

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh ostrovního FV systému pro rekreační objekt

**vedoucí práce: Ing. Milan Bělík, Ph.D.
autor: Bc. Pavel Kušička**

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel KUŠIČKA**
Osobní číslo: **E10N0033P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Návrh ostrovního FV systému pro rekreační objekt**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište základní principy a vlastnosti FV systémů.
2. Proveďte výpočet energetické spotřeby uvažovaného objektu.
3. Navrhněte ostrovní FV systém pro uvažovaný objekt.
4. Zhodnoťte navrhovaný systém z energetického, environmentálního a ekonomického hlediska.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


1. Poulek, Libra: Solární energie

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milan Bělík, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předložená diplomová práce se zabývá návrhem ostrovního fotovoltaického systému pro rekreační objekt. Je rozdělena do několika tematických částí. První část je věnována obecnému popisu Slunce a slunečního záření.

Druhá část se zabývá solárními systémy a jeho rozdělením. Ve třetí části je obecně popsán fotovoltaický systém. Čtvrtá část je zaměřena na fotovoltaický článek, jeho rozdělení, vlastnosti, výrobu a druhy. Pátá část zahrnuje popis jednotlivých komponentů fotovoltaického systému. V závěru této práce se nachází samotný návrh ostrovního fotovoltaického systému pro rekreační objekt a jeho hodnocení z hlediska ekonomického, energetického a environmentálního.

Klíčová slova

Solární záření, solární systémy, fotovoltaický článek, fotovoltaický panel, ostrovní systém, akumulátor, střídač, regulátor, návrh ostrovního systému

Annotation

This thesis deals with the project of stand alone photovoltaic system for weekend house. It is divided into several thematic parts. The first part is devoted to general description of the Sun.

The second part deals with the photovoltaic systems. The third part is generally describes the photovoltaic cell and his division. The fourth part is focused on photovoltaic cell, his division, characteristic, production and category. The fifth part includes a description of individual components of photovoltaic system. At the end of this thesis is detailed project of stand alone photovoltaic system for weekend house and his evaluation from economic, energetic and enviromental point of view.

Key words

Solar radiation, solar systems, photovoltaic cell, photovoltaic panel, stand alone system, storage battery, solar controller, solar invertor, project of stand alone system

Čestné prohlášení autora

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji tímto, že jsem danou diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 5. 5. 2012

.....

Bc. Pavel Kušička

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Milanu Bělíkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále děkuji ostatním zaměstnancům Západočeské univerzity v Plzni za předání odborných znalostí během studia. Další poděkování směřuje panu Ing. Karlu Cvačkovi, Ph.D. za poskytnutí odborné pomoci a zkušeností v oboru navrhování fotovoltaických systémů.

Obsah

ÚVOD	7
1. SLUNCE	8
1.1 CHARAKTERISTIKA SLUNCE	8
1.2 TERMONUKLEÁRNÍ REAKCE V NITRU SLUNCE.....	8
1.3 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ	10
1.4 SPEKTRÁLNÍ SLOŽENÍ SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ.....	12
1.5 PODMÍNKY VYUŽITELNOSTI SOLÁRNÍHO ZÁŘENÍ V ČR.....	13
2. SOLÁRNÍ SYSTÉMY	14
2.1 PASIVNÍ SOLÁRNÍ SYSTÉMY.....	15
2.2 AKTIVNÍ SOLÁRNÍ SYSTÉMY.....	16
3. SOLÁRNÍ FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY.....	17
3.1 PŘEMĚNA SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ NA ELEKTRICKOU ENERGIÍ	17
4. FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK	18
4.1 HISTORIE FOTOVOLTAIKY	18
4.2 PRINCIP FOTOELEKTRICKÉHO JEVU	21
4.2.1 FOTOEMISE	21
4.2.2 FOTOVODIVOST.....	22
4.2.3 FOTOVOLTAICKÝ JEV.....	23
4.2.4 CHARAKTERISTIKY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ.....	25
4.3 VÝROBA A KONSTRUKCE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	27
4.4 TYPY SOLÁRNÍCH ČLÁNKŮ	32
4.4.1 KLASICKÉ SOLÁRNÍ ČLÁNKY	32
4.4.2 TENKOVRSŤVÉ SOLÁRNÍ ČLÁNKY	34
4.4.3 SOLÁRNÍ ČLÁNKY MIS S INVERZNÍ VRSTVOU	35
4.4.4 SOLÁRNÍ ČLÁNKY Z PN SLOUČENIN	36
4.4.5 ČLÁNKY Z ORGANICKÝCH SLOUČENIN.....	37
4.5 GENERAČNÍ VÝVOJ FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU	39
4.6 FOTOVOLTAICKÉ MODULY	40
4.6.1 MECHANICKÁ KONSTRUKCE FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ	40
4.7 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY	41
4.7.1 SYSTÉM PRO DROBNÉ APLIKACE.....	42
4.7.2 SYSTÉM PŘÍMO PŘIPOJENÝ DO ROZVODNÉ SÍTĚ (ON-GRID)	42
4.7.3 AUTONOMNÍ SYSTÉM (OFF-GRID).....	43
5. KOMPONENTY FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU	45

5.1	AKUMULÁTOROVÉ BATERIE	45
5.2	POŽADAVKY NA AKUMULÁTOROVÉ BATERIE	46
5.3	DRUHY AKUMULÁTOROVÝCH BATERÍ	47
5.3.1	OLOVĚNÉ AKUMULÁTORY	47
5.3.2	ALKALICKÉ AKUMULÁTORY	49
5.3.3	LITHIUM-IONTOVÉ BATERIE	50
5.4	NABÍJENÍ OLOVĚNÉ AKUMULÁTOROVÉ BATERIE	50
5.4.1	PARAMETRY AKUMULÁTOROVÝCH BATERÍ	52
5.5	NAPĚŤOVÝ MĚNIČ.....	54
5.5.1	NASTAVENÍ MPP	55
5.6	REGULÁTOR NABÍJENÍ	56
5.7	KABELÁŽ SOLÁRNÍHO FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU:	58
5.8	OCHRANA PŘED BLESKEM	58
5.9	NOSNÁ KONSTRUKCE	59
6.	NÁVRH OSTROVNÍHO FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU	60
6.1	POPIS REKREAČNÍHO OBJEKTU.....	61
6.2	OBECNÝ NÁVRH SPOTŘEBIČŮ	62
6.3	VÝPOČET ENERGETICKÉ SPOTŘEBY REKREAČNÍHO OBJEKTU	63
6.4	VÝPOČET VNITŘNÍCH ZTRÁT	64
6.5	NÁVRH FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ.....	66
6.5.1	POPIS VOLBY FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ.....	66
6.5.2	ZTRÁTY VÝKONU FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ.....	68
6.5.3	VÝPOČET VÝKONU FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	68
6.6	VOLBA AKUMULÁTORU	71
6.7	KOMPATIBILITA MĚNIČE A FV PANELU.....	73
6.8	PROPOJENÍ KOMPONENTŮ	73
6.9	PROVOZ DLE ČASOVÉHO SLEDU.....	74
6.10	CELOROČNÍ PROVOZ S VYUŽITÍM ELEKTROCENTRÁLY	75
6.11	KRÁTKODOBÉ VYUŽÍVÁNÍ OBJEKTU	77
7.	ZHODNOCENÍ FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU	78
7.1	ENVIRONMENTÁLNÍ ZHODNOCENÍ.....	78
7.2	ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ	78
7.3	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	79
ZÁVĚR		82
SEZNAM PŘÍLOH		86

Úvod

Fotovoltaika, která je řazena mezi obnovitelné zdroje, se stala v poslední době velmi diskutovaným pojmem. Bylo to způsobeno zejména velkým nárůstem počtu instalovaných fotovoltaických elektráren na území České republiky. Tento nárůst s sebou přinesl možnost ohrožení stability celé přenosové soustavy. Proto bylo rozhodnuto o zavedení tzv. stop stavu, který skončil počátkem ledna roku 2012.

Podstatou fotovoltaiky je přeměna dopadajícího slunečního záření na energii elektrickou, pomocí tzv. fotovoltaického jevu. Tato přeměna je realizována za pomoci fotovoltaických článků vyrobených nejčastěji z polovodivého materiálu. Pro solární (fotovoltaické) články se v současné době používají materiály jako je amorfní křemík, polykrystalický křemík, mikrokrystalický křemík, telurid kadmia a tzv. CIGS sloučeniny, tedy sloučeniny diselenidu mědi, kadmia a india. Ty nabízejí oproti křemíku vysokou účinnost a trvanlivost. Jednotlivé fotovoltaické články se skládají fotovoltaických panelů, jež tvoří celé fotovoltaické moduly. Ty se poté využívají při stavbě fotovoltaických elektráren.

Dopadající sluneční záření je na Zemi využívána mnoha způsoby. Slouží pro ohřev vody v solárních kolektorech nebo při pěstování řepky pro výrobu bionafty. Přímá výroba elektřiny je však o mnoho složitější. Pokud se spokojíme s poměrně malým výkonem, jsou fotovoltaické panely velmi vhodné. Jejich provoz je zcela nehlukný, nevyžadují žádnou obsluhu a jen nepatrnou údržbu, provozní náklady jsou nulové a nevznikají žádné zplodiny.

V této diplomové práci se zaměřím na vlastnosti a principy fotovoltaických článků. Provedu popis jednotlivých druhů fotovoltaických článků. A v neposlední řadě se zaměřím na samotný návrh ostrovního fotovoltaického systému pro rekreační objekt, který bude dimenzován na základě celkové spotřeby objektu v letních měsících.

1. Slunce

V úvodu této diplomové práce, zabývající se návrhem ostrovního fotovoltaického systému, popíši pro člověka nejdůležitější hvězdu - Slunce, jež zásadním způsobem ovlivňuje existenci života na Zemi a představuje též stabilní a výkonný energetický zdroj.

1.1 Charakteristika Slunce

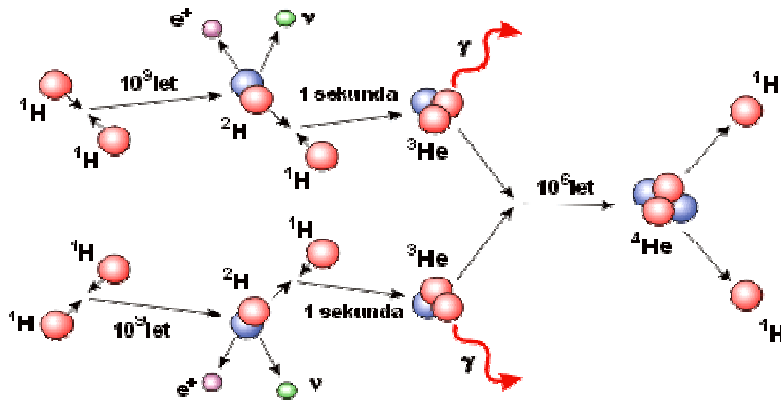
Jak již bylo řečeno, Slunce je hvězda. Z hlediska astronomické klasifikace hvězd v Hertzsprungově-Russelově diagramu, který vyjadřuje závislost povrchové teploty hvězd na jejich svítivosti, se jedná o zcela obyčejnou hvězdu spektrální třídy G2V, která se nevyznačuje žádnými mimořádnými vlastnostmi. Tato hvězda je od Země vzdálena v průměru $1,49 \cdot 10^{11}$ m a má hmotnost $1,99 \cdot 10^{30}$ kg. Obíhá okolo středu Mléčné dráhy ve vzdálenosti od $25 \cdot 10^3$ do $28 \cdot 10^3$ světelných let (ly). Tento oběh trvá přibližně 226 milionů let. Slunce je pro člověka nejbližší a nejdůležitější hvězdou, která je trvalým zdrojem veškeré energie na Zemi. Má tvar koule o průměru $1,39 \cdot 10^9$ m. Hmotnost Slunce je přibližně $33 \cdot 10^4$ krát větší než hmotnost Země a představuje kolem 99,8 % hmotnosti Sluneční soustavy. Je to koule složená ze žhavých plynů neboli plazmatu, která neustále produkuje ohromné množství energie. Celkový zářivý tok vyzařovaný z povrchu Slunce do kosmického prostoru činí $3,85 \cdot 10^{26}$ W a měrný tok energie na jeho povrchu je $6 \cdot 10^7$ W.m⁻². Stáří Slunce se odhaduje na 5 miliard let. Skládá se především z atmosférického vodíku (70%), helia (28%) a množství ostatních prvků (2%) Mendělejevovi tabulky (periodická tabulka chemických prvků). [1,4,9,11]

1.2 Termonukleární reakce v nitru Slunce

V nitru Slunce dochází k samoregulované termonukleární reakci, při které se vodík (H) přeměňuje za vysokých teplot ($13 \cdot 10^6$ K) a tlaku ($2 \cdot 10^{10}$ MPa) na helium (He). Za stavu vysoké teploty a tlaku jsou všechny atomy zcela ionizovány. Jádro atomu vodíku má za těchto podmínek vyšší hmotnost a ztrácí svůj záporně nabitý obal elektronů. Ty narážejí při vysokých rychlostech ($1000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$) do jiných atomů vodíku.

Termonukleární reakce je popsána jako reakce, do které vstupují na počátku dva protony ^1H (tedy jádra vodíku). Z těchto protonů za emise pozitronu (neboli antielektronu) a neutrina (elementární částice) vzniká deuteron ^2H (obsahuje jeden proton a jeden neutron), který se dále spojuje s dalším protonem ^1H a vzniká jádro ^3He , při čemž dojde k uvolnění

záření gamma (značeno γ). Dále reakce pokračuje spojením dvou jader ${}^3\text{He}$ a vzniká jádro ${}^4\text{He}$ a dva protony. Tato reakce je podrobně znázorněna na obr. 1.1.



Obr. 1.1: Termonukleární reakce v nitru Slunce [9]

Energie, která se při tomto řetězci uvolní je dána na základě rozdílu hmotnosti jádra atomu helia a čtyř protonů vodíku. Číselně vyjádřeno se při této reakci přemění $564 \cdot 10^9$ kg/s vodíku na $560 \cdot 10^9$ kg/s helia. Hmotnost jádra helia je tedy menší, než hmotnost čtyř protonů vodíku. Tento rozdíl hmot je vyzářen do prostoru v podobě energie, která je dána Einsteinovou rovnicí $E = \Delta mc^2$. Uvolněná energie má podobu velmi tvrdého elektromagnetického záření (rentgenového) o frekvenci řádově 10^{25} Hz. Většina této energie je nesena fotony (elementární částice světla), které původně vznikají jako záření gamma s vysokou energií. Než se však tyto fotony dostanou k povrchu Slunce a jsou vyzářeny do kosmického prostoru, trvá to přibližně 10 milionů let, což je způsobeno jejich neustálými srážkami s elektrony, které mění jejich směr a zároveň snižují jejich energii. Energie fotonu klesne řádově z 10^{-8} J na 10^{-18} J a frekvence z 10^{25} Hz na 10^{16} Hz než po prvotním termonukleárním sloučení. Jedná se o oslabení v řádu 10^{-9} Hz. Ze záření gamma se tedy stane záření o viditelných vlnových délkách. Po vyzáření z povrchu Slunce trvá fotonu cesta k Zemi pouhých 8 minut. Sluneční záření není při této cestě k Zemi ničím pohlcováno a přichází na hranici atmosféry v původním stavu, v němž opustilo povrch Slunce, avšak se značně sníženou intenzitou, jelikož výkon se s rostoucí vzdáleností rozptýlí na větší plochu. Z celkového výkonu vyzářeného Sluncem dopadá na zemský povrch pouze zlomek tohoto záření - kolem dvou miliardtin, číselně vyjádřeno $7,7 \cdot 10^{17}$ kW. [4,9]

1.3 Sluneční záření

Sluneční záření, dopadající na zemský povrch, vstupuje do atmosféry ve výšce 1000 km nad zemským povrchem. Atmosféra Země je převážně složena z **dusíku** (78 %), **kyslíku** (21 %) a **ostatních plynů** (1%). Chrání pozemský život před nebezpečnou sluneční a kosmickou radiací a svou tepelnou setrvačností snižuje teplotní rozdíly mezi dnem a nocí. Atmosféra nemá jednoznačnou vrchní hranici, plynule řídne a přechází do vesmíru. Tři čtvrtiny atmosférické hmoty leží v prvních 11 km nad povrchem Země. Zemská atmosféra se skládá z těchto vrstev:

- **troposféra** - sahá od povrchu země do 7 km v polárních oblastech a do 17 km okolo rovníku
- **stratosféra** - sahá od konce troposféry, přibližně do 50 km
- **mezosféra** - sahá od konce stratosféry, přibližně do 80 až 85 km
- **termosféra** - sahá od konce mezosféry zhruba do vzdálenosti 640 km od povrchu
- **exosféra** - sahá od konce termosféry zhruba do vzdálenosti 20 000 - 70 000 km od povrchu

V oblasti **ionosféry** (60 km nad zemským povrchem) dochází k pohlcení nebezpečného slunečního záření (ultrafialového a rentgenového) a následné ionizaci atmosférických plynů. V nižších výškách (20 až 30 km), nazývané též **ozonosféra**, podle vysokého obsahu ozonu (O_3), dochází k pohlcení zbývající části ultrafialového záření. V oblastech **troposféry** pohlcuje sluneční záření vodní pára, oxid uhličitý (CO_2), prach a kapky vody v mracích.

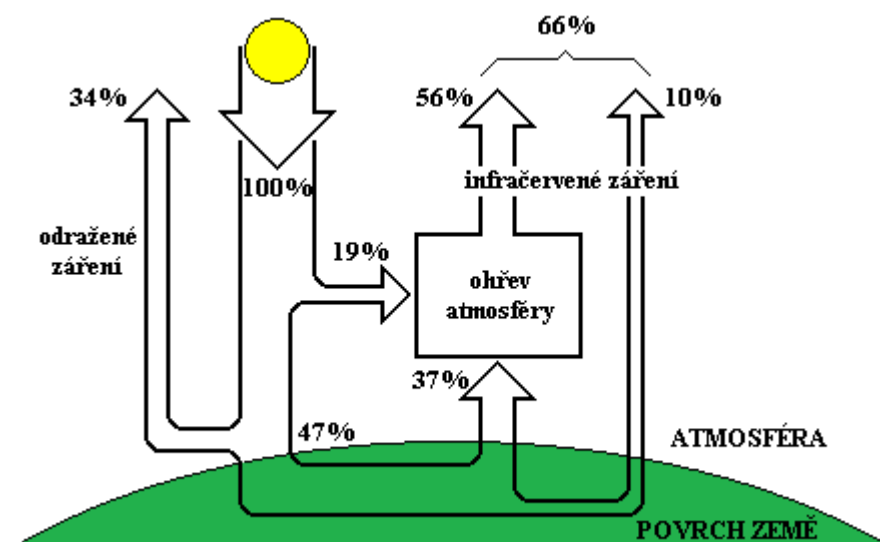
Jak je zřejmé z předešlého textu, na zemský povrch dopadá po průchodu atmosférou jen velmi malá část slunečního záření, jež má změněné spektrum a sníženou celkovou intenzitu. Na povrch Země dopadá jen kolem 1 kW/m^2 při slunečním svitu a desítky wattů při zatažené obloze.

Veškeré sluneční záření dopadající na zemský povrch se souhrnně nazývá **záření globální** a zahrnuje veškeré vlnové délky od ultrafialového (390 nm) po infračervené sluneční záření (760 nm). Toto záření dále dělíme na záření **přímé** a **difuzní**. Záření přímé je složené z prakticky nezměněných přímých slunečních paprsků a záření difuzní má svůj původ rovněž v původním slunečním záření, ale vlivem odrazu o mraky, částice vodní páry a aerosolové částice rozptýlené v atmosféře přichází z různých směrů a má odlišné spektrální složení. Do

této skupiny také zahrnujeme záření **odražené** a **vyzářené** zemským povrchem (tzv. **telestetické záření**). Dalším jevem spolupůsobícím na interakci slunečního záření je přímé pohlcení světla neboli **absorpce**, které spočívá v zachycení určitého množství světelné energie molekulami či atomy prostředí, kterými prochází. Zachycení je trvalé a zachycená energie se mění na energii kinetickou neuspořádaného pohybu částic prostředí. Tímto jevem narůstá vnitřní energie prostředí a tím i teplota.

Procentuálně vyjádřeno se z celkového toku energie odrazí zpět do vesmíru přibližně 34 % (odraz od mraků, částecek prachu a zemského povrchu). Atmosféra pohltí kolem 19 % a zbývající část sluneční energie je pohlcena zemským povrchem (47 %). Záření pohlcené zemským povrchem se na základě absorpce (uvedeno výše) mění v teplo, jež je vyzařováno zpět v podobě infračerveného záření (14 %). Toto záření je pohlceno v atmosféře víceatomovými plyny, které způsobí tzv. skleníkový efekt neboli trvalé zvýšení teploty zemského povrchu. Velké množství energie se též spotřebuje na vypařování vody z povrchů oceánů (23 %). Zbývající část slunečního záření, pohlceného zemským povrchem, je odvedena konvekcí (10 %), čili zahřátý teplý vzduch stoupá vzhůru a na jeho místo proudí chladnější těžší vzduch - vznikají větry. Na biologické reakce je využito přibližně 1 % energie dopadajícího slunečního záření. [4,9,13,15]

Procentní vyjádření výše uvedených ztrát slunečního záření dopadající na zemský povrch na 1 m² je graficky znázorněn na obr. 1.2.



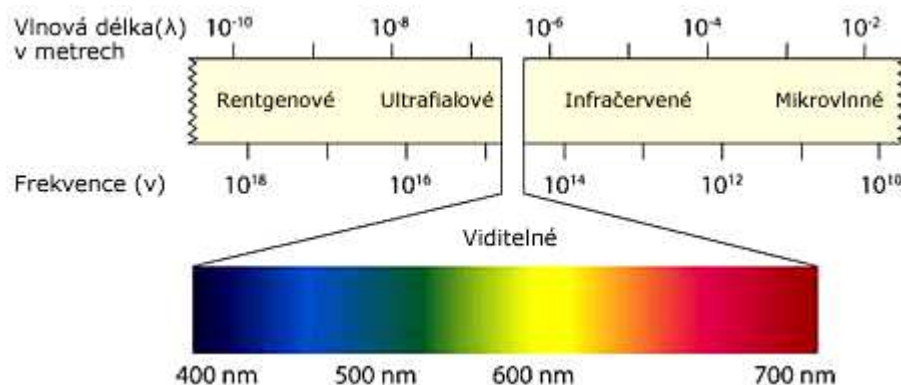
Obr. 1.2: Procentní vyjádření ztrát slunečního záření [15]

1.4 Spektrální složení slunečního záření

Slunce září jako absolutně černé těleso s povrchovou teplotou kolem 5900 K. Spektrální rozsah slunečního světla začíná od 30 do 3000 nm a jeho energetické maximum se pohybuje v oblasti okolo 500 nm. Značná část dopadajícího slunečního záření přichází na Zem v podobě viditelného záření. Sluneční záření tedy můžeme rozdělit na záření:

- **ultrafialové** - vlnové délky nižší než 300 nm (lidské oko neregistruje)
- **fotosynteticky aktivní** - vlnové délky 400 - 780 nm
- **infračervené záření** - vlnové délky nad 800 nm

Současná technologická úroveň nedokáže vyrobit fotovoltaické články, které by přeměňovaly veškeré dopadající záření na elektrickou energii. Každý foton, který je emitován ze Slunce, je nosičem určitého množství energie. Četnost fotonu je ve spektru rozložena nerovnoměrně. Platí zde přímá úměrnost mezi vlnovou délkou a velikostí energie fotonů. Tedy, čím menší je vlnová délka, tím větší je energie fotonů. Na **obr. 1.3** je znázorněna vlnová délka slunečního záření. Energie částic je udávána v elektronvoltech ($1\text{eV}=1,602 \cdot 10^{-19}\text{ J}$). Fialové světlo s kratší vlnovou délkou (vyšší frekvencí) má energii fotonů (3,18 eV). Naopak červené světlo s delší vlnovou délkou (nižší frekvencí) má energii fotonů (1,57 eV). [29]

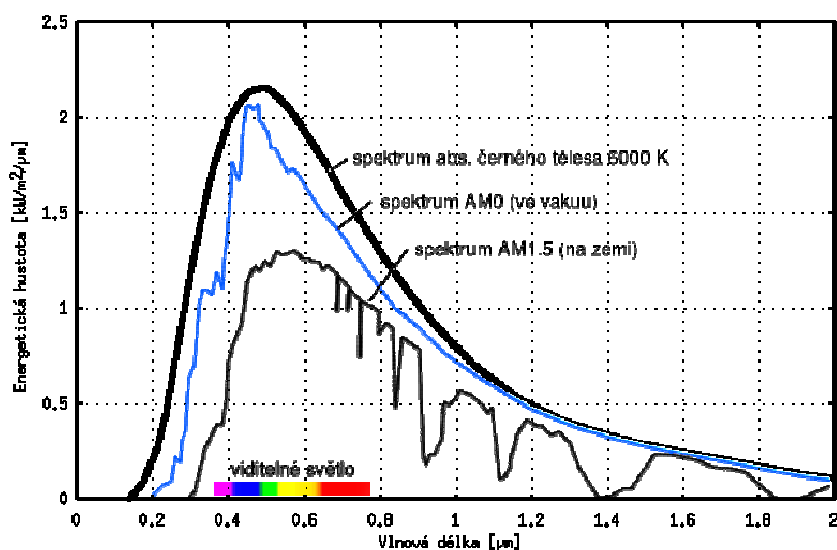


Obr. 1.3: Vlnová délka slunečního záření [29]

Spektrum slunečního záření můžeme rozdělit do několika skupin:

- **AM0** (air mass) je označováno spektrum slunečního záření vyskytující se v kosmu ve vzdálenosti asi 150 miliónů km od Slunce. Toto spektrum není ovlivněno atmosférou. Energetická hustota spektra je $1367 \pm 7\text{ W/m}^2$. [29]

- **AM 1,5** je spektrum slunečního záření s energetickou hustotou 1 kW/m^2 , jež prošlo bezoblačnou atmosférou Země. Záření překonalo 1,5 krát větší vrstvu vzduchu. Ve skutečnosti je hustota tohoto záření do značné míry ovlivněna oblačností atmosféry. AM 1,5 odpovídá výšce Slunce 45° nad obzorem Teoretický využitelný výkon tohoto záření je na **obr. 1.4** znázorněn šedou plochou. [29]
- **AM 1** je označováno spektrum slunečního záření, které prochází nejmenší vrstvou vzduchu, při výskytu Slunce přímo v zenitu ve výšce 90° . K této ideální situaci po většinu času nedochází. Proto se pro využití ve fotovoltaice používá spektrum AM 1,5. [29]



Obr. 1.4: Spektrální složení dopadajícího slunečního záření [39]

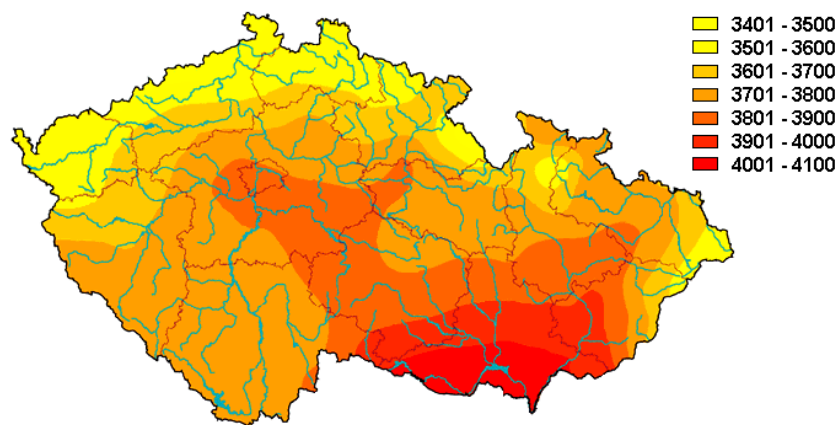
1.5 Podmínky využitelnosti solárního záření v ČR

Sluneční energie patří mezi nevyčerpatelný zdroj energie. Z pohledu délky lidského života a doby života Slunce, odhadovaná na 5 - 7 miliard let, se jedná o **obnovitelný zdroj energie**. Množství solární energie, jež se dá využít, je závislé na klimatických podmínkách jednotlivých částí zemského povrchu a dané lokalitě. Lze ji dobře využívat nejen v oblastech s dlouhým slunečním svitem, ale i v oblastech s vyšší nadmořskou výškou.

Česká republika se nachází ve Střední Evropě na 50° zeměpisné šířky. Přestože tato poloha poskytuje poměrně dobré podmínky pro využití energie slunečního záření, dochází v průběhu roku ke značnému kolísání množství dopadající sluneční energie. Roční příkon energie na horizontální plochu se v našich zeměpisných podmínkách pohybuje od 800 do

1250 kWh/m² za rok. Avšak tento příkon mění rozdělen rovnoměrně a mění se v průběhu roku. Od začátku října do konce dubna dopadá jen 25% celkového množství a od dubna do konce září zbylých 75%. Důležitá je také doba slunečního svitu, která se na území České republiky pohybuje v průměru mezi 1750 až 1900 h/rok. V některých oblastech, jako například v nížinách na jižní Moravě, je udávaná doba slunečního svitu dokonce až 2000 h/rok a v horských oblastech v průměru 1600 h/rok. Na plochu 1 m² přitom dopadá ročně cca do 1100 kWh solární energie.

Na obr. 1.5 je názorně zobrazeno rozložení globálního záření dopadající na jednotlivé oblasti České republiky, vztaženo na vodorovnou plochu (1 m²) za rok.



Obr. 1.5: Průměrný roční úhrn globálního záření [MJ/m²] [16]

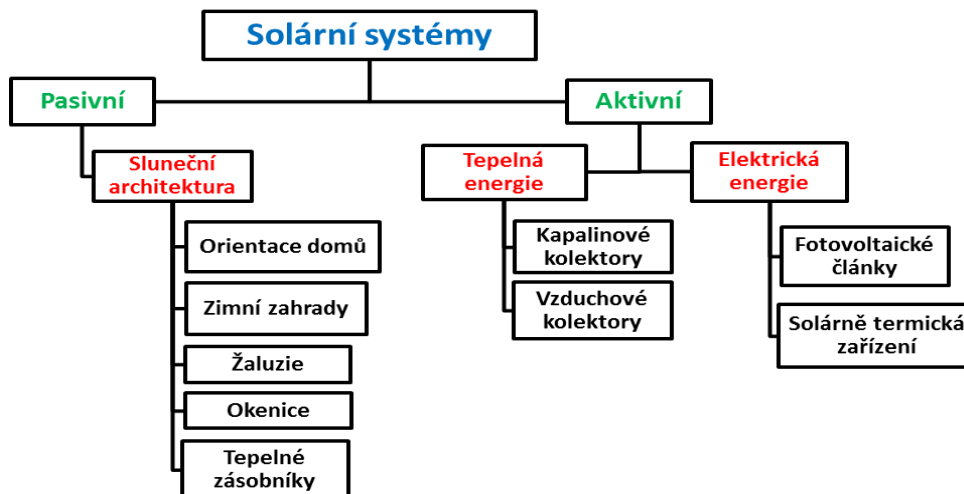
Dalším důležitým faktorem ovlivňující intenzitu dopadajícího slunečního záření je **znečištění atmosféry**, jež se projevuje poklesem globálního záření o 5 až 10 %, v průmyslových oblastech či velkých městských aglomeracích až o 15 až 20 %. V oblastech s vyšší nadmořskou výškou od 700 do 2000 m n.m. je tento trend spíše opačný a dochází k 5 % nárůstu globálního záření.

Na základě těchto údajů je možné předpokládat, že při dobré účinnosti solárního systému lze z poměrně malé plochy, jež je například podstatně menší než střecha běžného rodinného domu, získat poměrně velký výkon. [4,9,14,18]

2. Solární systémy

Solární systémy obecně rozdělujeme na **aktivní** a **pasivní**.

Toto rozdělení je podrobněji znázorněno na **obr. 2.1**. V této práci se především zaměřím na aktivní solární systémy, zejména na výrobu elektrické energie pomocí **fotovoltaických článků**.



Obr. 2.1: Obecné rozdělení solárních systémů [21]

2.1 Pasivní solární systémy

Pasivní solární systémy využívají principu tzv. **skleníkového efektu**. Tepelná energie je využívána přímo v místě vzniku a nedochází k jejímu aktivnímu transportu. Pasivní solární systémy rozdělujeme podle způsobu využití sluneční energie na **přímé** a **nepřímé**. U přímých prochází sluneční záření přes zasklení přímo do místnosti a u nepřímých se toto záření dostává do místnosti ve formě tepelné energie, jež je vyzařována z akumulací stěny. Dále můžeme kombinovat oba předešlé způsoby a vzniká tzv. metoda **hybridní**.

