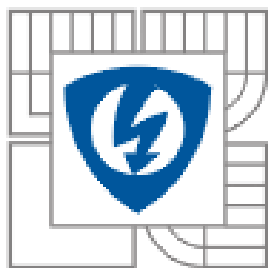


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

MOBILNÍ AUTONOMNÍ FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM

GRIT-OFF PHOTOVOLTAIC SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

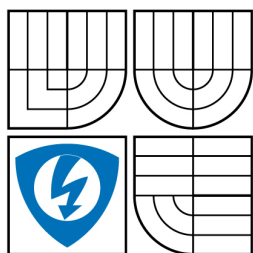
Bc. MARTIN HORVÁTH

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ VANĚK, Ph.D.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektrotechnická výroba a management

Student: Bc. Martin Horváth

ID: 47049

Ročník: 2

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Mobilní autonomní fotovoltaický systém

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhňte a realizujte autonomní solární fotovoltaický systém. Systém umístěte na konstrukci, kterou je možné převážet a natáčet podle potřeb měření. Na tomto zařízení proveďte měření vlastností solárního systému v různých provozních podmínkách.

Proveďte zhodnocení v rámci několikadenního měření.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Murtinger K., Beranovský J., Fotovoltaika - elektrina ze slunce, ERA, 2007

Hegedus L., Handbook of photovoltaic science and engineering, Wiley, 2003.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 27.5.2010

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Vaněk Ph.D.

prof. Ing. Jiří Kazelle, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následku porušení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestně právních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Obnovitelné zdroje energie a jejich rozvoj přináší otázky jak tyto zdroje co nejlépe využít. Diplomová práce pojednává o fotovoltaických systémech. Popisuje jejich historii, současnou situaci a nabízí také vyhlídky do budoucna. Jsou zde zmíněny materiály a technologie, které se používají k jejich výrobě, podmínky použití, výhody a nevýhody jejich použití a nakonec i skutečná aplikace mobilního fotovoltaického systému, který slouží k výrobě a ukládání elektrické energie do akumulátoru.

Abstract

The restoring sources of energy and their development brings the question how these sources can be utilized in the best way. Master`s thesis deals with photovoltaic systems. It describes their history line, actual situation and also brings some expectations in the future. There are mentioned some materials and technologies which are used for its manufacture, conditions of using in practice, advantages and disadvantages and finally a real mobile application of photovoltaic which serves for a production of electricity that is saved in the battery.

Klíčová slova: Fotovoltaika, solární panel, solární článek, solární elektrárny

Key words: Photovoltaic, solar panel, solar cell, solar power station

Bibliografická citace práce:

HORVÁTH, M. *Mobilní autonomní fotovoltaický systém*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 58s. Vedoucí semestrální práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 27. 5. 2010

.....

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Vaňkovi Ph.D. za metodické a cíleně orientované vedení při plnění úkolů realizovaných v návaznosti na diplomovou práci. Dále děkuji Bc. Jiřímu Španihelovi, Petru Smekalovi a Bc. Jiřímu Králíkovi za poskytnutou metodickou pomoc a odborné rady.

OBSAH

Seznam obrázků	6
Seznam tabulek.....	7
Úvod	8
1 Charakteristika současného stavu řešené problematiky	9
2 Historie fotovoltaiky.....	11
3 Fotonvoltaický systém.....	12
3.1 Princip fotonvoltaických článků.....	12
3.2 Typy fotonvoltaických článků.....	14
3.3 Fotonvoltaické panely	16
4 Druhy fotonvoltaických systémů.....	18
4.1 Ostrovní (autonomní) provoz	18
4.2 Síťový provoz (grid-on)	20
5 Legislativa v ČR.....	22
5.1 Zákon č.180/2005 sb.	23
5.2 Fotonvoltaická krize	24
6 Fotonvoltaické elektrárny v ČR	25
7 Mobilní systém s fotonvoltaickým panelem	26
7.1 Konstrukce mobilní části systému.....	26
7.2 Zapojení fotonvoltaického systému.....	33
7.3 Konstrukce měřicí části systému	35
8 Měření parametrů mobilního fotonvoltaického systému.....	41
8.1 Měření naprázdno	41
8.2 Měření nakrátko	42
8.3 Měření voltampérové charakteristiky.....	42
9 Výsledky měření.....	46
9.1 Měření voltampérové charakteristiky za temna	46
9.2 Měření voltampérové charakteristiky v laboratoři pomocí žárovkového zdroje	48
9.3 Měření voltampérové charakteristiky venku	52
10 Závěr.....	55
Použitá literatura.....	56
Seznam symbolů a zkratk	57
Přílohy	58

Seznam obrázků

Obr. 1-1 Podíl OZE na celosvětové bilanci primárních energetických zdrojů [2].....	9
Obr. 1-2 Podíl OZE na celosvětové výrobě elektrické energie [2]	9
Obr. 3-1 Spektrum slunečního záření po průchodu atmosférou s vyznačením vlnových délek a energií fotonů i s vyznačením šířky zakázaného pásu [2].....	13
Obr. 3-2 Princip fv článku	14
Obr. 3-3 3 generace fotovoltaiky [1]	15
Obr. 3-4 Skladba fv pole z modulů a skladba fv modulu z článků [9].....	16
Obr. 3-5 Popis a konstrukce fv panelu [7].....	17
Obr. 4-1 Olověný akumulátor [2].....	19
Obr. 4-2 Schéma systémů s akumulací elektrické energie [7]	20
Obr. 4-3 Schéma síťového systému [7].....	21
Obr. 6-1 Průměrná roční intenzita slunečního záření v ČR [5].....	25
Obr. 7-1 Fv panel SOLARTEC STR36-50 / 12	26
Obr. 7-2 Otevřený L profil, rovnoramenný	27
Obr. 7-3 Model rámu ložné plochy svařeného z L profilů	27
Obr. 7-4 Ocelové plochy z pásoviny	27
Obr. 7-5 Model rámu ložné plochy svařený k ocelovým plochám z pásoviny	28
Obr. 7-6 Otevřený L profil, rovnoramenný a závitová tyč M10	28
Obr. 7-7 Model uchycení fv panelu pomocí L profilů	28
Obr. 7-8 Profil uzavřený svařovaný černý s obdélníkovým průřezem.....	29
Obr. 7-9 Model nosné konstrukce pro fv panel z uzavřených obdélníkových profilů	29
Obr. 7-10 Ovládací hvězdicový prvek na M10	30
Obr. 7-11 Uzavřený svařovaný profil, černý se čtvercovým průřezem	30
Obr. 7-12 Ocelové otevřené L a uzavřené čtvercové profily	30
Obr. 7-13 Ocelová konstrukce mobilního vozíku	31
Obr. 7-14 Ložná plocha z OSB desky	31
Obr. 7-15 Transportní kolečko pevné a otočné s brzdou	32
Obr. 7-16 Blokové zapojení fv systému	33
Obr. 7-17 Solární regulátor PHOCOS CX10	33
Obr. 7-18 VARTA 12V 100Ah Solar	34
Obr. 7-19 Měnič napětí SP 300 12V/230V	35
Obr. 7-20 Pracovní plocha z lamino desky	35
Obr. 7-21 Usazení pracovní plochy.....	36
Obr. 7-22 Stejnoseměrný wattmetr a voltmetr.....	36
Obr. 7-23 Měřič spotřeby elektrické energie.....	37
Obr. 7-24 Úhломěr	38
Obr. 7-25 Regulovatelná odporová dekáda	38
Obr. 7-26 Přístrojové zdířky a faston	39
Obr. 7-27 Propojovací kabely s banánky a s krokosvorkami.....	39
Obr. 7-28 Přední a zadní část pracovní plochy s příslušenstvím.....	40
Obr. 8-1 Schéma zapojení pro měření napětí naprázdno	41
Obr. 8-2 Schéma zapojení pro měření proudu nakrátko	42
Obr. 8-3 Schéma zapojení pro měření voltampérové charakteristiky	43
Obr. 8-4 Schéma zapojení pro měření závěrné voltampérové charakteristiky.....	44
Obr. 8-5 Schéma jednoho z několika možných zapojení fv systému.....	45
Obr. 9-1 Mobilní fv systém a použité lampy v laboratorním prostředí.....	46
Obr. 9-2 VA charakteristika fv panelu za temna.....	47

Obr. 9-3 VA charakteristika fv panelu za temna – detail 1.kvadrant.....	47
Obr. 9-4 VA charakteristika fv panelu s lampami 650W.....	48
Obr. 9-5 VA charakteristika fv panelu s lampami 650W – detail 1.kvadrant.....	49
Obr. 9-6 VA charakteristika fv panelu s lampami 800W.....	51
Obr. 9-7 VA charakteristika fv panelu s lampami 800W – detail 1.kvadrant.....	51
Obr. 9-8 Mobilní fv systém ve venkovním prostředí.....	52
Obr. 9-9 VA charakteristika fv panelu venku – detail 1.kvadrant.....	53
Obr. 9-10 Charakteristika nabíjení akumulátoru.....	54

Seznam tabulek

Tab. 5-1 Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny využitím slunečního záření [7] .	23
Tab. 9-1 Naměřené a vypočtené hodnoty fv panelu s lampami 650W	49

Úvod

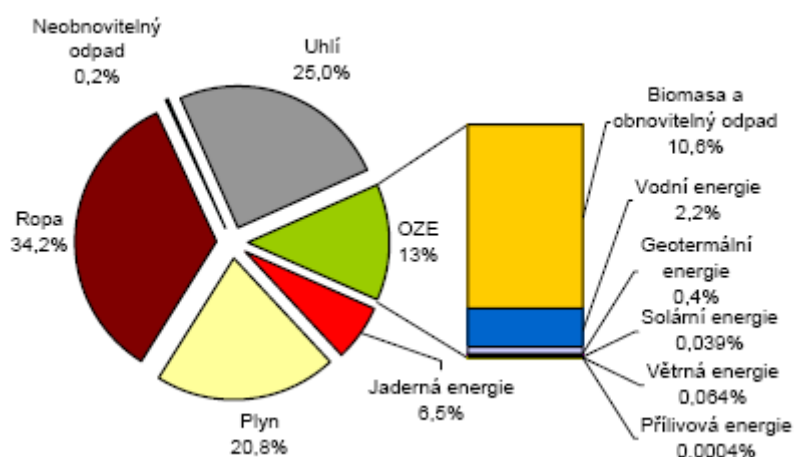
Energie je jednou z nejdůležitějších věcí na naší planetě. Aby systém na Zemi spolehlivě fungoval potřebujeme zajistit, aby biosféra (živé organismy) i technosféra (naše civilizace) měla stálou dodávku energie. Celá biosféra již po mnoho milionů let spolehlivě funguje na sluneční energii, kterou zachycují rostliny a ukládají ji ve formě organických sloučenin. Ty pak využívají pro svou potravu i živočichové, včetně člověka. Tímto způsobem může biosféra fungovat prakticky neomezenou dobu, tedy minimálně dokud bude svítit slunce [1].

