, nezapomnělo se zde i na jističe a konstrukci pro uchycení panelů. Jediným malým nedostatkem je absence svorek, konektorů a kabeláže, což je k systému nutno přiojednat. Tyto další věci by se na ceně nijak zvlášť nepromítly. Podle délky potřebného solárního kabelu by se cena zvýšila o 500 - 1 000Kč. Případné rozšíření o měnič napětí s modifikovanou sinusovkou, srovnatelný s použitým měničem u třetího systému, by se cena nezvedla výše než o 5 000 Kč.

Tento komplet by byl více méně srovnatelný s kompletem 460 Wp z e-shopu solarni-panely.cz za 65 907 Kč a při přičtení nákladů za chybějící komponenty by vycházel na 38 800 Kč.

8 SOLÁRNÍ OSTROVNÍ SYSTÉM PRO RODINNÉ DOMY

Tyto solární elektrárny jsou určeny pro kompletní napájení rodinných domů a nachází využití v případech, kde běžné připojení na distribuční síť není vhodné nebo není technicky možné. Mezi hlavní důvody pořízení tohoto systému bych zařadil vysokou cenu za zřízení elektrické přípojky (cca 1 000 Kč / m) kvůli velké vzdálenosti od přípojného místa, nízké provozní náklady, ekologickou výrobu elektrické energie z obnovitelného zdroje a nezávislost na distribuční soustavě.

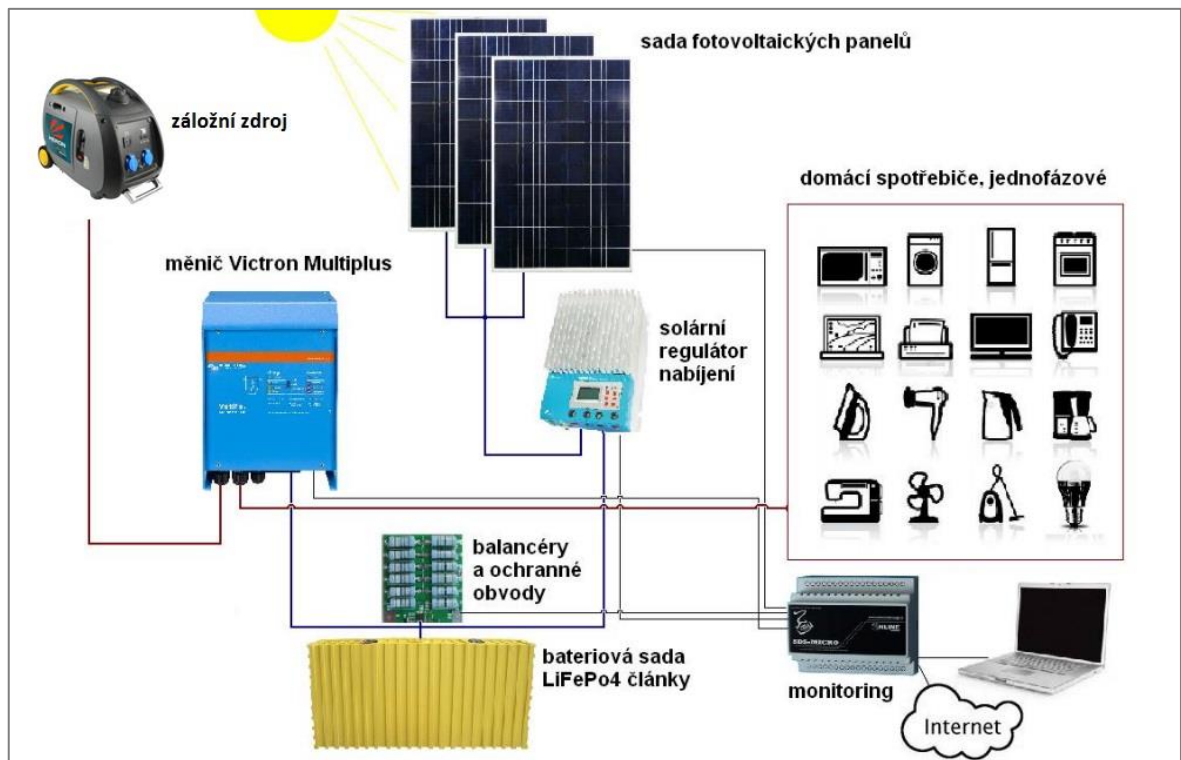
Jsou projektovány tak, aby vyrobená energie pokryla energetické nároky objektů. Soustavu automaticky ovládá regulátor dobíjení. V případě, že fotovoltaické panely vyrábí dostatek energie, je část energie spotřebována v rámci budovy. Případné přebytky jsou ukládány do akumulátorů. Naopak v případě, že je energie z panelů nedostatek, rozdíl se z baterií dorovná. V době, kdy systém nedodává elektrickou energii (např. v noci) nebo dodává energie méně, než je vyžadováno, je energie odebírána z akumulátorů až do takového vybití baterií, které je v regulátoru nabíjení předem naprogramováno. Z hlediska životnosti baterií se nedoporučuje vybití pod 50 % kapacity (záleží na typu akumulátoru).

Pro tyto případy bývá velmi často k akumulátorům připojený ostrovní záložní zdroj elektrické energie pro jeho dobítí. Tím se zvyšuje spolehlivost celého systému. Nejčastěji se využívá elektrocentrály, ale není výjimkou i využití větrné elektrárny, malé vodní elektrárny apod. Takový systém se potom označuje jako hybridní ostrovní systém.