Mezi **pasivní solární systémy** zahrnujeme architektonické, urbanistické či stavebně konstrukční koncepce budov, které využívají tepelnou energii ze svého okolí. Tyto koncepce budov mají velkou schopnost přijímat solární energii a následně ji využít pro vytápění. Budovy, které využívají pro přeměnu solární energie na teplo čistě stavebních prvků (např. prosklené fasády, okna, akumulací solární stěny aj.), nazýváme **pasivní heliotechnické budovy**. Pasivním solárním systémem může být jak celá budova, tak pouze některá z jejích částí. Transport energie je v tomto případě realizován pouze přirozenou cestou, bez pomoci technických zařízení. Energetická efektivnost pasivních solárních prvků budov je založena na selektivní propustnosti tepelného záření transparentními materiály, na rozdílné pohltivosti krátkovlnného záření a na omezení emisivity dlouhovlnného záření stavebními povrchy (tedy

úniků tepla) i na akumulaci tepla. Pasivní solární architektura nevyužívá žádných externích zdrojů energie, a proto nedochází ke vzniku případných provozních nákladů ani emisí znečišťujícího životního prostředí. Jediným negativním prvkem tedy může být jejich nezbytný výrobní proces. Pozitivum pasivních solárních systémů spočívá v jejich možnosti dodatečného zakomponování do stávajících budov, kde je využit potenciál budovy, který závisí na jejím stáří, typu či orientaci.

Při navrhování pasivních solárních systémů platí několik důležitých zásad. Okno či jiné prvky pasivních solárních systému umísťujeme vždy na jižní průčelí budovy, kde jsou největší tepelné zisky. Na severní či návětrnou stranu okno neumísťujeme, v krajním případě jen velmi malé. Členění budovy by mělo být minimální. Dodržujeme také tepelné zónování půdorysu budovy a dbáme na vytvoření akumulčního jádra budovy. V neposlední řadě, využíváme vhodného stínění listnatými stromy a snažíme se zabránit přehřívání interiéru v letním období.

Jednotlivé tepelné zisky v interiéru závisí na orientaci budovy s prosklením, kterým prochází sluneční záření, pro přehlednost uvedeno v tab. 2. 2. [19]

Tab. 2.2: Možné tepelné zisky na 1 m² plochy [20]

Orientace	kWh/m ²
jih	400
jihozápad, jihovýchod	360
západ, východ	210
severovýchod, severozápad	160
sever	150

2.2 Aktivní solární systémy

Aktivní solární systémy můžeme rozdělit na zisk **tepelné energie** (pomocí solárních kolektorů, např. pro ohřev vody) či **elektrické energie** (pomocí fotovoltaických článků, jež bude podrobněji vysvětleno v kapitole 4. **Fotovoltaický článek**). Další variantou je metoda **kombinovaná**, která spočívá v kombinaci obou předešlých způsobů, tedy výroby tepelné i elektrické energie. Aktivní solární systémy přeměňují energii slunečního záření dvojným způsobem:

- pomocí **fototermální přeměny** - přeměna na tepelnou energii

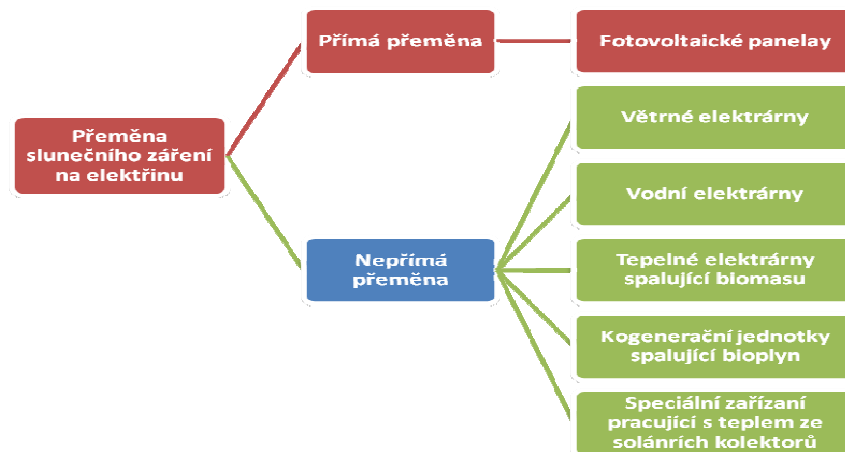
- pomocí **fotoelektrického jevu** - přeměna na elektrickou energii

Aktivní solární systémy je téměř vždy možné dodatečně instalovat na stávající budovu a zajistit tak výrobu tepelné či elektrické energie.[4]

3. Solární fotovoltaické systémy

3.1 Přeměna slunečního záření na elektrickou energii

Sluneční záření lze využívat dvojím způsobem - přeměna na **teplo** nebo **elektrickou energii**. Přeměna na teplo je považována za nejefektivnější způsob přeměny slunečního záření, oproti přeměně na elektřinu, která je o poznání dražší a méně účinná. V současné době se účinnost přeměny slunečního záření na elektrickou energii pohybuje v rozmezí 16 - 18 % u sériově vyráběných křemíkových článků. V této práci se především zaměřím na přeměnu slunečního záření na elektrickou energii. Tento způsob přeměny můžeme dále rozdělit na přeměnu **přímou** a **nepřímou** (graficky znázorněno na obr. 3.1). Přímá přeměna je realizována prostřednictvím fotovoltaických panelů, nepřímá pomocí větrných a vodních elektráren nebo tepelných elektráren spalujících biomasu či bioplyn. Existují i zařízení, kde je teplo spalovacího procesu nahrazeno, např. párou získávanou pomocí speciálních slunečních kolektorů. [10]



Obr. 3.1: Způsoby využití slunečního záření pro výrobu elektřiny [10]

▪ přímá přeměna

využívá fotovoltaického jevu, při kterém se v látce působením fotonů uvolňují elektrony. Tento jev může nastat v některých polovodičích (Si, Ge aj..). Podrobněji bude fotovoltaický jev vysvětlen v kapitole 4.2.3. [40]

- **nepřímá přeměna**

je založena na zisku tepla za pomoci slunečních sběračů. Termočlánek, který přeměňuje teplo na elektřinu, je umístěn v ohnisku těchto sběračů. Nepřímá přeměna je založena na Seebeckově jevu. V odvodu, složeného ze dvou různých drátů, které mají různé teplotní spoje, vzniká elektrický proud. Jednoduchým zařízením založeným na tomto principu je termoelektrický článek. Jeho účinnost závisí na vlastnostech obou kovů, z nichž jsou dráty vyrobeny, a na rozdílu teplot mezi teplým a studeným spojem. Větší množství termoelektrických článků vhodně spojených se nazývá termoelektrický generátor. [40]

4. Fotovoltaický článek

V úvodu této kapitoly bych se stručně zmínil o fotovoltaickém (solárním) článku, který bude dále v této kapitole podrobněji popsán.

Solární neboli fotovoltaický článek umožňuje přímou přeměnu energie slunečního záření na energii elektrickou pomocí tzv. fotoelektrického jevu (kapitola 4.2). Je to jev, při kterém se v látce působením světla (fotonů) uvolňují elektrony. V současné době je nejvyužívanějším fotovoltaickým článkem článek křemíkový s účinností pohybující se v rozmezí 16 - 18 % u sériově vyráběných článků.

4.1 Historie fotovoltaiky

Každý důležitý objev má svoji zajímavou historii a u fotovoltaického článku tomu nebylo jinak. V této kapitole se zaměřím na historii fotovoltaiky a jeho významné objevitele.

Slovo fotovoltaika vzniklo spojením řeckého slova φώς [phós], ve významu světlo, a jednotky elektrického napětí Volt, pojmenovaná po významném italském fyzikovi **Alessandro Voltovi** (1745 – 1827), který ve svých spisech definoval pojem elektrického napětí. Fotovoltaika je technický obor zabývající se přeměnou solární, resp. sluneční energie na energii elektrickou. Prvotní pokusy s fotočlánky sahají do sedmdesátých let 19. století, kdy byly poprvé zjištěny změny vodivosti Selenu (Se) při jeho osvětlení. Samotný fotovoltaický jev objevil roku 1839 francouzský fyzik **Alexander E. Becquerel** (1820 - 1891). Při pokusu s elektrodami ponořenými do elektrolytu pozoroval změny napětí na těchto elektrodách v závislosti na intenzitě dopadajícího slunečního záření. První fotovoltaický článek byl však sestaven až o několik desítek let později, roku 1883 americkým vynálezcem, **Charlesem**

Frittsem, jež potáhnul polovodivý selen velmi tenkou vrstvou zlata. Takto vzniklé zařízení mělo jen velmi malou účinnost pohybující kolem 1% a vzhledem k vysoké ceně bylo pro výrobu elektřiny značně nevyhovující.

Roku 1904 fotoelektrický jev fyzikálně popsal **Albert Einstein** (1879 - 1955) ve svém díle: "Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt", za který v roce 1921 získal Nobelovu cenu za fyziku.

V roce 1916 **Robert Andrews Millikan** (1868 - 1953), držitel Nobelovy ceny za fyziku v oblasti výzkumu elementárního elektrického náboje a fotoelektrického jevu, experimentálně potvrdil platnost tohoto jevu. První patent na solární článek (US Patent 2402662) podal roku 1946 americký inženýr **Russell Shoemaker Ohl** (1898 - 1987), který stál na počátku rozvoje křemíkových solárních článků. Pracoval na výzkumu materiálů pro telekomunikační firmu AT&T Bell Laboratories, kde byl roku 1954, ve spolupráci vynálezců **G. L. Pearsona, Calvina Fullera, Daryla Chapina**, vyroben první solární článek založený na monokrystalickém křemíku s účinností kolem 6%.

Velký rozvoj fotovoltaiky nastává v období tzv. **studené války**, kdy dochází k soupeření zejména mezi Sovětským svazem a Spojenými státy americkými o dobývání vesmíru (tzv. kosmické závody). Rozvoj fotovoltaických článků souvisí s nástupem kosmického výzkumu v 60. letech 20. století. Solární články se začínají postupně uplatňovat jako jediný vhodný zdroj energie pro vesmírné družice. Prvními družicemi s těmito články byly sovětská družice Sputnik a americká družice Vanguard I, vypuštěné roku 1958.

Na počátku 70. let 20. století dochází k poklesu cen fotovoltaických článků, jež se začínají využívat v omezené míře na Zemi, např. pro napájení zabezpečovacích zařízení v oblastech bez přístupu k elektrické síti. Dalším důležitým mezníkem pro rozvoj fotovoltaiky, a zejména výzkumu a vývoje v této oblasti, byla celosvětová ropná krize v roce 1973, kdy se začaly hledat nové cesty, jak se zbavit závislosti na ropě. [2, 3]

Fotovoltaika našla v 21. století značné uplatnění a užívá se v různých oblastech lidského života. Slouží pro napájení drobné elektroniky, jako jsou mobilní telefony, kalkulačky aj. Slouží jako zdroj energie v místech bez připojení k elektrické síti (tzv. ostrovní provoz), experimentuje se také s automobily poháněnými energií ze solárních článků a poskytuje další mnohá využití.

Sluneční záření je z pohledu lidského života a předpokládané doby života Slunce (5 až 7 miliard let) nevyčerpatelným obnovitelným zdrojem energie, a proto se i nadále věnuje vývoji a rozvoji fotovoltaických článků značné úsilí. [2, 3]

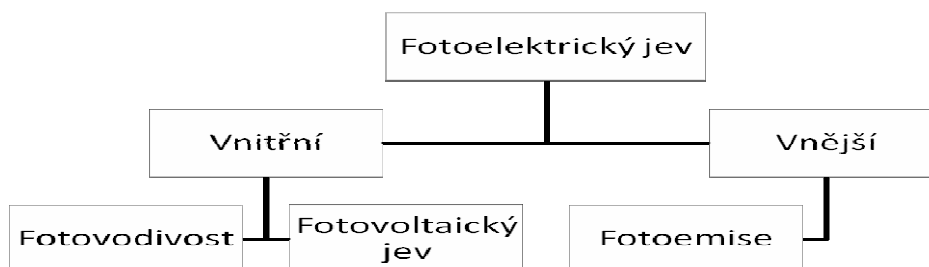
Historické události vývoje fotovoltaického článku:

- **1839** A. E. Becquerel objevil fotoelektrický jev. Pozoroval přímou přeměnu energie záření na energii elektrickou.
- **1839** Elektroinženýr W. Smith objevil závislost odporu selenové tyčinky na osvětlení. Tento jev byl popsán v článku "Effect of Light on Selenium during the passage of an Electric Current".
- **1973** Elektroinženýr Willoughby Smith objevil fotokonduktivitu Selenu. Vodivost selenové tyčinky klesá v závislosti na jejím osvětlení.
- **1877** W. G. Adams a R. E. Day pozorovali fotovoltaický jev na krystalu Selenu.
- **1883** Charles Fritts, americký vynálezce, popsal první článek vyrobený ze selenových desek (wafers).
- **1916** R. A. Millikan uskutečnil experimentální důkaz fotoelektrického jevu.
- **1918** Polák Jan Czochralski vyvinul metodu výroby monokrystalického křemíku, jež se stala základem výroby křemíkových ingotů.
- **1921** Albert Einstein získal Nobelovu cenu za popis fotoelektrického jevu.
- **1932** Audobert a Stora pozorovali fotovoltaický jev na sirníku kademnatém.
- **1950** Došlo k průmyslovému zavedení výroby křemíkových monokrystalů pomocí Czochralského metody.
- **1951** Objevena metoda výroby monokrystalu germania.
- **1954** Ve společnosti AT&T Bell Laboratories byl vyroben první křemíkový fotovoltaický článek s účinností přeměny kolem 4 %.
- **1957** Společnost Hoffman Electronics Inc. dosáhla 8 % účinnosti FV článku.
- **1958** Vypuštění první umělé americké družice s přístroji napájenými pomocí fotovoltaických článků (Vanguard I). Společnost Hoffman Electronics Inc dosáhla 9% účinnosti FV článku.
- **1959** Společnost Hoffman Electronics Inc dosáhla 10 % účinnosti FV článku.
- **1960** Účinnost nejlepších fotovoltaických křemíkových článků dosáhla 14 %.
- **1962** Vypuštěn první komerční satelit Telstar 1963.
- **1963** Japonský maják byl vybaven fotovoltaickým zdrojem o výkonu 242 W.
- **1964** Vypuštěna vesmírná loď Nimbus s fotovoltaickým polem 470 W.
- **1966** Orbiting Astronomical Observatory vypuštěna s fotovoltaickými články o výkonu 1 kW.

- **1970** Založena společnost Solar Power Corporation.
- **1977** Celková roční výroba z fotovoltaických článků přesáhla 500 kW.
- **1980** První společnost s produkcí více než 1 MW článků ročně - ARCO Solar.
- **1981** Vzlétlo první letadlo na fotovoltaický pohon - Solar Challenger.
- **1982** Fotovoltaické systémy dosáhly v celosvětovém měřítku celkového výkonu 9,3 MW.
- **1983** Celosvětová produkce přesáhla 21,3 MW a prodej \$250 mil..
- **1989** Společnost BP Solar podala přihlášku patentu na thin film process.
- **1997** Spuštěna první fotovoltaická elektrárna v České (Mravenečník) o instalovaném výkonu 10 kW.
- **1999** Celosvětově instalovaná kapacita přesáhla 1000 MW.
- **2002** Fotovoltaické systémy dosáhly v celosvětovém měřítku celkového výkonu 2000 MW. [2,3]

4.2 Princip fotoelektrického jevu

Fotovoltaika umožňuje přímou přeměnu energie slunečního záření na energii elektrickou pomocí **fotoelektrického jevu**. Rozdělení jevu je znázorněno na obr. 4.1.



Obr. 4.1: Fotoelektrický jev [4]

U fotoelektrického jevu rozeznáváme fotoefekt **vnitřní** a **vnější**. Vnější fotoefekt je též označován jako **fotoemise** a vnitřní fotoefekt se dělí do dvou forem na **fotovodivost** a **fotovoltaický jev**. [44]

4.2.1 Fotoemise

Obecně každé záření má duální charakter, tedy charakter vlnění a současně charakter částicový. Záření se skládá z částic (fotonů), které v určitých podmínkách vykazují vlastnosti vln. Energie, jež je nesena částicemi, je vyjádřena na základě vztahu (4.2).

$$E = h \cdot f = (h \cdot c) / \lambda \quad [\text{J}] \quad (4.2)$$

kde	E	-	energie [J]
	c	-	rychlost světla ve vakuu ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s)
	h	-	Planckova konstanta ($h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ J.s)
	v	-	frekvence [Hz]
	λ	-	vlnová délka [m]

Dodáme-li vzorcem uvedenou energii na povrch materiálu, může dojít k odtrhnutí valenčních elektronů od mateřských atomů v krystalické mřížce materiálu. K odtržení dojde po dodání určitého množství energie, která je však závislá na vlnové délce záření a na materiálu. Čím vyšší je frekvence, tedy čím je kratší vlnová délka záření, tím větší je energie jeho kvant. Po převodu Joule na elektronvolty ($1 \text{ J} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ eV}$) a vlnové délky z (m) na (nm), dostaneme vztah pro přepočítání mezi vlnovou délkou záření a energií jeho kvant (4.3). [4, 44]

$$\lambda = 1240 / E \quad (4.3)$$

Fotoemise je charakterizována jako jev, při kterém dochází vlivem dopadajícího záření k emisi elektronů z povrchu ozářené látky. Ozářená látka koná výstupní práci E_a . Vykonaná výstupní práce úzce souvisí s hraniční vlnovou délkou λ_g . Při vlnové délce menší než je hraniční vlnová délka dojde k vnějšímu fotoefektu ($\lambda < \lambda_g$), v opačném případě nikoli. Fotoemise je v praxi využívána k registraci světelných toků pomocí fotonek či fotonásobičů. Technicky nelze fotoemisi využít k výrobě elektrického proudu. Účinnost přeměny zářivé energie na energii elektronů je totiž příliš nízká, pohybuje se kolem 0,01 %. [4]

4.2.2 Fotovodivost

Je jev, při kterém se elektrony, jež jsou vázané v krystalické mřížce pevné látky, vybudí do vyššího energetického stavu absorbováním určitého kvanta záření. Tyto elektrony se stanou elektrony volnými a mohou zprostředkovávat vodivost. Vodivost materiálu závisí na velikosti absorbovaného elektromagnetického záření. Toho se využívá u fotovoltaických článků. Jedná se o polovodiče vyrobené z převážně křemíku. Čistý křemík, s malým obsahem příměsí, obsahuje velmi málo volných elektronů. Při nízkých teplotách je dobrým izolantem. Zvýšením teploty se křemík stává elektricky vodivým. Rostoucí teplota způsobí zvýšení kmitání atomů v krystalické mřížce křemíku. To má za následek uvolnění vazeb v krystalické

mřížce, uvolnění elektronů a po jejich odtržení vznik kladných děr. Vzniklé kladné díry představují kladné nosiče náboje. Energie záření se přemění na energii volných nábojů pouze za předpokladu, že tato energie je dostatečná k překonání energetického rozdílu, který představuje tzv. **zakázaný pás** vyskytující se mezi valenčním a vodivostním pásem polovodiče. K tomuto ději, usměrněnému pohybu elektronů, dojde jen v případě, že je k materiálu z čistého křemíku připojena baterie. Uzavřeným obvodem by tedy protékal proud. Přímá přeměna energie záření na elektrickou energii nenastane, protože elektron je po svém odtržení opět přitahován ke kladné díře a uvolněná energie se přemění na teplo. Tyto polovodiče se označují jako vlastní. [1,4]

4.2.3 Fotovoltaický jev

Fotovoltaický jev nastává zejména v polovodičích, jako je např. Si. Jak již bylo uvedeno dříve, čistý materiál polovodiče bez příměsí obsahuje velice málo volných elektronů. Proto je nutné dodat (dotovat) do tohoto materiál příměsí - atomy jiných prvků. Dotace cizími atomy způsobí v materiálu zvýšení jeho vodivosti. K dotování se většinou používají trojmocné či pětímocné prvky. U dotovaných polovodičů se výrazně mění vodivost při nízkých teplotách. Při pokojové teplotě je vodivost na teplotě nezávislá.

Nejpoužívanější fotovoltaické články jsou na bázi křemíku. Křemík obsahuje 10^6 atomů. Při pokojové teplotě má 1 mm^3 křemíku 10^{16} nosičů náboje a lze ho dotovat jedním atomem příměsí, což zvýší množství nosičů náboje v rozmezí $10^{18} - 10^{22}$ na mm^3 . Atom Si obsahuje 14 elektronů. Všechny atomy v mřížce tvoří tetraedry, tedy každý atom v mřížce je obklopen čtyřmi dalšími nejbližšími atomy. Proto má křemík 4 valenční elektrony. Při dotaci pětímocným prvkem (Sb, As, P) je v krystalické struktuře prvek čtyřmocný nahrazen prvkem pětímocným. Pro vazbu v krystalické mřížce je zapotřebí jen 4 elektronů, jež jsou vázány kovalentní vazbou k atomům Si. Zbylý volný elektron krouží kolem dotovaného atomu (Sb). Dodáním malé energie je tento pátý elektron odtržen, přejde do vodivostního pásu a vytvoří volný záporný nosič náboje. V tomto polovodičovém materiálu představují elektrony majoritní nosiče náboje a kladné díry minoritní nosiče náboje. Křemík s příměsí atomů pětímocného prvku dodává volné nosiče náboje do vodivostního pásu a nazývá se proto donor - označujeme jako polovodič typu n.

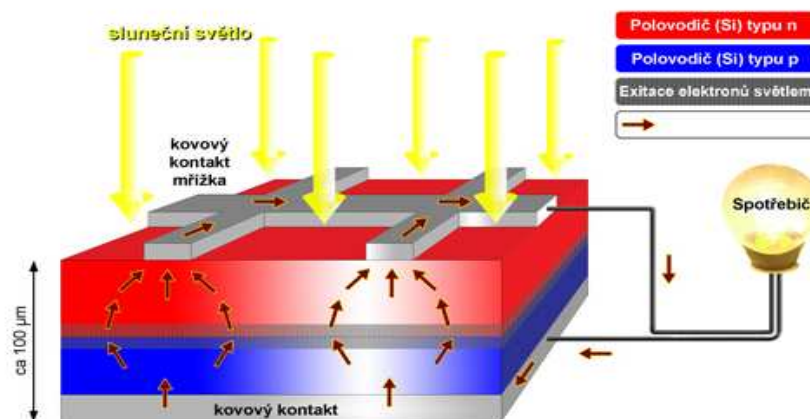
Křemík s příměsí trojmocného (In, B, Al, Ga) prvku tvoří vazbu v krystalické mřížce pouze třemi elektrony. Chybějící elektron může přijmout ze sousední vazby v důsledku tepelné energie. Dodáním chybějícího elektronu do vazby z valenčního pásu se vytvoří díra,

kteřá se může volně pohybovat krystalem a materiál se tak stane vodivým. Majoritními nosiči náboje jsou kladné díry a minoritní nosiči náboje jsou elektrony - označujeme jako polovodič typu p.

Jestliže spojíme polovodič typu n a p, vznikne v místě dotyku tenká vrstva, jež se označovává jak p-n přechod. Koncentrace elektronů je větší v polovodiči typu n, než v polovodiči typu p. Při spojení těchto polovodičů dojde k přesunu elektronů do polovodiče typu p a kladných děr do polovodiče typu n. Při styku elektronu a kladné díry dojde k rekombinaci nábojů. Po čase tento jev skončí. Po elektronech zbudou v polovodiči typu n kladně nabitě náboje a po dírách v polovodiči typu p záporné náboje. Dojde z ustanovení rovnováhy. Elektrony, které projdou v důsledku difuze, jsou přetaženy zpět působením vzniklého elektrického pole. Dochází ke snížení vodivosti v oblasti p - n přechodu a vzniku elektrického potenciálu. Toho se využívá v usměrňovacích diodách.

V případě, že na p-n přechod dopadá záření, generují se volné elektrony a díry. Následně jsou odděleny elektrickým polem p-n přechodu a poslány na opačné strany. Tedy elektrony do vrstvy typu n, jež se stane záporným pólem, a díry do vrstvy typu p, jež se stane pólem kladným. Vzniká fotoelektrické napětí a fotoelektrický proud, který je souhrnně nazýván fotovoltaickým jevem.

Napětí křemíkového fotovoltaického článku je 0,6 V bez zatížení. Při optimálním proudu a tedy i maximálním výkonu je napětí článku 0,5 V. Fotovoltaický článek může využívat pouze fotony, které mají větší energii, než je rozdíl energie mezi valenční a vodivostním pásem. Křemíkový článek proto využívá fotony s energií 1,1 eV představující záření o vlnové délce kolem 1100 nm. Záření procházející atmosférou obsahuje fotony o energii 0,5V (infrachervené záření) až 2,9 eV (ultrafialové záření). [44]

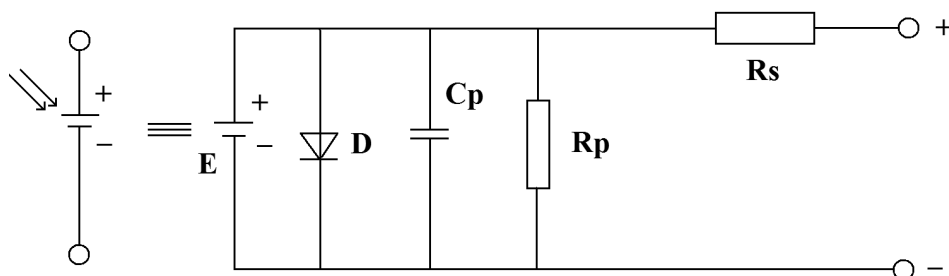


Obr. 4.4: Princip činnosti fotovoltaického článku [29]

4.2.4 Charakteristiky fotovoltaických článků

Náhradní schéma fotovoltaického článku

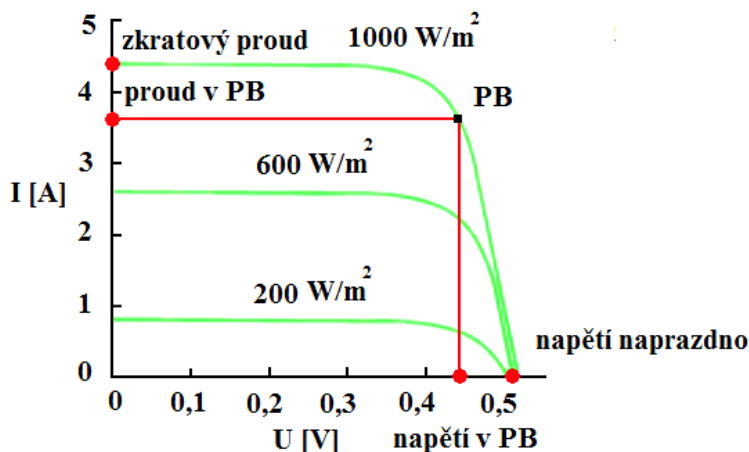
Fotovoltaické články jsou ve své podstatě polovodičové diody zvláštního druhu vykazující některé obdobné vlastnosti, jako mají skutečné polovodičové diody. Na obr. 4.5 jsou vyobrazeny vlastnosti solárního článku pomocí náhradního schématu. Symbol baterie **E** značí ve schématu to, že článek je sám zdrojem napětí. Dioda **D** označuje, že solární článek vykazuje vlastnosti běžné polovodičové součástky. Kondenzátor **C** představuje kapacitu diody a kapacitu přívodů. Sériový odpor **R_s** a paralelní odpor **R_p** znázorňují ohmické ztráty v přívodech a v článku samotném. [4]



Obr. 4.5 : Náhradní schéma solárního článku [4]

Elektrické vlastnosti fotovoltaického článku

U fotovoltaického (solárního) článku, představující zdroj energie, jsou nejdůležitější následující veličiny - **napětí**, **proud** a **vnitřní odpor**. Napětí naprázdno (při nulovém proudu) je u solárního článku dáno především použitým polovodičem. Je to maximální napětí článku, když nejsou připojeny žádné spotřebiče. U monokrystalických článku je přibližně 0,6 V. Další veličinou je proud nakrátko (při nulovém napětí, tzv. zkratový proud). Zkratový proud je vyjádřen jako maximální proud, který může solární článek při daném ozáření dodávat. Jeho velikost závisí na intenzitě dopadajícího slunečního záření, spektrálním složení a velikosti solárního článku. Velké solární články vyrábějí při plném ozáření proud kolem 6 A. Při konstantní intenzitě slunečního záření se solární článek chová jako zdroj konstantního proudu s intenzitou limitovanou počtem fotonů dopadající za jednotku času. Solární článek je charakterizován V-A charakteristikou (závislost proudu na napětí) při různých intenzitách světlení (obr. 4.6). Pracovní bod (PB) V-A charakteristiky představuje bod, ve kterém solární článek aktuálně pracuje. Jeho poloha závisí na charakteristice proudu, napětí a na připojeném spotřebiči. [38]



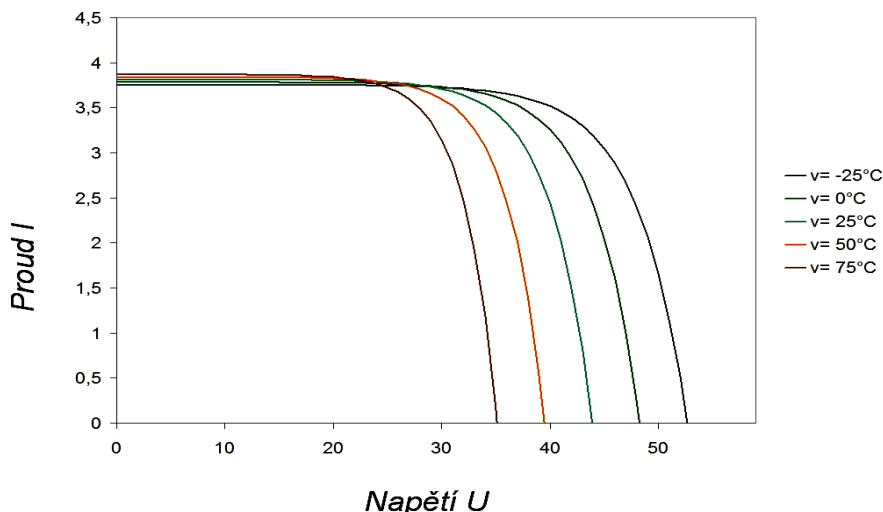
Obr. 4.6 : V-A charakteristika křemíkového solárního článku [29]

Výkon fotovoltaického článku

Lze vypočítat jako prostý součin proudu a napětí. Graficky vyjádřeno na **obr. 4.6** jako obdélníková plocha pod červenou křivkou vymezenou PB. Pracovní napětí solárního článku je obvykle stanoveno připojeným akumulátorem či střídačem napětí. Při daném pracovním napětí lze výsledný proud a tedy i výkon článku zjistit pomocí křivky V-A charakteristiky. Každý solární článek má svůj vlastní bod na charakteristice, v němž výkon dosahuje maxima, tzv. MMP (maximum power point). U článku o rozměrech 10 x 10 cm či 15 x 15 cm a proudu 3 - 6 A je MPP v rozmezí 1,5 W -až 3 W. V bodě režimu naprázdno a nakrátko nemá solární článek žádný výkon. Pro možnost porovnání výkonů různých solárních článků byly zavedeny tzv. **standardní zkušební podmínky** (STC - Standart Test Conditions). Ty spočívají v měření výkonu článku při ozáření 1000 W/m^2 , teplotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a **AM 1,5** (popsáno v kapitole 1.4). Výkon naměřený při STC je nazýván tzv. špičkovým výkonem s jednotkou W_p („wattpeak“). Pomocí tohoto údaje lze porovnávat jednotlivé solární články.

Dalším faktorem ovlivňujícím výkon solárního článku je **pracovní teplota**. Při vzrůstající pracovní teplotě vzrůstá proud, ale naopak výkon a napětí naprázdno klesají (obr. 4.7). U krystalického křemíku je charakteristický pokles výkonu o $0,4 \text{ } \%/ \text{ }^\circ\text{C}$. To znamená, že při zvýšení teploty o $10 \text{ }^\circ\text{C}$, dojde ke snížení výkonu o $4 \text{ } \%$. A při zvýšení teploty o $25 \text{ }^\circ\text{C}$ dojde k poklesu výkonu o $10 \text{ } \%$. Pracovní teplota solárního článku je závislá ochlazení okolním prostředím (např. rychlost větru) a na intenzitě dopadajícího záření. Při provozování článku v letních měsících, dosahuje článek své nejnižší účinnosti. Je to způsobeno zejména teplotou článku, která je v letních měsících výrazně vyšší než v měsících zimních. Účinnost článku se také mění během dne. [38,43]

Další parametry solárních článků se vlivem změny teploty také mění, ale tato změna není až tak významná. Dochází např. k nepatrnému lineárnímu zvýšení proudu nakrátko o 0,05 %/ °C. U činitele plnění **FF** (fill factor) dochází při vzrůstající teplotě k lineárnímu snížení o 0,2 %/ °C, u sériového odporu R_s k lineárnímu zvýšení o 0,3 % / °C a u paralelního odporu R_p k lineárnímu snížení o 0,7 % / °C. Tyto hodnoty byly stanoveny při STC a rozsahu teplot 20 - 100 °C na 4 palcovém monokrystalickém křemíkovém článku společnosti Solartec. [43]



Obr. 4.7 : Pokles napětí naprázdno křemíkového solárního článku v závislosti na teplotě

4.3 Výroba a konstrukce fotovoltaických článků

Výroba a vlastnosti výchozího materiálu - křemík Si

Nejvíce rozšířena je v současné době výroba fotovoltaických článků na bázi křemíku (Si). Z tohoto prvku se vyrábí přes 90 % komerčně dostupných fotovoltaických článků. Ty mohou být **monokrystalické**, **polykrystalické** nebo **amorfní** na bázi tenkých vrstev. Kromě křemíku se mohou při výrobě užívat i jiné prvky, jako je např. galium či některé organické sloučeniny (např. polymery aj.)