Vzhledem k exponenciálnímu růstu lidské populace bude v budoucnu nutno zajistit krytí poptávky po energii. Většinu energie naše civilizace čerpá z fosilních paliv, což jsou zásoby které rostliny vytvářely po miliony let a které nyní čerpáme mnohonásobně rychleji než je rychlost jejich tvorby. Největší problém však není ten, že se tyto v podstatě omezené zásoby jednou vyčerpají, ale daleko závažnější je těžba, zpracování a spalování fosilních paliv která povolna mění naše životní prostředí, především atmosféru. Jako hlavní příklad lze zmínit oxid uhličitý, který se ve velké míře podílí na tzv. skleníkovém efektu. V současné době je již koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře nejvyšší za posledních 500 tisíc let a neustále roste.

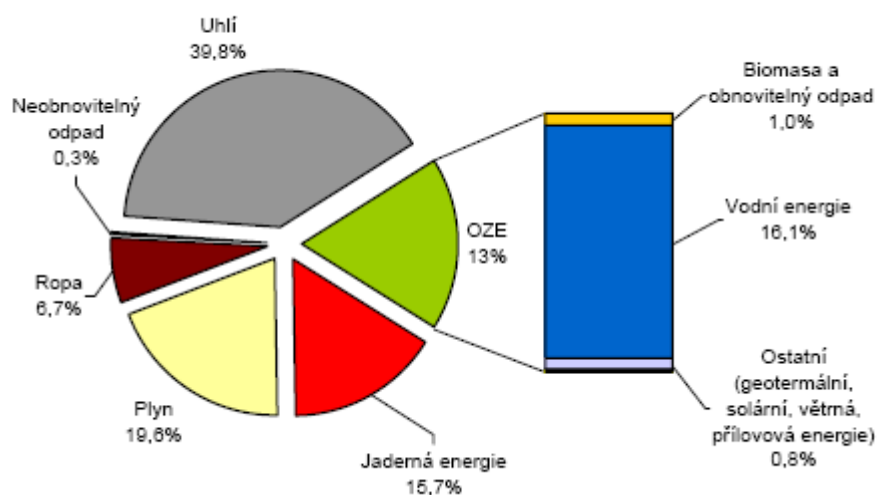
Nejvýznamnější formu energie pro naši civilizaci představuje elektřina, která se dá bez problémů přeměnit na všechny ostatní druhy energie a lze ji snadno rozvádět a využívat. Většinu elektřiny zatím vyrábíme v tepelných elektrárnách, které jako zdroje energie využívají převážně fosilních paliv či uranu. Lidstvo tedy hledá další možnosti získávání energie. Jeden z významných směrů je právě solární energie tj. energie ze slunce.

1 Charakteristika současného stavu řešené problematiky

Podíl obnovitelných zdrojů energie (dále OZE) na celkové výrobě energie je poměrně malý. V současnosti dosahuje podíl solární energie na celosvětové spotřebě energie cca 1% (Obr. 1-1). Celkový instalovaný výkon slunečních elektráren je přibližně kolem 9GW, což je ve světě asi 1% celkového instalovaného výkonu (Obr. 1-2). Nejvíce se na tom podílí Německo které využívá solární energie a má neuvěřitelných 55% z celosvětového instalovaného výkonu.



Obr. 1-1 Podíl OZE na celosvětové bilanci primárních energetických zdrojů [2]



Obr. 1-2 Podíl OZE na celosvětové výrobě elektrické energie [2]

Odborníci navíc upozorňují, že instalovaný výkon nemá v případě slunečních elektráren přílišnou vypovídací hodnotu. Záleží na intenzitě slunečního záření. Podle údajů ministerstva průmyslu a obchodu jsou tak právě sluneční a také větrné elektrárny nejméně výkonné ze všech obnovitelných zdrojů. Navíc sluneční elektrárny zaberou ve srovnání s jinými typy elektráren velkou plochu.

2 Historie fotovoltaiky

Pojem fotovoltaika (dále fv) pochází ze dvou slov, řeckého φώς [phos] = světlo a ze jména italského fyzika Alessandra Volty. fv jev v roce 1839 objevil náhodou tehdy jako 19letý francouzský fyzik Alexander Becquerel. Při experimentech s kovovými elektrodami ponořenými v elektrolytu zjistil, že při jejich osvětlení začne procházet malý proud [1]. První skutečný fv článek byl vytvořen roku 1877. V roce 1904 jej fyzikálně popsal Albert Einstein, kterému byla v roce 1921 udělena Nobelova cena „za práci pro rozvoj teoretické fyziky, zejména za objev zákona fotoelektrického efektu“. Křemíkový fv článek patentoval v roce 1946 v USA Russell S. Ohl.

Větší využití fv článků nastalo až po ropné krizi v sedmdesátých letech, kdy se hledali možnosti jak se zbavit závislosti na ropě a svou roli zde také zajisté sehrálo masivní rozšíření polovodičových součástek, tedy i levější výroba čistého křemíku.

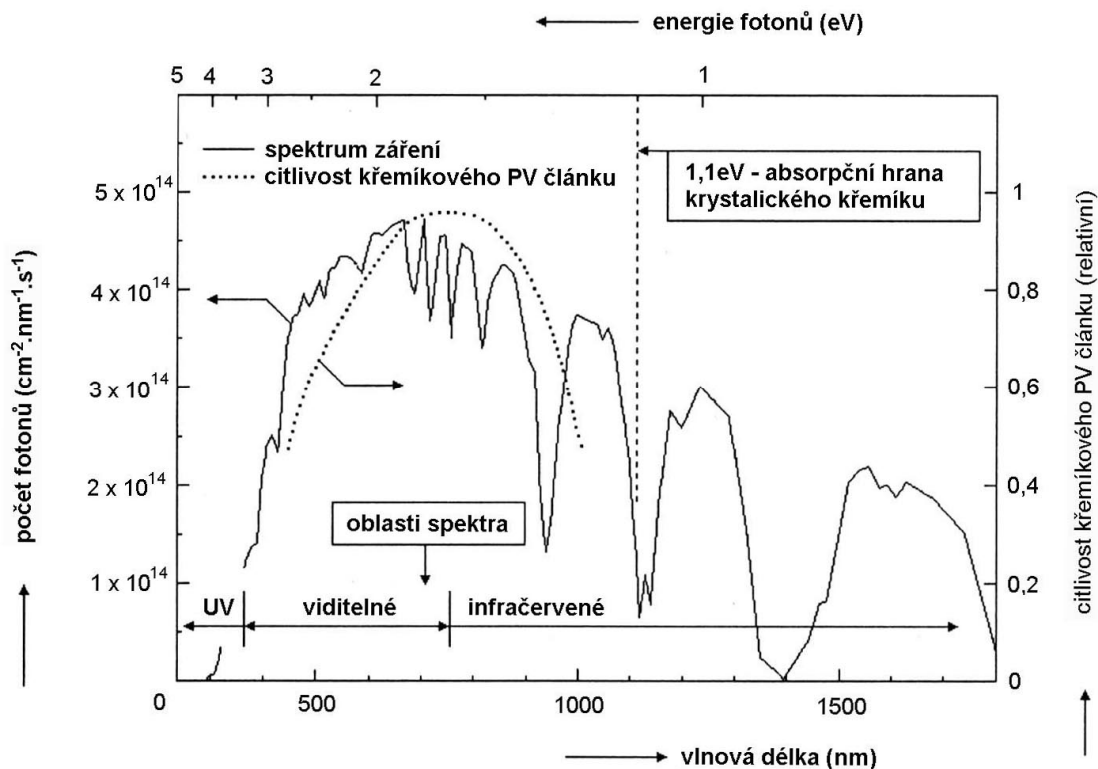
3 Fotovoltaický systém

3.1 Princip fotovoltaických článků

Obecně lze říci, že fotovoltaický článek přeměňuje elektromagnetické záření na elektrickou energii. Při bližším pohledu zjistíme, že vznik ustáleného toku náboje, tj. stejnosměrného proudu vzniká dodáním potřebného množství energie jednotlivým volným nosičům v polovodičích s vodivostí typu P a N spojených v PN přechod. Podle typu nosiče náboje dělíme polovodiče na vlastní a příměsové. Příměsové polovodiče mohou být dotované typu N (majoritními nosiči náboje jsou elektrony) nebo typu P (majoritními nosiči jsou díry, které se chovají jako částice s kladným nábojem).

Křemík obsahuje 14 elektronů, má krystalovou strukturu diamantu, takže každý atom křemíku je obklopen čtyřmi nejbližšími sousedy. Poslední čtyři elektrony (valenční) vytvářejí s těmito sousedy kovalentní vazby. Energie volného elektronu, který nepodléhá působení žádných sil, může nabývat libovolných hodnot. Naproti tomu energie elektronu v krystalu křemíku nabývá pouze určitých hodnot v důsledku pohybu v poli periodického potenciálu. Tyto hladiny energie jsou rozděleny do pásů dovolených energií. Pásky dovolených energií oddělují pásy zakázaných energií [3].

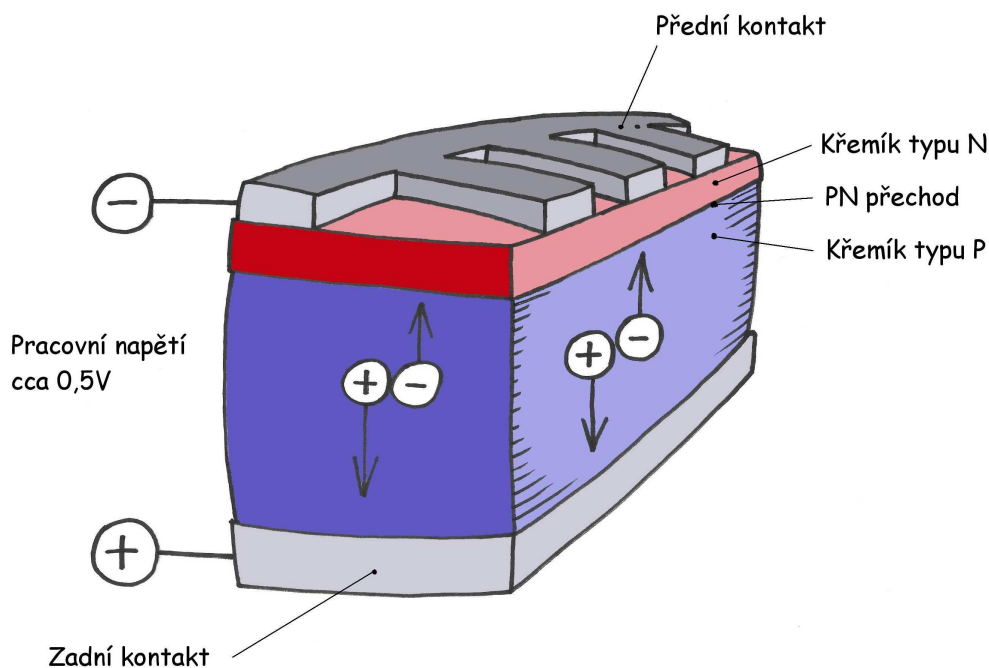
Důležitou roli mají valenční pás, poslední zakázaný pás a vodivostní pás. Valenční pás sestává z energetických stavů valenčních elektronů. Protože těchto stavů je stejný počet jako valenčních elektronů v celém krystalu, budou za velmi nízkých teplot všechny obsazené. Po valenčním pásu následuje pás zakázaných energií, kde žádný elektron nemůže mít energii odpovídající stavu v tomto pásu. Dále následuje pás vodivostní, kde stavy tohoto pásu za velmi nízkých teplot nejsou obsazené. Rozdíly mezi jednotlivými energetickými hladinami uvnitř pásů dovolených energií jsou neměřitelně malé [3].