8.1 Ostrovní fotovoltaická elektrárna 4000 Wp (ostrovní-elektrarny.cz)

Tento set obsahuje:

- 16 ks fotovoltaický solární panel 245 - 250 Wp,
- montážní konstrukce pro 2x 8 panelů pro taškovou střechu,
- akumulátor LiFeYPO4 48V 160Ah (cca 8 kWh),
- 2ks regulátor nabíjení Epsolar ET6415 (do 3 kWp),
- měnič Victron Multiplus 48/5000 (4000W, špičkově 8 kW),
- SDS Micro DIN pro dálkové ovládání a monitoring,
- solární kabel 2x 10 m + 2x 2 m k baterii,
- MC4 konektory, spojky a další elektromateriál,
- **cena s DPH (21.0 %): 339 270 Kč.**



Obrázek 22 Schéma zapojení ostrovní elektrárny [26]

Fotovoltaická elektrárna z internetového obchodu ostrovni-elektarny.cz je jednou z mála dostupných ostrovních kompletů na českých webech s takto vysokým výkonem (4 kWp). Během slunečného bezmračného dne elektrárna vyrobí až 28 kWh elektrické energie. Za rok je schopna vyrobit přibližně 4 MWh (4000kWh) elektrické energie. Takový výkon, samozřejmě spolu s občasným zapnutím záložního zdroje, zejména v zimních měsících, je schopný pokrýt veškerou spotřebu elektrické energie rodinného domu.

Tento systém zahrnuje 16 fotovoltaických panelů o výkonu 245 až 250 Wp, které nejsou bohužel blíže specifikovány. Obsahuje akumulátor LiFeYPO4 48V 160Ah, o kapacitě 7,8 kWh. Skládá se z velice kvalitních 16 lithium yttrium železo fosfátových článků (3.2V/160Ah), které jsou balancovány 16 balancovacími moduly, takže při běžném používání zůstanou jejich napětí článků shodná a jejich životnost se tím prodlužuje. Oproti běžně používaným olověným akumulátorům, které mají životnost cca 5 let a vydrží pouhých 300 cyklů 60 % nabití/vybití, baterie LiFeYPO4 mají zcela jinou délku životnosti. Ta může být při správném nabíjení, vybíjení až 22 let a údajně zvládne až 8 000 cyklů. Jedná se tedy o velice kvalitní akumulátory, čemuž odpovídá i jejich cena. Necelou třetinou (105 000 Kč) ceny celého ostrovního systému je cena za tyto akumulátory.

Elektrárna dále zahrnuje 2x regulátor nabíjení Epsolar ET6415 60A 12-48V LAN, který transformuje vyšší napětí z fotovoltaických panelů na nižší nabíjecí napětí baterie a přitom ve stejném poměru zvyšuje nabíjecí proud. S porovnáním s běžnými regulátory je možné získat až o 30% vyšší proud do baterií. Jelikož tento regulátor zvládá maximální výkon panelů 3 200 Wp při napětí akumulátoru 48 V, což náš výkon 4 000 Wp přesahuje, jsou zde zapotřebí regulátory dva. Regulátor zvládá nabíjecí proud až 60 A. Má zabudovanou ochranu proti: zkratu FV pole a zkratu na výstupu, přetížení výstupu, obrácené polaritě akumulátoru i FV pole, přepětí FV pole a přepět'ovým špičkám. Navíc obsahuje RJ45 LAN konektor pro vzdálenou správu a nastavení mnoha parametrů přes PC. Cena tohoto regulátoru se pohybuje kolem 12 000 Kč.

Dalším komponentem, který tento komplet zahrnuje je měnič Victron Multiplus 48 V / 5000 VA. Jedná se o výkonný střídač s čistě sinusovým výstupním napětím a špičkovým výkonem až 8 kW. Má funkci UPS, která zajišťuje to, že pokud je v domovní zásuvce, do které je připojen síťový kabel měniče napětí, všechno v pořádku a nenastal výpadek proudu, pak není spotřebič napájen z baterie přes elektronickou část, která mění napětí na 230V, ale přímo z elektrorozvodné sítě. Toto přepnutí proběhne tak rychle, že počítače či jiné elektronické přístroje pokračují v činnosti bez přerušení. Toho jde samozřejmě využít v případech, kdy je záložním zdrojem elektrorozvodná síť. Cena tohoto měniče se pohybuje kolem 88 000 Kč.

Montážní konstrukce 16 panelů pro taškovou střechu a veškerý elektromateriál, konektory, spojky, solární kabely atd. jsou zahrnuty v ceně. Cena zahrnuje také dopravu do 150 km, návrh, testy a kompletní montážní práce.

Tuto konfiguraci je možné jednoduše rozšířit až o dvanáct dalších FV panelů, bez výměny ostatních komponentů a tím výrazně zvýšit zisk energie.

9 VÝPOČET INTENZITY SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ DOPADAJÍCÍHO NA PANEL V ZÁVISLOSTI NA JEHO ORIENTACI A SKLONU

Výpočet intenzity slunečního záření dopadajícího na panel provádíme vždy pro daný den, měsíc a čas. Dále je potřeba znát azimutový úhel panelů (orientaci) a jejich sklon. Nutné je vypočítat si sluneční deklinaci, polohu slunce, úhel dopadu paprsků, intenzitu přímé sluneční radiace a intenzitu difúzní sluneční radiace.