Výhoda křemíku je jeho velká rozšířenost v zemské kůře (26%) a nejedovatost. Křemík je druhý nejrozšířenější prvek na Zemi. V elektrotechnice má již dlouholetou tradici užívání, a proto se stal velmi prozkoumaným polovodičovým prvkem. Na jeho čistotu jsou kladeny zvlášť velké nároky, což vede ke zvýšení jeho ceny. Čistota křemíku, užívaná v elektrotechnice, dosahuje hodnoty 10^{-9} . Pro výrobu fotovoltaických článků postačuje čistota o hodnotě 10^{-6} . Další podstatnou vlastností zmiňovaného polovodiče je šířka zakázaného

pásu, jež činí $\Delta E_G \sim 1,1$ eV. Tento polovodič má při nulové teplotě zcela zaplněný valenční pás. Elektronům, nacházejícím se v tomto pásu, můžeme dodat energii pomocí tepla, světla či elektrického pole a ty se mohou následně dostat do pásu vodivostního a vést elektrický proud. Křemík se v přírodě vyskytuje v podobě oxidu uhličitého (SiO_2) neboli křemene. V této formě má řadu specifických vlastností, jako je např. mechanická odolnost či chemická stálost. Na obr. 4.8 je pro názornost vyobrazen čistý krystalický křemík (SiO_2).



Obr. 4.8: Krystalický oxid křemičitý (SiO_2) [27]

Výchozím materiálem pro výrobu křemíku je křemen neboli oxid křemičitý (SiO_2). Proces výroby začíná v elektrické obloukové peci redukcí SiO_2 uhlíkem. Zde dochází k řadě složitých chemických reakcí, při kterých vznikne metalurgický křemík (mg-Si) o celkové čistotě 98 - 99 %. Počet nečistot se v tomto stádiu výroby pohybuje okolo 1 %. Pro polovodičovou výrobu je nutno surový křemík dále čistit. K tomuto účelu slouží celá řada metod (Siemens, FBR). Jednou z nejpoužívanějších je metoda Siemens s chlorovým cyklem. Křemík vzniklý při redukcí v obloukové peci se dále mele na zrněčka o průměru menším než 0,5 mm a přivádí se spolu s chlorovodíkem k exotermické reakci, při které vzniká těkavá sloučenina trichlorsilan (SiHCl_3), který vře při teplotě nad 31°C . Vroucí SiHCl_3 opouští reakční prostor v podobě par. Ty jsou následně mnohonásobnou destilací čištěny a vstupují spolu s vodíkem do reakční komory, kde jsou vylučovány v podobě velmi čistého křemíku. Po takto provedeném vyčištění vznikají hrudky čistého křemíku, jež slouží jako polotovar pro tvorbu ingotů, **polykrystalických** či **monokrystalických**. Proces tvorby křemíkových ingotů

bude dále podrobněji popsán v odstavci: **Výroba křemíkových polykrystalických a monokrystalických ingotů.** [1,13,44]

Proces výroby čistého křemíku je velmi náročný na spotřebu energie. V elektrických obloukových pecích dochází při jeho výrobě ke spotřebování velké části energie potřebné pro výrobu fotovoltaických článků. Proto se hledají nové způsoby výroby. Nejnovější metoda využívá tzv. Fluidized Bed Reaktor (FBR), který vykazuje, oproti metodě Siemens, nižší spotřebu elektrické energie. Spotřeba tepla je přibližně stejná. Ve stádiu zkoumání je v současné době metoda firmy Elkem Solar, která vyrábí čistý křemík přímo metalurgickým postupem. Srovnání jednotlivých energetických náročností výroby křemíku je uvedeno v tabulce č. 4.9. [28]

Tab. 4.9: Energetická náročnost různých metod výroby solárního křemíku [28]

Metoda	Jednotka	Siemens	FBR	Elkem
Spotřeba energie				
Elektřina	KWh _{el}	100	30	25
Tepllo	MJ _{th}	185	185	-
Celkem	MJ _{prim}	1070	500	300

Výroba a konstrukce křemíkového fotovoltaického článku

Dalším důležitým krokem výroby fotovoltaických článků je řezání ingotů. Vzniklé ingoty jsou příčně řezány speciální pásovou či kotoučovou pilou na tenké plátky, ze kterých jsou zhotovovány křemíkové destičky, označované jako „salámky“, jež tvoří základ fotovoltaického článku. V procesu řezání došlo v posledních letech k velkému pokroku. Drátové rezačky umožňují řezání ingotů na křemíkové destičky o minimální tloušťce $d = 100 \mu\text{m}$ oproti dřívějším $d = 300 \mu\text{m}$. Ve stejném poměru se zmenšil i jejich prořez na 0,1 mm, čímž došlo k minimalizaci odpadu při řezání. Při výrobě fotovoltaických článků jsou užívány speciální rámové pily obsahující 200 i více břitů. Tento rám se pohybuje oscilačním pohybem s rychlostí kolem 200 m/min přes krystal. Dalším výrobním krokem je povrchová úprava nařezaných křemíkových destiček pomocí leptání a broušení. Tím způsobem se z jejich povrchu sejme vrstva o celkové tloušťce 10 - 20 μm , což je dostačující pro odstranění povrchových defektů vzniklých při řezání. Dále následuje obohacení jedné strany destičky

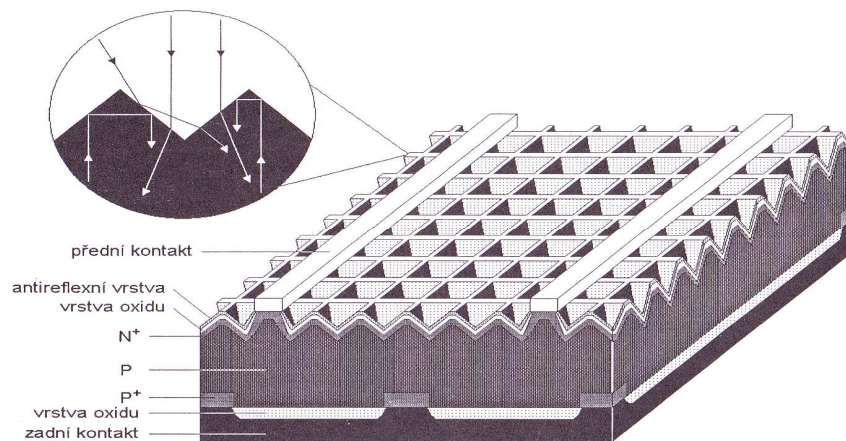
pětimocným chemickým prvkem (fosforem), vzniká polovodič typu p, a druhé strany prvkem trojmocným (bor), vzniká polovodič typu n. Po obohacení (dotaci) je provedeno kontaktování hotových článků. Kontaktování se u standardních článků provádí metodou vakuového napařování či sítotiskem. U speciálních článků jsou kontakty vnořené přímo do materiálu polovodiče, aby se dosáhlo, kvůli vysokým proudovým hustotám, ke zvýšení plochy styku mezi kontaktem a polovodičem. Celá zadní strana článku je potažena velmi tenkou vrstvou hliníku, která slouží jako kladný pól. Přední osvětlovaná strana je potažena stříbrem pro vytvoření úzkých vodivých drah, které odvádějí elektrický proud vyvolaný fotoelektrickým napětím. Tento přední kontakt představuje záporný pól. Má tvar mřížky či hřebínku, aby zakrýval, co možná nejmenší část plochy článku a mohlo tak dopadat sluneční záření na největší možnou plochu. V některých případech se aktivní přechod a kontakty provádějí na neosvětlené spodní straně článku. Tím odpadá stínění způsobené mřížovou elektrodou. Dalším typem článku je tzv. bi - face, tedy oboustranné FV články, které mají na zadní straně stejnou strukturu jako na straně přední, což zvyšuje jejich celkovou účinnost a množství vyrobené elektrické energie. U tohoto typu článku mohou fotony dopadat na článek současně z obou stran, např. po odrazu od země.

V poslední fázi je článek opatřen antireflexivní vrstvou pro omezení optických ztrát v důsledku odrazu (reflexe) a neúplné absorpce záření. Činitel odrazu u polovodičů, respektive u křemíku je v oblasti viditelného spektra poměrně velký a činí 30 %. Užívané antireflexivní vrstvy pomáhají tento nepříznivý činitel odrazu snížit pod hodnotu 10 %. Tyto vrstvy jsou děleny na organické a anorganické. Mezi anorganické jsou nejčastěji řazeny SiO_2 , Si_3N_4 , ZnS , TiO_2 a mezi organické na bázi polyamidů pod obchodními názvy Clar, Mylar či Kapton. Pro výrobu zmiňované vrstvy se užívá řady postupů. Jedním z nich je napařování oxidu, jež zlepšuje optické vlastnosti, ale zvyšuje cenu článku. Tato metoda je ve hromadné výrobě obvykle nahrazena prostým nástříkem.

Přední strana křemíkové destičky (černá) je z estetických důvodů opatřena tenkou průhlednou vrstvou. Ta vlivem interference určitých vlnových délek zesiluje odražené záření a vytváří barevný odstín článku, který závisí pouze na tloušťce této krycí vrstvy. Nejvyšší účinnost byla pozorována u tmavě modrých fotovoltaických článků.

Pro další zlepšení účinnosti FV článků je na přední straně vyleptána struktura malých jehlanů (tzv. texturovaný povrch, obr. 4.10). Touto úpravou dojde ke snížení činitele odrazu a umožní se tak snadnější vstup fotonů do článku. Pro leptání se používá selektivního leptadla, které chemicky pasivuje povrch článku. Dojde tak k vytvoření nevodivého SiO_2 , jež se dále

proleptává do zmiňované struktury malých jehlanů. Fotony dopadající na takto upravený povrch vyvolají fotovoltaickou přeměnu. Pokud k této přeměně nedojde, fotony se odrazí zpět od zadní elektrody. Na přední straně článku nemohou vystoupit ven a jsou pomocí totálního odrazu vráceny zpět do článku, kde znovu procházejí p-n přechodem. Děj se neustále opakuje. Tímto způsobem dochází ke zvýšení pravděpodobnosti fotovoltaické přeměny energie. [1,13,44]



Obr. 4.10: Schéma polovodičového FV článku s vysokou účinností [1]

Výroba křemíkových polykrystalických a monokrystalických ingotů

A) Výroba křemíkových monokrystalických ingotů:

Výroba křemíkových monokrystalických ingotů se provádí pomocí tzv. Czochralského metody. Proces začíná roztavením monokrystalického křemíku. Vzniká tavenina velmi čistého křemíku o teplotách 1415 °C, do které je vložen zárodečný křemíkový monokrystal, jež je postupně z taveniny vytahován a otáčen kolem své podélné osy v inertní atmosféře. Tímto způsobem dostáváme křemíkový ingot (tyč) délky 1m a tloušťky do 20 cm (vyobrazeno na obr. 4.11). [1]



Obr. 4.11: Křemíkový ingot [27]

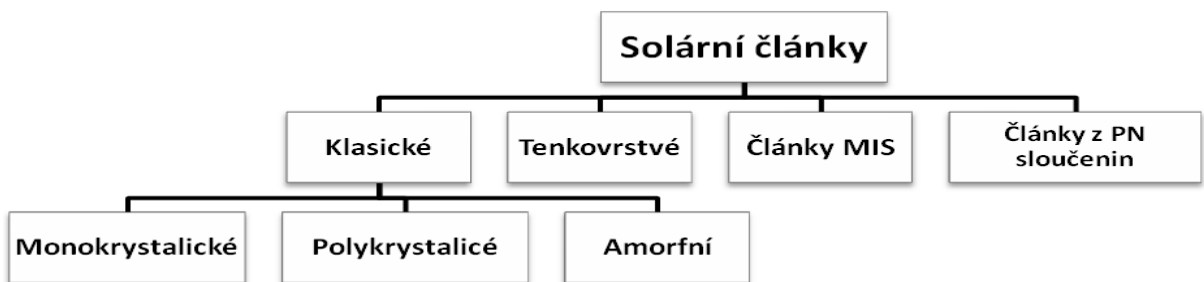
B) Výroba křemíkových polykrystalických ingotů:

Je jednodušší než výroba monokrystalických ingotů. Materiál se roztaví a následně nalije do formy, kde pomalu chladne. Musí být zajištěno pomalé chladnutí, aby se vytvořila co možná největší monokrystalická zrna a zamezilo se pnutí a dislokaci materiálu.[1]

4.4 Typy solárních článků

Solárních článků je v dnešní době nejrůznější množství typů, jež jsou děleny do čtyř základních skupin na **klasické solární články**, které dále dělíme na monokrystalické, polykrystalické a amorfní. Další skupinou jsou **tenkovrstvé články** a **články MIS** s inverzní vrstvou. Poslední skupinu tvoří články z polovodičových sloučenin.[4]

Pro přehlednost je výše popsané dělení solárních článků znázorněno na **obr. 4.12**.



Obr. 4.12: Rozdělení solárních článku podle jednotlivých typů [4]

4.4.1 Klasické solární články

Klasické solární články, jak již bylo uvedeno dříve, jsou děleny na monokrystalické, polykrystalické a amorfní články. Jejich tloušťka se z důvodu stability pohybuje v rozmezí 0,2 až 0,3 mm. [4]

Monokrystalické solární články

Jsou vyráběny Czochralského metodou z monokrystalu křemíku (monokrystalických ingotů), tedy velmi čistého křemíku, který se běžně užívá v mikroelektronických aplikacích. U těchto solárních článků lze dosáhnout relativně velké účinnosti pohybující se v praxi kolem 12 - 18 %. Laboratorně bylo dosaženo účinnosti až 30 % u monokrystalických článků tvořených velkoplošným P-N přechodem. Pro kosmické účely jsou používány články s účinností kolem 19 % a se zárukou dlouhé stability výkonu. [4]

Polykrystalické solární články

V současné době se jedná o nejběžnější typ solárních článků s účinností pohybující se okolo 11 - 13 %. Polykrystalické solární články jsou oproti článkům monokrystalickým vyráběny odléváním čistého křemíku do připravených forem. Takto vzniká polykrystalický ingot, který je dále řezán a zpracováván. Proces odlévání ingotů je jednodušší metoda nežli metoda tažení monokrystalu. Tímto způsobem lze připravit bloky se čtvercovým či obdélníkovým průřezem. Dochází k lepšímu využití materiálu. Nevýhodou tohoto způsobu výroby je zhoršení elektrických vlastností článků. Na styku jednotlivých krystalových zrn je větší odpor. Výhoda spočívá v levnější výchozí surovině a možnosti vyrábět FV články větších rozměrů s obdélníkovým nebo čtvercovým tvarem. Další pozitivní vlastností je vzhled tohoto článku, který připomíná leštěný kámen. Proto je často využíván architektury ve stavebnictví. [4]

Amorfní solární články

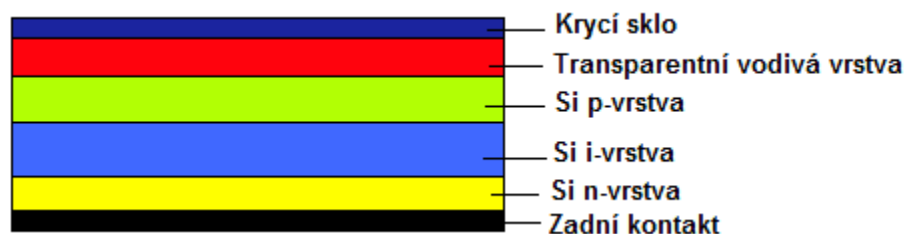
Do budoucna jsou do tohoto typu článku vládány velké naděje. Amorfní solární články mají oproti článkům monokrystalickým a polykrystalickým řadu výhod spočívající v úspoře materiálu a energie při sériové výrobě vedoucí k nižší ceně článku. Další podstatné výhody jsou **velké napětí naprázdno, vysoká absorpce světla, velké množství automatizace výroby a flexibilita.**

Výše zmiňované výhody jsou však vykompenzovány velmi nízkou účinností pohybující se kolem 5 - 7 %. Větší účinnosti, až 13 %, bylo dosaženo jen vytvořením vícevrstvé struktury.

Výroba amorfního článku spočívá v rozkladu sloučenin křemíku (silanu, dichlorsilanu či trichlorsilanu) ve vodíkové atmosféře za působení vysokofrekvenčního elektrického pole při nízkém tlaku. Tímto způsobem se dají připravit velmi tenké vrstvy křemíku (vrstva tloušťky 1 mm umožňuje pohltit až 90 % slunečního záření) vyloučené na skleněné, plastové (polyamidové) či nerezové podložce. Nanesená křemíková vrstva je amorfní, tedy jednotlivé atomy jsou uspořádány zcela nahodile. Mají nepravidelnou krystalickou strukturu, oproti křemíku krystalickému, s velkým množstvím poruch. Amorfní články obsahují určité množství vodíku, který přispívá ke stabilitě materiálu. Nevýhodou tohoto typu článku je počáteční pokles výkonu, který se časem ustálí zhruba na 80 % z původní hodnoty. Tento pokles je z části způsoben výskytem zmiňovaného vodíku, který v materiálu vyplňuje tzv.

„visící vazby“ atomů křemíku. Některé atomy nemají kolem sebe potřebné „sousedy“ pro vytvoření vazby a mohlo by tedy dojít k rekombinaci nábojů a ve výsledku k celkovému snížení proudu a účinnosti článku. Vhodnou dotací amorfního křemíku lze vytvořit materiál typu p či n pro konstrukci p-n přechodu. Horní vrstva p-n přechodu s vodivostí typu p je velmi tenká a zachytí jen malé množství fotonů. Pod ní se nachází další tenká vrstva, označovaná i, jež je nadopovaná. Zde dochází k pohlcení většiny dopadajících fotonů a vytvoření volných děr a elektronů. Elektrické pole p-n přechodu zasahuje přes vrstvu, v nichž se tvoří zmiňované elektrony a díry. Dochází tak k jejich okamžité separaci a snížení možnosti rekombinace. Další vrstva tohoto uspořádání je typu n. Poslední vrstvu tvoří zadní kontakt fotovoltaického článku. Graficky je toho uspořádání znázorněno na obr. 4.13.

[4, 44]



Obr. 4.13: Znázornění fotovoltaického článku z amorfního křemíku

Amorfní solární články jsou užívány pro výrobu velmi tenkých a ohebných fotovoltaických modulů. Jejich nejčastější použití je jako krycí fólie na střechách domů. Další užití se naskytá v oblasti napájení malých výkonů, např. přenosné solární nabíječky či energetické zdroje pro drobnou elektroniku aj.

4.4.2 Tenkovrstvé solární články

Jak už sám název napovídá, jsou solární články tloušťky několika μm . Při jejich výrobě je zapotřebí jen poměrně malé množství materiálu oproti klasickým solárním článkům. Tenkovrstvé články dokáží lépe využívat dopadající kvanta světelného záření, jelikož mají kratší dráhu k p-n přechodu. Nejběžnější tenkovrstvé solární články jsou vyráběny z amorfního křemíku či polovodivých sloučenin $\text{CuInSe}_2\text{-ZnO}$ či CdTe-CdS . U těchto článků bylo dosaženo účinnosti v rozmezí mezi 12 - 14 %. Společnost ARCO-Solar dosáhla hodnoty účinnosti 15,6 %, při kombinaci a-Si-CuInSe₂. Další vhodné polovodivé sloučeniny ve stádiu zkoumání jsou Cu-GaSe₂, CdSe, GaAs, FeSi₂ a ZnSe. V této oblasti bylo dosaženo účinnosti

přeměny slunečního záření od 5,8 % do 14,1 %. Komerčně vyráběné články těchto hodnot přirozeně nedosahují. V tabulce 4.14 je uveden přehled výrobců a solárních článků užívaných při konstrukci polovodivých sloučenin. [4,44]

Tab. 4.14: Přehled vývoje solárních článků při užití polovodivých sloučenin [44]

Materiál	Výrobce	Plocha (cm ²)	Výkon (W)
CuInSe ₂ -ZnO	ARCO-Solar	844	10,5
CuInSe ₂ -ZnO	ARCO-Solar	3916	35,8
CdTe-CdS	Photon Energy	837	6,1
CdTe-CdS	Matsushita	853	5,19

4.4.3 Solární články MIS s inverzní vrstvou

Solární články MIS (Metal - Insulator - Semiconductor, v překladu kov - izolátor - polovodič) s inverzní vrstvou používají polykrystalický nebo monokrystalický křemík. Tyto články mají oproti běžným solárním článkům pracujícím jako polovodičové diody s p-n přechodem, tento p-n přechod indukovaný. Vzniká přechod s inverzní vrstvou typu n (podobně jako u tranzistoru MOS, neboli Metal-Oxide-Semiconductor, tj. kov - oxid - polovodič). V laboratorním prostředí dosahují tyto články účinnosti až 15 %. Solární článek MIS s inverzní vrstvou se skládá z následujících vrstev:

- horní vrstva nitridu křemíku
- mřížová elektroda na horní straně
- oxid křemíku
- inverzní vrstva
- základní materiál typu p
- dolní kontakt na zadní straně článku

Do budoucna se uvažuje o využití tohoto typu solárního článku z důvodu redukce výrobních nákladů [4, 44]

4.4.4 Solární články z PN sloučenin

Solární články z PN sloučenin jsou vyráběny z **Arsenidu galia** (GaAs), **Sulfidu kademnatého** (CdS) či **Teluridu kademnatého** (CdTe). Výhodou těchto článků, označované jako tzv. vícepřechodové struktury (multijunction), je lepší využití energie slunečního záření a tedy i vyšší účinnost článků. Sluneční spektrum obsahuje fotony o různých vlnových délkách. Pro jejich zachycení a teoreticky plné využití tohoto spektra je nutné vytvořit vícevrstvou strukturu. Každá vrstva může využít jinou část solárního spektra a tím je dosaženo i vyšší účinnosti článku. [4]

Arsenid galia (GaAs)

Jedná se o monokrystalické tenkovrstvé články vyznačující se vyšší účinností, větší odolností vůči kosmickému záření a schopností pracovat i při teplotách nad 100 °C bez snížení účinnosti. Dají se vyrobit články s odlišnými vlastnostmi a mohou být tak přizpůsobeny různým potřebám. Lze u nich měnit poměr Galia a Arsenu nebo užít pro dotaci různé prvky (Al, P, Sb či In). Významnou vlastností je jejich velká účinnost, pohybující se kolem 20%. Tyto články se vyznačují vysokou absorpcí slunečního záření. Již tloušťka několika mikronů je dostatečná pro zachycení téměř veškerého dopadajícího záření. Užívají se ke konstrukci vícepřechodových FV článků. Jejich nevýhodou je vyšší cena a potřeba větší hustoty GaAs oproti krystalickému křemíku. Vysoká cena je způsobena nejen vzácností galia na Zemi, ale i jedovatostí Arsenu. V současné době jsou vyvíjeny kombinace obou článků z důvodu odlišné spektrální citlivosti těchto materiálů. Křemíkové články využívají oblast viditelného spektra směrem k modré barvě a články GaAs oblast spektra směrem k barvě červené. Při vhodné kombinaci obou typů článků lze dosáhnout účinnosti až 30 %. Ve spojení s koncentrátory se předpokládá další zvýšení účinnosti. [4,13]

Sulfid kademnatý (CdS)

Jsou články charakterizované přechodem Cu_2S a CdS s 10 % účinností. Jejich největší výhodou spočívá v nízké hmotnosti, pro kterou byly často užívány v kosmických aplikacích. Podstatnou nevýhodou je jejich nízká stabilita, pro kterou se dnes nepoužívají. V současné době byly nahrazeny kombinací sulfidu kademnatého a teluridu kademnatého (systém CdS - CdTe). Tyto systémy jsou užívány pouze pro aplikace s malým příkonem a v energetice nemají využití. [4,13]

Telurid Cadmia (CdTe)

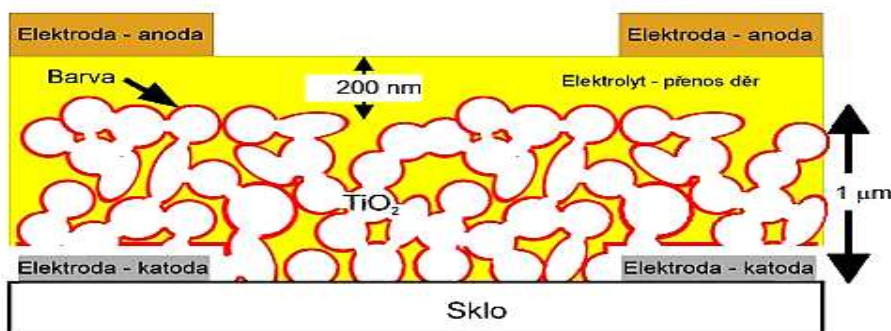
Tento materiál má řadu pozitivních vlastností vhodných pro konstrukci FV článku. Podstatnou výhodou je téměř ideální vzdálenost valenčního a vodivostního pásu, jež činí 1,44 eV. Dále má tento materiál velkou absorptivitu pro sluneční záření za běžných podmínek AM 1,5. Tyto tenkovrstvé články lze vyrábět pomocí nízkonákladových technologií, což snižuje jeho cenu. [13]

4.4.5 Články z organických sloučenin

Fotogalvanické články s organickým barvivem

Barvivové solární články, nazývané též Gratzelovi solární články, jsou v současné době nejvíce propagovaným směrem budoucího vývoje levných solárních článků. Tyto články byly poprvé vytvořeny v 90. letech 20. století za použití jemného TiO_2 . Oxid titaničitý je levný, v přírodě se hojně vyskytující materiál s velmi zajímavými vlastnostmi, mezi které patří jeho samočisticí schopnost. Ta se využívá např. na zdech domů.

Barvivové solární články mají poměrně jednoduchou konstrukci. Na svém povrchu využívají průhlednou elektricky vodivou katodu. Na spodní straně mají umístěnou kovovou elektrodu. Mezi těmito dvěma vrstvami se nachází speciální elektrolyt obsahující organická barviva. Struktura barvivového solárního článku je podrobněji zobrazena na **obr. 4.15**.



Obr. 4.15: Řez strukturou barvivového solárního článku [29]

Samotný princip funkce barvivových solárních článků spočívá ve změnách, které v buňkách nastávají v důsledku absorpce slunečního záření o různé vlnové délce, při využití fotosenzitivního barviva. Barvivové solární články se skládají z vrstvy oxidu titaničitého, jež je vysoce porézní a jemný (rozměr krystalů je v řádu desítek nanometrů). V něm je nasáknut

vodný roztok elektrolytu obsahující redox dvojici (jód/jodit) a vhodné barvivo (např. organický komplex ruthenia). Jestliže na článek zasvítí slunce, fotony projdou vrchní průhlednou katodou, elektrolytem a dopadnou na vrstvu barviva. Barvivo zachycením fotonu vytvoří excitovaný stav a elektron je přenesen na TiO_2 . Tímto dojde k převedení barviva do oxidovaného stavu. Elektron projde skrz strukturu TiO_2 na průhlednou elektrodu a následně je odveden do vnějšího obvodu. K uzavření obvodu dojde tak, že na druhé elektrodě je elektron vstupující z vnějšího obvodu přenesen na jód. Tímto se vytvoří trijodidový anion, který dále redukuje oxidovou formu barviva. To je poté připraveno na další přijetí fotonu.

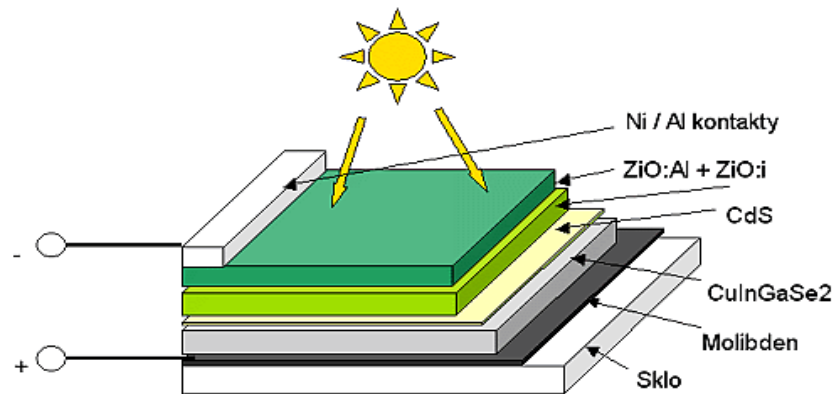
Podstatnou výhodou tohoto typu článku je v menších nárocích na čistotu použitých materiálů, velmi jednoduché konstrukci a citlivosti na nepřímé světlo. Články jsou schopny generovat elektrický proud i při zatažené obloze nebo z umělého osvětlení. Nevýhoda spočívá v nutnosti dokonalého uzavření kapalného a korozivního elektrolytu, jež musí vydržet dlouhou dobu slunečního svitu a nesmí se začít rozkládat. V laboratorních podmínkách bylo dosaženo za pomoci nanotrubiček účinnosti až 15 %. Teoreticky lze do budoucna dosáhnout účinnosti až 33 %.

Realizací tohoto typu článku se zabývají firmy DYESOL, Sustainable Technologies či Solaronix SA. V posledních letech se objevují snahy o náhradu TiO_2 nanostrukturou. Výroba probíhá následujícím způsobem - na skleněné podložce, jež je pokryta vodivou vrstvou oxidu cínu, se galvanicky vytvoří tenká vrstva kovového titanu. Na takto vytvořené vrstvě se elektrolytickou oxidací vytvoří další vrstva oxidu titaničitého ve formě nanotrubiček, které se zahřátím převedou do průhledné krystalické formy. Ty jsou na závěr pokryty elektrolytem s organickým barvivem. [13]

Solární články CIGS (nanokompozity)

Tenkovrstvý solární článek CIGS je pevný kompozitní polovodičový materiál typu p, který je složený z mědi, india, gallia a selenu. Složením počátečním písmen latinských názvů jednotlivých prvků dává název CIGS. Šířka zakázaného vodivostního pásu činí 1,0 - 1,7 eV. Zmiňované solární články se nejběžněji používají ve formě polykrystalické tenké vrstvy. Na rozdíl od křemíku, u něhož je světlo absorbováno hluboko uvnitř jeho objemu, se u CIGS solárního článku zachytí až 95% veškerého dopadajícího záření již v prvním mikrometru materiálu pod povrchem. Strukturu CIGS článků lze provozovat jednak jako heteropřechod společně s dvojitou vrstvou CdS (n-polovodič) a s vrstvou ZnO představující kladnou elektrodu, ale i jako komplexní heteropřechod s CIGS polovodičem, na kterém je nanesena

průhledná ZnO_2 elektroda. Tímto způsobem lze vyrábět velmi tenké solární články, o velikosti několika mikrometrů. Výše zmiňované struktury jsou umístěny na podložce z molybdenem pokrytého skla, hliníku či nerezové oceli, které tvoří anodu. Jednotlivé struktury jsou znázorněny na obr. 4.16. U těchto konstrukcí se laboratorně dosáhlo účinnosti okolo 19%. Vyráběné komerční články dosahují jen cca 12 - 14 % účinnosti.



Obr. 4.16: Schéma struktury CIGS solárního článku [29]

Tenkovrstvími solární články CIGS se zabývají společnosti Nanosolar, Dow Building Solutions a Global Solar Energy. Společnosti Nanosolar vyrábí CIGS solární články prostřednictvím tisku fotocitlivé vrstvy, jež má podobu inkoustu, na velmi vodivou a pružnou metalickou fólii. [29]

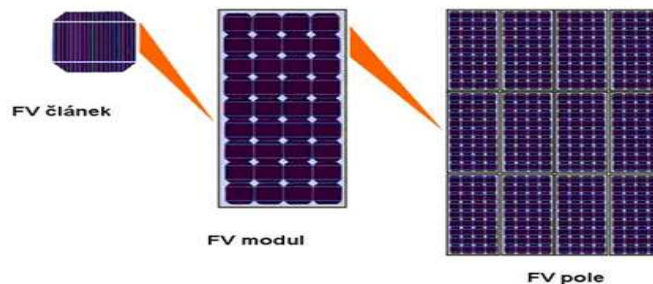
4.5 Generační vývoj fotovoltaického článku

Fotovoltaické články mají za sebou téměř 50 let vývoje. Dnes rozlišujeme celkem čtyři generace těchto článků:

- **první generace** - z destiček z monokrystalického křemíku
- **druhá generace** - z polykrystalického, mikrokrytalického nebo amorfního křemíku
- **třetí generace** - nevyužívají křemík (použití např.: organických polymerů), malé komerční využití
- **čtvrtá generace** - kompozitní články z různých vrstev, schopné lépe využívat sluneční spektrum - každá vrstva využívá světlo jiné vlnové délky

4.6 Fotovoltaické moduly

Jediný fotovoltaický článek má jen velmi malé využití. Výstupní napětí článku (0,5 V), ale i výkon, je pro většinu aplikací příliš malý. Proto se články podle požadovaného napětí a odebíraného proudu spojují a vytvářejí fotovoltaický modul (panel). Fotovoltaické moduly přeměňují dopadající sluneční záření na elektrický výkon. Mají účinnost pohybující se kolem 17 %, tedy 83 % je ve fotovoltaickém panelu přeměněno na teplo. Při špatně připojeném modulu se přeměňuje veškeré dopadající sluneční záření na teplo. Vlastní fotovoltaický modul se skládá z jednotlivých buněk, jež jsou spojeny sériově. Pro napětí 12 V je obvykle nutno sériově spojit 36 článků, při napětí 24 V pak 72 článků. Horní mřížková elektroda je záporná a spodní celokovová je kladná. V uzavřeném elektrickém obvodu vyrábí každá buňka stejné množství proudu. Při poškození buňky dochází k jejímu přepólování a celkovému snížení výkonu modulu. Ostatní buňky v sérii předávají část své vyrobené energie právě do této slabší buňky, což vede k jejímu zahřívání (až 100 °C). Pro omezení tohoto jevu jsou mezi jednotlivé části panelu instalovány bypasové diody. Pokud má jeden řetězec (string) nižší proud než ostatní, je přebytečný proud převeden diodou. Spojením více modulů vzniká fotovoltaické pole (obr. 4.17). Pro dosažení vysoké životnosti se moduly ukládají do hermeticky uzavřených pouzder. Tato úprava chrání moduly před povětrnostními vlivy. Moduly dosahují životností 20 až 30 let.