Obr. 3-1 Spektrum slunečního záření po průchodu atmosférou s vyznačením vlnových délek a energií fotonů i s vyznačením šířky zakázaného pásu [2]

„Fv článek je vlastně taková velkoplošná dioda. Je vytvořen tak, že v tenkém plátku křemíku je v malé hloubce pod povrchem vytvořen PN přechod opatřený z obou stran vhodnými kovovými kontakty“ [1].

K fv přeměně dochází v polovodičových fv člancích, kde se energie dopadajících fotonů mění na elektrickou energii. Pokud na fv článek dopadají fotony s větší energií, než jaká odpovídá šířce zakázaného pásu, tyto fotony generují páry elektron-díra. Na místě uvolněného elektronu zůstává neobsazený stav-díra, do kterého mohou přeskakovat sousední elektrony, které jsou vázány v kovalentní vazbě. Tímto způsobem se může tento neobsazený stav pohybovat krystalem jako kladný náboj. Mluvíme proto o vytvoření páru elektron-díra interakcí s fotonem. Elektron se může vrátit zpátky do neobsazeného stavu ve vazbě, v takovém případě mluvíme o rekombinaci elektronu a díry. Pokud v krystalu existuje nehomogenita, se kterou je spojeno vnitřní elektrické pole – takovou nehomogenitou může být třeba přechod PN, jsou tímto elektrickým polem rozděleny páry elektron-díra a to tak, že elektrony jsou urychleny do oblasti N a díry do oblasti typu P [4]. Tímto způsobem se oblast typu N nabíjí záporně a oblast typu P nabíjí kladně tak, že na osvětleném polovodiči s přechodem PN vzniká fv napětí (Obr. 3-2).



Obr. 3-2 Princip fv článku

3.2 Typy fotovoltaických článků

Za téměř 50 let vývoje fv článků byla vyvinuta celá řada typů a konstrukcí s využitím různých materiálů. Pro přehlednost se rozlišují tři generace fv článků.

První generace

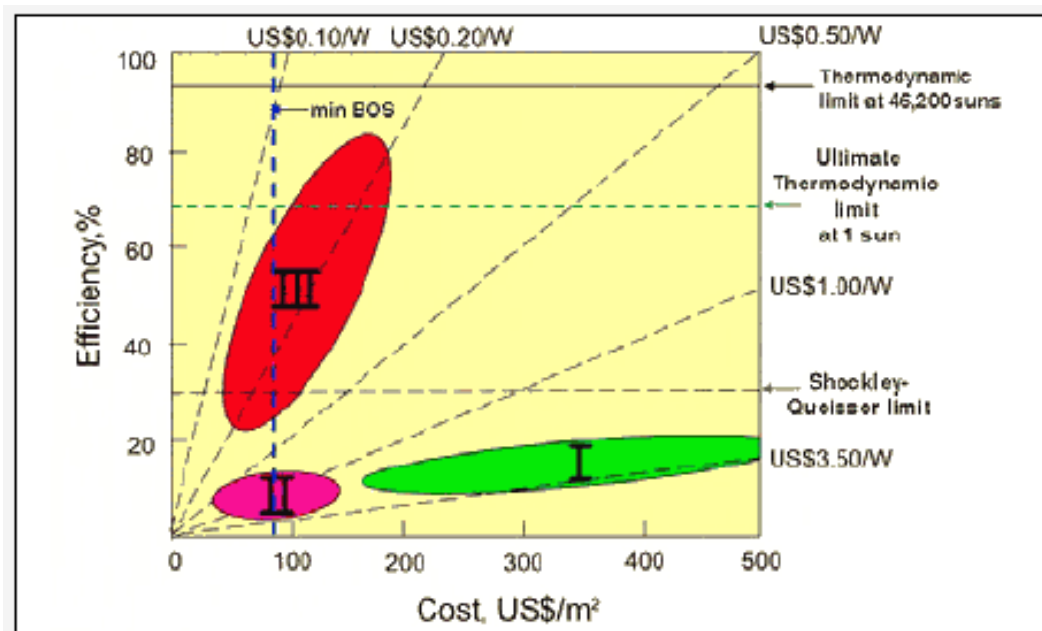
Jedná se o fv články vyráběné z destiček monokrystalického křemíku, v nichž je vytvořen PN přechod. Tato generace je v současné době na trhu nejrozšířenější a přestože je jejich výroba relativně drahá (velká spotřeba velmi čistého křemíku) budou na trhu v průběhu dalších let stále dominovat. Tento typ se vyznačuje dobrou účinností (sériová výroba 16 až 19%, speciální struktury až 24%) a dlouhodobou stabilitou výkonu. Další druh vyráběných fv článků jsou z polykrystalického křemíku, které jsou jasně modré a je u nich zřejmá výrazná krystalická struktura. Polykrystalické fv články bývají čtvercové. Účinnost polykrystalických článků je sice nepatrně nižší, ale lépe dokáží proměňovat difúzní světlo a světlo přicházející z boku, takže prakticky jsou v dnešní době zcela rovnocenné s články monokrystalickými. Obvykle bývají nepatrně levnější. Články první generace se prodávají od sedmdesátých let [2].

Druhá generace

V rozvoji článků druhé generace byla především snaha o snížení množství potřebného křemíku a zlevnit tak výrobu tím, že se používají tenkovrstvé články. Články druhé generace se vyznačují 100 krát až 1000 krát tenčí aktivní absorbující polovodičovou vrstvou. Používají se články např. z mikrokryсталického nebo amorfního křemíku. Nicméně na úrok snížení výrobních nákladů klesla zřetelně také účinnost (sériová výroba 10%) a stabilita, která dále s časem klesá. Výhodou těchto článků je jejich pružnost a ohebnost. Existují například fólie, které se nalepí při konstrukci na střechu a plní funkci nepropustné fólie a současně vyrábí elektřinu [1]. Jejich využití se najde i například v armádě, kde tvoří součást oblečení či batohu a umožňují tak napájet přenosná zařízení (mobilní telefon, vysílačku, notebook). Články druhé generace se prodávají od poloviny osmdesátých let.

Třetí generace

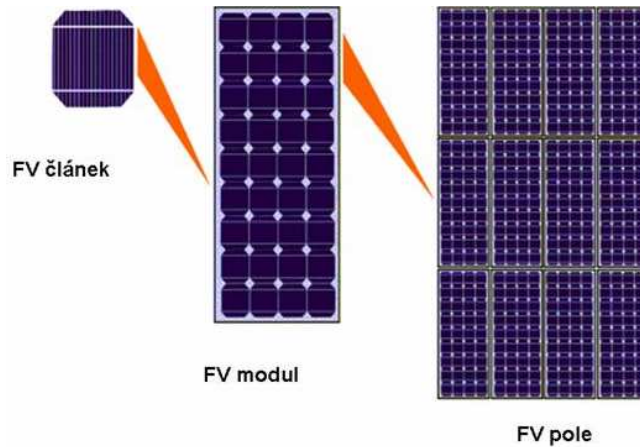
Do této generace se řadí systémy, které používají k separaci nábojů další metody než PN přechod a často využívají jiné materiály než polovodiče. Naděje se vkládají do organických článků. V současné době mají účinnost 2% a v laboratorních podmínkách 4%. Komerčně jsou zatím nedostupné [1].



Obr. 3-3 3 generace fotovoltaiky [1]

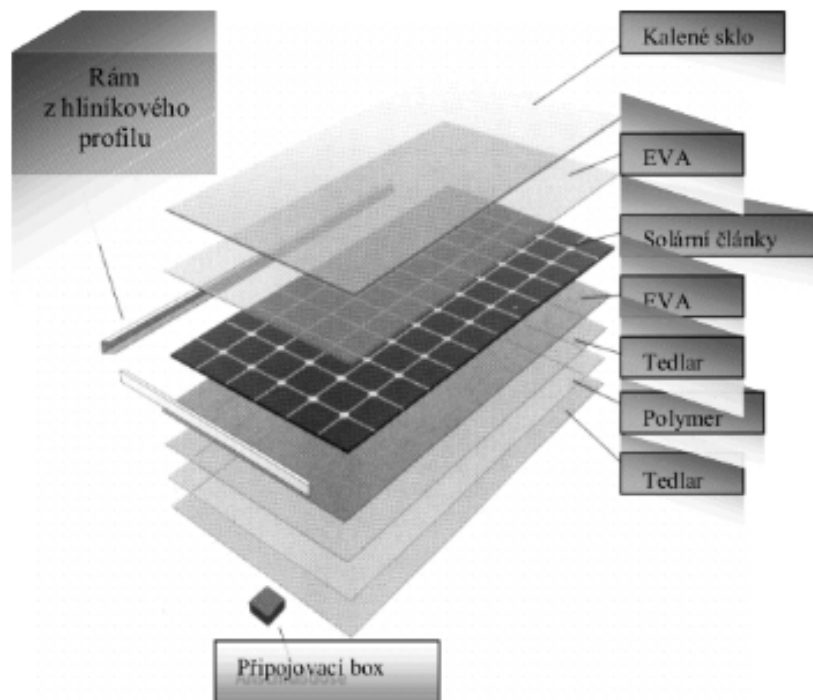
3.3 Fotovoltaické panely

Jelikož jsou fv články poměrně komplikovaná zařízení, která se musejí chránit před okolními vlivy prostředí (tzn. před případným znečištěním, mechanickým poškozením, větrem nebo atmosférickými srážkami jako jsou kroupy či déšť) je vhodné je spojovat dohromady. Sériovým nebo paralelním elektrickým propojením těchto článků vznikne fv panel, následně pak celé pole (*Obr. 3-4*).



Obr. 3-4 Skladba fv pole z modulů a skladba fv modulu z článků [9]

Konstrukce panelu nejčastěji vypadá následovně. Horní stranu tvoří speciálně tvrzené sklo, jenž propouští na článek co možná nejvíce světla, kombinované s pevným hliníkovým rámem. Zadní strana je uzavřena vysoce pevnou, vícevrstvou fólií z umělé hmoty (používá se materiál tedlar, flourpolymer, který nepropouští vodní páru) nebo druhou skleněnou destičkou. Modul je též utěsněn etylenvinylacetátovou fólií (EVA) a usazen do pevného rámu, který zlepšuje jeho manipulaci a stabilitu například při montáži například na střechu.



Obr. 3-5 Popis a konstrukce fv panelu [7]

Zvýšit efektivnost fv modulů lze prostřednictvím zvýšení intenzity záření na něj dopadajícího a jím pohlcovaného. K tomuto účelu jsou používány antireflexní vrstvy, které usnadňují vstup elektronů do fv článku. Průhledné sběrné kontakty tvaru mřížky na vrchní straně článku také eliminují určitou zastíněnou část na kterou dopadá záření.