9.1 Výpočet sluneční deklinace

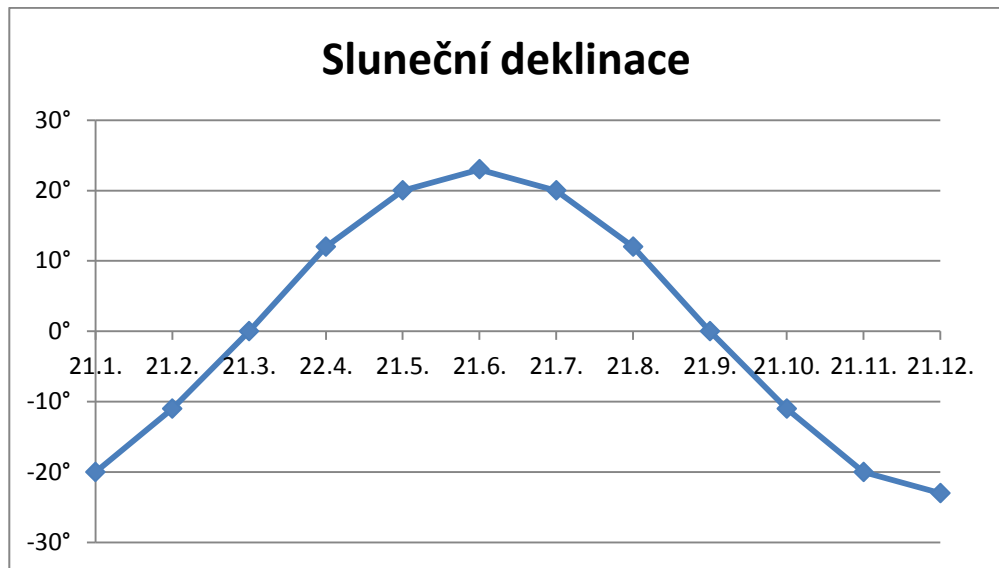
Sluneční deklinace δ je úhel svírající spojnici středu Země se středem Slunce a rovinou zemského rovníku. Pohyb Země kolem Slunce během roku způsobuje kolísání hodnoty deklinace od $-23,45^\circ$ do $+23,45^\circ$. V době letního slunovratu (zpravidla 21. června) je hodnota deklinace nejvyšší, nejnižší hodnota je v době zimního slunovratu (zpravidla 22. prosince). Nulovou hodnotu má deklinace v době rovnodennosti tedy 21. března a zpravidla 22. září.

Sluneční deklinaci počítáme pro libovolný den D (1 až 31) v měsíci M (1 až 12) podle vzorce:

$$\delta = 23,45 \sin(0,98 D + 29,7 M - 109) \quad (2)$$

Tabulka 5 Vypočtená deklinace pro každý 21. den v měsíci

Měsíc	Sluneční deklinace
leden	-20°
únor	-11°
březen	0°
duben	12°
květen	20°
červen	23°
červenec	20°
srpen	12°
září	0°
říjen	-11°
listopad	-20°
prosinec	-23°



Obrázek 23 Sluneční deklinace během roku

9.2 Výpočet polohy slunce

Poloha slunce se mění v závislosti na denní a roční době. Je dána výškou slunce h (úhel, který svírá sluneční paprsek s horizontální rovinou proloženou místem pozorování) a slunečním azimutem a , který se měří od směru jih ve směru otáčení hodinových ručiček jako kladná hodnota a ve směru proti otáčení hodinových ručiček jako záporná hodnota. Výšku slunce vypočteme dle vztahu:

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos(15(\tau - 12)), \quad (3)$$

kde φ je severní zeměpisná šířka. Pro ČR je možné počítat s $\varphi = 50^\circ$.

A τ je sluneční čas (1 až 24 h).

Sluneční azimut dle vztahu:

$$\sin a = \frac{\cos \delta \sin(15(\tau - 12))}{\cos h} \quad (4)$$

9.3 Výpočet úhlu dopadu slunečních paprsků na solární panel

$$\cos \gamma = \sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \cdot \sin \alpha \cdot \cos(a - a_s), \quad (5)$$

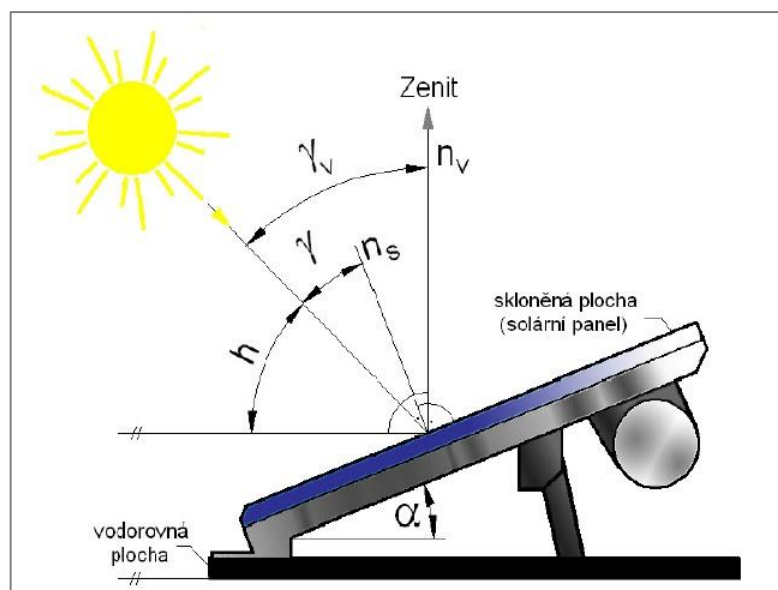
pro svislou stěnu platí vztah:

$$\cos \gamma = \cos h \cos(a - a_s), \quad (6)$$

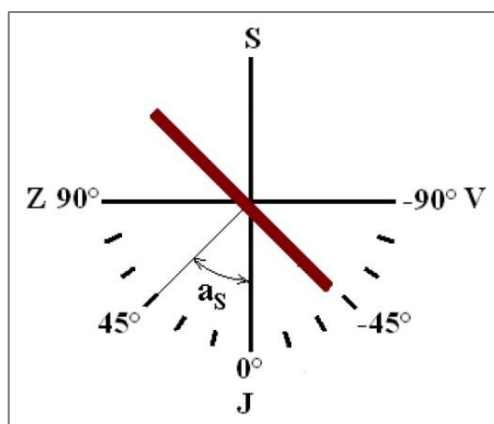
a pro vodorovnou stěnu platí vztah:

$$\cos \gamma = \sin h, \quad (7)$$

kde α je úhel sklonu plochy a a_s azimutový úhel plochy.



Obrázek 24 Geometrie dopadu slunečního paprsku na solární panel



Obrázek 25 Azimutový úhel ploch – azimut 45° jihozápadně

9.4 Výpočet intenzity celkového slunečního záření dopadajícího na fotovoltaický panel

Solární konstanta:

$$I_0 = 1340 \text{ až } 1390 \quad [\text{W/m}^2] \quad (8)$$

Intenzita přímého záření po průchodu paprsků atmosférou

$$I_D = I_0 e^{-0,097 Z (\sin h)^{-0,8}} \quad [\text{W/m}^2] \quad (9)$$

kde Z je součinitel znečištění atmosféry.

Tabulka 6 Hodnota součinitele znečištění v různých lokalitách

Součinitel znečištění Z	Charakteristická lokalita
2	místa nad 2000 m n. m.
2,5	místa nad 1000 m n. m.
3	venkov bez průmyslové činnosti
4.5	města a průmyslové oblasti
krátkodobě až 8	při vysoké koncentraci exhalací

Intenzita na obecně položenou plochu s úhlem dopadu γ

$$I_{D\gamma} = I_D \cos \gamma \quad [\text{W/m}^2] \quad (10)$$

Intenzita difúzní sluneční radiace

$$I_d = \left[I_0 - I_D - (1080 - 1,4 I_D) \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right] \frac{\sin h}{3} \quad [\text{W/m}^2] \quad (11)$$

Intenzita celkového slunečního záření

$$I = I_D \cos \gamma + I_d \quad [\text{W/m}^2] \quad (12)$$

9.5 Výpočet ideálního náklonu panelů během roku

Tyto výsledky (viz tab.) jsem spočítal dle výše uvedených vztahů sluneční deklinace, polohy Slunce, úhlu dopadu slunečních paprsků s kolmicí nasměrování fotovoltaického panelu a vztahů intenzit slunečního záření. Počítal jsem zde s přesnou orientací panelů na jih. Výsledky ideálního náklonu a celkové intenzity slunečního záření dopadající na panel jsou spočteny pro první den v měsíci ve 12 h slunečního času. Solární konstantu jsem použil hodnotu 1365 W/m^2 . Hodnotu znečištění atmosféry jsem zvolil pro městskou část, tedy hodnotu 4. Ideální náklon jsem zhodnotil podle nejvyšší hodnoty intenzity celkového

slunečního záření a ideálního úhlu dopadu slunečních paprsků a kolmicí nasměrování fotovoltaického panelu $\gamma = 0^\circ$ (tedy přímého úhlu dopadu).

Tabulka 7 Výsledky vypočítaných ideálních sklonů, výšky slunce a intenzity slunečního záření během roku

Měsíc	Ideální sklon	Výška slunce	Intenzita slun. záření [W/m^2]
leden	71°	17°	556,86
únor	66°	22°	678,33
březen	57°	32°	832,50
duben	46°	44°	944,92
květen	35°	55°	1006,47
červen	29°	62°	1032,30
červenec	28°	63°	1035,53
srpen	33°	58°	1018,28
září	42°	48°	970,59
říjen	54°	36°	876,15
listopad	64°	25°	731,66
prosinec	70°	18°	586,31

Z tabulky je patrné, že při využívání solárních systémů převážně v letním období (chaty, chalupy apod.), je vhodné zvolit menší sklon panelů (např. 37°). Pokud bude systém využíván v zimním období nebo celoročně, zvolil bych náklon vyšší (např. 50°).

9.6 Vliv orientace panelů na ideální sklon

Tabulka 8 Vypočtené hodnoty celkového slunečního záření pro 1. března ve 12 h

1. března ve 12 h			
as = 0 Orientace JIH		as = -45 Orientace JIHO - VÝCHOD	
Sklon [°]	Intenzita slun. záření [W/m ²]	Sklon [°]	Intenzita slun. záření [W/m ²]
0	501,06	0	501,06
5	552,58	5	537,05
10	600,72	10	569,78
15	645,11	15	599,00
20	685,42	20	624,50
25	721,35	25	646,06
30	752,61	30	663,54
35	778,97	35	676,79
40	800,23	40	685,72
45	816,23	45	690,26
50	826,84	50	690,37
55	831,99	55	686,06
60	831,63	60	677,35
65	825,77	65	664,32
70	814,46	70	647,06
75	797,77	75	625,70
80	775,84	80	600,41
85	748,83	85	571,37
90	716,96	90	538,81