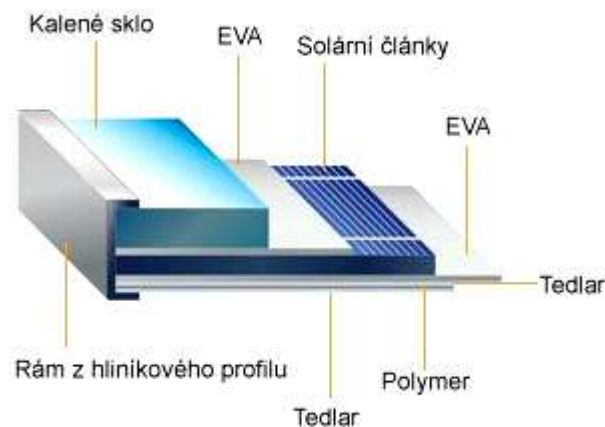
Obr. 4.17: Složení fotovoltaického pole

4.6.1 Mechanická konstrukce fotovoltaických modulů

Fotovoltaické články jsou velmi citlivé struktury, které je nutné chránit proti znečištění, korozi a mechanickému poškození. Samotný fotovoltaický modul je tvořen sériovým spojením jednotlivých fotovoltaických článků. Samotné fotovoltaické články se obvykle vkládají do etylenvinylacetátové fólie (EVA). Tento speciální materiál byl vyvinutí společností Specialized Technology Resources, Inc. Tato vysoce světlo propustná vrstva

odděluje tvrdé sklo a křehké křemíkové články tak, aby nedošlo k jejich poškození. EVA se nanáší ve vakuu, při teplotě 150 °C. Při této teplotě se vytvoří 70 % až 80 % EVA gel, který vytváří mechanickou podporu pro křemíkové články. Horní strana modulu je opatřena kaleným solárním sklem s vysokou propustností a nízkou odrazivostí slunečních paprsků, které chrání křemíkové články fotovoltaických panelů proti prachu, kroupám, dešti a jiným formám mechanického poškození. Zadní strana modulu je uzavřena vícevrstvou pevnou fólií z umělé hmoty. Tato odolná vrstva se skládá z několika vrstev, jež jsou zalaminovány polyesterovým pojidlem. Vrchní vrstva je tvořena laminátem, který v sobě obsahuje fólii EVA. Nižší vrstva je tvořena polyesterem (PET), který má vynikající mechanické a izolační schopnosti. Nejnižší vrstva je tvořena z PVF, která je odolná vůči povětrnostním vlivům a chrání celý panel proti mechanickému poškození zespodu. Dále se modul opatřuje hliníkovým rámem pro zvýšení stability a zlepšení manipulace. V rámu jsou připravené otvory na uchycení fotovoltaického panelu. Propojovací box je umístěn na zadní panelu. Box je tvořen z plastu odolávajícím povětrnostním vlivům.

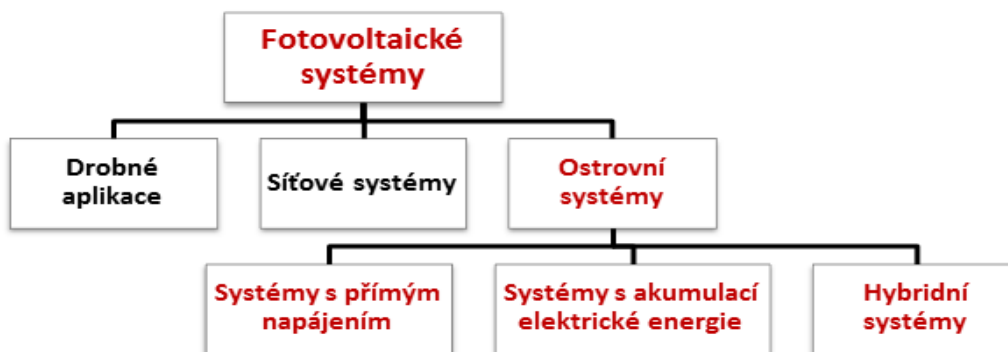
Z důvodu velmi kvalitního zpracování dosahují v současné době solární moduly vysoké životnosti. Výrobci udávají životnost fotovoltaických modulů v rozmezí 20 - 30 let s garancí na zachování výkonu po dobu 5 - 25 let. [13,38]



Obr. 4.18 : Složení fotovoltaického článku [38]

4.7 Fotovoltaické systémy

Fotovoltaický systém představuje ve své podstatě spojení fotovoltaických součástek do řetězce. Na konci tohoto řetězce je připojena vlastní spotřeba (spotřebiče). Skladba fotovoltaického systému závisí na druhu aplikace a konkrétním řešení, znázorněno na obr. 4.19.



Obr. 4.19: Dělení fotovoltaických systémů [13]

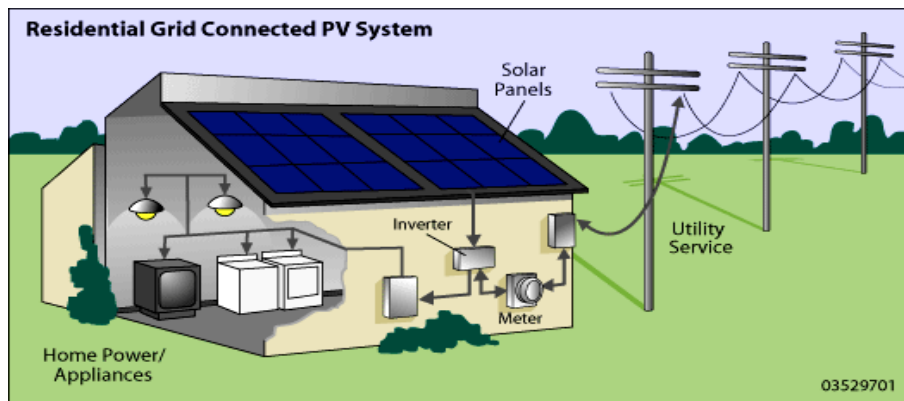
4.7.1 Systém pro drobné aplikace

Tento systém tvoří nejmenší podíl na trhu s fotovoltaikou. Je využíván zejména v drobných aplikacích, jako jsou např. kalkulačky či solární nabíječky akumulátorů. V současné době nabývá na svém významu, z důvodu neustále se zvyšující poptávky po nabíjecích zařízeních pro okamžité dobíjení akumulátorů v drobných aplikacích. [41]

4.7.2 Systém přímo připojený do rozvodné sítě (on-grid)

Je nazýván též spolugenerujícím systémem. V současné době se nejvíce uplatňuje v oblastech s hustou sítí elektrických rozvodů. Tento systém nepotřebuje akumulátor. Při nedostatku vlastní energie je elektrická energie odebírána přímo z rozvodné sítě, která je tzv. „nekonečným akumulátorem“. Tento systém lze provozovat dvojím způsobem. První způsob je spíše podnikatelskou záležitostí, kdy veškerá vyrobená elektřina je prodána do rozvodné sítě. Objekt si elektřinu pro vlastní potřebu odebírá ze sítě nezávisle na provozu zdroje. Dalším způsobem provozu je částečné pokrytí vlastní spotřeby objektu. Případné přebytky energie jsou buď akumulovány pro noční spotřebu či prodány do rozvodné sítě. Grid-on systém (obr. 4.20) je automaticky řízen mikroprocesorem, který zajišťuje řízení síťového střídače. Připojení systému k síti podléhá schvalovacímu řízení u rozvodných závodů (ČEZ, E.ON, PRE). Systému musí splňovat řadu technických předpisů stanovených provozovateli sítě, např. fotovoltaický systém musí obsahovat střídač (měnič), prováděna harmonická filtrace a korekce fáze. Měnič může být 1 či 3 fázový a plní ochranou a bezpečnostní funkci, jako je odpojení od sítě při poklesu napětí v síti či zkratová ochrana. Pro vlastní prodej energie za účelem zisku je nutné získat licenci pro podnikání v energetice. Tu vydává Energetický regulační úřad (ERÚ). Držitel licence se musí řídit zákonem č. 406/2000 S. Při

prodeji elektřiny lze uplatňovat tzv. zelené bonusy na energii vyrobenou z obnovitelných zdrojů. Tyto bonusy se vztahují na elektřinu prodanou, tak i spotřebovanou. [9,13]



Obr. 4.20: Schematické znázornění systému přímo připojeného na rozvodnou síť [41]

4.7.3 Autonomní systém (off-grid)

Autonomní neboli ostrovní systém (off-grid) je zdroj, který je nezávislý na rozvodné síti. Skládá se z pole fotovoltaických modulů, akumulátorů, spotřebičů a dalších důležitých komponentů (střídač a regulátor nabíjení). Regulátor zajišťuje vhodné podmínky pro nabíjení a vybíjení akumulátoru. Střídač slouží pro transformaci stejnosměrného napětí, které dodávají fotovoltaické moduly na napětí střídavé, jež je využíváno spotřebiči na střídavé napětí. Podle výchozí spotřeby je celý autonomní systém dimenzován. Vyrobena elektrická energie z fotovoltaických modulů, která není spotřebována, se ukládá do akumulátorů, kde slouží jako zdroj energie pro období s nízkou intenzitou slunečního svitu nebo pro období bez slunečního svitu (noc). Ostrovní systémy se v současnosti nejvíce využívají na místech, kde se z důvodu odlehlosti či ekonomické nákladnosti, nevyplatí vybudovat elektrickou přípojku. Tedy, náklady na vybudování přípojky jsou srovnatelné nebo vyšší s náklady na samotný fotovoltaický systém. Instalované výkony se typicky pohybují od 0,1 - 10 kWp. U těchto systému je kladen velký důraz na minimální ztráty energie a používání energeticky úsporných spotřebičů. [41]

Ostrovní systémy se dělí na systémy s **přímým napájením**, **hybridní systémy** a **systémy s akumulací elektrické energie**.

Systémy s přímým napájením

Tento systém se využívá v oblastech, kde uživateli nevadí, že připojený spotřebič je funkční pouze v momentu dostatečné intenzity slunečního záření, neboť vyrobená elektrická

energie není uchovávána do akumulátorové baterie. Tento systém neobsahuje akumulátorovou baterii. Jedná se o jednoduché propojení fotovoltaického panelu a spotřebiče. Nejčastěji se využívá pro závlahové čerpání vody, napájení ventilátorů či jako zdroj energie pro akumulátory malých přístrojů (mobilní telefony, zahradní svítidla aj.). [41]

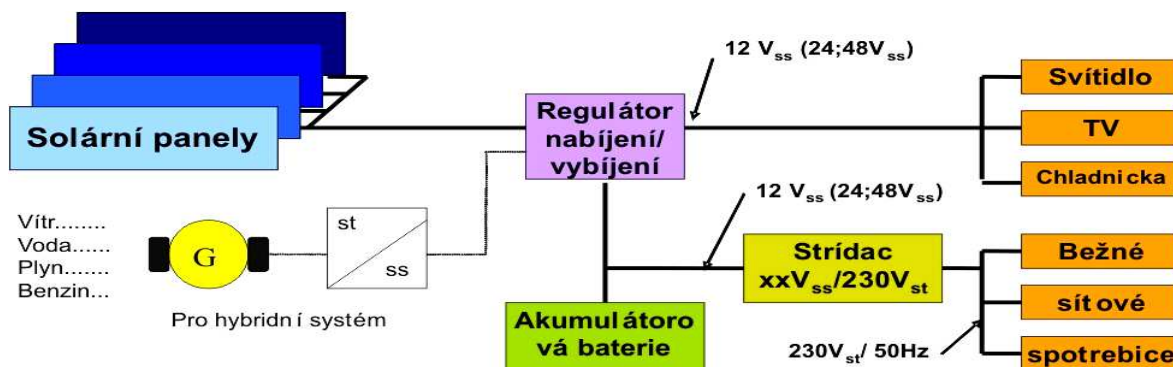
System s akumulací elektrické energie

Tento systém se liší od systému s přímým napájením o připojenou akumulátorovou baterii, regulátor nabíjení a popřípadě i o střídač. Systém se využívá v oblastech, kde je zapotřebí dostatek elektrické energie i při nedostatku slunečního záření. Z těchto důvodů je tento systém doplněn o akumulátorovou baterii. Jedná se o speciální akumulátorové baterie, které jsou podrobně popsány v kapitole **5.1.2: Druhy akumulátorových baterií**). V současné době jsou nejvíce rozšířené olověné akumulátory. Ve speciálních aplikacích se zpravidla užívají akumulátory typu Ni-Cd či Ni-Fe, pro malé výkony lze užít i alkalických či lithiových baterií. Správné nabíjení akumulátorových baterií zajišťuje solární regulátor, jež je podrobně popsán v **kapitole 5.1.5**. Pro zlepšení účinnosti systému lze užít DC-DC měnič, který převádí stejnosměrné napětí na výstupu fotovoltaických panelů na střídavé. Moderní měniče napětí obsahují sledovač bodu maximálního výkonu (MPP), jež zajišťuje, aby fotovoltaické panely pracovaly v bodu maximálního výkonu nezávisle na okamžité spotřebě napětí akumulátoru. K ostrovnímu systému lze připojit spotřebiče napájené jak stejnosměrným, tak i střídavým proudem (230 V/50 Hz). U spotřebičů na střídavý proud je nutné zařadit do systému výše zmiňovaný měnič napětí (střídač). Napětí samotného systému bývá voleno 12, 24, 48 či více V, podle požadavků. Autonomní systémy mají široké možnosti využití. Užívají se např. u dopravní signalizace, veřejného osvětlení, dobíjení akumulátorů, telekomunikacích, parkovacích automatech a v oblastech bez elektrické přípojky, jako jsou horské chaty, zahrady, jachty či karavany. [41]

Hybridní systémy

Jsou využívány všude tam, kde je nutný celoroční provoz velkým vytížením. Při provozování autonomního systému v zimních měsících dochází v důsledku nižší intenzity slunečního záření k menšímu energetickému zisku, než je tomu v měsících letních. Spotřeba zůstává obvykle stejná. Abychom nemusely instalovat velké množství fotovoltaických panelů (dimenzováno podle zimního období), což by vedlo k razantnímu zvýšení investičních

nákladů, je vhodné do systému zařadit alternativní zdroj energie (větrná elektrárna, malá vodní elektrárna, elektrocentrála, kogenerační jednotka aj.). Zařazením přídatného zdroje energie dojde eliminaci nepříznivých podmínek provozu ostrovního systému v zimních měsících. Za nepříznivé podmínky lze považovat nižší denní množství vyrobené elektrické energie a vyšší spotřeba. Nevýhoda hybridního systému spočívá v nutnosti užití složitějších a tedy i dražších regulátorů a řídicích členů. Tyto systémy jsou vhodné zejména pro středně velké výkony (oblast kW). Zapojení hybridního systému je znázorněno na obr. 4.21. [41]



Obr. 4.21 : Schematické znázornění hybridního systému [41]

5. Komponenty fotovoltaického systému

Pro výrobu elektrické energie ze slunečního záření je zapotřebí kromě fotovoltaických panelů také další pomocná zařízení, nazývané v angličtině BOS (Balance of Systems). Počet a složení těchto zařízení závisí na tom, k jakému účelu bude navrhovaný fotovoltaický systém sloužit. V našem případě se především zaměříme na ostrovní fotovoltaický systém a jeho komponenty. [13]

5.1 Akumulátorové baterie

Nezbytnou součástí každého ostrovního fotovoltaického systému je akumulátorová baterie, která zajišťuje skladování vyrobené elektrické energie v době jejího přebytku (při slunečním svitu) a zároveň umožňuje její okamžité uvolnění v období potřeby (při nedostatku slunečního záření). Baterie akumulují fotovoltaickými panely vyrobenou elektrickou energii ve formě energie chemické (proces nabíjení). Během vybíjení se naakumulovaná chemická energie opět mění na energii elektrickou, jež je dodávána do elektrického obvodu, v němž je akumulátor zapojen. Nevýhodou autonomních (ostrovních) systémů, oproti systémům

připojených do sítě, spočívá v jejich ceně, která je navýšená zejména cenou akumulátorových baterií. Akumulátorové baterie tvoří 40 % až 60 % ceny celého autonomního systému. Reálná životnost akumulátorových baterií je, oproti fotovoltaickým panelům, podstatně nižší. Pohybuje se v rozmezí 5 až 10 let. Naproti tomu, životnost fotovoltaických panelů dnes dosahuje doby kolem 20 let, s garancí na 10 let. Z výše uvedeného tedy vyplývá nutnost častější výměny akumulátorových baterií, což s sebou přináší další zvýšení investičních nákladů. [1,13]

Až na výjimky, například napájení čerpadla vody, se energie vyrobená fotovoltaickými moduly ukládá do akumulátoru pro použití v době, kdy nesvítí Slunce. I v systémech, v nichž je použit měnič stejnosměrného napětí na střídavé napětí 220V, musí být akumulátor nainstalován. Lze zvolit prakticky libovolný druh akumulátoru, a to jak kyselinový olověný (Pb), tak i alkalický NiCd či NiFe. Vzhledem k dostupnosti se nejčastěji používají akumulátory olověné. Nejvhodnější jsou speciální solární akumulátory, které jsou přizpůsobeny činnosti ve FV systémech (gelový elektrolyt, hermetické, bezobslužné, s nízkým samovybíjením). Pro malé systémy jsou dobře použitelné i standardní olověné akumulátory s kapalným elektrolytem, jež se obvykle používají jako startovací, staniční nebo trakční. Jejich výhodou je podstatně nižší cena, nevýhodou nutnost občasné kontroly a doplňování elektrolytu.

Napětí akumulátoru je určeno zvoleným jmenovitým napětím systému (12V, 24V, 48V a více V). Kapacitu akumulátoru volíme podle toho, jak velký náboj je třeba dodat do zátěže v požadované době provozu zátěže při nízkém nebo žádném slunečním svitu (obvykle 3-5 dní) a na povolené velikosti využití kapacity akumulátoru (pro dosažení dostatečně dlouhé životnosti akumulátoru typicky 0,4). Na základě těchto požadavků a nábojové účinnosti akumulátoru lze určit potřebný výkon solárních modulů.

Při dodržení obvyklých podmínek (stejná kapacita, stejné napětí) je možno akumulátory pro dosažení požadovaných parametrů řadit sériově i paralelně. Akumulátory je vhodné umístit do chladného prostředí s malým kolísáním teploty. U všech, vyjma hermeticky uzavřených, je nutno zajistit dostatečné větrání a při manipulaci i údržbě dodržovat pokyny výrobce. Pro kontrolu napětí akumulátoru lze použít libovolný stejnosměrný voltmetr. [1,13]

5.2 Požadavky na akumulátorové baterie

Akumulátorové baterie, užívané v ostrovním provozu, musí splňovat řadu požadavků, mezi které patří dostatečně vysoká schopnost nabíjení a akumulace výkonu, dlouhodobá

stálost v cyklickém provozu, dobrá schopnost opakovaného nabíjení nebo provoz nenáročný na údržbu. [4]

- **Vysoká schopnost nabíjení a akumulace výkonu**

Je schopnost akumulční baterie bezztrátově přijímat proud při daném nabíjecím napětí a umožnit rychlé znovunabíjení. Účinnost nabíjení závisí na použitém typu baterie, obvykle se pohybuje okolo 90 %. Tedy vznikají 10 % ztráty při nabíjení. [4]

- **Dlouhodobá stálost v cyklickém provozu**

Je ovlivněna četností nabíjecích cyklů akumulční baterie během svého života. Projevuje se tím více, čím většího počtu nabíjecích cyklů baterie absolvovala. Cyklická stálost je dána hloubkou vybití akumulátoru. Čím je jeho vybití menší, tím většího počtu nabíjecích cyklů může dosáhnout. [4]

- **Schopnost opakovaného nabíjení**

Umožňuje akumulční baterii, aby byla plynule znovu nabita na hodnotu jmenovité kapacity. Opakované nabíjení baterie probíhá bez výraznějších ztrát její akumulční kapacity.

5.3 Druhy akumulátorových baterií

5.3.1 Olověné akumulátory

Jsou nejčastěji užívanými akumulátory ve fotovoltaických systémech. Liší se od běžných startovacích akumulátorů svoji optimalizací na hluboké vybíjení (deep cycle) a schopností nízkého samovybíjení. Technologie výroby a užívání olověných akumulátorů je poměrně dobře zvládnuta, a proto nelze do budoucna očekávat další výrazné zlepšení. Olověné akumulátory se dělí na následující typy:

Klasická staniční baterie

Je složena z jednotlivých 2V článků umístěných v průhledných nádobách s volně nalitým elektrolytem (kyselina sírová). Nádoby jsou vyrobené z čirého nárazuvzdorného a kyselině odolného plastu (SAN). Tyto baterie se vyznačují snadnou údržbou, možností jednoduché výměny poškozených článků, dlouhou životností a vysokým výkonem. Jsou tvořeny zpravidla tlustými deskami pro lepší snášení hlubokého vybití. Kladná deska je tvořena trubkovou konstrukcí ze slitiny olova s nízkým obsahem antimonu, jež snižuje

frekvenci a prodlužuje interval doplňování destilované vody. Záporná deska je tvořena plastovou mřížkou. Dále akumulční baterie obsahuje separátory, vyrobené z vysoce mikroporézního materiálu, a ventily s keramickou zátkou proti zpětnému zážehu. Provedení pólových vývodů zvyšuje jejich spolehlivost, brání úniku kyseliny a snižuje korozi pólového vývodu uvnitř článku.

Stupeň nabití článku akumulční baterie lze jednoduše zjistit měřením hustoty kyseliny sírové, která se ředí destilovanou vodou na hustotu $1,24 \pm 0,01 \text{ kg/cm}^3$ při teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Olověné baterie jsou vyráběny v různých typech s různou konstrukcí elektrod podle požadovaného použití. Baterie určené pro solární systémy se oproti běžným startovacím bateriím vyznačují vyšší cenou, větší vahou, potřebou většího úložného prostoru a nutností zajistit odvětrávání vznikajících plynů (H_2 a O_2) při nabíjení. Dále mají nenáročnou údržbu, která spočívá jen v nutnosti dolévat destilovanou vodu a kontrolovat stav jednotlivých článků. Při poškození článku by mohlo dojít ke zkratu. Ostatní články by byly následně přebíjeny, což by vedlo ke snížení životnosti baterie nebo i jejímu zničení. [13]

o **Baterie typu OPzS**

Baterie OPzS je uzavřená větraná baterie s tekutým elektrolytem (obr. 5.1), která se používá jak ve staničních aplikacích, tak i v provozu opakujícího se nabíjení a vybíjení, tedy v cyklickém provozu. Ve staničních aplikacích je baterie paralelně připojena k zařízení a je provozována v tzv. paralelním pohotovostním provozu se stálým udržovacím nabíjením. Takto je vždy schopna použití v případech, kdy dojde k selhání dodávky elektrické energie z rozvodné sítě.



Obr. 5.1: Ukázka 2V akumulčních baterií OPzS [30]

Baterie OPzS mohou být ve staničním provozu použity tam, kde je potřeba vybíjení středními nebo malými proudy v časovém rozmezí od jedné hodiny až po několik hodin.

Výrobce těchto solárních baterií je např. společnost Sunlight, která dodává na trh akumulační baterie typu OPzS s kapacitou od 115 do 3343 Ah (viz. příloha XII.) [13,30]

Šestičláňkové baterie 12V

Jsou používány v menších solárních systémech. V porovnání s 2V bateriemi jsou levnější a kompaktnější. Jejich nevýhodou je poměrně složitá oprava poškozeného článku.

Uzavřené baterie s elektrolytem nasáklým - v porézní hmotě
- ve formě tixotropního gelu

U takto konstruovaných baterií dochází na povrchu záporné desky, s čerstvě vyloučeným olovem, k vzájemné reakci vznikajícího H_2 a O_2 za vzniku H_2O (vody). To má za následek, že při nabíjení akumulátor vodu neztrácí. Tyto baterie jsou často označovány jako bezúdržbové. Z tohoto důvodu se tento typ baterií stal v poslední době velice oblíbený. Jsou dodávány ve formě 2V monobloků či 6V a 12V baterií. Jejich největší výhody tedy spočívají v již zmiňované bezúdržbovosti, menšímu sklonu k sulfataci při setrvání akumulátoru ve vybitém či nedostatečně nabitým stavu. Sulfatace je nežádoucí jev, který vede ke snížení kapacity akumulátoru a zvýšení vnitřního odporu (snížení vodivosti). Nevýhodou těchto akumulátorů je nemožnost opravy vadných článků. [13]

o **Baterie typu OPzV**

Baterie OPzV jsou olověné baterie s gelovým elektrolytem. Díky své konstrukci jako ventilem řízené baterie jsou po celou dobu životnosti bezúdržbové. Kladná trubková elektroda předurčuje tuto baterii pro cyklický provoz. Elektrolyt je fixován ve formě gelu, což umožňuje použití v horizontální poloze. Baterie OPzV jsou optimalizovány pro použití v aplikacích s častým nabíjecím a vybíjecím provozem. Jsou vhodné zejména do telekomunikačních aplikací, energetiky, zabezpečovací a sdělovací techniky. Přehled kapacit jednotlivých baterií typu OPzV je uveden v příloze XII. [30]

5.3.2 Alkalické akumulátory

Jsou obecně děleny na:

- **nikl-kadmiové (Ni-Cd), nikl-metalhydridové (NiMH) a nikl-ocelové (Ni-Fe)**

Alkalické akumulátory se ve fotovoltaických systémech používají jen zcela výjimečně. Z výše uvedených typů se nejvíce používají průmyslové Ni-Cd akumulátory s kapsovými elektrodami. Akumulátory typu Ni-Fe se prakticky vůbec nevyužívají. Hlavními důvody jsou jejich malé účinnosti oproti olověným akumulátorům.

Výhoda Ni-Cd akumulátorů je v jejich dlouhé životnosti (10-20 let při cyklech s 60-80 % vybíjením) a snášením dlouhodobého vybití. Nevýhoda je v tzv. paměťovém efektu (poklesu kapacity při nabíjení akumulátoru v nevybitém stavu), samovybíjení (zvýšené při teplotách nad 25 °C). Prvních 10 - 20 dnů jen ztráta náboje 1 - 2 % za den. Další nevýhodou oproti olověnému akumulátoru spočívá v jejich nižší energetické účinnosti. Z důvodu nižšího napětí článku (1,2 V) je nutný větší počet článků, aby bylo dosaženo stejného potřebného napětí, např. 10 článků na 12V baterii. U olověného akumulátoru postačuje pouze 6 článků na 12V baterii. [13]

5.3.3 Lithium-iontové baterie

Jsou v současné době nejvíce využívány v oblasti spotřební elektrotechniky. Pro běžné solární aplikace je jejich cena příliš vysoká. Jejich výhodou je o 20 % nižší hmotnost oproti běžné bezúdržbové olověné baterii. Lithium je nejlehčí kov s vysokou reaktivitou, které poskytuje poměrně velké napětí článku, kolem 3V. Lithium-iontové baterie mají velmi nízké samovybíjení a neprojevuje se u nich tzv. paměťový efekt. Jejich nevýhodou je relativně krátká životnost (pohybující se kolem 2 až 3 let) a postupná ztráta kapacity. Ta se projevuje i za předpokladu, že se baterie vůbec nepoužívá. Tento jev je přisuzován vysoké reaktivitě lithia. Tyto baterie musí být opatřeny jištěním proti přílišnému vybití, jež by je dokázalo zcela zničit. Jsou citlivé i na přebíjení. Proto je přímo v baterii namontován speciální obvod, který baterii odpojí v případě, že je nabitá nebo za předpokladu vybití pod určitou mez. [13]

5.4 Nabíjení olověné akumulátorové baterie

V tomto odstavci se zaměřím na průběh nabíjení olověných akumulátorových baterií. Tyto baterie musí být při provozu trvale nabíjeny, což s sebou přináší řadu negativních vlivů (uvedeno v kapitole 5.3). [34]

Nabíjíme-li vybitý olověný akumulátor (např. šesti článkový), stoupá jeho svorkové napětí ve třech pásmech. První pásmo je charakteristické tvorbou kyseliny sírové (H_2SO_4) v pórech olověných desek (mřížek). Dochází k nárůstu jeho napětí na přibližnou hodnotu

13,2 V a hustota elektrolytu se zvyšuje až na 1,15 g/cm³. Ve druhém pásmu pokračuje nabíjení a přeměna síranu olovnatého do nárůstu napětí na cca 14,7 V při současném zvýšení hustoty elektrolytu na 1,25 g/cm³. Při překročení hodnoty napětí 14,7 V (třetí pásmo nabíjení) se mimo rozkladu síranu olovnatého začne také rozkládat voda (H₂O) na kyslík (O₂) a vodík (H). Akumulátor začne „plynovatět“. Dojde-li k rozkladu veškerého síranu olovnatého, napětí akumulátoru dosáhne hodnoty 16,2 až 16,8 V a hustota elektrolytu bude 1,28 g/cm³. Akumulátor dále bouřlivě plynovatí, ale jeho napětí se už více nezvyšuje. Veškerá dodávaná energie (např. z nabíječky) se spotřebovává k rozkladu vody (H₂O) na kyslík (O₂) a vodík (H). Počáteční plynovatění, při napětí menším než 14,4 V, je prvním znakem sulfatace akumulátoru. Čím je nižší napětí, tím dochází k větší sulfataci. Po připojení nějaké zátěže na plně nabitý akumulátor (vybíjení), dojde k rychlému poklesu jeho svorkového napětí na hodnotu 12,6 - 12,8 V. Klesá hustota elektrolytu, kyselina sírová se začne rozkládat za vzniku vody (H₂O) a na povrchu elektrod dojde k tvorbě síranu olovnatého. S postupným vybíjením se dále snižuje svorkové napětí akumulátoru až na 10,5 V, kdy hustota elektrolytu dosahuje 0,95 g/cm³. Akumulátor považujeme za zcela vybitý. Při „hlubokém“ vybíjení je akumulátor vybit na hladinu napětí 10,5 V či méně. Hluboké vybíjení akumulátor poškozuje, zkracuje jeho životnost, vede k rychlé sulfataci, vzrůstu vnitřního odporu a vyčerpání elektrolytu až do selhání akumulátoru. Postupné nabíjení olovnatého akumulátoru se zaplavenými elektrodami je uvedeno v tab. 5.3. Uvedené hodnoty napětí platí pro nezatížený akumulátor, který je odpojený od nabíječky. [34]

Tab. 5.3: Nabíjení olovnatého akumulátoru (zaplavené elektrody)

Stav nabití (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Napětí (V)	11,90	11,92	11,94	11,96	11,98	12,00	12,04	12,08	12,12
Stav nabití (%)	45	50	55	60	65	70	75	80	85
Napětí (V)	12,16	12,20	12,24	12,28	12,32	12,36	12,40	12,45	12,52
Stav nabití (%)	90	95	100						
Napětí (V)	12,58	12,64	>12,70						

Neodebíráme-li z olovné akumulátorové baterie žádný proud či se nenabíjí, probíhají v ní stejné reakce jako by se vybíjela. Náboj akumulátoru se samovolně, prostřednictvím

vnitřních elektrochemických procesů, snižuje. Ztráta náboje může dosahovat až 1 % denně. U menších akumulátorů dochází k rychlejší ztrátě kapacity, než je tomu u větších akumulátorů. Rychlost samovybití závisí na teplotě, typu akumulátoru, jeho kondici, stáří a samozřejmě konstrukci. Běžný akumulátor se sám zcela vybití prostřednictvím vnitřních pochodů za dobu 9 měsíců. Elektrolyt plně nabitého akumulátoru má hustotou $1,28 \text{ g/cm}^3$. Mění své skupenství na pevné až při teplotě okolo $-68 \text{ }^\circ\text{C}$. Při hustotě $1,25 \text{ g/cm}^3$ (nepatrně vybitý akumulátor) zamrzá při teplotě kolem $-52 \text{ }^\circ\text{C}$ a z poloviny vybitý akumulátor (hustota elektrolytu $1,15 \text{ g/cm}^3$) zamrzne při teplotě $-15 \text{ }^\circ\text{C}$. Vybitý akumulátor (hustota $1,1 \text{ g/cm}^3$), zamrzne už při $-7 \text{ }^\circ\text{C}$ a hluboce vybitý mrzne při teplotách těsně pod bodem mrazu. V zimních měsících se také zhoršují vlastnosti akumulátoru, které závisí na dynamické viskozitě kyseliny sírové, jež je značně teplotně závislá. Při nižší teplotě je vyšší viskozita H_2SO_4 . Což má za následek problematické míšení elektrolytu, který se v okolí desek rychleji vyčerpá. Proto při nízkých teplotách se akumulátor chová, jako by měl vyšší vnitřní odpor a nižší kapacitu. Udává se, že v rozsahu teplot $+30 \text{ }^\circ\text{C}$ až $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ klesá kapacita akumulátoru cca o 1 % s každým stupněm Celsia. Tento fakt je tedy silně závislý na odebíraném proudu. Čím je odebíraný proud větší, tím je tento pokles kapacity větší. Proto při velkých startovacích proudech a teplotách pod bodem mrazu, klesá kapacita akumulátoru jen na zlomek jeho jmenovité hodnoty. Na kapacitě akumulátoru se také podílí správná hustota H_2SO_4 . Pokles hustoty jen o $0,01 \text{ g/cm}^3$ způsobí pokles kapacity o 3 %. Tento pokles je opět silně závislý na odběru proudu. Pokles hustoty o $0,06 \text{ g/cm}^3$ způsobí, při požadavku na odběr proudu o velikosti 1,2 A, u akumulátoru s jmenovitou kapacitou 12 Ah, pokles jeho kapacity na cca 75 % původní hodnoty. Takový akumulátor se bude chovat, jako bychom měli namísto 12 Ah baterie baterii s kapacitou 9 Ah. [34]

5.4.1 Parametry akumulátorových baterií

Jmenovitá kapacita akumulátoru

Je vyjádřena v ampérhodinách (Ah). Jmenovitá kapacita akumulátoru se obvykle udává při zatížení akumulátoru jmenovitým proudem po dobu 10 nebo 20 hodin. Značí se symbolem „C“ a číslicí vyjadřující dobu zatížení v hodinách. Tedy $C_{20} = 55 \text{ Ah}$ znamená, že při zatížení akumulátoru jmenovitým proudem po dobu 20 hodin, dosahuje akumulátor kapacity 55Ah. Tedy, při odběru 2,75 A ($55/20$) bude akumulátor krýt energetickou potřebu spotřebiče po dobu 20 hodin. Jmenovitá kapacita se zjišťuje dle různé metodiky, např. dle

norem EN se zjišťuje při teplotě 25 ° C a zatížení daným proudem tak dlouho, dokud napětí na článek neklesne pod 1,5V.