Dalším významným zvýšením denní produkce elektřiny lze například dosáhnout montáží fv panelů na pohyblivý stojan, který sleduje slunce a zajistí tak trvalý, kolmý dopad slunečních paprsků v průběhu dne. Jako nejčastěji používané navádění slouží automatické natáčení kolem jedné osy, jenž přes den sleduje pohyb slunce na obloze. Zařízení je vybaveno stejnosměrným motorem otáčejícím fv moduly upevněné na ose dle polarity proudu na jednu či druhou stranu. U velkých systémů se obvykle využívá natáčení fv modulů ve dvou osách. Tento systém je pak řízen počítačem jenž má v paměti uloženou pozici slunce v každém okamžiku.

4 Druhy fotovoltaických systémů

4.1 Ostrovní (autonomní) provoz

Používají se všude tam, kde není k dispozici rozvodná síť a kde je potřeba střídavého napětí v místech bez elektrické infrastruktury (Indie, Afrika aj.). Z pravidla je to jediný systém který může jak v takových odlehlých místech zajistit alespoň základní energetické služby. Výkony se typicky pohybují v intervalu 0,1–10 kW špičkového výkonu. Důraz je zde kladen na minimální ztráty energie a používání energeticky úsporných spotřebičů. Tyto systémy se dále dají rozdělit na :

- s přímým napájením
- hybridní ostrovní systémy
- s akumulací elektrické energie

Systémy s přímým napájením

Používají se v místech, kde nevádí ten fakt, že je připojené elektrické zařízení funkční jenom po dobu dostatečné intenzity slunečního záření. Jedné se pouze o propojení fv panelu a spotřebiče.

Hybridní ostrovní systémy

Používají se v místech nutného celoročního provozu a tam kde je občas používáno zařízení s vysokým příkonem. Je zde nutné navrhovat zařízení i na zimní provoz, jelikož v toto roční období ze z fv zdroje možné získat poměrně méně elektrické energie než v létě. Systém se tedy vybavuje doplňkovým zdrojem elektřiny (malá vodní elektrárna, elektrocentrála, kogenerační jednotka atd.), který pokryje potřebu elektrické energie v obdobích s nedostatečným slunečním svitem.

Systémy s akumulací elektrické energie

Tyto systémy jsou nezávislé na elektrické síti a využívají se v místech, kde je potřeba elektrické energie i v období kdy dochází k absenci slunečního záření. Pro ukládání elektrické energie v tomto druhu izolovaného systému je dnes používáno výhradně elektrochemických zařízení jakými jsou akumulátory. Ty lze, například oproti bateriím, opakovaně nabíjet. Zde je tedy ukládán elektrický proud prostřednictvím chemických pochodů, které jsou vratné.

Olověné akumulátory

Jsou zřejmě nejrozšířenější vlivem jejich používání v automobilech. Skládají se z elementů spojených za sebou. Jmenovité napětí každého článku je 2,06 – 2,15V nabitého akumulátoru a 1,95 – 2,03V u vybitého, takže pro dosažení napětí akumulátoru 12V je nutno spojit 6 těchto galvanických článků. U fv zařízení je potřeba využívat kapacitu akumulátorů v širokém rozsahu a proto musejí snášet i hluboká vybití. Speciální fv akumulátory lze takto vybit až 2000x. Neexistuje standardní akumulátor, který by byl ve stejné míře vhodný pro všechny aplikace, takže jsou na trhu nabízeny startovací akumulátorové baterie, fv akumulátory či pevné akumulátory. Krom klasických olověných akumulátorů plněných kyselinou sírovou H_2SO_4 existují také typy gelové. Zde je H_2SO_4 zahuštěna vysoce disperzní kyselinou křemičitou.



Obr. 4-1 Olověný akumulátor [2]

Nikl-kadmiové akumulátory

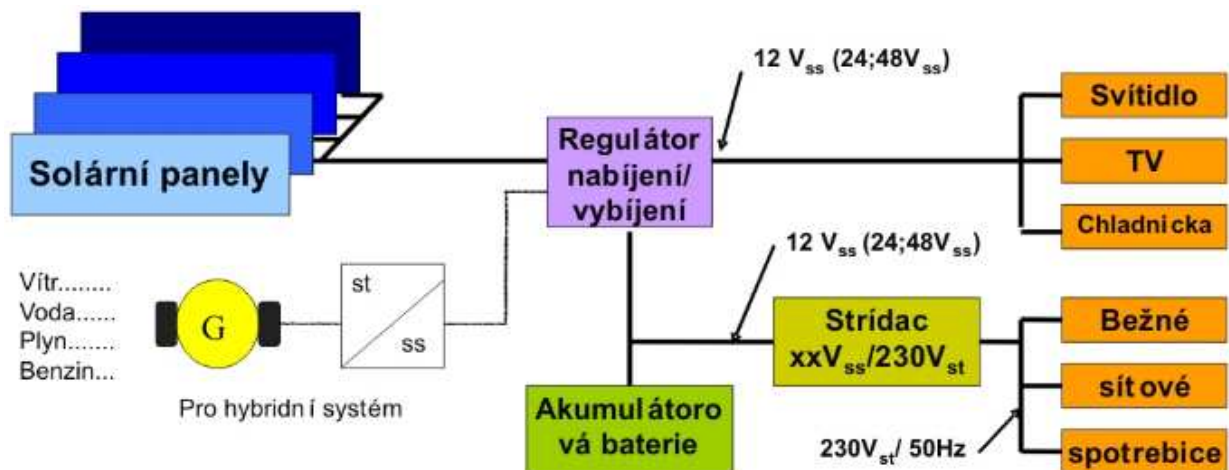
Jsou oblíbené u mobilních přístrojů především díky jejich menším rozměrům srovnatelných s rozměry baterií. Další výhodou je jejich na teplotě nezávislá pracovní schopnost. Na rozdíl od výše uváděného olověného akumulátoru mu svědčí občas i úplné vybití a následně plné nabití, neboť tím dochází k jeho mírné regeneraci.

Regulátor nabíjení

Je důležité zařízení zajišťující spojení mezi fv generátorem, akumulátorem a spotřebičem. Řídí správný průběh procesu nabíjení a vybití tak, že zajišťuje optimální nabíjení akumulátoru, aby se dosáhlo jeho největší životnosti. Poté zabráňuje vybití akumulátoru přes fv generátor a nakonec i chrání akumulátor před hlubokým vybitím. Jestliže zaregistruje příznaky hlubokého vybití, odpojí spotřebič od akumulátoru a zabrání tak možnému poškození.

Střídač (měnič)

Stejnosemý proud vyrobený ve fotovoltaických modulech je pro dodávku do sítě třeba přeměnit na proud střídavý předepsaných parametrů (230 V / 400 V, 50 Hz). Střídač musí dodávat co nejvyšší výkon. To je zajištěno především odstraněním transformátoru s následným snížením tepelných ztrát a užitím zařízení pro sledování bodu max.výkonu (MPP), které změnou vstupního odporu zajišťuje optimální chod střídače. Střídače pak při částečném zatížení dosahují účinnosti 93,2 - 94,8%.

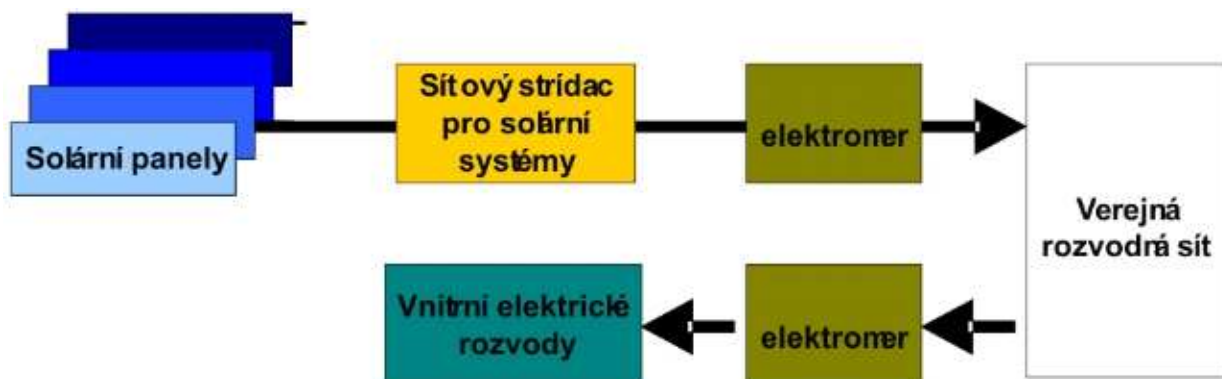


Obr. 4-2 Schéma systémů s akumulací elektrické energie [7]

4.2 Síťový provoz (grid-on)

Jedná se o systém připojený k elektrické síti. Je nejvíce uplatňován v oblastech s hustou sítí elektrických rozvodů. Jestliže je dostatečné množství slunečního svitu tak jsou spotřebiče nacházející se v budově napájeni vlastní vyrobenou solární elektřinou a případný přebytek je dodáván do veřejné rozvodné sítě. Špičkový výkon těchto zařízení se pohybuje řádově v hodnotách od jednotek kW až po desítky MW. Obvyklá domácí zařízení jsou zpravidla koncipována se jmenovitým výkonem od 1 do 10 kW, což odpovídá ploše fotovoltaického generátoru 10-100 m². Je však možné budovat solární zařízení o téměř libovolné velikosti. Velké solární zařízení s fotovoltaickými panely a dodávkou do rozvodné sítě si většinou pořizují zájemci, kterým zařízení přinese i jiné než ekonomické efekty a kteří si je mohou dovolit. Instalace se tak realizuje na budovách bank, hotelů či průmyslových konsorcií. Na fasádách těchto staveb se dají z fotovoltaických panelů udělat zajímavé mozaiky, které jsou navíc kromě jejich estetické hodnoty i účelné. Jeden z největších takto instalovaných fotovoltaických systémů v ČR se nachází na hotelu Corinthia v Praze.

Takto řešený systém solární elektrárny využívá i brněnská Pedagogická fakulta. Jde o skoro 400 fv panelů, její výstavba stála 19 miliónů korun a v provozu je od konce roku 2005. V létě ve dnech s největším osvitem má elektrárna pokrýt skoro celodenní spotřebu elektřiny ve škole se 6000 studenty a 300 odbornými pracovníky ve třech fakultních budovách.