Tabulka 9 Vypočtené hodnoty celkového slunečního záření pro 1. července ve 12 h

1. července ve 12 h			
as = 0 Orientace JIH		as = -45 Orientace JIHO - VÝCHOD	
Sklon [°]	Intenzita slun. záření [W/m ²]	Sklon [°]	Intenzita slun. záření [W/m ²]
0	936,23	0	936,23
5	968,47	5	958,17
10	994,61	10	974,08
15	1014,44	15	983,84
20	1027,81	20	987,37
25	1034,62	25	984,65
30	1034,81	30	975,70
35	1028,39	35	960,58
40	1015,40	40	939,41
45	995,95	45	912,36
50	970,18	50	879,62
55	938,28	55	841,44
60	900,51	60	798,13
65	857,14	65	750,00
70	808,51	70	697,42
75	754,99	75	640,80
80	696,99	80	580,56
85	634,93	85	517,16
90	569,31	90	451,09

Tabulka 10 Vypočtené hodnoty celkového slunečního záření pro 1. září ve 12 h

1. září ve 12 h			
as = 0 Orientace JIH		as = -45 Orientace JIHO - VÝCHOD	
Sklon [°]	Intenzita slun. záření [W/m ²]	Sklon [°]	Intenzita slun. záření [W/m ²]
0	755,85	0	755,85
5	801,99	5	787,79
10	843,12	10	814,83
15	878,92	15	836,76
20	909,12	20	853,40
25	933,49	25	864,64
30	951,84	30	870,38
35	964,03	35	870,59
40	969,97	40	865,26
45	969,62	45	854,43
50	962,98	50	838,18
55	950,10	55	816,65
60	931,07	60	789,98
65	906,05	65	758,40
70	875,21	70	722,12
75	838,81	75	681,44
80	797,10	80	636,66
85	750,42	85	588,13
90	699,11	90	536,20

Tabulka 11 Vypočtené hodnoty celkového slunečního záření pro 1. července ve 12 h

1. prosince ve 12 h			
as = 0 Orientace JIH		as = -45 Orientace JIHO - VÝCHOD	
Sklon [°]	Intenzita slun. záření [W/m ²]	Sklon [°]	Intenzita slun. záření [W/m ²]
0	248,32	0	248,32
5	289,88	5	277,51
10	329,76	10	305,11
15	367,66	15	330,93
20	403,30	20	354,76
25	436,40	25	376,42
30	466,71	30	395,75
35	494,00	35	412,60
40	518,07	40	426,84
45	538,72	45	438,36
50	555,81	50	447,09
55	569,20	55	452,94
60	578,79	60	455,88
65	584,51	65	455,88
70	586,31	70	452,94
75	584,18	75	447,09
80	578,14	80	438,37
85	568,23	85	426,84
90	554,53	90	412,60

Označené řádky v tabulkách znázorňují ideální sklony panelů.

Z vypočtených hodnot je zřetelně poznat vliv orientace panelů vzhledem ke světovým stranám na hodnotu slunečního záření dopadlého na panel. Tato orientace ovlivňuje ideální sklon panelů. Orientace panelů na jiho-západ, nebo jiho-východ (namísto na jih) snižuje celkovou intenzitu dopadlého slunečního záření na panel dne 1. března o 17 %, 1. července o necelých 6 %, 1. září o 11 % a 1. prosince o 23 %.

Příklad výpočtu pro 1. prosince ve 12 h s orientací JV:

$$\delta = 23,45 \sin(0,98 D + 29,7 M - 109) \quad [^\circ] \quad (2)$$

$$\delta = 23,45 \sin(0,98 \cdot 1 + 29,7 \cdot 12 - 109) \quad [-]$$

$$\underline{\delta = -21,8^\circ}$$

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos(15(\tau - 12)) \quad [-] \quad (3)$$

Dosadíme čas, deklinaci pro ČR a sluneční deklinaci:

$$\sin h = \sin(-21,8) \sin 50 + \cos(-21,8) \cos 50 \cos(15(12 - 12)) \quad [-]$$

$$\sin h = 0,3123 \quad [-]$$

$$\underline{h = 18,2^\circ}$$

$$\sin a = \frac{\cos \delta \sin(15(\tau - 12))}{\cos h} \quad [-] \quad (4)$$

$$\sin a = \frac{\cos(-21,8) \sin(15(12 - 12))}{\cos h} \quad [-]$$

$$\sin a = 0 \quad [-]$$

$$\underline{a = 0^\circ}$$

$$\cos \gamma = \sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \cdot \sin \alpha \cdot \cos(a - \alpha_s) \quad [-] \quad (5)$$

$$\cos \gamma = \sin 18,2 \cdot \cos 60 + \cos 18,2 \cdot \sin 60 \cdot \cos(0 - (-45)) \quad [-]$$

$$\cos \gamma = 0,7379 \quad [-]$$

$$\underline{\gamma = 42^\circ}$$

$$I_D = I_o e^{-0,097 Z (\sin h)^{-0,8}} \quad [\text{W/m}^2] \quad (9)$$

$$I_D = 1365 \cdot e^{-0,097 \cdot 4 \cdot (0,312331)^{-0,8}} \quad [\text{W/m}^2]$$