Dalším pojmem je tzv. rezervní kapacita (značíme RC). Udává se v minutách. Je definována jako doba, po kterou je akumulátor schopen dodávat proud 25 A do poklesu napětí na každém článku pod 1,75 V. Součástí technických dat akumulátorů jsou vybíjecí křivky, které definují kapacitu akumulátoru při různém proudovém odběru. Skutečná hodnota kapacity akumulátoru je totiž závislá na jeho zatížení. Tedy, čím je akumulátor více zatížen, tím je jeho kapacita nižší. [34]

Peukertova konstanta

Je pojmenovaná po německém vědci, jež roku 1897 vyjádřil závislost kapacity akumulátoru na rychlosti vybíjení. Pro zjednodušení můžeme říci, že čím větším proudem je akumulátor vybíjen, tím menší má kapacitu. Peukertova kapacita je vyjádřena vztahem (5.4).

$$C_p = I^k \cdot t \quad (5.4)$$

kde	k	-	Peukertova konstanta [-]
	I	-	proud vybíjení [A]
	t	-	čas vybíjení [s]

U olověných akumulátoru, se zaplavenými elektrodami, se uvádí Peukertova konstanta $k = 1,2 - 1,6$ a pro gelové 1,1 až 1,25. [34]

Proud

Je udáván v ampérech (A). Slouží pro zjištění doporučené hodnoty dobíjecího proudu. Dále se počítá doba nabíjení akumulátoru při konstantním proudu a proudový odběr spotřebičů. Velikost akumulátoru je dimenzována následovně. Nejprve si vypočítáme proudový odběr (I) spotřebiče o známém příkonu (P) podle vzorce (5.5).

$$I = P/U \text{ [A]} \quad (5.5)$$

kde	I	-	proudový odběr [A]
	U	-	svorkové napětí [V]
	P	-	příkon spotřebiče [W]

Například 90W žárovka odebírá z akumulátoru 90 W/ 12,6 V = 7,15 A. [34]

Napětí akumulátoru

Je udáváno ve voltech (V). Napětí akumulátoru je závislé na počtu článků baterie (6, 12, 24 V). Změřené napětí závisí na stavu baterie. U plně nabitého olověného akumulátoru (12V, 6 článků) je svorkové napětí okolo 12,6 - 12,8 V. U plně vybitého se toto napětí pohybuje kolem 10,5 V. [34]

Výkonový poměr

Je udáván ve Watthodinách na kilogram (Wh/kg). Je to energie akumulátoru vztažená na jednotku hmotnosti či objemu. U olověných akumulátorů se pohybuje kolem 30 - 40 Wh/kg. [34]

Účinnost akumulátoru

Hraje důležitou roli při dimenzování ostrovního fotovoltaického systému. Běžně užívané olověné akumulátory mají účinnost pohybující se kolem 85 - 87 %. Vznikají ztráty. Proto musíme do akumulátoru dodat o něco více energie, než jsme z něj odebrali [34]. Vztah je vyjádřen vztahem (5.6).

$$\eta = (Q_{\text{vyb}} \cdot U_{\text{vyb}}) / (Q_{\text{nab}} \cdot U_{\text{nab}}) \cdot 100 \% \quad (5.6)$$

5.5 Napěťový měnič

Elektronický měnič napětí je často označován jako střídač či invertor. Převádí stejnosměrné napětí (12, 24 V), vyrobené fotovoltaickými panely, na střídavé síťové napětí (230/400 V, 50 Hz), které užívají běžné spotřebiče na střídavý proud.

Měniče stejnosměrného napětí na střídavé rozdělujeme podle několika hledisek na měniče pracující v **uzavřeném solárním systému** (off-grid) a na ty, které jsou určeny pro připojení **solárního systému do rozvodné sítě** (on-grid). Krom tohoto kritéria jsou měniče děleny podle formy výstupního napětí na **sinusové**, **obdélníkové** a **kvazisinusové**. Abychom mohli vybrat správný měnič napětí pro navrhovaný solární systém, je velmi důležité znát vlastnosti použitých spotřebičů.

Měniče s obdélníkovým tvarem výstupního napětí jsou spíše vhodné pro TV přijímače, různé pumpy, lampy, střídavé motory, elektrické nástroje a různé domácí spotřebiče. **Měniče se sinusovým tvarem výstupního napětí** se užívají spíše pro měřicí

přístroje, zesilovače, audio technika aj. Spotřebiče s induktivním charakterem vytvářejí výkonové špičky, které není napěťový měnič schopen odstranit, na rozdíl od veřejné sítě. Proto, při volbě napěťového měniče musíme respektovat zapínací proud spotřebiče. Jako příklad bych uvedl spotřebiče (klasické žárovky, kompresory v ledničkách či vodní čerpadla), které odebírají při zapnutí proud, blížíci se proudu nakrátko. Navrhovaný měnič tedy musí být dimenzován na 5 až 8 násobný náběhový proud v porovnání s proudem jmenovitým.

Při použití spotřebičů (12/24 V) nepotřebujeme v uzavřeném solárním systému měnič napětí. Správnou funkci celého systému nám zajistí solární regulátor. Pokud však provozujeme spotřebiče (230V) je nutné použít elektronický měnič napětí, který se nejlépe připojuje přímo k akumulátoru (menší zatížení solárního regulátoru).

U měničů napětí, které připojují solární systém do rozvodné sítě, je nutná synchronizace systému s napětím v rozvodné síti. Abychom mohli dodávat přebytek vyrobené elektrické do sítě, musíme splnit řadu požadavků, jež jsou definovány rozvodnými závody. Je to například požadavek na časový průběh napětí, povolený obsah vyšších harmonických frekvencí, nutnost dodávat napětí ve fázi s rozvodnou sítí, nutnost měřit množství odevzdané energie do sítě, zajistit odepnutí při poruše. Měniče napětí (obr. 5.7) hlídají napětí na vstupu a jsou schopny se včas samy odpojit, aby nedošlo k poruše. [1,4,44]



Obr. 5.7: Elektronické měniče napětí s transformátorem, firma SMA [31]

5.5.1 Nastavení MPP

Bod maximálního výkonu (Maximal Power Point) slouží pro nastavení optimálního pracovního bodu na charakteristice solárního článku. MPP se posouvá v závislosti na změnách napětí a proudu, které jsou způsobeny změnami teplot a intenzity slunečního záření.

Pomocí správného nastavení MMP je lépe využít okamžitý výkon dodávaný fotovoltaickými panely. [4]

5.6 Regulátor nabíjení

Regulátor nabíjení představuje „spojení“ stabilizátoru napětí a automatické akumulátorové nabíječky. Zapojuje se mezi fotovoltaické panely a akumulátory. Slouží k ochraně akumulátorů proti přebíjení nebo jejich hlubokému vybití a optimalizuje celý fotovoltaický systém (fotovoltaické panely, akumulátory a spotřebiče). Jeho základními funkcemi jsou ochrana proti zkratu na výstupu, přetížení, přebíjení akumulátoru, hluboké vybití akumulátoru, převrácení polarity. Dále zajišťuje teplotní kompenzaci akumulátoru pro zajištění stabilizace napětí při vysokých teplotních výkyvech a logicky řídí celý ostrovní fotovoltaický systém.

Solární regulátory snižují napětí jdoucí ze solárních panelů na takové napětí, které je optimální pro dobíjení akumulátorů a následně dobíjí připojené akumulátory. Po dosažení plného nabití připojených akumulátorů je odpojí od fotovoltaických panelů, aby nedocházelo k přebíjení akumulátorů a nesnižovala se jejich životnost. Dále kontroluje aktuální stav akumulátorů a udržuje je v optimálně nabitém stavu. Pokud dojde k poklesu napětí na fotovoltaických panelech (např. při zatažené obloze) pod hodnotu, jež je únosná pro nabíjení akumulátorů, dojde k odpojení těchto akumulátorů od fotovoltaických panelů.

Moderní solární regulátory disponují řadou přídatných funkcí a nastaveními, které slouží pro maximální optimalizaci nabíjení s ohledem na typ použitého akumulátoru. V době přebytku elektrické energie dovedou automaticky spustit spotřebič s velkým příkonem. Solární regulátor je nutné zvolit podle pracovního napětí v systému, proudového výkonu FV panelů, podle typu akumulátorů, nároků na teplotní pracovní podmínky a nakonec podle celkového příkonu elektrospotřebičů. [1,4,44]

Solárních regulátory dělíme podle způsobu nabíjení:

- **Solární regulátor pracující v režimu nabíjení na konstantní napětí**
- **Solární regulátor pracující v režimu nabíjení konstantním proudem**
- **Solární regulátor s řízením nabíjecího proudu pomocí PWM**
- **Solární regulátor pracující v režimu MPPT**

Solární regulátor pracující v režimu nabíjení na konstantní napětí

Nabíjení akumulátoru probíhá tak, že je na solárním regulátoru nastavena konstantní hodnota napětí, jež je zvolena podle napětí plně nabitého akumulátoru či podle „plynovacího“ napětí akumulátoru. Při nabíjení nastane postupné vyrovnání potenciálu mezi akumulátorem a solárním regulátorem, které snižuje dobíjecí proud na hodnotu udržovacího proudu (úměrný vnitřnímu odporu akumulátoru). Maximální proud je dán proudem vznikajícím ve fotovoltaických panelech. Výhodou tohoto způsobu nabíjení spočívá v šetrnosti k akumulátoru. Nevýhodou je, že nelze užít pro fotovoltaický ostrovní systém s velkým odběrem elektrické energie. [44]

Solární regulátor pracující v režimu nabíjení konstantním proudem

Tento způsob nabíjení akumulátoru spočívá ve správném zvolení nabíjecího proudu. Ten je zvolen tak, aby proud, který je dodáván z fotovoltaických panelů, nepřekročil (za jasného dne) hodnotu proudu akumulátoru daného výrobcem. Solární regulátor sleduje napětí (maximální a minimální) na svorkách akumulátoru. Zvolená hodnota napětí by měla odpovídat středu intervalu mezi maximem a minimem. Dojde-li k překročení maximálního napětí akumulátoru, solární regulátor odpojí fotovoltaický panel. A pokud dojde k překročení minimálního napětí akumulátoru, tak solární regulátor připojí akumulátor k fotovoltaickým panelům. [4,44]

Solární regulátor s řízením nabíjecího proudu pomocí PWM

PWM (Pulse Width Modulation) neboli pulsně šířková modulace. Zmiňovaný solární regulátor je založen na principu pracujícím se střední hodnotou napájecího proudu. Tedy regulátor spíná proud, který je dodáván fotovoltaickými panely podle příslušné střídly. Součástí solárního regulátoru je mikroprocesor, který měří vstupní napětí a proudy dodávané fotovoltaickými panely. Podle těchto vstupních hodnot řídí vlastní nabíjení akumulátoru a napájení zátěže (spotřebičů). Solární regulátor propojuje přímo fotovoltaický panel s akumulátorem. To má za následek vyrovnání potenciálů a snížení napětí na fotovoltaickém panelu. Proud zůstává stále maximální, a proto je z těchto panelů využíván menší výkon. [44]

Solární regulátor pracující v režimu MPPT

MPPT neboli Maximum Power Point Tracer. Tento solární regulátor pracuje na základě vyhledávání bodu maximálního výkonu. Podrobněji vysvětleno v kapitole 6.1.4.

Solární regulátor je v tomto případě doplněn o DC/DC převodník, který posouvá pracovní bod do spodní části V-A charakteristiky. Pomocí různých algoritmů je pak vyhledáván MPP. Výhody tohoto regulátoru spočívají v lepším využití okamžitého výkonu. Jeho nevýhodou je však vyšší cena ve srovnání s ostatními regulátory.

5.7 Kabeláž solárního fotovoltaického systému:

Velmi důležitou součástí každého fotovoltaického systému je kabeláž, která propojuje jednotlivé komponenty mezi sebou a zajišťuje tak správné fungování celého systému.

Běžné fotovoltaické systémy (nízkonapěťové) pracují s poměrně velkými proudy. Pro zajištění malých ztrát a tedy i dobré účinnosti celého systému, je zapotřebí propojovací kabely dostatečně dimenzovat. Pro propojení jednotlivých komponentů mezi sebou se používají kabely hliníkové (Al) nebo měděné (Cu). Z důvodu lepší vodivosti, oproti kabelům hliníkovým, se zpravidla užívají kabely měděné. Kabely pro stejnosměrný proud jsou tvořeny jednou nebo více žilami. Každá žíla je obklopená izolací, které jsou společně obaleny pláštěm. Ten musí být odolný vůči ultrafialovému záření a nepříznivým klimatickým klimatickým vlivům. Připojování se provádí pomocí konektorů nalisovaných na konce vodivých lanek. Kabely jsou pak jednoduše upevněny pomocí spon a příchytěk. Mechanicky odolnější je provedení umístění kabelů do instalačních trubek či kabelových kanálů

Dále je nutné zajistit správné provedení kabeláže mezi regulátorem nabíjení a akumulátorem. Při instalaci systému musí být dodrženy zejména montážní pokyny a dimenzování průřezu vodičů, které jsou pro jednotlivé typy regulátorů uvedeny v jejich technické dokumentaci. Především je nutné zajistit nízké odpory vodičů a nízké přechodové odpory konektorů s připojenými vodiči. Při montáži nesmí dojít k záměně výstupů a přepólování vodičů. U regulátorů bez proudové ochrany je nutné pro ochranu akumulátoru, vedení a připojených zátěží zapojit mezi akumulátor a zátěž dimenzovanou pojistku. [44]

5.8 Ochrana před bleskem

Je užívána především na vysokých budovách, vyvýšených místech či v oblastech s častým výskytem bouřek. Jsou užívány dva druhy ochrany před bleskem - **vnější** a **vnitřní**.

- **vnější ochrana**

Vnější ochrana před bleskem je tvořena bleskosvody, které jsou umístěny na vrcholcích střech. Nosné konstrukce jsou spojeny s uzemňovacím vodičem.

- **vnitřní ochrana**

Vnitřní ochrana slouží pro zabránění poškození zařízení vlivem přepětí, které vzniká zásahem blesku, a indukci ve vodivých smyčkách vznikajících propojením modulů. Tyto smyčky indukovaného napětí jsou přepět'ovými ochranami odváděny na zemnicí vedení. Jako přepět'ové ochrany jsou užívány různé druhy bleskojistek a jiskřišť. Příkladem moderní ochrany je tzv. dehn-ventil. [33]

5.9 Nosná konstrukce

Slouží k mechanické instalaci a orientaci solárních modulů v místě použití. Může být samostatná na zemi nebo součástí stavby (střecha aj.). Musí být dimenzována tak, aby byla schopna přenášet síly od statického zatížení (hmotnost modulů, kabeláž, sníh) i od dynamického zatížení větrem. V případě kovové konstrukce (obr. 5.8) je nutno dbát na korozní odolnost výběrem materiálu (slitiny hliníku či oceli) nebo vhodnou protikorozní povrchovou úpravou. Při montáži je třeba umístit modul tak, aby přípojovací box s konektorem nebo svorkovnicí na zadní straně modulu byl nahoře, mezi rámem modulu a pevnou plochou (střecha) musí být ventilační mezera nejméně 5 cm. Připevnění nosníku fotovoltaického panelu ke střeše domu je vyobrazeno v příloze XV. [1,34,44]



Obr. 5.8 : Jednořadá statická fotovoltaická střešní konstrukce [35]

Nosné konstrukce jsou obecně děleny na dva typy - **statické** a **pohyblivé**.

- **statické konstrukce**

Jsou nejvíce užívány u instalací s velkou plochou. Tyto konstrukce neumožňují sledovat dráhu Slunce. Jejich úhel odklonu je nastaven napevno vzhledem k maximálnímu

využití dopadajícího světla. Pro provoz po celý rok je vhodný úhel odklonu od horizontály odpovídající zeměpisné šířce daného místa. Ukázka střešní nosné konstrukce je na obr. 5.8. [1,34,44]

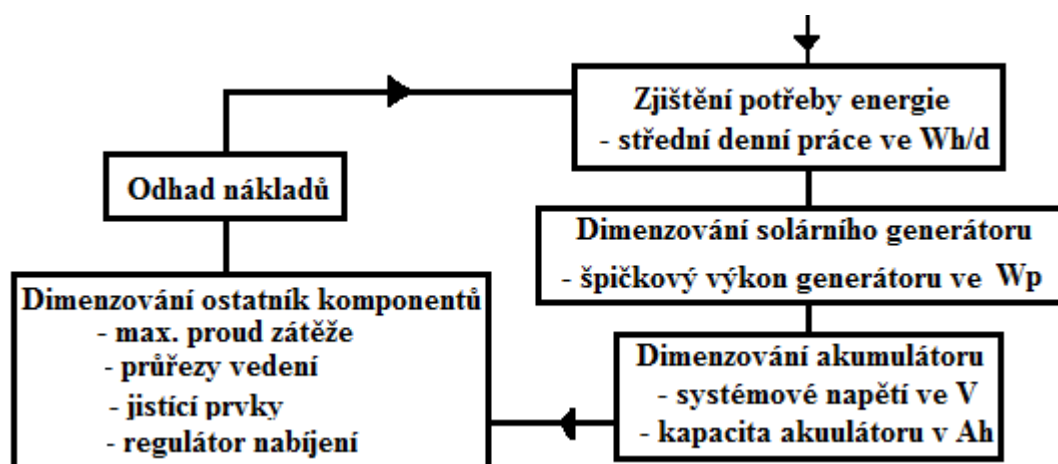
- **pohyblivé konstrukce**

Jsou časté u systému s koncentrátory. Jejich velkou předností je možnost sledování dráhy Slunce. Používá se jeden či více akčních členů (nejčastěji elektromotory), které natáčejí moduly nebo koncentrátory. Sledování dráhy Slunce je jednoosé nebo dvouosé. Jednoosé otáčení se provádí zpravidla kolem osy vertikální. Dvouosá otáčení jsou realizována kolem vertikální i horizontální osy. Ke správné funkci jsou nutná čidla ideální polohy vzhledem ke Slunci a řídicí mechanismy motorů. [1,34,44]

U malých systémů s výkony jednotek až stovek wattů není obvykle z ekonomického hlediska výhodné používat nosné konstrukce s automatickým natáčením modulů na Slunce. Pro celoroční provoz však může být vhodné zajistit možnost ručního nastavení sklonu pro zimní (45°) a letní (30°) období. V oblastech s vysokým výskytem atmosférických výbojů je nutno rámy modulů a kovovou nosnou konstrukci vhodným způsobem uzemnit. [1,34,44]

6. Návrh ostrovního fotovoltaického systému

První krok při návrhu ostrovního fotovoltaického systému je pečlivý výběr a správné dimenzování všech komponentů, které zajistí trvalý a bezporuchový provoz systému. [38]



Obr. 6.1: Obecný postup plánování ostrovního fotovoltaického systému [38]

Na obr. 6.1 jsem pro přehlednost znázornil, jak bychom měli postupovat při návrhu samotného fotovoltaického systému. Jednotlivé kroky návrhu jsem dále podrobně popsal a uvedl konkrétní početní úkony.

6.1 Popis rekreačního objektu

Návrh ostrovního fotovoltaického systému **v čistě ostrovním provozu** bude realizován na montované rekreační chatě (obr. 6.2). Tento objekt se nachází v Brdech ve vesnici Mítov v Plzeňském kraji, okres Plzeň-jih (GPS souřadnice: **49°35'27" s. š., 13°40'25" v. d.**). Rekreační objekt bude využíván převážně v měsících **květen až září**, tedy 5 měsíců (153 dní). V tomto stanoveném období jsou nadprůměrné hodnoty intenzity slunečního svitu (**příloha XVII.**) oproti zimním měsícům. Na období **květen až září** bude navrhovaný fotovoltaický systém dimenzován. Použité spotřebiče a jejich denní časové využití je uvedeno v **tab. 6.4**.



Obr. 6.2: Rekreační chata [26]

Obytná plocha chaty bez terasy činí $39,66 \text{ m}^2$ a zastavěná plocha bez terasy je 48 m^2 . Orientace vstupní části chaty je na jih. Pro fotovoltaické panely jsou k dispozici dvě střechy. První orientovaná na jih se sklonem 30° a druhá orientovaná na sever se sklonem 45° . Pro návrh ostrovního fotovoltaického systému bude využita střecha orientovaná na jih se sklonem 30° , kde jdou největší zisky přeměny solární energie na energii elektrickou. Plocha střechy pro možné umístění fotovoltaických panelů dosahuje 35 m^2 . Panely budou umístěny se sklonem 30° a azimutem 7° (JZ), což je téměř ideální stav pro využití fotovoltaického

systému s polykrystalickými panely v letních měsících. Instalace fotovoltaických panelů bude provedena **napevno** (tzv. statický systém) upevňovací konstrukcí firmy Shüco, která podporuje montáž svých panelů. Umístěné fotovoltaické panely v horizontu $\pm 70^\circ$ nic nezastiňuje. Umístěný komín nevrhá žádný stín na jižní stranu střechy, proto je možné plné využití výkonu instalovaných panelů. I malé zastínění instalovaných panelů by způsobovalo velký úbytek jejich výkonu (solární článek působí v obvodu jako odpor).

6.2 Obecný návrh spotřebičů

Obecně při výběru spotřebičů pro fotovoltaický ostrovní systém dbáme na to, aby zvolené spotřebiče měly co možná nejvyšší účinnost. Při návrhu spotřebičů si musíme nejprve ujasnit jaké spotřebiče a kolik hodin denně je budeme v ostrovním systému využívat. Také musíme dbát na zvolenou energetickou třídu spotřebičů. Vhodné je užívat spotřebiče energetickou třídou “ A “ až “ A+++ “, které mají nejnižší spotřebu elektrické energie. Další krok spočívá ve stanovení spotřeby námi vybraných zařízení. Spotřebu elektrické energie vybraného spotřebiče za jeden den dostaneme vynásobením příkonu zvoleného spotřebiče a doby jeho provozu za den (6.2). [36]

$$P = W * t \quad [\text{Wh}] \quad (6.3)$$

Kde	P	-	příkon spotřebiče	[Wh]
	W	-	výkon spotřebiče	[W]
	t	-	čas	[s]

Tedy, zvolíme-li si v našem případě spotřebič o příkonu 40W a době provozu 24 hodin, celková denní spotřeba bude činit ($40 \text{ W} * 24 \text{ hodiny} = 0,96 \text{ kWh}$). Dále sečteme jednotlivé vypočtené údaje od různých spotřebičů a dostaneme celkovou denní spotřebu elektrické energie v Kilowatthodinách (kWh), ze které dále vycházíme při návrhu ostrovního fotovoltaického systému (**tab. 6.4**).

Spotřebiče můžeme rozdělit do dvou základních kategorií:

- **spotřebiče cyklické**
- **spotřebiče necyklické**

Spotřebiče necyklické:

Jsou to spotřebiče, které mají konstantní spotřebu, neboli nepracují v tzv. cyklickém režimu. U těchto spotřebičů si samy zvolíme dobu provozu v rámci napájení ze solárních panelů. [36]

Spotřebiče cyklické:

Cyklické spotřebiče jsou spotřebiče, které pracují v tzv. cyklickém režimu, neboli cyklu zapnuto - vypnuto. Mezi tyto zařízení řadíme zejména chladničky, myčky, pračky aj., kde spotřeba zcela zásadně kolísá a je nutné postupovat tak, aby byl obsažen celý cyklus (např. prací program). U chladniček a jiných cyklických spotřebičů se může přesná spotřeba monitorovat zásuvkovým elektroměrem. Monitorování probíhá obvykle po dobu 24 hodin. Celková naměřená spotřeba se poté podělí počtem dnů, během kterých byla monitorována a získaný výsledek je údajem o spotřebě za 1 den.

Výhoda cyklických spotřebičů spočívá ve skutečnosti, že jejich spotřeba je obvykle uvedena na štítku již v **kWh**. Problémem je ale skutečnost, že např. u pračky či myčky je celková spotřeba elektrické energie závislá na použitém typu programu, tedy na jeho délce. U chladniček se spotřeba elektrické energie mění v závislosti na okolní teplotě. Tedy, čím vyšší je teplota okolního vzduchu, tím vyšší je i spotřeba elektřiny. Toto se do určité míry může projevit i u jiných spotřebičů, jako jsou například počítače a další. [36]

6.3 Výpočet energetické spotřeby rekreačního objektu

Pro uvažovaný rekreační objekt byly zvoleny spotřebiče uvedené v tabulce **6.4** s celkovým denním příkonem **6064 Wh**, tedy **6,064 kWh**. K osvětlení objektu bylo použito moderních nízkoenergetických **LED žárovek** z důvodu jejich nízké spotřeby oproti ostatním zdrojům světla (např. klasické žárovky). V tabulce je umístěn spotřebič s názvem „**připojení**“ o celkovém příkonu 2 kW po stanovenou dobu 2 hodin. Tento spotřebič znázorňuje v navrhovaném ostrovním systému možnost připojení jakéhokoliv spotřebiče po dobu 2 hodin o maximálním příkonu do 2 kW. Může to být např. pečení v troubě, užití štípačky na dříví aj.

Ostatní navržené spotřebiče jsou běžně se vyskytující spotřebiče v rekreačních objektech, které poskytují jistou míru komfortu, kterou bych chtěl při dimenzování tohoto ostrovního fotovoltaického systému zachovat.

Spotřebič	Množství [ks]	Příkon [W]	Celková spotřeba energie [kWh]	Celková spotřeba energie za 153 dní [kWh]	Doba provozu [h]
TV LCD	1 x	75,00	0,600	91,800	8,0
Lednice	1 x	100,0	0,200	30,600	2,0
Notebook	1 x	40,00	0,960	146,88	24
Kávovar	1 x	800,0	0,240	36,720	0,3
Osvětlení	4 x	16,000	0,064	9,7920	4,0
Připojení	1 x	2000	4,000	612,00	2,0
Celkem	9 x	3031	6,064	927,79	40,3

Tab. 6.4: Energetická potřeba instalovaných spotřebičů

6.4 Výpočet vnitřních ztrát

V této kapitole se budu věnovat výpočtu jednotlivých vnitřních ztrát, které vznikají na jednotlivých komponentech ostrovní fotovoltaické elektrárny, mimo ztrát na samotných fotovoltaických panelech, které budu počítat samostatně v kapitole **6.3: Volba fotovoltaických panelů**. Vnitřní ztráty vznikají na:

- měniči napětí
- akumulátoru
- kabelech, svorkách, konektorech
- MPPT měniči

Kriteria výpočtu ztrát

- 1) Zvolené spotřebiče (**tab. 6.4**) napájené ze solárního systému spotřebují za jeden den **6064 Wh** elektrické energie.
- 2) Na základě doporučení odborníka z praxe bude počítáno s tím, že **30 %** spotřebované elektrické energie bude procházet přes měnič napětí a zbylých **70 %** bude napájeno přímo z akumulátoru (MPPT měniče)

Ztráty v měniči napětí (střídač)

– zvolený měnič:

Sunny Boy 2100TL, katalogový list IV.

- účinnost měniče: **96 %**
- ztráty na měniči: **4 %**
- zvolený poměr v (měnič : aku): **30 % : 70 %**
- přepočtená účinnost: **97,2 %**

Výpočet:

- $0,3 * 4 = 1,2 \%$
- $96 + 1,2 = 97,2 \%$
- $6064/0,972 = 6239 \text{ Wh}$

Spotřeba se ztrátami, které vyprodukuje měnič napětí je **6239 Wh**.

Ztráty v akumulátoru

- zvolený akumulátor: **7 OPzS 490, 12 OPzV 1200, kat. list IV.,V.**
- účinnost akumulátoru: **85 %**
- ztráty při akumulaci: **15 %**
- zvolený poměr v % (měnič : aku): **30 % : 70 %**
- přepočtená účinnost: **96 %**

Výpočet:

- $0,7 * 15 = 10,5 \%$
- $85 + 10,5 = 96 \%$
- $6239 /0,96 = 6499 \text{ Wh}$

Spotřeba se ztrátami při akumulaci energie v akumulátoru je **6499 Wh**.

Ztráty v kabelech, svorkách, konektorech

Dále vznikají ztráty v kabeláži, v konektorech a svorkách díky přechodovému odporu. Výše ztrát je závislá na délce a průřezu přípojovacích kabelů. Tyto ztráty se pohybují v rozmezí 2 - 4%. Na základě doporučení odborníka z praxe byla pro tento návrh ostrovního systému zvolena míra ztrát do **2 %**.

- $6499 /0,98 = 6632 \text{ Wh}$

Spotřeba se ztrátami v kabeláži, svorkách a konektorech je **6632 Wh**.

Ztráty v MPPT měniči

- zvolený měnič: **Sunny Island 2224**
- účinnost měniče: **93,6 %**
- ztráty na měniči: **6,4 %**

Výpočet:

- $6632 / 0,936 = 7085 \text{ Wh}$

Spotřeba se ztrátami v MPPT měniči je **7085 Wh**.

Kontrola:

- $7085 * 0,972 * 0,96 * 0,98 * 0,936 = 6064,3 \text{ Wh}$

Vypočtená spotřeba **6064,3 Wh** je rozdílná oproti původní spotřebě **6064 Wh**. Tento rozdíl je dán zaokrouhlováním v průběhu jednotlivých výpočtů.

Shrnutí:

Potřebné množství energie z fotovoltaických panelů je **7085 Wh** pro denní potřebu elektrické energie **6064 Wh**. Tato hodnota již v sobě obsahuje započítané ztráty na měniči napětí, MPPT měniči, akumulátoru a kabelech, konektorech a svorkách. Celkové ztráty na všech vnitřních prvcích solárního systému byly stanoveny na **15,2 %**.

6.5 Návrh fotovoltaických panelů

6.5.1 Popis volby fotovoltaických panelů

Při návrhu ostrovního fotovoltaického systému jsem se rozhodoval mezi volbou **monokrystalických** či **polykrystalických** panelů. Níže jsou popsány vlastnosti těchto panelů, podle kterých jsem se rozhodoval.

- Monokrystalické panely mají lepší účinnost při náklonu přímo na slunce a při přímém slunečním svitu. Při nastavení náklonu panelů na letní období (35 °) vyrobí panely poměrně velké množství elektrické energie. V zimním období však vyrobí této energie méně. Tyto panely se využívají převážně v zeměpisných oblastech s přímým slunečním svitem (např. Španělsko, Itálie atd.). [36]

- Polykrystalické panely lépe zpracovávají sluneční svit i při větším odklonu od optimální pozice a relativně malém slunečním svitu. Umisťují se na objekty, které nejsou zcela ideálně orientované a nemají ideální sklon střechy. V létě dosahují oproti panelům monokrystalickým horších výsledků, ale v zimním období produkují této energie více. Tyto panely jsou vhodné pro zeměpisné oblasti České republiky. [36]

V návrhu ostrovního fotovoltaického systému na rekreační objekt jsem zvolil panely **polykrystalické** z důvodu lepšího využití v podmínkách ČR. Rekreační objekt bude využíván v letních měsících (**květen až září**). Nominální výstupní napětí fotovoltaických panelů jsem stanovil na **24 V**. Tato hodnota je zvolena z jednoduchého důvodu, navrhovanou instalací **2,35 kWp** potečou poměrně velké proudy a byly by nutné velké průřezy vodičů. Čím je nominální výstupní napětí fotovoltaických panelů větší, tím menší protékají systémem proudy a tím menší průřezy vodičů je nutné použít. Další výhodou při použití vyššího napětí je, že navržený střídač s MPPT měničem, **Sunny Boy 2100 TL**, pracuje mnohem efektivněji s vyšším vstupním napětím. Dosáhneme tedy ve výsledku nižších ztrát. Dále jsem při dimenzování použil ostrovní střídač na 24 V **Sunny Island 2224**, obsahující solární regulátor. Zvolené fotovoltaické panely **Shüco MPE 235 PS 09** dávají při výstupu naprázdno jmenovité napětí 37,56 V. Dáno počtem a skladbou jednotlivých fotočlánků, které panel obsahuje. Z tohoto důvodu nelze panel připojit přímo ke spotřebiči vyžadujícím napájecí napětí 12 V. Solární regulátor tedy snižuje toto napětí na požadovanou hodnotu vhodnou pro nabíjení akumulátoru.