Obr. 4-3 Schéma síťového systému [7]

5 Legislativa v ČR

Velmi důležitou roli v oblasti fv v ČR hraje Zákon číslo 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů), jehož hlavním přínosem by měla být stabilizace podnikatelského prostředí v oblasti obnovitelných zdrojů energie, zvýšení atraktivnosti těchto zdrojů pro investory a vytvoření podmínek pro vyvážený rozvoj OZE v ČR. Mezi další významné právní normy můžeme zařadit zejména tyto dokumenty: Bílá kniha o obnovitelných zdrojích energie (1997) Směrnice 2001/77/ES . Evropského parlamentu a Rady EU ze dne 27. září 2001 „o podpoře výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie na vnitřním trhu“, Vyhláška č. 475/2005. (novelizovaná vyhláškou č. 364/2007 Sb.), kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů, Vyhláška č. 150/07 Sb. a Cenové rozhodnutí ERÚ č. 5/2009. [7]

V roce 2009 byla Evropskou unií přijata nová legislativní opatření v rámci klimaticko-energetického balíčku, mezi nimi i nová směrnice o podpoře využívání obnovitelných zdrojů energie, která byla dne 5.6.2009 zveřejněna v Úředním věstníku Evropské unie č. L 140 jako Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES. Tato směrnice vstoupila v platnost 25.6.2009 Na rozdíl od směrnice 2001/77/ES, která se vztahovala (a stále ještě vztahuje) pouze na podporu výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů, se nová směrnice 2009/28/ES vztahuje i na podporu dalších energií z obnovitelných zdrojů, tj. konkrétně na elektrickou energii, energii pro vytápění a chlazení a energii v dopravě. Obsahuje souhrn opatření, která mají přispět k dosažení cíle nejméně 20% podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie Evropské unie v roce 2020. [7]

Tab. 5-1 Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny využitím slunečního záření [7]

Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30kW včetně a uvedeným do provozu od 1.1.2010 do 31.12.2010	12 250	11 280
Výroba elektřiny využitím slunečního záření po 1. lednu 2009 s instalovaným výkonem nad 30kW včetně a uvedeným do provozu od 1.1.2010 do 31.12.2010	12 150	11 180
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30kW včetně a uvedeným do provozu od 1.1.2009 do 31.12.2009	13 150	12 180
Výroba elektřiny využitím slunečního záření po 1. lednu 2009 s instalovaným výkonem nad 30kW včetně a uvedeným do provozu od 1.1.2009 do 31.12.2009	13 050	12 080
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu od 1. ledna 2008 do 31. prosince 2008	14 010	13 040
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu od 1. ledna 2006 do 31. prosince 2007	14 370	13 400
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu před 1. lednem 2006	6 850	5 880

*ceny nezahrnují daň z přidané hodnoty

5.1 Zákon č.180/2005 sb.

Jedná se o zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Jeho účelem je přispívat k šetrnému využívání přírodních zdrojů a trvale udržitelnému rozvoji. Dále má zajistit trvalé zvyšování podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě primárních energetických zdrojů a podpořit využití obnovitelných zdrojů energie. Pomáhá také snižovat emise CO₂

Zákon je kombinací systému pevných výkupních cen používaného např. v Německu nebo ve Francii se systémem zelených bonusů používaným ve Španělsku. Výrobce elektřiny má možnost vybrat si ze dvou na sobě nezávislých bezprostředních systémů podpory. Může nabídnout elektřinu provozovateli distribuční soustavy systémem minimálních výkupních cen. Provozovatel soustavy má v tomto případě povinnost veškerou vyrobenou elektřinu vykoupit. V systému zelených bonusů si výrobce elektřiny musí nejprve sám na trhu najít odběratele pro svojí elektřinu za tržní cenu. Od provozovatele distribuční soustavy po té navíc obdrží prémii v podobě zeleného bonusu. Předpokládá se, že součet tržní ceny elektřiny a zeleného bonusu by měl výrobcí zajistit vyšší výnos než v systému pevných výkupních cen. Výrobce vyrábějící elektřinu pro svou vlastní spotřebu, má rovněž nárok na úhradu zeleného bonusu. Uhradí mu ho provozovatel té distribuční soustavy, na jejímž vymezeném území se výrobce nachází. Poté, co si výrobce závazně z těchto dvou možností jednu vybral a začal ji využívat, může další změnu systému provést nejdříve za rok. A to vždy pouze k 1. lednu následujícího kalendářního roku.

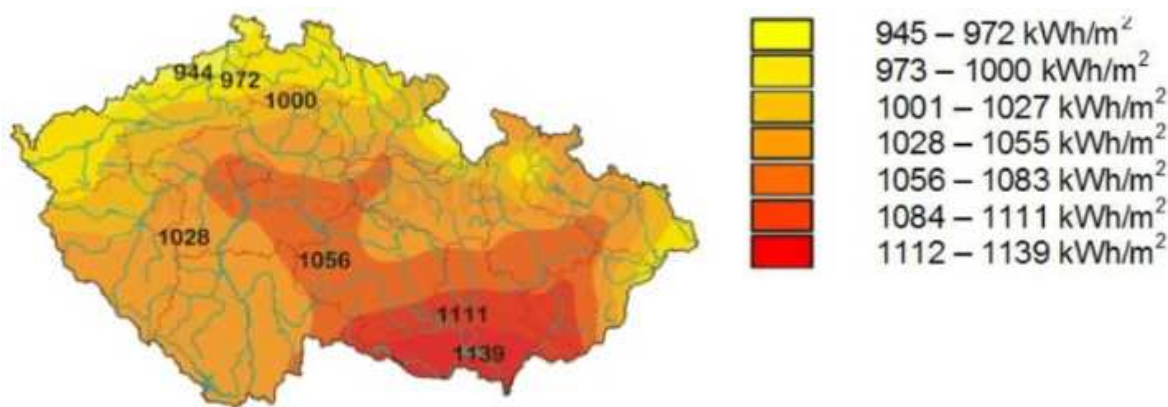
5.2 Fotovoltaická krize

V současné době je v ČR možné pozorovat velmi dynamické změny v oblasti povolování nových fv elektráren. Na našem území dochází v posledních letech takřka extrémnímu rozvoji velkých fv instalací sloužící výhradně komerčním účelům. Zatímco k 1.1.2008 byl instalovaný výkon fv elektráren v ČR 3,4 MW, ke konci roku 2009 dosáhl hodnoty 411 MW. Podle Českého sdružení regulovaných elektroenergetických společností činil k 31.1.2010 součet potenciálního výkonu již schválených připojení fv a větrných elektráren 8063 MW. Ke stejnému datu existují žádosti o celkovém výkonu 2352 MW s již uzavřenou smlouvou o připojení. Za předpokladu, že by tento trend pokračoval a docházelo by k uvádění dalších zdrojů do provozu, je zde reálná obava o stabilitu elektrické rozvodné sítě, kterou spravuje a dispečersky řídí společnost ČEPS. Ta se také pod vlivem těchto možných rizik odhodlala k ráznému kroku a na začátku února požádala distributory elektrické energie, aby nadále nevydávali kladná stanoviska pro další připojení fv a větrných elektráren. Tomuto doporučení následně bylo distributory vyhověno. Nejdříve se tento stop stav vztahoval i na malé solární elektrárny instalované na střechách rodinných domů. Po několika dnech se ale ministři průmyslu a životního prostředí dohodli, že instalace o velmi malém výkonu budou do sítě nadále připojovány [6].

6 Fotovoltaické elektrárny v ČR

Získávání solární energie v ČR je samozřejmě ovlivněno mnoha faktory. Patří mezi ně především zeměpisná šířka, roční doba, oblačnost a lokální podmínky, sklon plochy na níž sluneční záření dopadá a další. Celkový instalovaný výkon na počátku roku 2010 přesáhl 411 MW. V ČR solární elektrárny rostou zejména na jižní Moravě. V Dubňanech na Hodonínsku byla nedávno otevřena jedna z největších solárních elektráren v Česku. Její instalovaný výkon je 2,1 MW, rozloha 7 hektarů. Podobně výkonná větrná elektrárna zabere přitom plochu několikanásobně menší. Přesto je mezi investory o pozemky pro umístění fv panelů velký zájem. Řada starostů potvrzuje, že je již firmy oslovily s žádostí o vyhledání vhodných ploch. Několik zájemců nyní evidují třeba v Mikulově na Břeclavsku. Pro fv panely tam vyčlenili přes 20 hektarů polí. Největší solární elektrárnu v ČR plánují ve Dvoře Králové nad Labem na Trutnovsku. Park má dosahovat výkonu 3,8 MW za 400 milionů Kč [9].

Další velká elektrárna se nachází v obci Ostrožská Lhota na Zlínsku. Poslední etapa výstavby byla dokončena v roce 2009. Celkový instalovaný výkon elektrárny dosahuje 2,25 MW. Roční dodávka energie činí 2,250 GWh (spotřeba cca 700 domácností). Je zde umístěno 11880 ks fv panelů s celkovou plochou 5000 m².



Obr. 6-1 Průměrná roční intenzita slunečního záření v ČR [5]

7 Mobilní systém s fotovoltaickým panelem

S ohledem na požadavky kladené na navrhovanou konstrukci je potřeba zvolit nejvhodnější variantu, jejímž směrem se bude návrh dále ubírat. Součástí výběru vhodné varianty je především volba rozměrů vycházejících z parametrů zařízení instalovaném na konstrukci.

Navrhnutý fv systém je realizován v podobě mobilního plošinového vozíku, na kterém je umístěn monokrystalický fv panel firmy SOLARTEC STR36-50 / 12 (*Obr. 7-1*); (*Příloha 1*). Panel je možné převážet a naklánět podle potřeby měření vlastností solárního systému v různých provozních podmínkách.

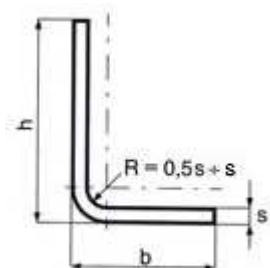


Obr. 7-1 Fv panel SOLARTEC STR36-50 / 12

7.1 Konstrukce mobilní části systému

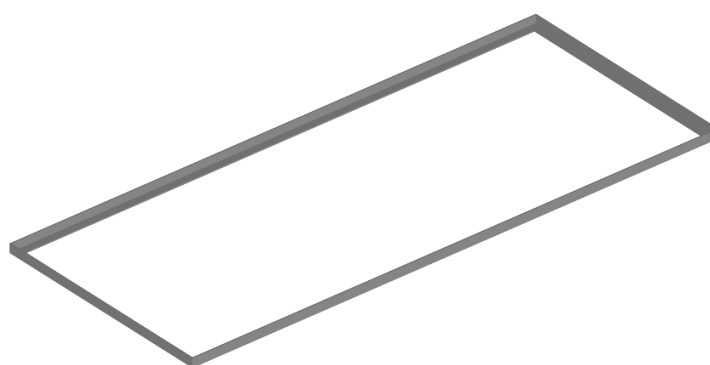
Při návrhu konstrukce je třeba zvolit materiál splňující všechny požadavky konstrukce. Je třeba brát ohled na již zvolené rozměry, požadavky na usnadnění výroby, montáž konstrukce a realizaci povrchové úpravy. Konstrukce je navržena pro možnost vertikálního pohybu fv panelu. Nezbytnou částí je pak vyřešení upevnění panelu na konstrukci. Použitý materiál byl vybrán a zakoupen u společnosti Feromat Brno, s.r.o., která nabízí široký výběr hutního materiálu, který připraví včetně nadělení podle požadavků. Model a výkresová dokumentace byly vytvořeny v programu AutoCAD 2006.