$$\underline{I_D = 510,09 [\text{W/m}^2]}$$

$$I_{D\gamma} = I_D \cos \gamma \quad [\text{W/m}^2] \quad (10)$$

$$I_{D\gamma} = 510,09 \cdot 0,7379 \quad [\text{W/m}^2]$$

$$\underline{I_{D\gamma} = 376,39 [\text{W/m}^2]}$$

$$I_d = \left[I_o - I_D - (1080 - 1,4 I_D) \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right] \frac{\sin h}{3} \quad [\text{W/m}^2] \quad (11)$$

$$\underline{I_d = 79,48 [\text{W/m}^2]}$$

$$I = I_D \cos \gamma + I_d \quad [\text{W/m}^2] \quad (12)$$

$$I = 510,09 \cdot 0,7379 + 79,48 \quad [\text{W/m}^2]$$

$$\underline{I = 455,88 [\text{W/m}^2]}$$

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se věnovala fotovoltaickým systémům, převážně jejich ostrovnímu využití. V teoretické části jsem se zaměřil na obecné přiblížení problematiky fotovoltaiky. Je zmíněna historie, fyzikální princip přeměny sluneční energie na elektrickou a generační vývoj fotovoltaických článků. Následně jsem popsal různé druhy fotovoltaických článků, rozdělených podle použitého materiálu k jejich výrobě (podle technologie výroby) a nejčastější faktory, ovlivňující jejich účinnost.

Navázal jsem rozdělením fotovoltaických systémů z hlediska provozu na drobné aplikace a systémy autonomní, síťové a hybridní. Poté jsem se zabýval jednotlivými komponenty solárního ostrovního systému, jejich dělením a vlastnostmi, přírodními podmínkami a legislativou v ČR.

Jedním z cílů této práce bylo zhodnocení současného stavu solárních panelů na trhu. Díky celosvětově největšímu nezávislému online trhu solárních panelů Sologico, který již od roku 2009 zveřejňuje aktuální cenový index globálního vývoje velkoobchodních cen solárních panelů, jsem zmapoval vývoj cen fotovoltaických panelů za několik posledních let.

Dalším cílem práce bylo posouzení výhodnosti stavby solárního systému na odloučených místech. Uvedl jsem obecné výhody a nevýhody autonomního systému a přiblížil nové změny v legislativě. Především jsem řešil ekonomickou výhodnost možnosti stavby solární ostrovní elektrárny oproti připojení do distribuční soustavy. Zjistil jsem následující.

Ekonomicky výhodnější je pořízení klasické elektrické přípojky a čerpání elektřiny od distributora. Zlomový okamžik nastává až tehdy, kdy si pořizovatel musí zaplatit náklady za zřízení přípojky sám. Uvažoval jsem možnost zbudování autonomního solárního systému o výkonu 4 000 Wp s cenou přibližně 400 000 Kč, který by nahradil veškerou potřebu elektrické energie rodinného domu, a pro elektrickou přípojku cenu 1 000 Kč/m přípojky. Porovnal jsem obě varianty (autonomní systém a elektrickou přípojku) pro různé vzdálenosti a došel k závěru, že v případě budování elektrické přípojky délky 300 m a více je ekonomicky výhodnější stavba autonomní solární elektrárny. Z výpočtů vyplývá, že se během necelých deseti let investice a náklady na provoz obou variant srovnají (v případě mezních 300 m délky přípojky). Solární systém však zvládne dalších 10 let provozu (dle záruky a garance výkonu) bez větších investic a zároveň šetří výdaje za elektrickou energii.

Dále jsem porovnával tři různé malé, výkonově podobné ostrovní komplety z několika internetových obchodů. Jednalo se o e-shopy solar-elektro.cz, eshop.neosolar.cz a solarni-panely.cz. Uvedené ceny i kvalita komponentů se velmi liší. Systém z obchodu eshop.neosolar.cz jsem vyhodnotil jako nejideálnější - jeho ceny odpovídají kvalitě nabízených komponentů.

V posledním bodě mojí práce se věnuji výpočtům intenzity sluneční energie, dopadající na fotovoltaický panel s ohledem na jeho sklon a orientaci. Při porovnání výsledků pro ideální orientaci na jih a orientaci na jihovýchod (případně jihozápad) jsem potvrdil to, že zvolení menšího sklonu panelů je vhodnější. V tabulkách jsem uvedl výsledky intenzity dopadající sluneční energie na panel pro čtyři různé dny v roce.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

This bachelor thesis was dealing with photovoltaic systems and their application for electric power generation, targeting the off-grid solar systems. The Theoretical part was, in general, focused on photovoltaics. I mentioned its history, the physical principle of converting solar energy into electricity and generational development of photovoltaic cells, followed by various types of photovoltaic cells, divided by the material used (according to technology) and the most common factors influencing their effectiveness.

Thereafter, I continued with sorting photovoltaic systems for use on small applications and autonomous, network and hybrid systems. Then I deal with individual components of the off-grid solar system, their types and properties, nature conditions and the czech legislation.

The main objective of the thesis was to evaluate the current solar panels' market. Since 2009, the world's largest independent solar panels' online market Sologico is publishing wholesale solar systems global development price index, so I mapped the prices of photovoltaic panels over the last few years.

Another aim was to assess benefits of solar systems built in sedluded places. I discussed the economical benefits of the off-grid solar power station compared to connecting to the electricity grid. Results are as follows.