Umístění fotovoltaických panelů

V návrhu ostrovního fotovoltaického systému jsem zvolil ideální nasměrování fotovoltaických panelů pro zeměpisné podmínky ČR při využití v letních měsících, tedy **jižní orientace s azimutem 7°**. Takto umístěné panely (graficky znázorněno na obr. 6.7.) pojmu na území ČR největší množství slunečního svitu.

Optimální sklon fotovoltaických panelů

Optimální sklon fotovoltaických panelů je udáván v rozmezí 35° až 49°, podle ročního období. V létě je slunce výše nad horizontem, proto se v letním období (březen až říjen) volí sklon panelů od vodorovné osy 35°. V zimním období se spíše využívá úhel 49°

(slunce je níže nad horizontem). Volba sklonu panelů je závislá na způsobu využití objektu. [36]

6.5.2 Ztráty výkonu fotovoltaických panelů

Ztráty vzniklé úhlovou odrazivostí

Jsou to ztráty, které vznikají úhlovou odrazivostí světla od povrchu fotovoltaických panelů. Dosahují hodnoty kolem 3 % z celkového výkonu fotovoltaických panelů. [36]

Ztráty vzniklé ohřevem panelů

Jsou ztráty, které vznikají na základě ohřevu fotovoltaických panelů. Při změně teploty o 25 °C dojde ke změně výkonu panelu o 10 %. Hodnota teplotního koeficientu je přibližně v rozmezí 0,43 - 0,47 %/°C, podle druhu fotovoltaického panelu. [36]

Ztráty vzniklé v důsledku jejich znečištění

Jsou dalším druhem ztrát, které ovlivňují výkon fotovoltaických panelů. Míra znečištění panelů závisí zejména na oblasti umístění fotovoltaických panelů a prašnosti dané lokality. Pro dosažení maximálních výkonů panelů, se tyto panely musí čas od času vyčistit od prachu. Fotovoltaické panely mají velmi hladký povrch a vyznačují se samočisticí schopností při dešti. V zimním období jsou pokrývány napadaným sněhem, který je nutno odstranit. Panel pokrytý sněhem neprodukuje totiž žádnou energii. Sníh s panelu většinou sám sklouzne, z důvodu vyšší teploty panelů oproti okolnímu prostředí.

6.5.3 Výpočet výkonu fotovoltaických panelů

Odhad energetického výnosu

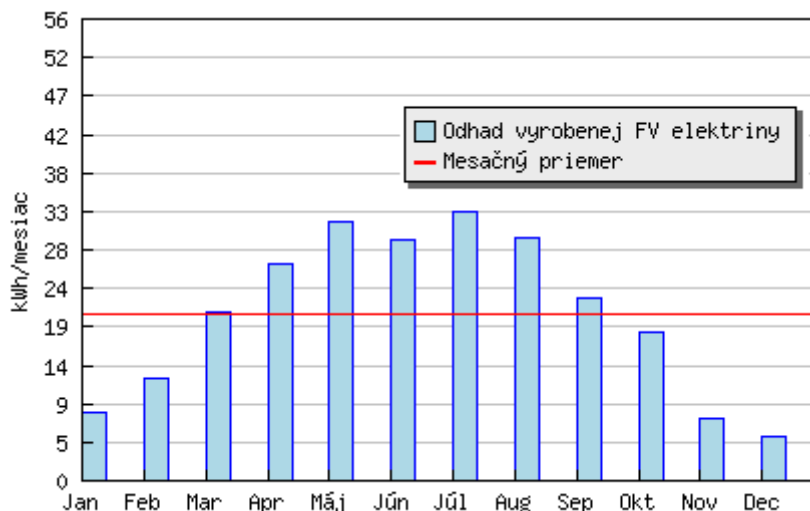
Při výpočtu výkonu fotovoltaických panelů jsem užil webovou aplikaci, **Interaktivní mapa Evropy**, která obsahuje podrobné informace o intenzitě a množství dopadajícího slunečního záření v různých lokalitách a v různém ročním období. Tato aplikace po zadání stanovených údajů vypočítává intenzitu slunečního záření a množství energie vyrobené fotovoltaickým panelem MPE 235 PS 09 (tab. 6.5, tab. 6.6). V tabulkách jsou již započítány výše uvedené vnitřní ztráty výkonu fotovoltaických panelů.

Interaktivní mapa Evropy (PVGIS):

Ve webové aplikaci jsem nejprve vyplnil následující požadované údaje, jež jsou nutné pro výpočet měsíční odhadované výroby elektrické energie z panelu MPE 235 PS 09.

PV technology jsem zvolil krystalický křemík. Další položkou byl **instalovaný špičkový výkon fotovoltaického panelu**, který jsem zvolil 0,235 kWp pro mnou navrhovaný panel. Dále bylo nutné vyplnit **odhadované ztráty systému**, které jsou pro můj výpočet nulové, z důvodu toho, že jsem je zahrnul již do vnitřních ztrát. **Náklon modulu** jsem zvolil 30° a **orientaci modulu** +7°. Dále bylo nutné vyplnit GPS souřadnice, tedy **49°35'27" s. š.** a **13°40'25" v. d.** Poté nám aplikace stanovila údaje o měsíčním a ročním odhadu vyrobené elektrické energie z fotovoltaického panelu MPE 235 PS 09, nadmořské výšce (518 m. n. m.), vzdálenosti od nejbližšího města (Rokycany, 17 km) a ztrátám se kterými aplikace počítá:

- odhadované ztráty vlivem teploty: 6,4 %
- odhadované ztráty vlivem úhlové odrazivosti: 3,1 %
- celkové ztráty systému: 9,5 %



Obr. 6.5: Měsíční odhadované množství vyrobené el. energie z panelu MPE 235 PS 09 [37]

Navrhovaný ostrovní fotovoltaický systém jsem nadimenzoval na **plný fotovoltaický provoz**. Potřebný výkon panelů jsem stanovil na základě jejich produkce v nejhorším měsíci ve stanoveném období. Za období **květen až září** je nejhorším měsícem **září** s výrobou **0,74 kWh** za den. Systém je pro ostatní měsíce, ze zvoleného období, samozřejmě naddimenzován, aby dokázal pokrýt spotřebu v měsíci září. Při návrhu ostrovního systému jsem nebral v potaz hodnotu průměrné denní vyrobené elektrické energie z navrhovaného

panelu MPE 235 PS 09 za období květen až září, protože v měsících s podprůměrnou hodnotou výroby energie by systém trpěl jejím nedostatkem

Výpočet

- nejslabší měsíc září: **0,74 kWh = 740 Wh/den**
- 1 Wp výkonu FV panelu vyrobí $740/235 = 3,14$ Wh elektrické energie za den
- potřebný výkon fotovoltaických panelů: $7085/3,14 = 2256$ Wp

Shrnutí

Na základě výše uvedených výpočtů jsem stanovil pro navrhované spotřebiče s denní spotřebou **7085 Wh** (započítány vnitřní ztráty) výkon fotovoltaických panelů na **2256 Wp**.

Návrh dle získaných výpočtů

- navržený počet fotovoltaických panelů: $2256/235 = 9,6 \rightarrow 10$ x MPE 235 PS 09
- zapojení: 1 string * 10 modulů MPE 235 PS 09 v sérii
- předpokládaná životnost panelů MPE 235 PS 09: 20 let

Nominální výkon = 0,235 kW Ztráty v systému = 0,0 %		
Náklon = 30° , Orientace = 7° (JZ)		
Měsíc	Měsíční produkce (kWh)	Denní produkce (kWh)
Leden (Jan)	8,4	0,27
Únor (Feb)	12,6	0,45
Březen (Mar)	20,6	0,67
Duben (Apr)	26,6	0,89
Květen (Máj)	31,7	1,02
Červen (Jún)	29,4	0,98
Červenec (Júl)	32,9	1,06
Srpen (Aug)	29,8	0,96
Září (Sep)	22,3	0,74
Říjen (Okt)	18,1	0,58
Listopad (Nov)	7,6	0,25
Prosinec (Dec)	5,5	0,18
Roční průměr	20,5	0,67
Celková roční výroba (kWh/rok)	246	

Tab. 6.6: Množství el. energie vyprodukované fotovoltaickým panelem MPE 235 PS 09 o výkonu 235 Wp/den [37]

Grafické znázornění umístění fotovoltaických panelů

Na obrázku 6.7 je graficky znázorněno rozložení navržených fotovoltaických panelů MPE 235 PS 09 na střeše rekreačního objektu se sklonem 30° . Navržené panely jsou orientovány jih s azimutem 7° . Jedná se o polykrystalické panely Shüco MPE 235 PS 09 o počtu 10 kusů, jež jsou zapojeny v konfiguraci 1 string * 10 modulů v sérii.



Obr. 6.7: Grafické znázornění rozložení fotovoltaických panelů MPE 235 PS 09

6.6 Volba akumulátoru

Pro ostrovní fotovoltaický systém se v současné době používají nejčastěji dva typy akumulátorů - **akumulátory trakční se zaplavenými elektrodami** a **akumulátory trakční v provedení VRLA**, tzv. bezúdržbový akumulátor (uvedeno v kapitole 5.3). [37]

V navrhovaném ostrovním fotovoltaickém systému jsem se po krátké úvaze rozhodl pro **akumulátory trakční typu OPzS**. Moje rozhodování vycházelo z nižších ceny oproti akumulátorům OPzV a podobným vlastnostem. Akumulátory budou umístěny mimo rekreační objekt, spojeny do série pro poskytnutí většího napětí a dostatečně odvětrávány.

Akumulátory je možné také spojovat paralelně pro dosažení většího proudu. Další důležitou věcí při volbě akumulátorů je použití stejných akumulátorů, o stejné kapacitě, typu, výrobce a sérii.

Výpočet

Při samotném výpočtu kapacity akumulátorů pro ostrovní fotovoltaický systém jsem nejprve spočítal celkovou denní spotřebu se zahrnutím ztrát v měniči napětí. Do výpočtů jsem

nezahrnul ztráty vzniklé v solárním regulátoru. Jedná se totiž o zisk elektrické energie ze samotných akumulátorů. Dále jsem zahrnul ztráty vzniklé při nabíjení akumulátoru, jelikož se nejedná o nabíjení akumulátoru, nýbrž o odběr elektrické energie již z plně nabitého akumulátoru.

- 1) Celková denní spotřeba elektrické energie, započítané ztráty v měniči napětí, při odběru pouze z akumulátoru bude činit:
 - $6064/0,972 = \mathbf{6239\ Wh}$
- 2) Stanovení kapacity akumulátoru při využití ostrovního systému v období květen až září:
 - $E_p = \text{počet dnů zálohy} * \text{denní spotřeba}$
 - $E_p = 4 * 6239 = \mathbf{24956\ Wh}$
- 4) Převod Wh na Ah:
 - elektrická energie / zvolené napětí systému
 - $24956 / 24 = \mathbf{1040\ Ah}$
- 5) Kapacita použitých akumulátorů:
 - $1040 / 0,8 = \mathbf{1300\ Ah}$

Do výše uvedeného výpočtu jsem dosadil údaj o využitelné kapacitě trakčních akumulátoru (zahrnuto stárnutí akumulátoru), který činí 1% za rok, tedy za 20 let je to 80 %.

Shrnutí

- **navržený počet baterií s minimální zálohou:** 12 x 7 OPzS 490, 2V, 70 Ah
- **navržený počet akumulátorů pro 4 denní zálohu:** 12 x 12 OPzS 1200, 100 Ah
- **zvolená životnost:** 7 OPzS 490 a 12 OPzS 1200 akumulátorů činí **10 let**
- **záloha ostrovního fotovoltaického systému:** 4 dny

V ostrovním fotovoltaickém systému jsem zvolil dva návrhy akumulčních baterií. První obsahuje akumulátor 12 x 7 OPzS 490, 2V pro minimální zálohu systému z důvodu úspory finančních prostředků. Ve druhém návrhu jsem zvolil velice komfortní řešení s použitím akumulční baterie 12 x 12 OPzS 1200 se 4 denní zálohou. Průměrná životnost sériově zapojených baterií bude činit 10 let.

6.7 Kompatibilita měniče a FV panelu

Střídač SB 2100 TL splňují následující kritéria / Navržený panel Shüco 235 Wp

Nezávislé vstupy: 1

Max. DC výkon: 2,2 kW

Špičkový výkon: 2,35 kWp

Min. DC napětí: 125 V

OK Typické FV napětí: 266 V

OK Min. FV napětí: 240 V

Max. DC napětí (střídač): 600 V

OK Max. FV napětí: 417 V

Max. DC proud: 11 A

OK Max. proud FV generátoru: 7,8 A

6.8 Propojení komponentů

Jednotlivé komponenty ostrovního systému se propojují mezi sebou pomocí kabelů, které musí být vhodně dimenzovány, aby docházelo k malým ztrátám v systému.

Fotovoltaický panel: lze propojovat jen panely o stejných technických parametrech, od stejného výrobce a stejného výkonu. Spojení může být sériové - získá vyšší napětí, paralelní - získá vyšší výstupní proud a sério-paralelní - vyšší napětí i proud.

Pro propojení panelů užitíme v našem případě speciální solární kabel, který má dlouhou životnost a nízké ztráty. Užívá se u výkonu panelu nad 50 W.

Fotovoltaický panel a MPPT měnič: se obvykle u výkonu panelu nad 50 W připojují speciálním solárním do konektoru MC4. Při sériovém zapojení panelů užitíme stejného průřezu vodičů, jako má jeden panel (uvedeno v katalogovém listu)

Akumulátor a MPPT měnič: akumulátory jsou připojeny k měniči za pomoci kabelů, které jsou dimenzovány na větší či stejný proud, než je maximální výstupní proud MPPT měniče pro napájení akumulátorů. Průřez volen podle max. nabíjecího proudu.

Připojení spotřebičů: spotřebiče s malým odběrem lze připojit přímo k výstupu MPPT měniči, kdežto spotřebiče s velkým výkonem se připojují přímo k akumulátoru.

Nejslabší místo v navrženém systému vidím u provozu spotřebiče „připojení“, pro který je nutno dimenzovat kabel od akumulátorové baterie a délce 8 m na hodnotu průřezu minimálně 25 mm² Cu, protéká jím proud $2000/24 = 84$ A.

Při zvolení kratší délky kabelu (4 m) je možno užít menšího minimálního průřezu, tedy 15 mm² Cu (CYKY).

6.9 Provoz dle časového sledu

Dále jsem si při navrhování fotovoltaického systému v čistě ostrovním provozu stanovil provoz spotřebičů dle časového sledu (obr. 6.8) a vypočítal, zda navržený výkon 2,35 kWp a akumulční baterie 490 Ah postačí k bezproblémovému chodu celého systému dle tohoto schématu. Po provedeném výpočtu jsem došel k závěru, že při občasném připojení spotřebiče s názvem „připojení“ poskytuje tento systém dostatečné množství energie pro provoz všech uvedených spotřebičů. Pokud bychom chtěli provozovat tento spotřebič „připojení“ denně, je nutné zastavit používání spotřebiče kávovar. To nám zajistí dostatečné množství energie pro provoz systému. Vybití akumulátorových baterií jsem ve výpočtech stanovil na 50 %. Veškerá energie, která je v noci spotřebována, musí být do akumulční baterie druhý den vrácena, aby baterie nezůstávaly v podbitém stavu a nezkracovala se tím jejich životnost.

Ostrovní fotovoltaické systémy nelze nikdy přesně dimenzovat, jelikož jsme plně závislí na množství dopadajícího slunečního záření. Proto jsem tento systém vybavil přístrojem remote control, který připojuje jednotlivé spotřebiče podle potřeby a v případě nedostatku energie začne podle stanovené důležitosti odpojovat tyto spotřebiče ze systému tak, aby byla zachována provozuschopnost celého systému. Ostrovní fotovoltaické systémy se z výše uvedených důvodů vybavují elektrocentrálou, která zajišťuje v případě nedostatku slunečního záření náhradní zdroj energie pro provoz systému. Další jeho funkcí je dobíjení akumulčních baterií. Při dimenzování ostrovního systému, pomáhá snížit počet umístěných fotovoltaických panelů, a tedy i cenu celé instalace. To je ovšem vyváženo jistým vlivem na životní prostředí a hlučností. Stručný výpočet výroby elektrické energie pro celoroční provoz s využitím elektrocentrály, tedy hybridní systém, jsem pro názornost uvedl v kapitole 6.6.

Spotřebič	Doba provozu (h)																								Spotřeba energie (kWh)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
TV																										0,6
Připojení																										4,0
Lednice																										0,2
Notebook																										0,96
Kávovar																										0,24
Osvětlení																										0,064
Celková spotřeba za 1 den (kWh)																								6,064		

Obr. 6.8: Časový sled možného provozu zařízení v rekreačním objektu

6.10 Celoroční provoz s využitím elektrocentrály

Pro názornost návrhu jsem spočítal ostrovní fotovoltaický systém s možností **celoročního využití**. Tento systém jsem dimenzoval na zimní období, tedy na období s nejnižším výkonem fotovoltaických panelů (listopad - únor). V systému jsem použil elektrocentrálu, která slouží k zajištění dodávky dodatečného výkonu do systému a umožňuje případné snížení počtu fotovoltaických panelů v systému.

Při použití elektrocentrály v hybridním ostrovním systému je nutné nejprve stanovit:

- 1) **Kolik procent elektrické energie bude elektrocentrála dodávat do systému.**
- 2) **V jakém období bude elektrocentrála využívána.**

Výpočet

- 1) Elektrocentrála bude dodávat do systému **30 %** energie z celkového potřebného množství.
- 2) Období využití elektrocentrály bude **zimní období** (leden, únor, listopad, prosinec).

Při samotném výpočtu výkonu fotovoltaických panelů vycházím z faktu, že el. energie, dodaná elektrocentrálou do systému, nepodléhá ztrátám v **solárním regulátoru**. Ve výpočtu jsem tedy použil hodnotu potřeby el. energie všech instalovaných spotřebičů za 1 den beze ztrát, tedy **6064 Wh**. Ke spotřebě **6064 Wh** jsem připočet ztráty vznikající při **akumulaci** a ztráty v **měníči napětí**. Hodnotu celkové denní potřebné dodávky el. energie (7085 Wh) do fotovoltaického systému se započítanými vnitřními ztrátami jsem neuvážoval z jednoduchého důvodu, je zde již započítána ztráta v solárním regulátoru. [39]

V prvním kroku výpočtu jsem spočet z tab. **6.6** průměrnou denní výrobu el. energie z 1 Wp výkonu fotovoltaického panelu jako průměr za celé zimní období užívání elektrocentrály.

- průměrná denní výroba energie v zimních měsících z panelu CS5A 205M (205 Wp) :
 - $0,25 + 0,18 + 0,27 + 0,45 = 1/4 = 0,29 \text{ kWh} = \mathbf{290 \text{ Wh}}$
- přepočet na 1 Wp z 235 Wp monokrystalického panelu:
 - $290/235 = \mathbf{1,23 \text{ Wh}}$

1 Wp výkonu FV panelu MPE 235 PS 0,9 vyrobí **1,23 Wh** elektrické energie za den v průměru za období listopad až únor.

Elektrocentrála

- průměrná denní výroba elektrocentrály dodávající do systému v zimním období 30 % spotřebované energie bez započítaných ztrát:
 - $6064 * 0,3 = 1820 \text{ Wh}$
- všechna energie z elektrocentrály se ukládá do akumulátoru (ztráty 15 %):
 - $1820 / 0,85 = 2141 \text{ Wh}$
- ztráty na měniči napětí:
 - $2141 / 0,972 = 2207 \text{ Wh}$

Hodnota potřebné elektrické energie vygenerované elektrocentrálou ve zvoleném období listopad až únor činí **2207 Wh/den**.

Výkon fotovoltaických panelů

Panely musí pokrýt zbylých 70 % spotřeby elektrické energie v zimním období, tedy:

- energie vyrobená fotovoltaickými panely za den se započítanými ztrátami bez 30 %, kterou vyrábí elektrocentrála:
 - $7085 * 0,7 = 4960 \text{ Wh}$
- potřebný výkon panelů za den pro zbylou spotřebu v zimním období, tedy 70 % :
 - $4960 / 1,23 = 4033 \text{ Wh}$

Kontrola dostatečného výkonu panelů pro období bez užívání elektrocentrály

- fotovoltaické panely vyrobí denně v nejslabším měsíci říjnu:
 - 1 Wp výkonu FV panelů je **3,14 Wh** denně
 - vypočítaný výkon FV panelů s 30 % pomocí elektrocentrály = **4033 Wh**
- FV panely vyrobí v říjnu:
 - $4033 * 3,14 = 12664 \text{ Wh}$

- denní říjnová produkce elektrické energie FV panelů po odečtení ztrát 15,2 %:

- $12664 * 0,848 = 10740 \text{ Wh}$

Závěr

Navrhovaný systém s celoročním užitím v plně fotovoltaickém režimu vygeneruje v nejslabším měsíci, v říjnu **10740 Wh/den** (období září až říjen). Nutná spotřeba činí **6064 Wh/den**. Navrhovaný systém tedy poskytuje více energie, než je spotřebováno.

6.11 Krátkodobé využívání objektu

Další možnosti využití rekreačního objektu je pouze o víkendu v navrhovaném období květen až září. Systém jsem navrhl tak, že ve všední dny se dobíjejí akumulátory, které jsou následně převážně využívány o víkendovém provozu. Tímto způsobem lze zmenšit celkovou instalaci systému a tedy i podstatně snížit jeho cenu. V případě razantního snížení počtu panelů a baterií hrozí, při dlouhodobé nepřízní počasí, snížení komfortu při užívání objektu.

Výpočet

- zmenšíme výkon panelů tak, že celkový výkon panelů vydělíme 7 a vynásobíme počtem dnů, které budeme v období květen až září v rekreačním objektu využívat s dodržением plánované spotřeby 6064 Wh:
- navržený počet dnů v týdnu → 4 dny ze 7:
 - $(2256 / 7) * 4 = 1290 \text{ Wp/den}$
- pouze víkend → 2 dny ze 7:
 - $(2256 / 7) * 2 = 645 \text{ Wp/den}$

Závěr

Při víkendovém využívání objektu jsem došel k následujícím výsledkům - fotovoltaické panely vyrobí v období květen až září **645 Wp/den** při víkendovém provozu a při provozu 4 dnů z týdne **1290 Wp/den**. Jak je z výpočtu zřejmé, tak je zde znatelný rozdíl oproti každodennímu využívání objektu, kdy fotovoltaické panely vyrobí **2256 Wh/den**.

7. Zhodnocení fotovoltaického systému

7.1 Environmentální zhodnocení

Nesporná výhoda fotovoltaických systémů spočívá v jejich šetrnosti k životnímu prostředí. Při výrobě elektrické energie u nich nedochází k produkci žádných emisí ani odpadů. Každý fotovoltaický systém ale musí být nejprve vyroben a nainstalován, než se začne užívat, a na konci svého života opět demontován a zpracován, což vede k jisté zátěži na životní prostředí.

Environmentální dopady dělíme z hlediska jejich vzniku na **přímé** a **nepřímé**. Přímé dopady souvisí s konkrétním výrobním procesem, mezi ně jsou počítány například zábory půdy, emise z těžby primárních surovin, spotřeba vody ve výrobě, emise chemických látek atd. Mezi nepřímé dopady řadíme především emise při výrobě fotovoltaického systému, vzniklé při spotřebě elektřiny a při dopravě. Z hlediska trvalé udržitelnosti je rovněž významná rychlost čerpání surovinových zdrojů pro následné vyhodnocení jejich dostupnosti v budoucnosti. [22]

Navržený ostrovní fotovoltaický systém je umístěn na střeše rekreačního objektu, a proto nezabírá půdu, která by mohla být případně užit k pěstování plodin. Z tohoto hlediska hodnotím návrh pozitivně. Dalším aspektem je, že při své činnosti tento systém neprodukuje žádné emise CO, jako by tomu bylo při použití benzínové elektrocentrály či jiného zdroje elektrického proudu na fosilní paliva. Běžné benzínové elektrocentrály produkují při své činnosti, 5 až 10 % oxidu uhelnatého, 2000 - 3000 ppm uhlovodíku a 1200 - 2500 ppm oxidů dusíku. Srovnáme-li benzínovou elektrocentrálu s plynovou, která produkuje 0,05 - 1 % CO, 100 - 200 ppm uhlovodíku a 180 - 500 pm oxidů dusíku, zjistíme, že plynová elektrocentrála je šetrnější k životnímu prostředí. Další vlastností plynové elektrocentrály je její větší spolehlivost a delší životnost. Srovnáme-li provozní úspory na 1 kWh, zjistíme, že elektrocentrála na LPG má tyto náklady o 27 % menší oproti benzínové elektrocentrále. Elektrocentrála na zemní plyn dokonce o 53 % nižší.

7.2 Energetické zhodnocení

Energetická návratnost (EPBT - Energy PayBack Time) je doba, za kterou systém vrátí zpět energii, která byla potřeba při jeho výrobě, včetně těžby a zpracování materiálů a surovin. [28]

Energetická výnosnost (EROEI - Energy Return on Energy Invested) je poměr získané energie k energii vložené. [28]

Navrhovaný ostrovní fotovoltaický systém 2,35 kWp vyrobí za rok v průměru 2,4 kWh. Výroba v ostatních měsících je uvedena v tabulce 7.1.

Tab. 7.1: Odhad vyrobené elektrické energie [37]

Fixed system: inclination=30°, orientation=7°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	2.76	85.6	1.19	36.8
Feb	4.54	127	1.99	55.8
Mar	6.64	206	3.00	93.1
Apr	8.79	264	4.14	124
May	10.00	311	4.88	151
Jun	9.63	289	4.75	143
Jul	10.40	321	5.15	160
Aug	9.43	292	4.65	144
Sep	7.36	221	3.51	105
Oct	5.83	181	2.68	83.2
Nov	2.55	76.5	1.13	33.9
Dec	1.82	56.4	0.79	24.4
Yearly average	6.66	203	3.16	96.2
Total for year		2430		1150

- E_d - předpokládaná denní produkce [kWh]
 E_m - předpokládaná měsíční produkce [kWh]
 H_d - předpokládaná denní suma globálního záření [kWh/m²]
 H_m - předpokládaná měsíční suma globálního záře [kWh/m²]

7.3 Ekonomické zhodnocení

Cena návrhu

Celková cena návrhu včetně montáže a dopravy činní, ve variantě I. s použitím Akumulátoru OPzS 490, 256.320 Kč (10,253 €). Ve variantě II., při dosažení většího komfortu užívání, 334.320 Kč (13.373 €).

Tab. 8.1: Celková cena návrhu ostrovního fotovoltaického systému

Komponent	Počet kusů	Výrobce	Cena (Kč)	Cena (€)
Střídač SB 2100 TL	1 x	SMA	25.000	1.000
Panely MPE 235 PS 09	10 x	Shüco	55.000	2.200
Sunny Island 2224	1 x	SMA	45.000	1.800
Akumulátor 12 OPzS 1200	12 x	Sunlight	138.000	5.520
Akumulátor 12 OPzS 490	12 x	Sunlight	60.000	2.400
Remote Control SRC-20	1 x	SMA	7.000	280
Elektromateriál	-	-	40.000	1.600
Sada pro uchycení FV	1 x	Solar	18.000	720
Svorky na akumulátor	12 x 2	SVP solar	1.320	53
Konstrakční práce	-	-	5.000	200
Celkem I.			256.320	10,253
Celkem II.			334.320	13.373

1 € = 25 Kč

Ekonomická návratnost

Je vyjádřena jako doba, za kterou se nám vynaložená investice do fotovoltaického systému vrátí. V případě čistě ostrovního fotovoltaického systému provozovaného pouze 153 dní v roce nemá vůbec cenu počítat ekonomickou návratnost. Cena, kterou bychom ušetřily, pokud bychom odebírali proud od provozovatele sítě, se nevyrovná skutečným nákladům na pořízení a obnovu fotovoltaického systému, u které se každých 10 let vyměňují akumulátory a každých 20 let fotovoltaické panely. Tyto ostrovní instalace se vyplatí, pokud je cena za pořízení elektrické přípojky stejná nebo vyšší, nežli cena ostrovní instalace. Navržený systém v čistě ostrovním provozu 2,35 kWp vyrobí v průměru za období květen až září **1461 kWh**. Za rok by teoreticky mohl vyprodukovat 2456 kWh elektrické energie.

Varianta I.

Celkové investiční náklady na systém = **334.320 Kč**

Měrné investiční náklady na instalaci 1 Wp za 153 dní = **2,185 Kč/W_{p153}**

Měrné investiční náklady na instalaci 1 Wp za 350 dní = **0,95 Kč/W_{p350}**

Varianta II.

Celkové investiční náklady na systém = **256.320 Kč**

Měrné investiční náklady na instalaci 1 W_p za 153 dní = **1,675 Kč/W_{p153}**

Měrné investiční náklady na instalaci 1 W_p za 350 dní = **0,73 Kč/W_{p350}**

Instalace fotovoltaických systémů je v současné době, vzhledem k vysoké ceně solárních modulů, značně nákladná. Vzhledem k předpokládané životnosti nemohou tyto systémy cenově konkurovat elektřině z rozvodné sítě. Jejich výhoda spočívá v těchto aspektech. Velké autonomní systémy jsou výhodné tam, kde by bylo vybudování přípojky rozvodné sítě příliš nákladné. Oproti tomu, malé autonomní systémy s odběry do 0,15 kWh za den jsou efektivní při libovolné vzdálenosti od sítě. Užití fotovoltaických systému je v současné době výhodné i v odlehlých místech, při malé spotřebě energie a při požadavku bezobslužného a bezporuchového provozu. Při porovnání efektivity autonomního systému s jinými lokálními zdroji elektřiny (např. elektrocentrálami s dieselaagregátem) závisí na potřebě energie v průběhu roku. Ale fotovoltaika na rozdíl od elektrocentrál nezatěžuje životní prostředí zplodinami a hlukem. Cena fotovoltaických systému se neustále snižuje a do budoucna představuje perspektivní energetickou technologii.[28]

Závěr

Fotovoltaika se v současné době stala rozvíjející se technologií, která nabízí do budoucna velký růstový potenciál. Tento obnovitelný zdroj energie je využíván v mnohých oblastech lidského života od drobných aplikací až po velké fotovoltaické elektrárny. Dějiny fotovoltaiky sahají do období 19. století, kdy byly poprvé pozorovány změny vodivosti Selenu v závislosti na jeho osvětlení. První fotovoltaické články měly velmi nízkou účinnost, pohybující se kolem několika % a byly značně finančně nákladné. Postupem času došlo v důsledku nových technologií ke zvýšení jejich účinnosti a zejména snížení jejich ceny. Současné křemíkové fotovoltaické články dosahují účinnosti přeměny slunečního záření na elektrickou energii kolem 16 až 18 % u sériově vyráběných článků. Vývoj v této oblasti se nezastavil a pokračuje stále dál. Objevují se první pokusy s používáním nanotechnologie a do popředí se dostávají fotogalvanické články s organickým barvivem, nazývané též Gratzelovi solární články.

V úvodu této diplomové práce jsem se nejprve zaměřil na Slunce, jako zdroj elektromagnetického záření, který umožňuje existenci života na Zemi. Dále jsem provedl popis vlastností a principů fotovoltaických článků. Zde jsem se zmínil o fotoelektrickém jevu a následně ho rozdělil na vnitřní a vnější. Velkou část práce jsem se také věnoval popisu výroby a konstrukce samotných fotovoltaických článků. V závěru teoretické části jsem se převážně zaměřil na akumulaci baterie a další důležité části fotovoltaického systému.

Praktickou část diplomové práce jsem pojal jako přehledný návod, který by měl sloužit pro návrh ostrovního fotovoltaického systému v čistě ostrovním provozu. Tento návrh jsem rozdělil do několika částí. V každé z těchto částí jsem uvedl stručný popis volby komponentu a postupu samotného výpočtu.

Navržený ostrovní fotovoltaický systém jsem průběžně konzultoval s odborníkem z praxe a stanovil tak ideální počet fotovoltaických panelů a akumulátorové baterie.

V závěru diplomové práce jsem provedl teoretické zhodnocení ostrovního fotovoltaického systému z hlediska energetického, environmentálního a ekonomického.