Základem konstrukce mobilního vozíku jsou čtyři ocelové ohýbané profily typu L 20x20x3 mm (Obr. 7-2). Tyto profily jsou nařezány dle předepsaných rozměrů a svařeny k sobě a tvoří nám obdélníkový rám ložné plochy (Obr. 7-3). Rozměry rámu jsou navrhnuté s ohledem na stabilitu, rozměry fv panelu a jeho následné uchycení.



Šířka menšího ramene	b	20 mm
Šířka většího ramene	h	20 mm
Tloušťka ramen	s	3 mm

Obr. 7-2 Otevřený L profil, rovnoramenný

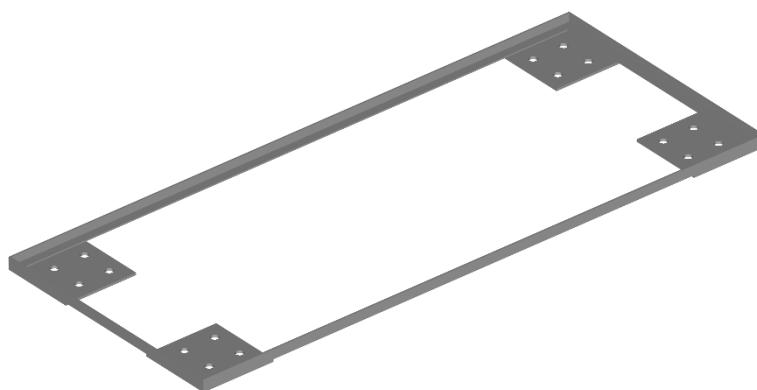


Obr. 7-3 Model rámu ložné plochy svařeného z L profilů

Čtyři ocelové plochy nařezané z pásoviny o rozměrech 150x150x5 mm (Obr. 7-4) tvoří nejen základ pohybové části konstrukce, ale také zajišťují stabilitu a odolnost celého ložného rámu. Ocelové plochy jsou svařeny v každém rohu na spodní stranu rámu a do každé z nich jsou vyvrtány čtyři díry na upevnění kol.



Obr. 7-4 Ocelové plochy z pásoviny

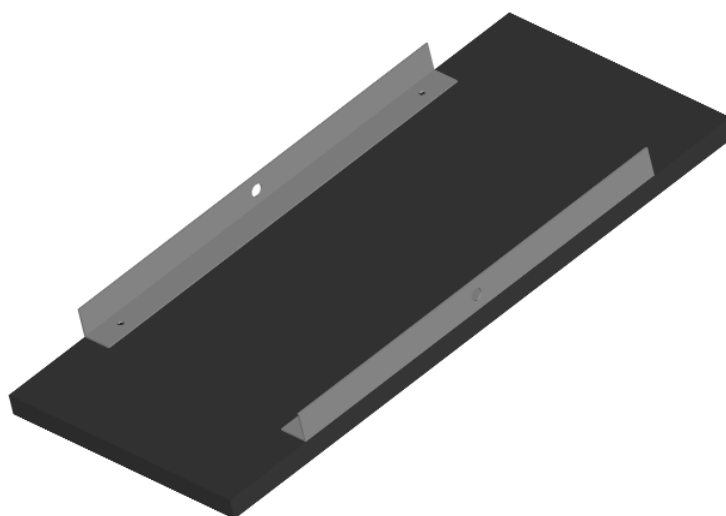


Obr. 7-5 Model rámu ložné plochy svařený k ocelovým plochám z pásoviny

Uchycení samotného fv panelu zajišťují také ocelové profily typu L tentokrát o rozměrech 50x50x3 mm (Obr. 7-6), které jsou po vyvrtání připevněny do rámu panelu na každé straně dvěma celozávitovými šrouby M6 se šestihřannou hlavou a samojistnými maticemi.

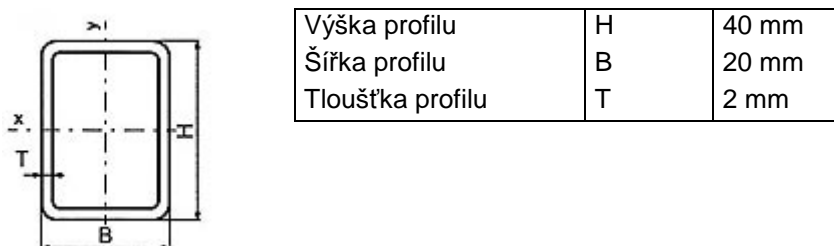


Obr. 7-6 Otevřený L profil, rovnoramenný a závitová tyč M10

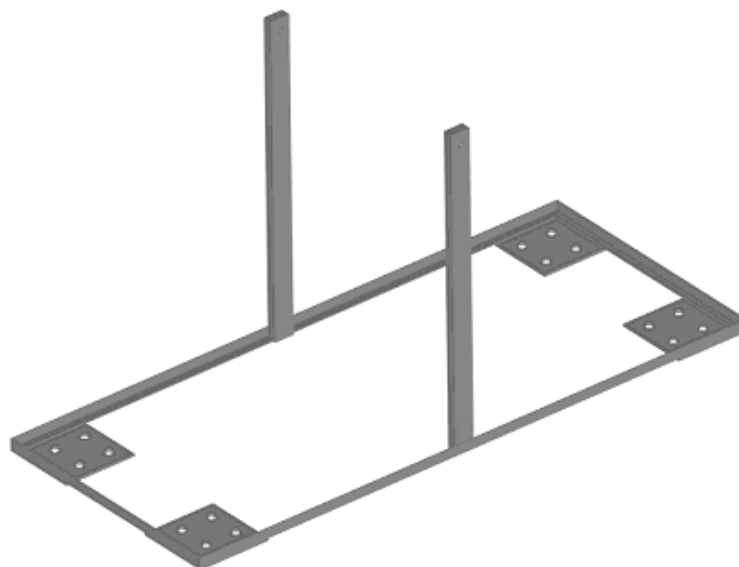


Obr. 7-7 Model uchycení fv panelu pomocí L profilů

Při návrhu nosné konstrukce je také třeba vyřešit otázku připevnění fv panelu, který není příliš levnou záležitostí, a proto musí být připevněn tak, aby při pohybu konstrukce nebo důsledkem působení přírodních vlivů (v našem případě zejména větru) nedošlo k jeho samovolnému uvolnění s následným poškozením. Nosná konstrukce je řešena pomocí ocelových uzavřených profilů s obdélníkovým průřezem o rozměrech 40x20x2 mm (*Obr. 7-8*) mezi které je uložen fv panel. Tyto profily jsou svařeny z každé strany na vnitřní stěnu ocelového obdélníkového rámu, který tvoří ložnou plochu (*Obr. 7-9*).



Obr. 7-8 Profil uzavřený svařovaný černý s obdélníkovým průřezem



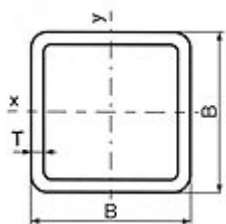
Obr. 7-9 Model nosné konstrukce pro fv panel z uzavřených obdélníkových profilů

Následné uložení fv panelu do nosné konstrukce je řešena pomocí vyvrtaných děr a závitové tyče o průměru odpovídajícímu šroubu M10, která je z každé strany upevněna ovládacím hvězdicovým prvkem (*Obr. 7-10*). Samotná možnost vertikálního natáčení panelu (dle potřeby měření) je pak dána právě tímto hvězdicovým prvkem, který po jeho povolení umožní manuální otáčení panelu.



Obr. 7-10 Ovládací hvězdicový prvek na M10

Uzavřené profily o rozměrech 20x20x2 mm (*Obr. 7-11*), které jsou svařené jak k samotnému ložnému rámu, tak k nosné konstrukci fv panelu představují robustní „klecovou“ řídicí konstrukci celého systému (*Obr. 7-13*). Díky tomuto provedení se zmírňují požadavky na namáhání nosné konstrukce při pohybu.

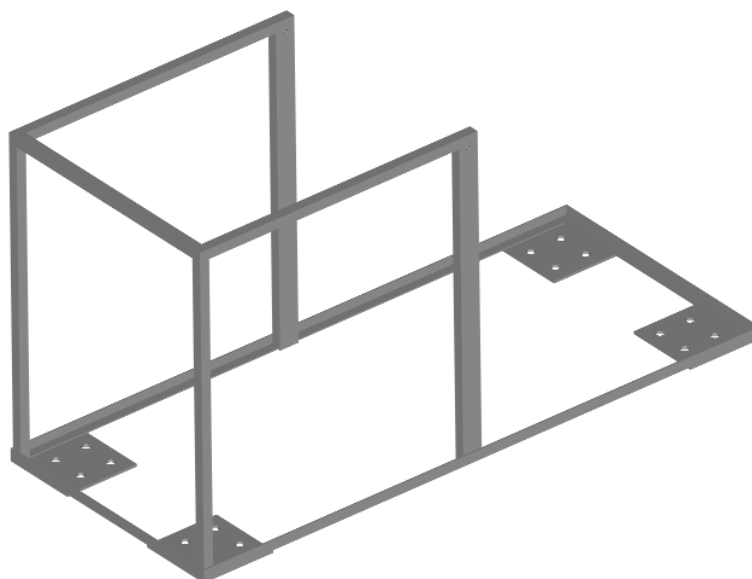


Délka profilu	B	20 mm
Tloušťka profilu	T	2 mm

Obr. 7-11 Uzavřený svařovaný profil, černý se čtvercovým průřezem



Obr. 7-12 Ocelové otevřené L a uzavřené čtvercové profily



Obr. 7-13 Ocelová konstrukce mobilního vozíku

Vlastní ložná plocha je z OSB desky (z anglického Oriented Strand Board) o rozměrech 1200x510x22 mm (*Obr. 7-14*), což jsou plošně lisované desky z rozprostřených velkoplošných štěpek (neboli velkých plochých hoblin). OSB desky jsou sestavené ze tří vrstev a vázané při určité teplotě a tlaku, pojivem z umělé vodovzdorné pryskyřice. OSB desky se používají hlavně jako konstrukční desky v místech s vysokými nároky na mechanické vlastnosti. Jejich použití je vhodné u konstrukce desky stěn, přepážek, podlah, střešních záklopů a při realizaci mnoha dalších konstrukcí. OSB deska je vsazena do rámu, který je tvořen čtyřmi L profily jenž jsou k sobě svařeny. Rozměry rámu jsou 1200x510 mm. Do tohoto rámu je následně vyvrtáno deset děr pro upevnění OSB desky jako ložné plochy. Upevnění desky a stabilita je zajištěna vruty do dřeva s půlkulatou hlavou o rozměrech 5x20 mm.



Obr. 7-14 Ložná plocha z OSB desky

Pohybovou část celé konstrukce tvoří čtyři transportní kolečka, z nichž jsou dvě kolečka pevná a dvě otočná s brzdou, které nám umožňují manuální řízení konstrukce (*Obr. 7-15*). Každé kolečko je upevněno přes plochu přírubu do ocelové plochy z pásoviny čtyřmi celozávitovými šrouby M8x16 se šestihrannou hlavou a samojistnými maticemi.