Connecting to the electricity grid and purchase the electricity from the distributor is more profitable, unless the customer does not have to bear costs of connection to the grid. I considered the possibility of autonomous solar system construction with an output of 4,000 Wp for price 400,000 CZK. This system would replace all the electricity needs of the family house. According to the connetion to the elektricity grid, I was counting with 1,000 CZK per meter of cable. Then, I compared both variants (off-grid system and connection to the elektricity grid) for different distances with a conclusion: when connecting to the electricity grid for distance of 300 metres and more, more cost effective is to construct the autonomous solar station. The calculations show that investment and operation costs are similar in the first ten years. However, the off-grid solar system can operate an additional 10 years (depends on warranty and output low) without major investment and with saving the electricity expenditure at the same time.

Furthermore, I compared three different small off-grid solar sets (similar in their output) from several online stores: solar-elektro.cz, eshop.neosolar.cz and solar-panely.cz. The prices and the composition of the sets were very different, yet I analyzed their components and evaluated. The system of eshop.neosolar.cz online store is the one I found the most ideal - the prices match the quality of the offered components.

The last point of my thesis is devoted to calculate the intensity of solar energy incident on the photovoltaic panel with regard to his inclination and orientation. When comparing the results of the ideal south orientation with southeast orientation (and southwest as well), I confirmed that smaller solar panels' inclination is more appropriate. There are results of four different days of the year shown in the tables.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika, elektřina ze slunce*. 2. vyd. Brno: ERA, 2008, vii, 81 s. ISBN 978-80-7366-133-5.
- [2] HENZE, Andreas a Werner HILLEBRAND. *Elektrický proud ze slunce: fotovoltaika v praxi : technika, přehled trhu, návody ke stavbě*. Překlad Václav Losík. Ostrava: HEL, 2000, 136 s. ISBN 80-861-6712-7.
- [3] STANĚK, Kamil. *Fotovoltaika pro budovy: Přehled technologie*. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2008. Dostupné z: <http://fotovoltaika.fsv.cvut.cz/download.htm>
- [4] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [5] KOSMÁK, František. Historie fotovoltaiky. *Elektrika* [online]. 2009 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/historie-fotovoltaiky>
- [6] Historie fotovoltaiky. *Solareni* [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.solareni.cz/slunecni-elektrarny/technicke-informace/historie-fotovoltaiky/>
- [7] Technické využití fotoefektu. *Tachmania: edutorium* [online]. 2008 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=41746f6d6f76e12066797a696b61h&key=1053
- [8] Křemík. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Křemík#V.C3.BDroba_vysoce_.C4.8Dist.C3.A9ho_k.C5.99em.C3.ADku
- [9] *Solareni* [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.solareni.cz>
- [10] Přímý prodej nebo Zelený bonus?. GS ENERGY [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.gsenergy.eu/cs/vykupni-ceny-zeleny-bonus.html>
- [11] ŠIMONÍK, Pavel. *Autonomnost solárních systémů*. Zlín, 2010. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky.
- [12] SRDEČNÝ, Karel. Problémy fotovoltaických projektů z hlediska energetického auditu: Účinnost článků a účinnost modulů. Tzbinfo [online]. 15. 9. 2008 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5073-problemy-fotovoltaickych-projektu-z-hlediska-energetickeho-auditu>

- [13] NAGYOVÁ, Veronika. *Organické solární články na bázi polymerních materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011. 39 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické.
- [14] PASEKA, Petr. *Zhodnocení stavby fotovoltaické elektrárny*. Brno, 2011. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky.
- [15] FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY A OSTROVNÍ SYSTÉMY. *Elg-electric: building technologies* [online]. 2008-2012 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.elg-electric.com/oblast-cinnosti/slaboproude-technologie/fotovoltaicke-elektrarny-a-ostrovni-systemy>
- [16] Fotovoltaika v České republice: Přírodní podmínky pro fotovoltaiku v ČR. *ENERGOTerm* [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.energotherm.cz/fotovoltaika-v-ceske-republice-p41.html>
- [17] Sluneční mapa: Průměrný roční úhrn globálního záření. *Mivvy* [online]. 2013 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://solar.mivvy.eu/slunecni-mapa>
- [18] Energetický regulační věstník: Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro výrobu elektřiny využitím slunečního záření. Jihlava: Energetický regulační úřad, 27. 11. 2012. Dostupné z: http://www.eru.cz/user_data/files/ERV/ERV8_2012.pdf
- [19] SOLÁRNÍ PANEL ET SOLAR MONOKRYSTALICKÝ 195 W. ProfitEnergy [online]. 2010 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://eshop.profitenergy.cz/17-solarni-panel-et-solar-monokrystalicky-195-w.html>
- [20] Telefony: Na cestách bez energie. *Mobil.iDNES.cz* [online]. 14.7. 2008 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: http://mobil.idnes.cz/na-cestach-bez-energie-pomohou-vam-solarni-nabijecky-f92-/telefony.aspx?c=A080709_164852_telefony_kor
- [21] Obecně o fotovoltaike. *MmSolar* [online]. 2011-2012 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: http://www.mmsolar.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=4
- [22] Fotovoltaický střídač - účinnost není vše: Střídač. *Tzbinfo* [online]. 2009 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5571-fotovoltaicky-stridac-ucinnost-neni-vse>
- [23] LEGISLATIVA 2013. *ROAD: ENERGI* [online]. 2013 [cit. 2013-05-25]. Dostupné z: <http://www.roadenergy.eu/d62-legislative-2013-html.html>