Seznam použité literatury

- [1] **ILBA**, LIBRA, M., POULEK, V.: **Solární energie**. Praha, ZČU, 2006, ISBN 80-213-1488-5, 149 s.
- [2] **Historie a princip** [online]. Treals mp s.r.o., c2009 [cit. 2011-12-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.treals.cz/fotovoltaika/historie-a-princip/>>.
- [3] **Z historie fotovoltaiky** [online]. Czech solar spol. s.r.o., [cit. 2011-12-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.czechsolar.cz/fotovoltaika/z-historie-fotovoltaiky/>>.
- [4] **ČVUT**, BROŽ K., ŠOUREK B.: **Alternativní zdroje energie**. Praha, ČVUT, 2003, ISBN 80-01-02-802-X, 213 s.
- [5] **ALFA**, HALAHYJA, M., VALÁŠEK, J.: **Solárna energia a jej využitie**. 1983, 60-001-86, 304 s.
- [6] **Fotovoltaické články – historie a současné trendy vývoje** [online]. ASB, 2012 [cit. 2012-2-10]. Dostupný z WWW: <http://www.asb-portal.cz/tzb/fotovoltaika/-clanky-historie-a-soucasne-trendy-vyvoje-2262.html#disqus_box>.
- [7] **ERA GROUP s.r.o.**, SRDEČNÝ, K.: **Energeticky soběstačný dům - realita či fikce?**, 2006, ISBN 80-7366-052-0, 92 s.
- [8] **ZČU PLZEŇ**, KŘEMEK V.: **Člověk a energie**, Plzeň, 2006, ISBN 80-7043-489-9, 191 s.
- [9] **FCC PUBLIC s.r.o.**, CENKA, M. a KOL.: **Obnovitelné zdroje energie**, Praha, 2001, ISBN 80-901985-8-9, 208 s.
- [10] **Energie slunce - výroba elektřiny** [online]. EkoWATT, 2011 [cit. 2011-12-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdrojeenergie/energie-slunce---vyroba-elektriny>>
- [11] **Slunce** [online]. Wikipedie, 2012, 13. 2. 2012 [cit. 2012-1-29]. Dostupný z WWW: <[Wikipediehttp://cs.wikipedia.org/wiki/Slunce](http://cs.wikipedia.org/wiki/Slunce)>
- [12] **Hertzsprungův-Russellův diagram** [online]. Wikipedie, 15. 12. 2011 [cit. 2012-2-2]. Dostupný z WWW:<http://cs.wikipedia.org/wiki/Hertzsprung%C5%AFv-Russell%C5%AFv_diagram>
- [13] **ERA**, MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J., TOMEŠ, M.: **Fotovoltaika - elektřina ze slunce**, Brno, 2007, ISBN 978-80-7366-100-7, 81 s.
- [14] **ILSA**, LIBRA, M., POULEK, V.: **Fotovoltaika - teorie a praxe využití solární energie**, Praha, 2009, ISBN 978-80-904311-0-2, 160 s.

- [15] *Atmosféra Země* [online]. Wikipedie, 2012, 5. 2. 2012 [cit. 2012-2-13]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Atmosf%C3%A9ra_Zem%C4%9B>
- [16] *Solární energie* [online]. Solarni-ohrev, 2012 [cit. 2012-2-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.solarni-ohrev.biz/solarni-energie>>
- [18] ZČU, BĚLÍK, M.: Provozování, připojování a modelování fotovoltaických systémů, Disertační práce, ZČU Plzeň, 2007
- [19] ČVUT, Ševčíková, L., Klímová, S.: Pasivní solární systémy, ČVUT Praha, 2004
- [20] *Pasivní solární zisky* [online]. Ekowatt, 2008 [cit. 2012-2-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.ekowatt.cz/uspory/pasivni-solarni-zisky.shtml?id=2>>
- [21] ZČU, Rada, M.: Energetická balance a využití solárních systémů, Diplomová práce, ZČU Plzeň, 2007
- [22] *Czech RE Agency*, Bechník, B., Bařinka, R., Čech, P.: **Analýza životního cyklu fotovoltaických systémů**, Czech RE Agency, o.p.s., 2010, Rožnov pod Radhoštěm, Stař
- [23] Úvod do termického systému [online]. CNE, 2012 [cit. 2012-3-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.cne.cz/solarni-ohrev-vody/uvod-do-termicky-systemu/>>
- [24] *Tepelná čerpadla* [online]. iTest, 2.5.2005 [cit. 2012-2-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.itest.cz/solar/rah.htm>>
- [25] *Obnovitelné zdroje energie* [online]. Ekowatt, 2007 [cit. 2012-3-10]. Dostupný z WWW: <<http://ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-slunce--slunecni-teplo-ohrev-vody-a-vzduchu>>
- [26] *Rekreační chata ametyst* [online]. F. Konrád s.r.o., c2005 - 2007 [cit. 2012-3-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.konrad.cz/rekreacni-chaty-zateplene/rekreacnichata-ametyst>>
- [27] *Křemík* [online]. Wikipedie, 13. 4. 2012 v 23:19. [cit. 2012-4-13]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/K%C5%99em%C3%ADk>>
- [28] *TBZ* [online]. TBZ,c2012 [cit. 2012-4-20]. Dostupný z WWW: <<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5470-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-technologie-krystalickeho-kremiku>>
- [29] *Solární články* [online]. Automatizace, c2009 [cit. 2012-2-22]. Dostupný z WWW: <<http://automatizace.hw.cz/nove-technologie-pro-levne-i-vykonne-solarni-clanky>>
- [30] *Sunlight* [online]. Sunlight, 2012 [cit. 2012-2-11]. Dostupný z WWW: <http://www.systems-sunlight.com/?contentid=51&langflag=_en>

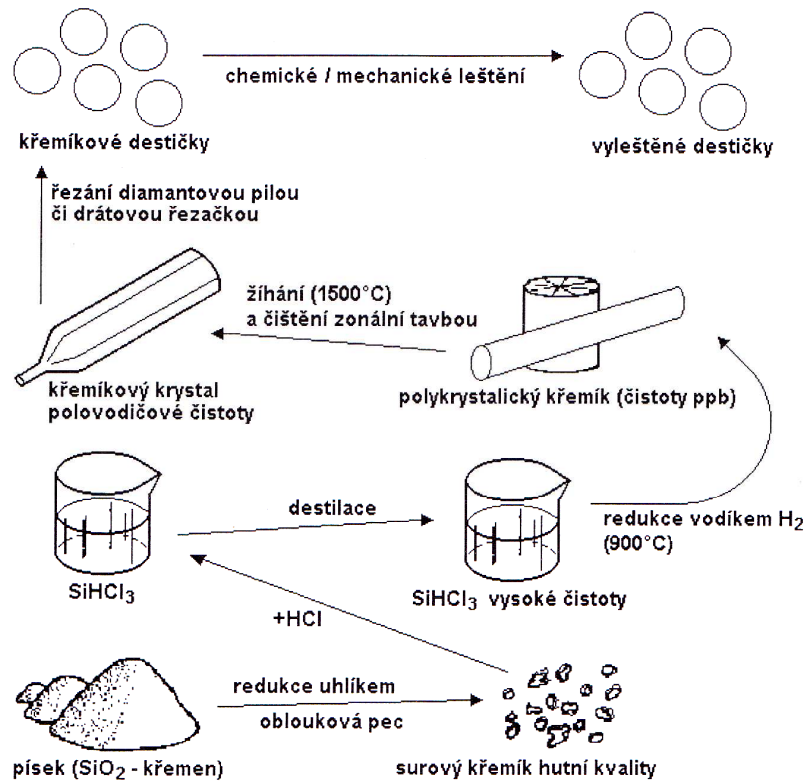
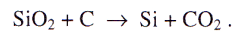
- [31] Katalogové listy společnosti SMA
- [32] Katalogové listy společnosti Sunlight
- [33] Nevyužito
- [34] **Skoro vše o akumulátorech a nabíjení** [online]. Marconi, 2012 [cit. 2012-2-11]. Dostupný z WWW: < http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory>
- [35] **Střešní systémy** [online]. DOMA, 2012 [cit. 2012-4-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.fvsystemy.cz/stresni-systemy/>>
- [36] **Solární moduly** [online]. Deramax, c2011 [cit. 2012-3-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.solarnimoduly.cz/>>
- [37] **PVGIS** [online]. European Communities, c2001-2007 [cit. 2012-3-16]. Dostupný z WWW: <<http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/pvest.php?lang=sk&map=europe>>
- [38] **HEL**, HENYE, A, HILLEBRAND, W.: Elektrický proud ze slunce. Brno, 2000, ISBN 80 - 86167 - 12 - 7
- [39] **Nejekologičtější zdroj energie** [online]. Solartec, c1993 - 2012 [cit. 2012-4-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.solartec.cz/cs/fv-systemy/ofotovoltaiace/nejekologickejsi-zdroj-energie.htm>>
- [40] **Sluneční solární elektrárny** [online]. Alternativní zdroje, 2012 [cit. 2012-4-16]. Dostupný z WWW: <http://www.alternativni-zdroje.cz/slunecni-solarnielektrarny.htm>
- [41] <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika#syst2>
- [42] Nevyužito
- [43] **Macháček, Z.:** Vliv externích podmínek na činnost fotovoltaického systému na ČVUT, FEL, Diplomová práce, 2007
- [44] **MAC**, KARAMANOLIS, S.: Sluneční energie, východisko z ekologicko-energetické krize, Praha, 1996, ISBM 80-860-150-25, 240 s.

Seznam příloh

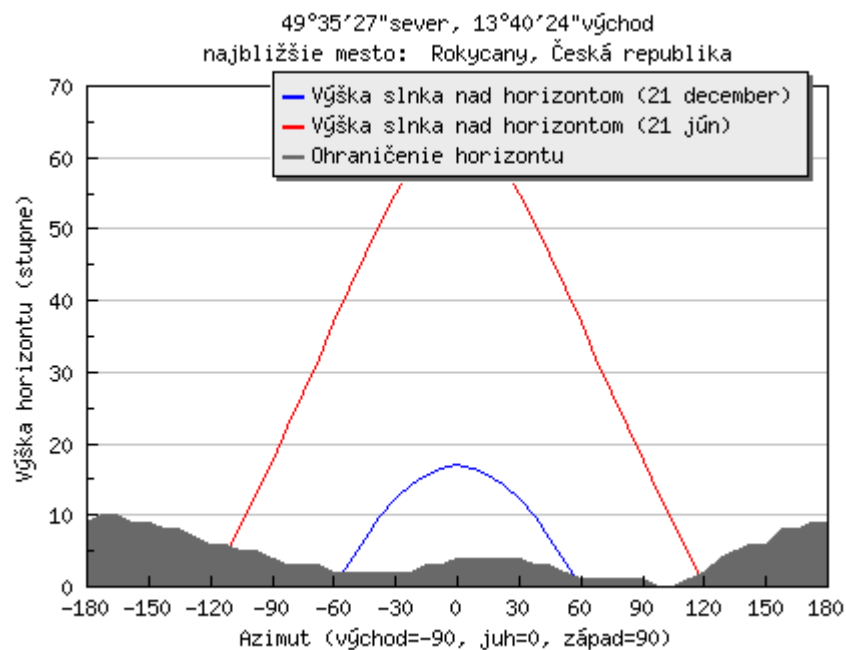
- I. Schematické znázornění postupu při výrobě křemíkového polotovaru
- II. Grafické znázornění výšky slunce nad horizontem
- III. Tenkovrstvé solární články CGIS
- IV. Katalogový list společnosti Sunlight - akumulátor typu 2 V 7 OPzS 490
- V. Katalogový list společnosti Sunlight - akumulátor typu 2 V 12 OPzS 1200
- VI. Společnost SMA - střídač SUNNY BOY 2100 TL
- VII. Společnost SMA - ostrovní střídač SUNNY ISLAND 2012 / 2224
- VIII. Společnost SMA - Sunny Remote control SCR-20
- IX. Společnost Shüco - solární panel MPE 235 PS 09
- X. Schematické zapojení ostrovního systému - 2,35 kW
- XI. Pohled na rozvaděč RF - detail
- XII. Katalogový list společnosti Sunlight - akumulátor OPzS 2V
- XIII. Katalogový list společnosti Sunlight - akumulátor OPzS 2V
- XIV. Společnosti Sunlight - ukázka akumulčních baterií typu OPzV
- XV. Způsob uchycení nosného profilu FV panelu
- XVI. Projektová dokumentace rekreačního objektu
- XVII. Přehled úhrnu dopadajícího slunečního záření

Přílohy

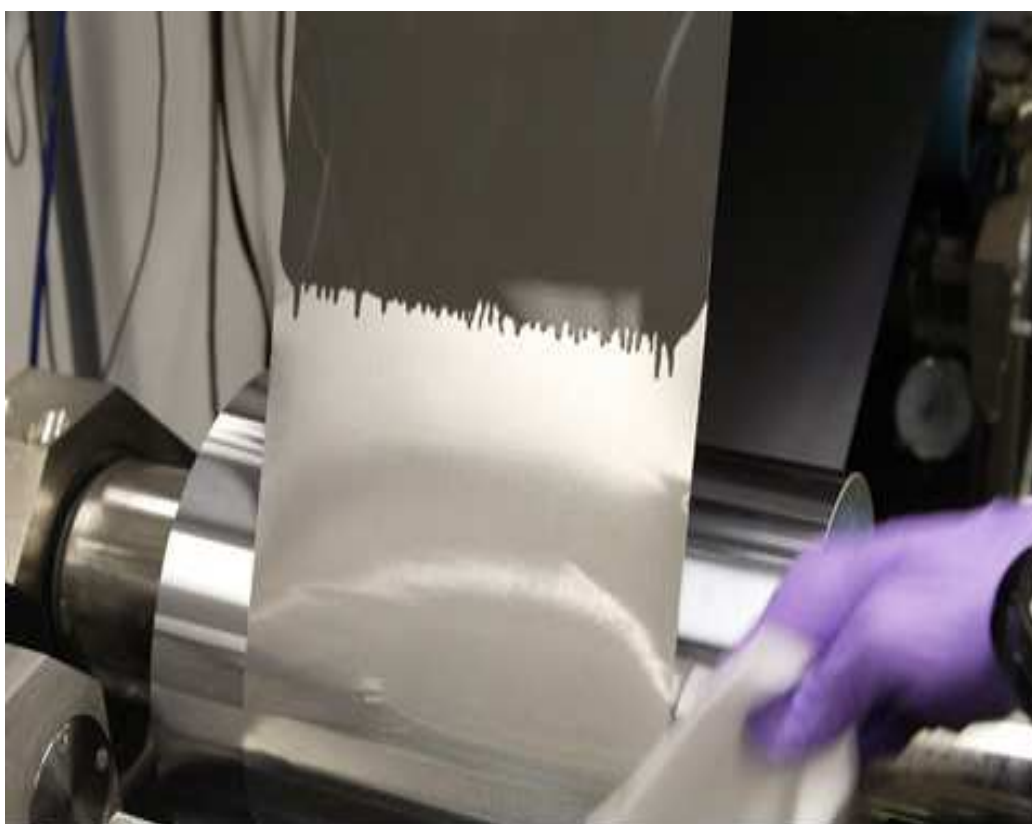
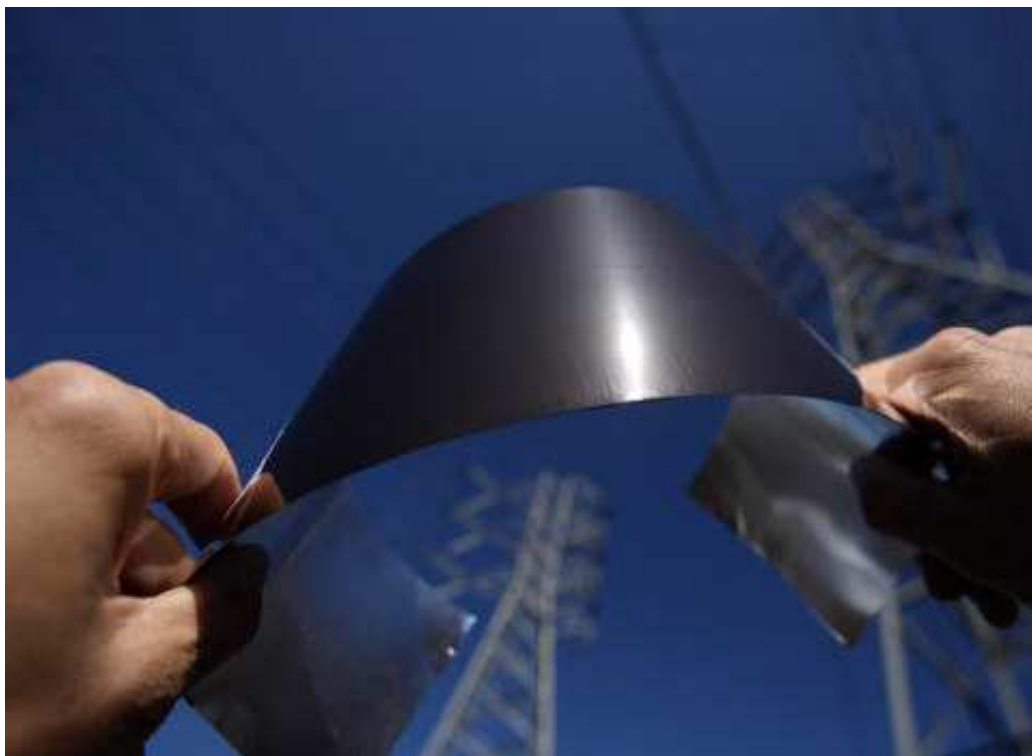
I. Schematické znázornění postupu při výrobě křemíkového polotovaru



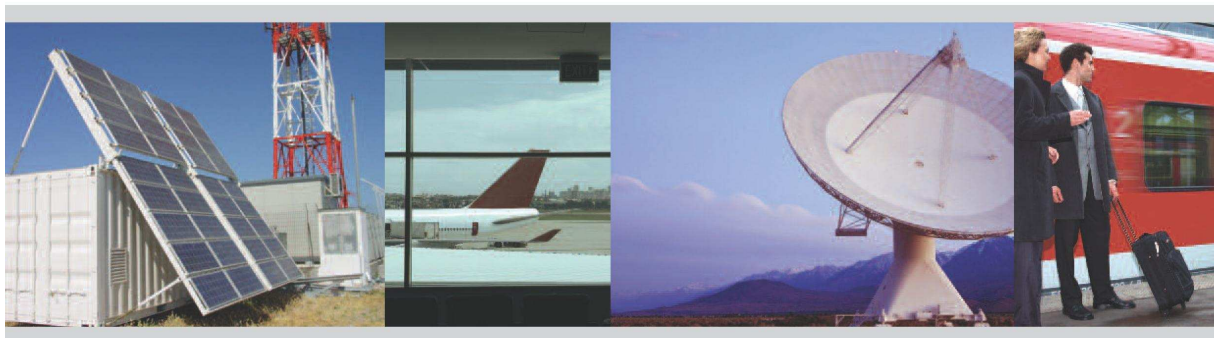
II. Grafické znázornění výšky slunce nad horizontem



III. Tenkovrstvé solární články CGIS



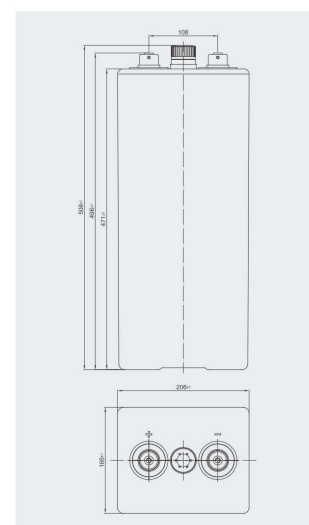
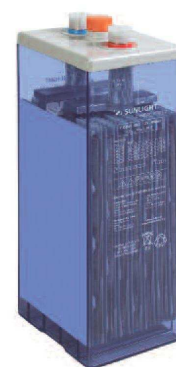
IV. Katalogový list společnosti Sunlight - akumulátor typu 2 V 7 OPzS 490



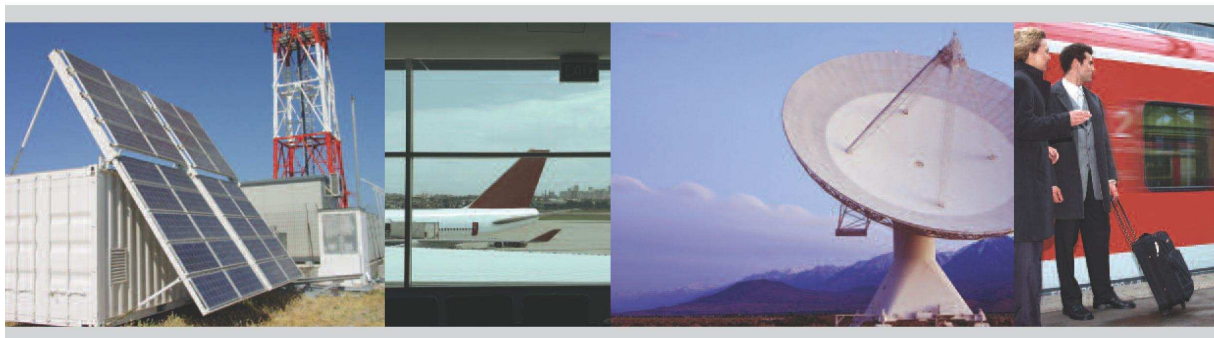
OPzS Cell 2V 7 OPzS 490

Technical Characteristics

Capacity (Ah), C ₁₀ (1.8 V/cell, 20 °C)	542
Plate Capacity (Ah), C ₁₀ (1.8 V/cell, 20 °C)	70
Number of plates (+) per cell	7
Content in Antimony of positive plates	≤1.65%
Nominal voltage (V)	2
Electrolyte density for fully charged state at 25 °C (gr/ml)	1.24
Floating voltage set point (V/cell)	2.23
Floating voltage tolerance from set point	+ -0.02 V (2.21-2.25)
Single cell floating voltage tolerance from set point	+0.1V-0.05 V (2.18-2.33)
Initial charge current (A)	49
End of charge Voltage (V/cell)	2.35 to 2.40
Recommended End of Discharge voltage for 10-hr rate (V/cell)	1.80
Recommended End of Discharge voltage for 1-hr rate (V/cell)	1.65
Short circuit current (A)	4116
Internal resistance (mOhm/cell)	0.50
Number of cycles at 60% depth of discharge	2000
Self-discharge rate per month	<2.5%
Efficiency factor (kWh)	85%
Efficiency factor (Ah)	95%
Dimensions in mm (LxWxH)	166x206x496
Weight:	
• Without electrolyte (kg)	27.9
• With electrolyte (kg)	38.6
Type and number of poles	M10 / 2



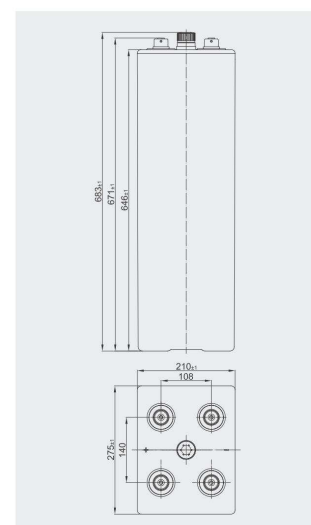
V. Katalogový list společnosti Sunlight - akumulátor typu 2 V 12 OPzS 1200



OPzS Cell 2V 12 OPzS 1200

Technical Characteristics

Capacity (Ah), C ₁₀ (1.8 V/cell, 20 °C)	1312
Plate Capacity (Ah), C ₁₀ (1.8 V/cell, 20 °C)	100
Number of plates (+) per cell	12
Content in Antimony of positive plates	≤1.65%
Nominal voltage (V)	2
Electrolyte density for fully charged state at 25 °C (gr/ml)	1.24
Floating voltage set point (V/cell)	2.23
Floating voltage tolerance from set point	+ -0.02 V (2.21-2.25)
Single cell floating voltage tolerance from set point	+0.1V-0.05 V (2.18-2.33)
Initial charge current (A)	120
End of charge Voltage (V/cell)	2.35 to 2.40
Recommended End of Discharge voltage for 10-hr rate (V/cell)	1.80
Recommended End of Discharge voltage for 1-hr rate (V/cell)	1.65
Short circuit current (A)	8630
Internal resistance (mOhm/cell)	0.24
Number of cycles at 60% depth of discharge	2000
Self-discharge rate per month	<2.5%
Efficiency factor (kWh)	85%
Efficiency factor (Ah)	95%
Dimensions in mm (LxWxH)	275x210x671
Weight:	
• Without electrolyte (kg)	66.2
• With electrolyte (kg)	91.3
Type and number of poles	M10 / 4



OPzS Cell 2V 12 OPzS 1200

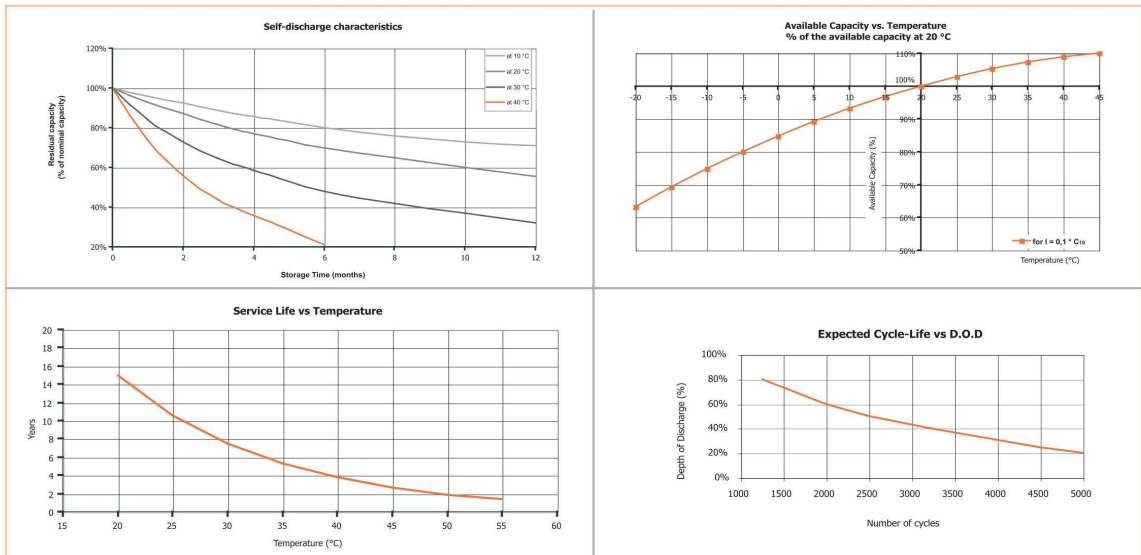
Constant Current Discharge in A/cell (at 20 °C)

Uend	Discharge Time												
	15 min	30 min	45 min	1 h	1.5 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	8 h	10 h	20 h
1.60 V	1253.9	1001.1	818.7	709.8	557.3	460.5	349.3	291.7	238.7	209.9	165.2	142.3	77.0
1.65 V	1138.6	934.6	780.5	686.8	545.3	452.1	344.4	288.2	236.0	207.6	163.5	140.9	76.4
1.70 V	1014.9	850.4	727.0	650.4	525.8	439.5	337.2	282.9	232.3	204.4	161.1	139.1	75.6
1.75 V	881.5	759.3	663.4	602.8	495.6	420.4	328.0	271.4	226.4	198.6	156.3	134.4	74.3
1.80 V	729.3	639.1	569.0	523.9	447.5	386.2	308.7	257.3	218.1	193.2	154.9	131.2	73.1
1.83 V	630.6	562.2	507.8	472.4	409.7	358.0	287.8	242.3	207.9	185.0	149.8	126.1	70.7
1.85 V	570.7	510.6	467.0	438.4	380.0	332.4	271.7	231.9	198.7	177.8	143.7	121.9	68.3
1.87 V	506.1	460.7	422.3	397.0	348.3	310.3	255.5	218.8	190.2	168.7	135.7	116.7	65.8
1.90 V	420.2	380.0	353.7	336.3	299.6	268.5	222.8	193.8	168.4	150.8	123.2	106.5	60.2

Constant Power Discharge in W/cell (at 20 °C)

Uend	Discharge Time												
	15 min	30 min	45 min	1 h	1.5 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	8 h	10 h	20 h
1.60 V	2061.0	1722.3	1439.3	1267.2	1005.6	842.4	644.4	534.0	447.6	396.0	312.9	270.2	146.5
1.65 V	1919.0	1628.9	1381.8	1229.6	985.2	827.8	635.5	527.6	442.6	391.8	309.8	267.8	145.4
1.70 V	1756.8	1508.5	1300.5	1170.6	952.3	805.8	622.8	518.3	435.9	386.0	305.4	264.4	144.0
1.75 V	1565.7	1365.8	1200.6	1095.7	908.3	776.3	610.0	507.9	426.8	376.1	296.7	257.6	142.0
1.80 V	1327.1	1164.1	1041.5	962.5	825.5	717.9	578.3	485.5	413.0	366.4	295.7	251.3	140.7
1.83 V	1160.7	1040.1	939.4	873.9	763.7	671.5	543.2	460.2	395.5	352.9	287.4	243.0	136.7
1.85 V	1062.1	952.5	872.4	819.7	714.2	627.2	516.8	442.5	380.1	340.5	278.1	236.4	133.5
1.87 V	953.1	867.8	797.2	750.7	659.8	590.7	489.3	421.9	367.0	326.0	262.9	227.9	129.1
1.90 V	800.1	725.0	675.6	642.6	574.3	517.2	430.8	375.1	328.2	294.0	241.8	210.4	119.5

Diagrams



SYSTEMS SUNLIGHT S.A.