Při výběru koleček musíme brát ohled na účel použití celé konstrukce na její vlastní hmotnost a maximální hmotnost nákladu. Mobilní vozík bude využíván především v exteriéru a nebude sloužit pro přepravu a manipulaci s velkou zátěží. Podle těchto požadovaných parametrů byly zvoleny transportní kolečka o průměru 125 mm a nosností do 100 kg. Obruč kol je z černé pryže a disk je kovový s krytem proti namotávání vláken. Kola mají nízký rozjezdový odpor. Teplotní odolnost kol je od -10 do +60 °C.

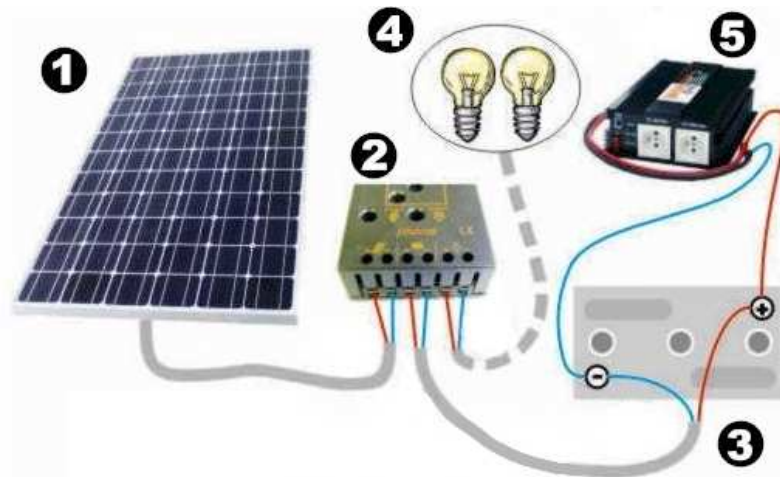


Obr. 7-15 Transportní kolečko pevné a otočné s brzdou

V neposlední řadě je také třeba navrhnout způsob povrchové úpravy konstrukce. Tato úprava zabrání vzniku nežádoucí koroze ocelových dílů na povrchu konstrukce. Jedním z mnoha možností, jak chránit konstrukci před korozí, je použití nátěrových antikoročních hmot. Díky velkému množství druhů nátěrových hmot, včetně barev zvyšující korozní odolnost, se touto oblastí zabývá velké množství firem. Tento způsob ochrany dnes patří mezi nejpoužívanější.

7.2 Zapojení fotovoltaického systému

Navrhnutý fv systém pracuje v takzvaném ostrovním (grid-off) provozu tj. není závislý na elektrické síti a pro ukládání elektrické energie využívá akumulátor.



Obr. 7-16 Blokové zapojení fv systému

(1-solární panel; 2-regulátor napětí; 3-baterie; 4-spotřebiče 12V; 5-měnič na 230V)

Fv panel SOLARTEC STR36-50 / 12 je zapojen k solárnímu regulátoru PHOCOS CX10 (*Obr. 7-17*); (*Příloha 2*), který je „srdcem“ fv systému a slouží pro řízené dobíjení a ochranu akumulátoru proti přebíjení proudem z fv panelu. Umožňuje řízenou akumulaci elektřiny pro použití v noci nebo v době s nepříznivým osvětlením solárního panelu. Je vybaven malým displejem a jednoduchým tlačítkem je možné programovat jeho funkce. Na regulátor je možné připojit spotřebiče na 12V jako jsou např. žárovky.



Obr. 7-17 Solární regulátor PHOCOS CX10

Elektrinu generovanou solárním panelem je nutno v ostrovních solárních systémech skladovat, aby ji poté bylo možno využít. Solární akumulátory jsou v současnosti nejvhodnějším a nejvíce osvědčeným řešením. V našem případě použijeme solární akumulátor firmy VARTA 12V 100Ah Solar (*Obr. 7-18*); (*Příloha 3*), který zajišťuje spolehlivou dodávku energie ze systému a je stejně jako fv panel připojen k regulátoru.



Obr. 7-18 VARTA 12V 100Ah Solar

Přednosti solárních akumulátorů:

- vyšší odolnost proti hlubokému vybíjení
- nízký minimální nabíjecí proud
- nízké samovybíjení (1-3% za měsíc)
- dlouhá životnost (vysoký počet pracovních cyklů)
- vysoká akumulace el. Energie
- gelové - žádné riziko vytečení při překlopení
- dobré ekologické vlastnosti (nízké emise nabíjecího plynu)
- minimální nároky na údržbu (doplnění elektrolytu 1x ročně)
- o 60% větší cyklovatelnost než startovací a trakční akumulátory

K akumulátoru je připojen ještě měnič napětí SP 300 12V/230V (*Obr. 8-19*); (*Příloha 4*), který nám mění stejnosměrné 12V napětí na střídavé 230V a v případě potřeby umožňuje na toto napětí připojit další spotřebiče. Měnič je vybaven ochranami proti vybití baterie, přepólování přívodu a proti přetížení a přehřátí zdroje.



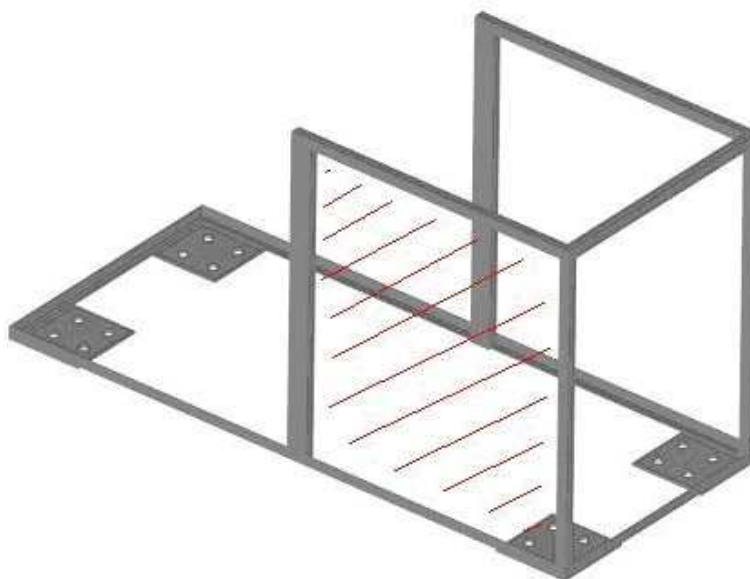
Obr. 7-19 Měnič napětí SP 300 12V/230V

7.3 Konstrukce měřicí části systému

Pracovní plocha mobilního fv systému je z lamino desky o rozměrech 580x840x12 mm (*Obr. 7-20*). Jedná se o povrchově upravenou dřevotřískovou desku. Deska je vložena do boku ocelové konstrukce mobilního vozíku (*Obr. 7-21*) a je upevněna skrze nosné profily fv panelu čtyřmi vruty do dřeva s půlkulatou hlavou o rozměrech 5x30 mm.



Obr. 7-20 Pracovní plocha z lamino desky



Obr. 7-21 Usazení pracovní plochy

Pro vyhodnocování činnosti fv systému je potřeba získat data určitého charakteru. Jde zejména o hodnoty elektrických veličin a informací o nastavení systému a to v přesně daném časovém okamžiku. Tyto údaje se v našem případě získávají pomocí dvou analogových stejnosměrných panelových voltmetrů. Měřící rozsah je do 30V s přesností 2,5% (Obr. 7-22) a dvou stejnosměrných digitálních wattmetrů měřící rozsah napětí je 3,3 – 50V, proud do 70A (Obr. 7-22) a lze s nimi měřit:

- Okamžitý proud - měří okamžitý odebíraný proud
- Výkon/příkon - měří okamžitý příkon
- Napětí zdroje - měří okamžité napájecí napětí
- Protékaný elektrický náboj - umožňuje měřit kapacitu akumulátorů, zbytkovou kapacitu, sledovat vybíjení akumulátoru za normálního provozu.



Obr. 7-22 Stejnosměrný wattmetr a voltmetr

Posledním diagnostickým měřicím přístrojem je externí měřič spotřeby elektrické energie (*Obr. 7-23*). Měřič je určený k zjištění spotřeby elektrické energie spotřebičů. Umožňuje sledování výdajů za elektrickou energii a předpovídání výdajů výpočtem (za den, měsíc, rok). Má paměť pro záznam maximálního dosaženého příkonu a zobrazuje údaj o celkové spotřebě v kWh za libovolné období. Přístroj je určen pro měření spotřeby spotřebičů o příkonu do 3,6kW. Minimální zobrazený odběr je 4W s rozlišením 1W. Měřič pracuje na rozdíl od předchozích měřicích přístrojů se střídavým provozním napětím 230V / 50Hz, při maximálním proudu 16A. Zapojuje se standardně do zásuvky, která je další součástí pracovní plochy mobilního fv systému a je možné do ní zapojit libovolný spotřebič. Aby nedošlo k náhodnému dotyku živé části je zadní část zásuvky chráněna umělohmotnou krabičkou, do které vede 3-vodičový prodlužovací kabel z měniče napětí.

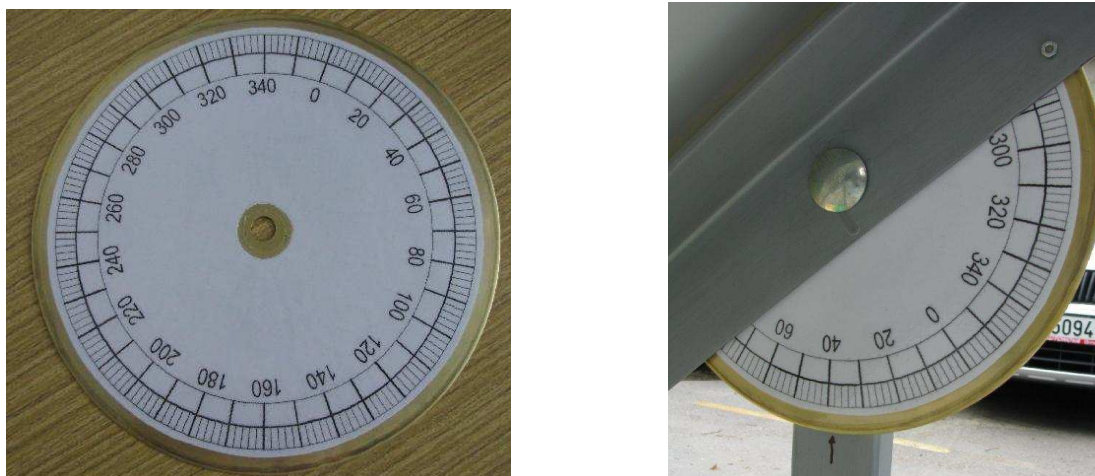


Obr. 7-23 Měřič spotřeby elektrické energie

Při práci s měřicími přístroji je potřeba brát v úvahu maximální limity pro proudové zatížení, rozsah napětí a je nutné dbát na dodržení správné polaritě aby nedošlo k poškození důsledkem prepólování.