- [24] Oblíbený malý ostrovní systém 480Wp. *Solar-elektro* [online]. 2010 - 2011 [cit. 2013-05-26]. Dostupné z: <http://solar-elektro.cz/?action=detail&id=ID1276&catg=21>
- [24] Solární systém 480Wp/12V. *Neosolar* [online]. 2013 [cit. 2013-05-26]. Dostupné z: <http://eshop.neosolar.cz/solarni-system-480wp-12v-za-akcni-cenu>
- [25] Jaký je optimální sklon a orientace fotovoltaických panelů?. In: *Liglass solar* [online]. 2009 [cit. 2013-05-26]. Dostupné z: <http://www.solar-liglass.cz/fotovoltaicke-dotazy-a-odpovedi/54-optimalni-sklon-orientace-fotovoltaickych-panelu.html>
- [26] Ostrovní fotovoltaická elektrárna 4000Wp. *Ostrovni-elektrarny* [online]. 2013 [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: http://ostrovni-elektrarny.cz/index.php?category=kompletni-elektrarny&detail=OTkwMDA3&detail_name=ostrovni-fotovoltaicka-elektrarna-4000wp
- [27] Slunce. *Treking* [online]. 2007 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: <http://www.treking.cz/astronomie/slunce.htm>
- [28] *PvXchange* [online]. 2013 [cit. 2013-05-29]. Dostupné z: www.pvxchange.com

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

kWh	Kilo-watt-hodina.
W_p	Watt peak.
V	Volt.
A	Ampér.
Ah	Ampér-hodina.
FV	Fotovoltaické.
GaAs	Arsenid galia.
CIS	Diselenid mědi a india.
CdTe	Telurid kademnatý.
SS	Stejnoseměrný.
~	Střídavý.
Hz	Hertz.
EVA	Etylen-Vinyl-Acetat.
η_{euro}	Evropská účinnost.
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav.
ERÚ	Energetický regulační úřad.
MPPT	Maximum Power Point tracking.
δ	Sluneční deklinace.
φ	Severní zeměpisná šířka.
I_0	Solární konstanta.
I	Intenzita celkového slunečního záření.
γ	Úhel dopadu slunečních paprsků a kolmice nasměrování fotovoltaického panelu.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Článek z monokrystalického křemíku [19]	14
Obrázek 2 Princip vícevrstvého článku [11].....	15
Obrázek 3 Monokrystalický článek (vlevo) a polykrystalický článek [12].....	17
Obrázek 4 Amorfní moduly za slunečného počasí [9]	18
Obrázek 5 Amorfní moduly za deště [9]	18
Obrázek 6 Výťažnost v závislosti na náklonu fotovoltaických panelů	21
Obrázek 7 Solární nabíječka pro mobilní telefony [20]	23
Obrázek 8 Fotovoltaický panel napájecí dopravní značku [21]	23
Obrázek 9 Ostrovní systém s přímým napájením [15]	24
Obrázek 10 Ostrovní systém s akumulací elektrické energie (12/24 V) [15].....	25
Obrázek 11 Ostrovní systém s akumulací elektrické energie s měničem napětí (12 V i 230 V) [15].....	25
Obrázek 12 Hybridní ostrovní systém s akumulací elektrické energie (12 V i 230 V) [15].....	26
Obrázek 13 Síťový systém pro výhradní prodej elektrické energie do sítě [9]	27
Obrázek 14 Hybridní systém pro vlastní spotřebu a prodej přebytků do sítě [9]	28
Obrázek 15 Skladba panelu s krystalickými křemíkovými články (EVA - Etylen- Vinyl-Acetát) [3].....	29
Obrázek 16 Závislost účinnosti střídače na velikosti jmenovitého výkonu [22].....	35
Obrázek 17 Množství slunečního záření dopadajícího na vodorovnou plochu v kWh/m ² za rok (ČR) [17]	38
Obrázek 18 Vývoj výkupní ceny a zeleného bonusu (ERÚ) [10]	40
Obrázek 19 Porovnání nákladů a investic – elektrická přípojka, ostrovní systém během 10 let.....	48
Obrázek 20 Systém 480 Wp – solar-elektro.cz [24].....	51
Obrázek 21 Systém 480 Wp – eshop.neosolar.cz [24]	52
Obrázek 22 Schéma zapojení ostrovní elektrárny [26].....	57
Obrázek 23 Sluneční deklinace během roku.....	60
Obrázek 24 Geometrie dopadu slunečního paprsku na solární panel.....	61
Obrázek 25 Azimutový úhel ploch – azimut 45° jihozápadně	61

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vliv stavu nabití na výstupní napětí a hustotu kyseliny v akumulátoru	31
Tabulka 2 Srovnání parametrů FV panelů dostupných na trhu	43
Tabulka 3 Porovnání nákladů obou variant během deseti let	48
Tabulka 4 Srovnání ostrovních setů.....	54
Tabulka 5 Vypočtená deklinace pro každý 21. den v měsíci.....	59
Tabulka 6 Hodnota součinitele znečištění v různých lokalitách.....	62
Tabulka 7 Výsledky vypočítaných ideálních sklonů, výšky slunce a intenzity slunečního záření během roku.....	63
Tabulka 8 Vypočtené hodnoty celkového slunečního záření pro 1. března ve 12 h.....	64
Tabulka 9 Vypočtené hodnoty celkového slunečního záření pro 1. července ve 12 h.....	64
Tabulka 10 Vypočtené hodnoty celkového slunečního záření pro 1. září ve 12 h	65
Tabulka 11 Vypočtené hodnoty celkového slunečního záření pro 1. července ve 12 h	65