Headquarters:
 23rd km. National Road Athens-Lamia
 145 65 Ag. Stefanos Attica, Greece
 Tel.: +30 210 6245400
 Fax: +30 210 6245409

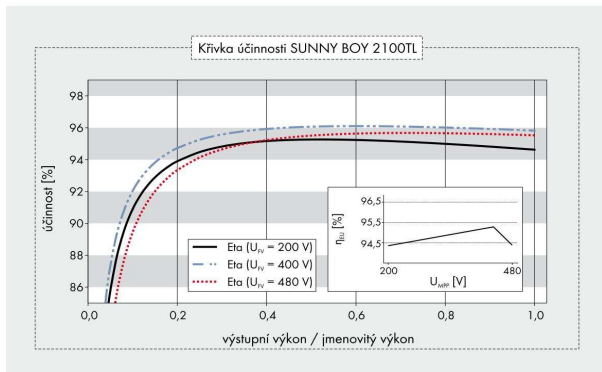
Manufacturing Plant:
 Neo Olvio
 67 200 Xanthi, Greece
 Tel.: +30 25410 48100
 Fax: +30 25410 95446



www.sunlight.gr

VI. Společnost SMA - střídač SUNNY BOY 1600 TL / 2100 TL

Střídače bez transformátoru



Příslušenství

Rozhraní RS485
485PB-NRBluetooth Piggy-Back
BTBPNV-NR

* Neplatí pro všechny národní přílohy k normě EN 50438

● Sériové vybavení ○ Volitelné – Nedostupné

Pro SUNNY BOY 1600TL:

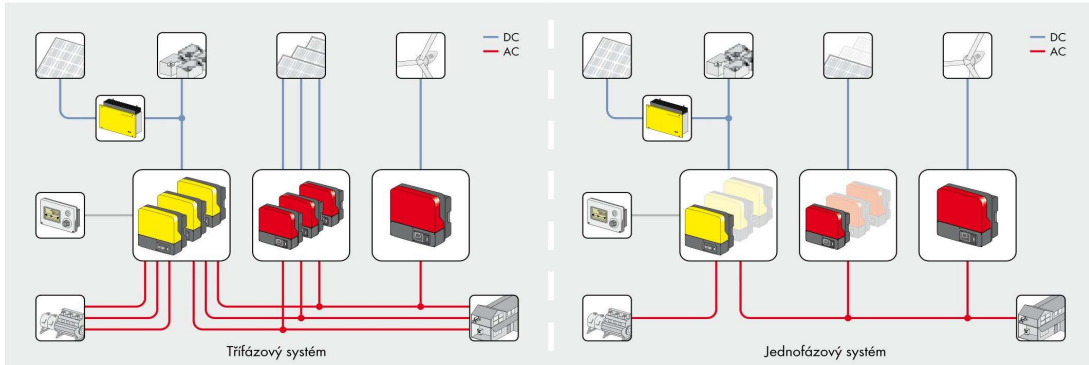
Predběžné údaje, stav březen 2011

Údaje platí pro jmenovité podmínky

Technické údaje	Sunny Boy 1600TL	Sunny Boy 2100TL
Vstup (DC)		
Max. DC výkon (@ cos φ=1)	1700 W	2200 W
Max. vstupní napětí	600 V	600 V
MPP rozsah napětí / jmenovité vstupní napětí	155 V – 480 V / 400 V	200 V – 480 V / 400 V
Min. vstupní napětí / spouštěcí vstupní napětí	125 V / 150 V	125 V / 150 V
Max. vstupní proud	11 A	11 A
Max. vstupní proud na string	11 A	11 A
Počet nezávislých MPP vstupů / stringů na MPP vstup	1 / 1	1 / 2
Výstup (AC)		
Jmenovitý výkon (@230 V, 50 Hz)	1600 W	1950 W
Max. AC zdánlivý výkon	1600 VA	2100 VA
AC jmenovité napětí / rozsah	220 V, 230 V, 240 V / 180 V – 260 V	220 V, 230 V, 240 V / 180 V – 260 V
AC síťová frekvence / rozsah	50 Hz / -4,5 Hz ... +2,5 Hz	50 Hz / -4,5 Hz ... +2,5 Hz
Jmenovitá síťová frekvence / jmenovité napětí sítě	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. výstupní proud	11 A	11 A
Účinník při jmenovitém výkonu	1	1
Nastavitelný faktor posunu	–	–
Fáze napájení / fáze připojení	1 / 1	1 / 1
Stupeň účinnosti		
Max. účinnost / Evropská účinnost	96 % / 95 %	96 % / 95,2 %
Bezpečnostní a monitorovací zařízení		
Odpojovač na vstupní straně	○	○
Detekce zkratů / kontrola stavu sítě	● / ●	● / ●
DC ochrana typu II lze integrovat do	–	–
DC ochrana proti přepólování / Odolnost proti AC zkratu / Galvanické oddělení	● / ● / –	● / ● / –
Jednotka pro sledování chybových proudů u střídavého i stejnosměrného proudu	●	●
Stupeň krytí (dle IEC 62103) / kategorie přepětí (dle IEC 60664-1)	I / III	I / III
Všeobecné údaje		
Rozměry (Š / V / H)	440 / 339 / 214 mm (17,3 / 13,4 / 8,4 inch)	440 / 339 / 214 mm (17,3 / 13,4 / 8,4 inch)
Hmotnost	16 kg / 35,3 lb	16 kg / 35,3 lb
Rozsah provozních teplot	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F
Emise hluku, typicky	33 dB(A)	33 dB(A)
Vlastní spotřeba (noc)	0,1 W	0,1 W
Topologie	Bez transformátoru	Bez transformátoru
Princip chlazení	Konvekce	Konvekce
Stupeň krytí (dle IEC 60529)	IP65	IP65
Stupeň krytí v oblasti připojení (dle IEC 60529)	IP65	IP65
Klimatická třída (dle IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Maximální přípustná hodnota relativní vlhkosti (bez kondenzace)	100 %	100 %
Vybavení		
DC připojení	SUNCLIX	SUNCLIX
AC připojení	Konektor	Konektor
Displej	Textový řádek	Textový řádek
Rozhraní: RS485 / Bluetooth	○ / ○	○ / ○
Záruka: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 let	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Multifunkční relé	–	–
Certifikáty a povolení (další na vyžádání)	CE, VDE0126-1-1, AS4777, EN 50438*, PPDS, UTE C15-712-1, C10/11	
Typové označení	SB 1600TL-10	SB 2100TL

VII. Společnost SMA - ostrovní střídač SUNNY ISLAND 2012 / 2224

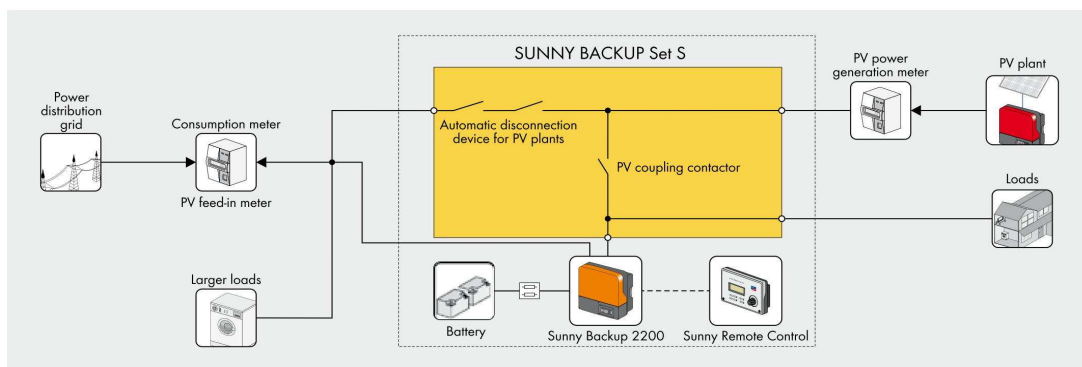
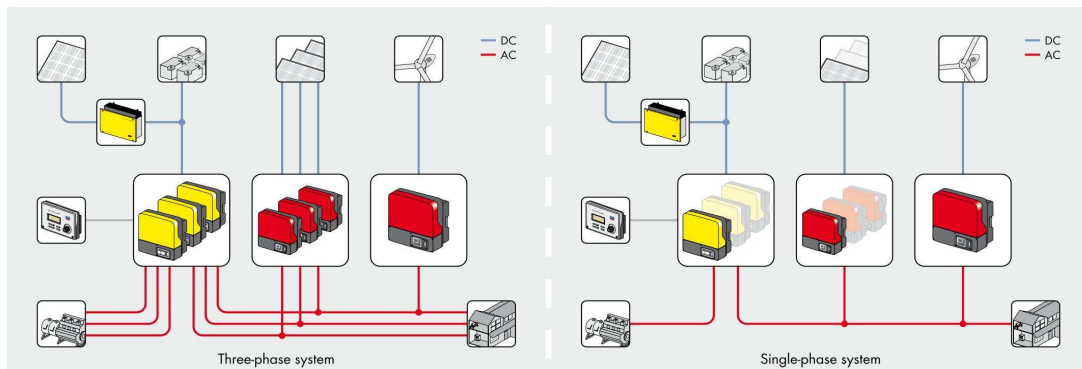
Střídače pro ostrovní systémy



Technické údaje	Sunny Island 2012	Sunny Island 2224
AC výstup (spotřebič)		
Jmenovité napětí AC / nastavitelné	230 V / 202 V - 253 V	230 V / 202 V - 253 V
Jmenovitá frekvence AC / nastavitelná	50 Hz, 60 Hz / 45 Hz ... 65 Hz	50 Hz, 60 Hz / 45 Hz ... 65 Hz
Trvalý výkon AC (při 25 °C / při 45 °C)	2000 W / 1400 W	2200 W / 1600 W
Výkon AC při 25 °C po dobu 30 min / 1 min / 3 s	2500 W / 3800 W / 3900 W	2900 W / 3800 W / 3900 W
Jmenovitý proud AC / max. proud AC (peak)	8,7 A / 25 A po dobu cca 500 ms	9,6 A / 25 A po dobu cca 500 ms
Harmonické zkreslení výstupního napětí / čísel výkonu při jmenovitém výkonu	4 % / -1 ... +1	4 % / -1 ... +1
AC vstup (generátor nebo síť)		
Vstupní napětí AC / rozsah	230 V / 172,5 V - 264,5 V	230 V / 172,5 V - 264,5 V
Vstupní frekvence AC / rozsah	50 Hz, 60 Hz / 40 Hz ... 70 Hz	50 Hz, 60 Hz / 40 Hz ... 70 Hz
Max. vstupní proud / nastavitelný	25 A / 0 A ... 25 A	25 A / 0 A ... 25 A
Max. vstupní výkon	5,75 kW	5,75 kW
Vstup DC (baterie)		
Napětí baterie / rozsah	12 V / 8,4 V - 15,6 V	24 V / 16,8 V - 31,5 V
Max. nabíjecí proud baterie / trvalý nabíjecí proud při 25 °C	180 A / 160 A	90 A / 80 A
Typ baterie / kapacita baterie	olovo, NiCd / 100 Ah ... 10000 Ah	olovo, NiCd / 100 Ah ... 10000 Ah
Regulace nabíjení	Metoda IUoU	Metoda IUoU
Účinnost / vlastní spotřeba		
Max. účinnost	93 %	93,6 %
Vlastní spotřeba bez zatížení / pohotovostní režim	21 W / 6 W	21 W / 6 W
Ochranná zařízení		
DC ochrana proti přepólování / DC pojistka	- / -	- / -
AC zkrat / AC přetížení	● / ●	● / ●
Nadměrná teplota / hloubkové vybíjení baterie	● / ●	● / ●
Všeobecné údaje		
Rozměry (š / v / h)	470 / 445 / 185 mm	470 / 445 / 185 mm
Hmotnost	19 kg	19 kg
Rozsah provozní teploty	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Druh ochrany (dle IEC 60529)	Vnější instalace (IP54)	Vnější instalace (IP54)
Vybavení / funkce		
Obsluha a displej / multifunkční relé	externě přes SRC-1 / 2	externě přes SRC-1 / 2
Třífázové systémy / paralelní zapojení	● / ●	● / ●
Integrovaný bypass / multiclusterový provoz	● / -	● / -
Výpočet stavu nabití / plné nabití / vyrovnávací nabití	● / ● / ●	● / ● / ●
Integrovaný softstartér / podpora generátoru	● / ●	● / ●
Snímač teploty baterie / komunikační kabely	● / ●	● / ●
Záruka (5 / 10 / 15 / 20 / 25 let)	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Certifikáty a schválení	www.SMA-Solar.com	www.SMA-Solar.com
Příslušenství		
Vedení baterie / jistič baterie	○ / ○	○ / ○
Rozhraní (RS485 / Multicluster PB)	○ / -	○ / -
Rozšířený start generátoru „GenMan“	○	○
Odlehčovací stykač / externí měření proudu baterie	○ / ○	○ / ○
● Sériové vybavení ○ Volitelné vybavení - -Není k dispozici		
Typové označení	SI 2012	SI 2224

VIII. Společnost SMA - Sunny Remote control SCR-20

Technical data	Sunny Remote Control
Display and Operation	
Display	4 x 20 characters
Operation	Rotary push button
Interfaces	
DC supply voltage	12 V (of SBU 2200, SI 2224 / 2012 or data cable SI 6.0H / 8.0H)
Nominal current	200 mA
Data storage and service	SD/MMC card with 128 MB/1 GB
Communication	RS 422
Data cable	CAT5e-FTP patch cable (2 x RJ45 plug)
Max. cable length	20 m
Mechanical Data	
Width x height x depth	225 x 140 x 65 mm
Weight	approx. 400 g
Ambient conditions	
Ambient temperature	0 °C ... +50 °C
Protection rating	
acc. to DIN EN 60529	IP 20
Certification	
	CE
Accessories	
SD/MMC card	128 MB (included)
Data cable	CAT5e-FTP patch cable, 5 m (included)
Outdoor data cable 2 / 5 / 10 / 20 m	Optional
Type designation	SCR-20
Status: January, 2012	



SCR20SR121131 - SMA and Sunny brand are registered trademarks of SMA Solar Technology AG. Text and illustrations reflect the current state of the technology at the time of publication. Technical modifications reserved. No liability for printing errors. Printed on chlorine-free paper.

IX. Společnost Shüco - solární panel MPE 235 PS 09

Schüco MPE Modules in the PS 09 Series

Technical Data

Photovoltaic modules					
Product name	MPE 220 PS 09	MPE 225 PS 09	MPE 230 PS 09	MPE 235 PS 09	MPE 240 PS 09
Schüco article number	232 615	232 616	232 617	232 618	232 619
Cell type	Poly				
Number of cells / cell arrangement	60 / 6 x 10				
Cell dimension	6" (156 mm)				
Module efficiency	13.4 %	13.7 %	14.0 %	14.3 %	14.6 %

Electrical specifications						
STC rated output (P_{mpp})	220	225	230	235	240	W_p
PTC rated output (P_{mpt})	199.5	204.1	208.8	213.4	218.1	%
Output tolerance STC (ΔP_{mpt})	+5 / -0					%
Warranted power output STC ($P_{mpt min}$)	220	225	230	235	240	W_p
Rated voltage (V_{mpp})	28.02	28.40	28.78	29.16	29.54	V
Rated current (I_{mpp})	7.86	7.92	7.99	8.06	8.13	A
Open circuit voltage (V_{oc})	36.92	37.14	37.35	37.56	37.77	V
Short circuit current (I_{sc})	8.46	8.49	8.53	8.56	8.59	A

Electrical specification parameters		
Temperature coefficient α (P_{mpt}) ¹⁾	-0.469	% / °C
Temperature coefficient β (I_{sc}) ¹⁾	+0.052	% / °C
Temperature coefficient χ (V_{oc}) ¹⁾	-0.344	% / °C
Normal Operating Cell Temperature (NOCT) ²⁾	109.4 ± 3.6 (43.4 ± 2)	°C (°C)
Maximum system voltage USA NEC	600	V
Max. series fuse rating	15	A

Mechanical specifications	
Frame technology	Aluminum frame, silver
Compound	Glass / EVA / backsheet
Weight (module only)	44.1 lbs (20 kg)
Junction box IP rating	IP 65
Cable type / diameter	USE-2 / 4 mm ²
Cable length	39.37" ± 1.97" (1000 mm ± 50 mm)
Connector type	Schüco MC-T4 compatible

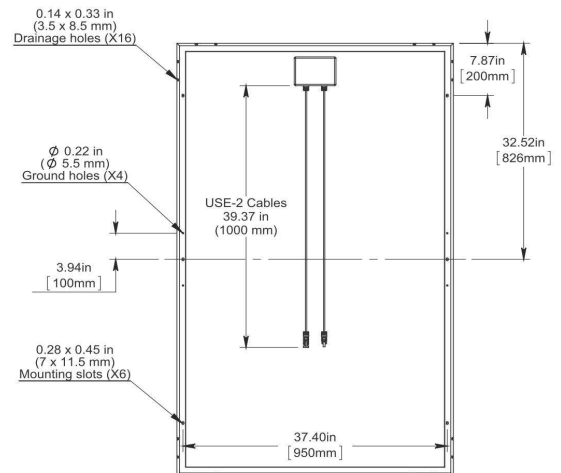
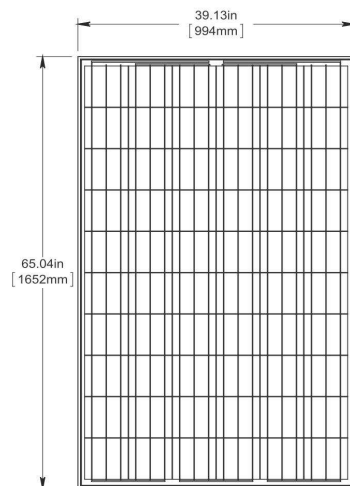
Qualification and warranties	
Product standard	UL 1703
Extended product warranty ³⁾	5 years
Output warranty of 90% performance P_{mpp} (STC) ³⁾	12 years
Output warranty of 80% performance P_{mpp} (STC) ³⁾	25 years

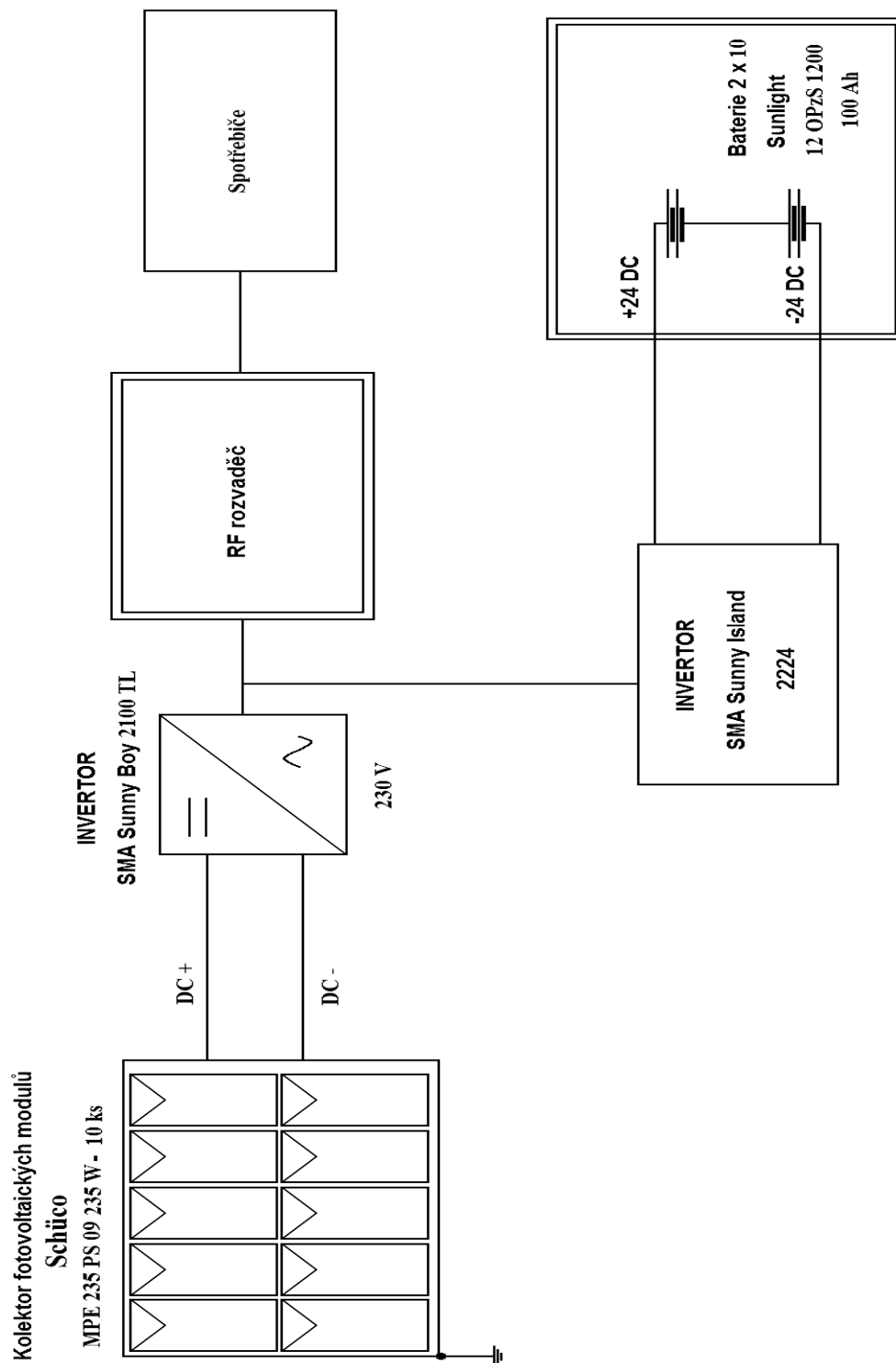
¹⁾ Irradiance 1,000 W/m², air mass index 1.5, cell temperature 77°F (25°C)

²⁾ Irradiance 800 W/m², wind speed 1 m/s, ambient temp. 68°F (20°C)

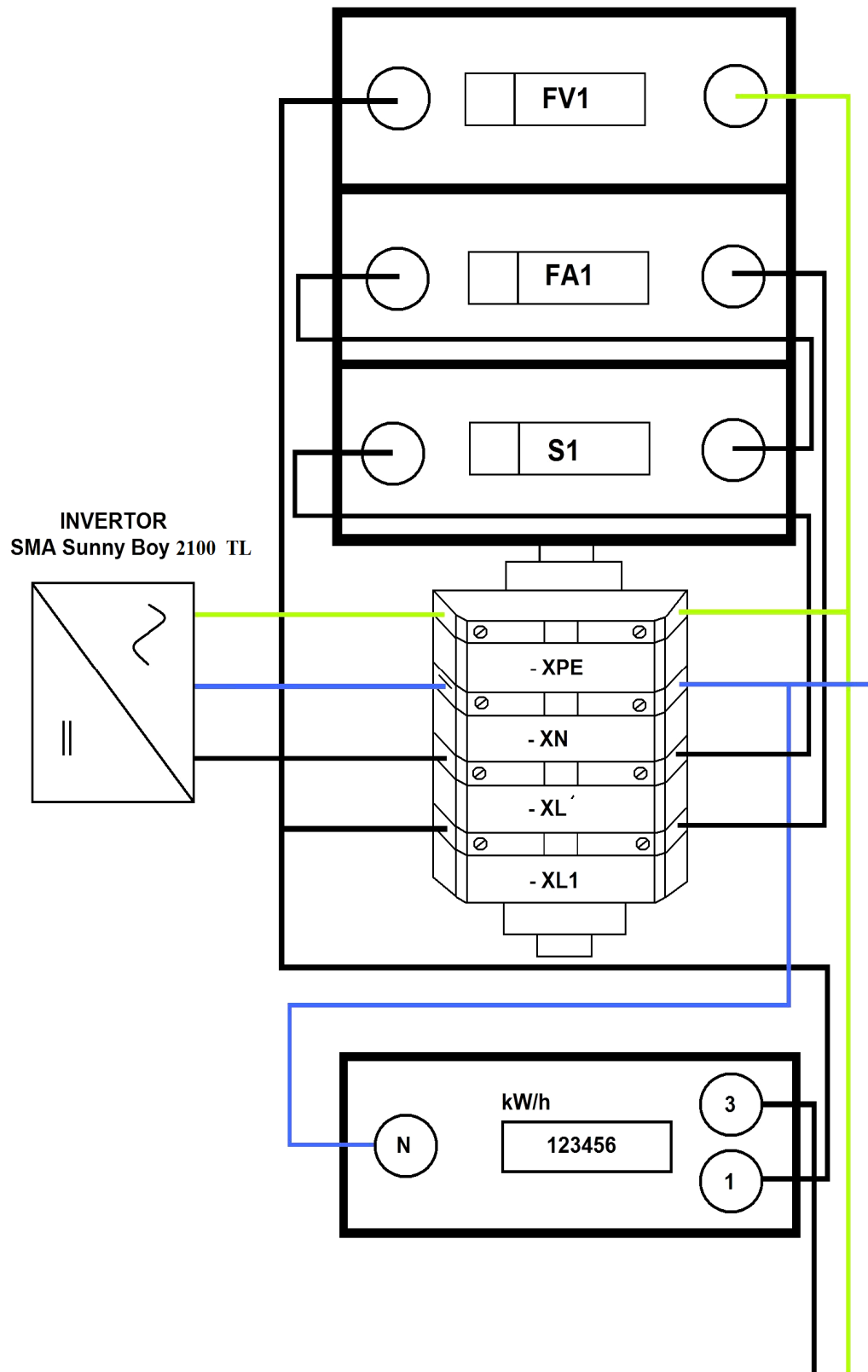
³⁾ In accordance with the warranty conditions of Schüco USA LLLP and Schüco Canada, Inc.

Miscellaneous	
Packing unit	2 modules
Weight of packing unit	90.4 lbs (41 kg)



X. Schematické zapojení ostrovního systému - 2,35 kW

XI. Pohled na rozvaděč RF - detail



XII. Katalogový list společnosti Sunlight - akumulátory OPzS 2V

OPzS 2V Cells

Type	Positive plate	Capacity (Ah) C ₁₀ V/Cell (1.80 Vpc at 20°C)	Maximum cell dimensions (mm)					Weight (kg)		Volume of electrolyte (l)
	Size (Ah)		a	b	h1	h2	e	With electr.	Without electr.	
2 OPzS 100	50	115	103	206	355	380	-	13.8	8.4	4.4
3 OPzS 150		171	103	206	355	380	-	15.7	10.7	4.0
4 OPzS 200		215	103	206	355	380	-	17.5	13.0	3.6
5 OPzS 250		270	124	206	355	380	-	21.4	15.4	4.8
6 OPzS 300		323	145	206	355	380	-	25.7	18.5	5.8
5 OPzS 350	70	387	124	206	471	496	-	28.4	20.7	6.2
6 OPzS 420		465	145	206	471	496	-	33.5	24.3	7.4
7 OPzS 490		542	166	206	471	496	-	38.6	27.9	8.6
5 OPzS 500	100	589	145	206	646	671	-	42.0	28.8	10.6
6 OPzS 600		656	145	206	646	671	-	45.8	33.0	10.3
7 OPzS 700		811	191	210	646	671	80	60.0	42.7	14.0
8 OPzS 800		875	191	210	646	671	80	63.8	46.8	13.7
9 OPzS 900		1031	233	210	646	671	110	73.0	53.0	16.1
10 OPzS 1000		1095	233	210	646	671	110	78.2	57.3	16.9
12 OPzS 1200		1312	275	210	646	671	140	91.3	66.2	20.2
11 OPzS 1400		125	1581	275	210	796	821	140	110.5	76.0
12 OPzS 1500	1669		275	210	796	821	140	115.1	81.1	27.4
14 OPzS 1700	2021		397	212	772	797	2 x 110	143.3	96.3	37.9
15 OPzS 1875	2136		397	212	772	797	2 x 110	148.9	102.6	37.3
16 OPzS 2000	2227		397	212	772	797	2 x 110	154.5	108.8	36.9
18 OPzS 2250	2574		487	212	772	797	3 x 110	184.0	125.0	47.8
20 OPzS 2500	2791		487	212	772	797	3 x 110	201.0	135.0	53.2
24 OPzS 3000	3343		576	212	772	797	3 x 140	230.0	158.0	58.1

XIII. Katalogový list společnosti Sunlight - akumulátory OPzV 2V

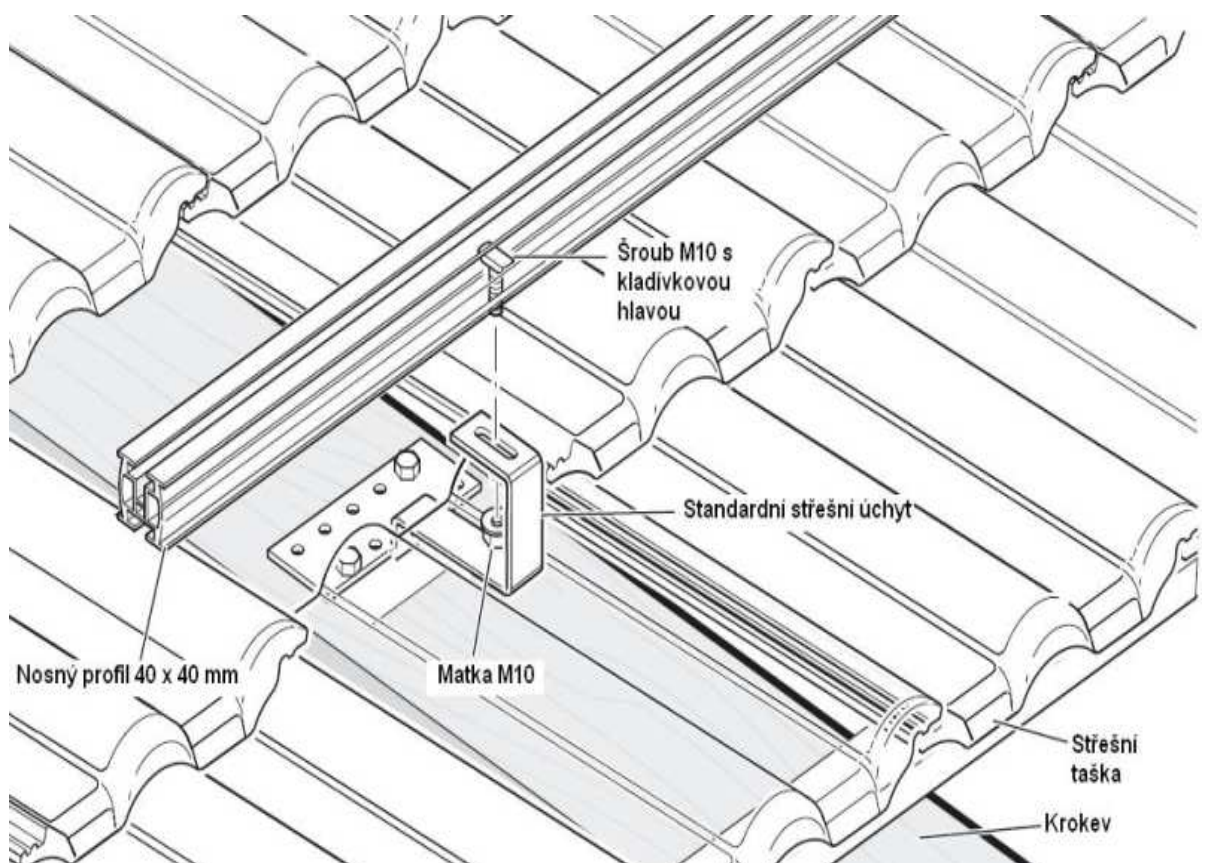
OPzV 2V články

Typ	Pozitivní deska	Kapacita (Ah) C ₁₀ V / článěk (1,80 VPC při 20 ° C)	Maximální buněk rozměry (mm)					Hmotnost (kg)	Obvod proud (A)
	Velikost (Ah)		a	b	h1	h2	E		
4 200 OPzV	50	213	103	206	354	378	-	19,5	2010
5 250 OPzV		267	124	206	354	378	-	23,5	2470
6 300 OPzV		319	145	206	354	378	-	28,0	2930
5 350 OPzV	70	383	124	206	471	495	-	31,0	3080
6 420 OPzV		453	145	206	471	495	-	36,5	3880
7 490 OPzV		520	166	206	471	495	-	42,0	4080
6 600 OPzV	100	654	145	206	643	667	-	50,0	4170
8 800 OPzV		891	191	210	644	668	80	68,0	5840
10 OPzV 1000		1105	233	210	646	670	110	82,0	7170
12 OPzV 1200		1340	275	210	645	669	140	97,0	8540
12 OPzV 1500	125	1611	275	210	796	820	140	120,0	9360
16 OPzV 2000		2148	399	214	771	795	2 x 110	165,0	12200
20 OPzV 2500		2687	487	212	769	793	3 x 110	200,0	15190
24 OPzV 3000		3326	576	212	769	793	3 x 140	240,0	18300

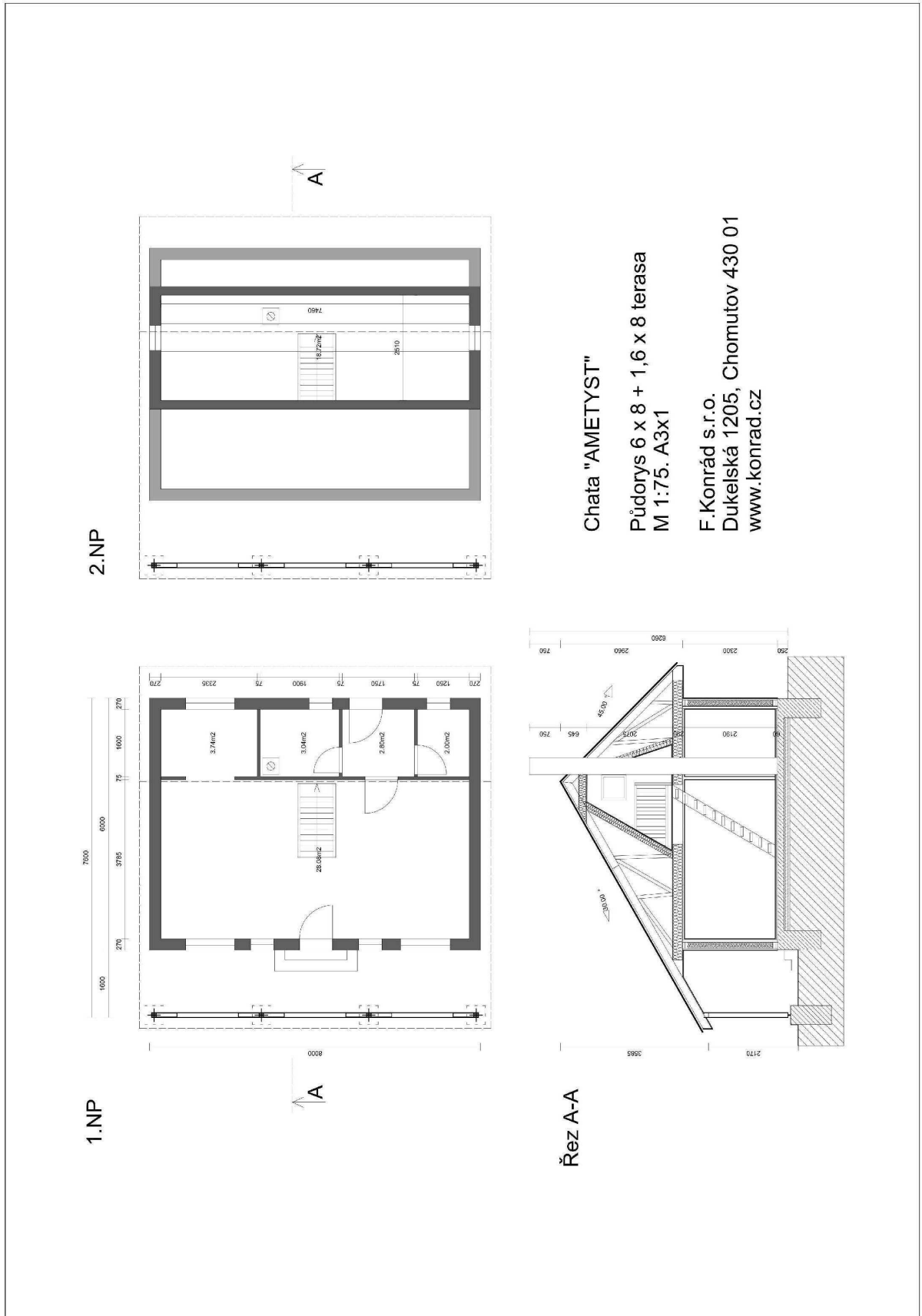
XIV. Společnosti Sunlight - ukázka akumulčních baterií typu OPzV



XV. Způsob uchycení nosného profilu fotovoltaického panelu



XVI. Projektová dokumentace rekreačního objektu



Chata "AMETYST"

Půdorys 6 x 8 + 1,6 x 8 terasa
M 1:75. A3x1

F. Konrád s.r.o.
Dukelská 1205, Chomutov 430 01
www.konrad.cz

XVII. Přehled úhrnu dopadajícího slunečního záření

Sluneční záření na povrch FV modulů: Náklon = 30° Orientace = 7° (JZ)		
Náklon = 30° , Orientace = 7° (JZ)		
Měsíc	Měsíční úhrn slunečního záření (kWh/m ²)	Denní úhrn slunečního záření (kWh/m ²)
Leden (Jan)	37	1,2
Únor (Feb)	56	2,0
Březen (Mar)	93	3,0
Duben (Apr)	124	4,1
Květen (Máj)	151	4,9
Červen (Jún)	142	4,7
Červenec (Júl)	160	5,2
Srpen (Aug)	144	4,6
Září (Sep)	105	3,5
Říjen (Okt)	83	2,7
Listopad (Nov)	34	1,1
Prosinec (Dec)	24	0,8
Roční průměr	96	3,2
Roční úhrn slunečního záření (kWh/m²)	1155	

Grafické znázornění