Na pracovní desce je dále umístěn regulátor, který zajišťuje řízenou akumulaci energie do akumulátoru a chrání jej proti přebíjení (*Obr. 7-17*); (*Příloha 2*). Regulátor se během normálního provozu zahřívá, což v našem případě nehraje velkou roli, protože fv systém se bude využívat převážně venku. Nároky na údržbu a servis jsou minimální. Nastavování regulátoru je automatické a jakmile je napájen energií z akumulátoru nebo fv panelu sám se seřídí na napětí 12V nebo 24V, které se zobrazí na displeji. Další užitečnou funkcí je zobrazení úrovně nabití akumulátoru v procentech a funkce odpojení při nízkém napětí. Regulátor má 5 různých úrovní ochrany akumulátoru, které jsou podrobně popsány v manuálu.

Při měření na fv panelu venku a pro následné vyhodnocení výsledků je nezbytné znát úhel naklonění panelu. V počátcích návrhu konstrukce mobilního fv systému byla pro tento účel vybrána digitální vodováha, která by se uchytila na ocelové profily které panel drží. Toto řešení by však bylo finančně nákladné. Jako alternativu byl navrhnut kruhový úhломěr, který je vložen mezi ocelové profily panelu a nosnou konstrukci. Úhломěr oproti digitální vodováze měří sice v omezeném rozsahu 0 - 75° ale pro potřeby měření tento rozsah postačuje.



Obr. 7-24 Úhломěr

Regulovatelná odporová dekáda (*Obr. 7-25*) která není součástí pracovní plochy fv systému, je umístěna na ložné ploše vozíku a je potřebná při měření voltampérových charakteristik fv panelu.



Obr. 7-25 Regulovatelná odporová dekáda

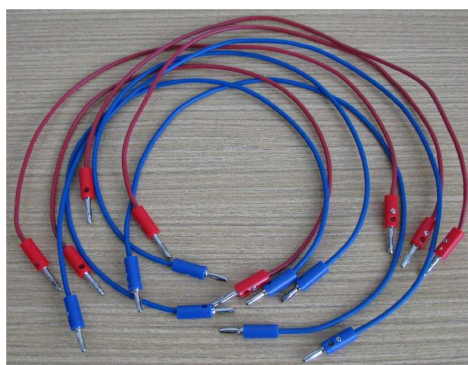
Přístrojové zdířky (*Obr. 7-26*) jsou přehledně rozmístěny na pracovní ploše a tvoří nedílnou část pro zapojení a propojování jednotlivých přístrojů a součástí. Na zadní část zdířek jsou připojeny přístroje pomocí tzv. fastonů. Aby nedošlo k nechtěnému přepólování jsou vzájemně odlišeny barvami a u každé zdířky je uvedena polarita. Pro víceúčelová měření je pak navíc z těchto zdířek sestavené tzv. propojovací pole.



Obr. 7-26 Přístrojové zdířky a faston

Propojování jednotlivých přístrojů a součástí je řešeno pomocí kabelů s banánky (*Obr. 7-27*), které se dle potřeby měření propojují se zdířkami. Tyto kabely pro vedení stejnosměrného elektrického proudu se skládají z měděných vodičů zabezpečených umělohmotnou izolací. Tyto žíly jsou pak společně obaleny pláštěm, který zamezuje jejich poškození vlivem mechanického namáhání a koroze. Je nezbytné používat kabely s dostatečným průřezem vodiče. V našem případě jsme použily kabely s průměrem 2,5 mm které zajišťují dostatečnou proudovou odolnost. Vodiče jsou lankového typu, pro jejich vysokou ohebnost. Izolace vodičů má veliký bezpečnostní význam, nejen že zabraňuje osobám a předmětům v kontaktu s vodičem pod napětím, ale zamezuje i zkratům ve vedení.

Akumulátor současně s měničem napětí je umístěn na ložné ploše mobilního plošinového vozíku. Propojení s přístroji na zadní část pracovní plochy je řešeno pomocí kabelů s krokosvorkami.



Obr. 7-27 Propojovací kabely s banánky a s krokosvorkami

Na pracovní desce je dále připevněna objímka s žárovkou a vypínač, kterým je možno vyzkoušet funkčnost fv panelu. Přední část pracovní desky s jednotlivými přístroji a součástmi pro měření a zadní část s připojením kabely pomocí fastonů jsou zobrazeny na (Obr. 7-28).



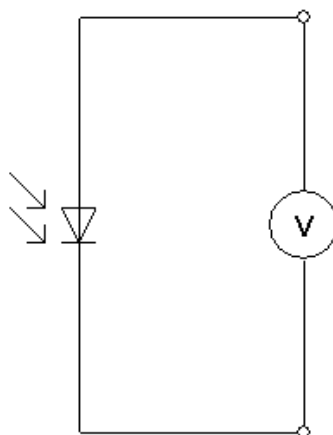
Obr. 7-28 Přední a zadní část pracovní plochy s příslušenstvím

8 Měření parametrů mobilního fotovoltaického systému

Základní parametry fv článků jsou popsány voltampérovou charakteristikou, která je dána závislostí proudu na napětí. Z této charakteristiky lze získat významné informace, které mohou být dále použity při posuzování kvality článků. Měřený fv panel se skládá z pole (9 x 4) fv článků zapojených do série.

8.1 Měření naprázdno

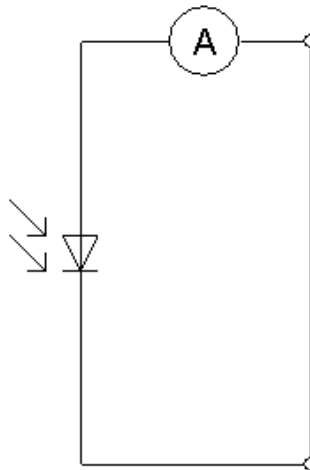
Napětí naprázdno U_{OC} je napětí na kontaktech (svorkách) panelu, na kterém není připojena žádná zátěž. Toto napětí je maximálním napětím při dané teplotě a intenzitě osvětlení. Měříme ho pomocí paralelně připojeného voltmetru, který by měl mít co největší vnitřní odpor, aby nedocházelo k zatěžování panelu (*Obr. 8-1*).



Obr. 8-1 Schéma zapojení pro měření napětí naprázdno

8.2 Měření nakrátko

Dalším důležitým parametrem pro měření voltampérové charakteristiky je proud nakrátko I_{SC} . Velikost proudu nakrátko se pohybuje řádově v desítkách mA, až jednotek A podle velikosti panelu. Proud nakrátko měříme pomocí připojeného ampérmetru zapojeného do série s f_v panelem a se zkratovanými výstupními svorkami (Obr. 8-2).



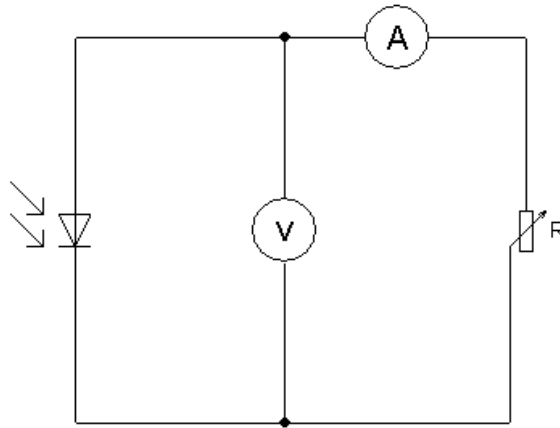
Obr. 8-2 Schéma zapojení pro měření proudu nakrátko

Toto měření je však doprovázeno chybou, protože ampérmetr nemá nulový vnitřní odpor (cca $100\text{m}\Omega$) a na f_v panelu se potom objeví napětí. Tuto chybu lze následně odstranit pomocí speciální metody měření nebo počteně pokud známe sériový odpor panelu. Pokud je vnitřní odpor ampérmetru výrazně menší než sériový odpor panelu lze tuto chybu zanedbat.

8.3 Měření voltampérové charakteristiky

Měření charakteristik f_v panelu bylo prováděno v laboratorních prostorech za použití žárovkových světelných zdrojů a následně pak venku. f_v panel byl osvětlován ze zdroje světla a na jeho výstupní svorky byly zapojeny měřící obvod, který se skládá z voltmetru, ampérmetru a odporovou dekádou s proměnným odporem (Obr. 8-3). Voltmetr je zapojen přímo paralelně na svorky měřeného panelu, abychom neměřili navíc úbytek napětí na sériově zapojeném ampérmetru. Odporová dekáda musí být vhodně vybrány tak, abychom mohli pokud možno proměřit celou voltampérovou charakteristiku a zároveň aby nedošlo k jejich přetěžování ztrátovým výkonem v podobě tepla. Poměr napětí naprázdno U_{OC} a proudu nakrátko I_{SC} by měl být několikanásobně menší (8.1). Odporová dekáda s možností regulace $0,1\Omega - 10\text{k}\Omega$ nám v tomto případě stačila.

$$\frac{U_{oc}}{I_{sc}} \ll R \quad (8.1)$$



Obr. 8-3 Schéma zapojení pro měření voltampérové charakteristiky

Při dané intenzitě jsme změřili napětí naprázdno U_{OC} pomocí voltmetru při odpojené odporové zátěži a proud nakrátko I_{SC} podle zapojení z (Obr. 8-1) a (Obr. 8-2). Podle zapojení z (Obr. 8-3) jsme poté plynulou regulací odporové dekády nastavovali hodnoty napětí na svorkách f_v panelu od 0 V až po napětí naprázdno U_{OC} . Pro každou nastavenou hodnotu napětí jsme odečetli proud na ampérmetru. Jedním z velmi důležitých parametrů je maximální možný výkon P_m při maximálním napětí panelu U_m a proudu I_m (8.2), který je možné ze solárního článku odebrat.

$$P_m = U_m \times I_m \quad (8.2)$$

Optimální pracovní bod panelu MPP je dán právě maximálním výkonem panelu P_m . Proto jsme voltampérové charakteristiky kolem tohoto bodu důkladně proměřili. Dále jsme určili vnitřní odpor panelu R_m při maximálním výkonu P_m podle rovnice (8.3).

$$R_m = \frac{U_m}{I_m} \quad (8.3)$$

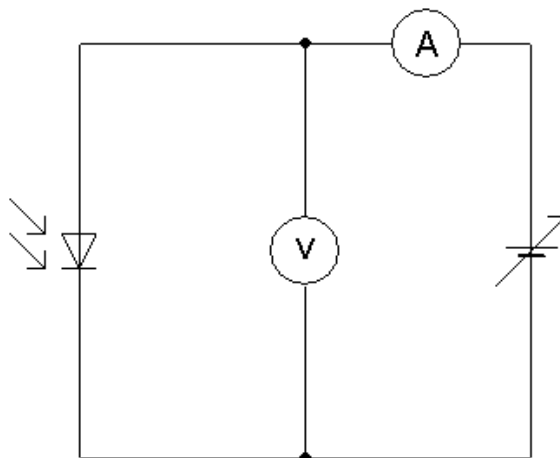
Z naměřených hodnot napětí naprázdno U_{OC} , proudu nakrátko I_{SC} a z určených hodnot napěťové a proudové souřadnice bodu MPP jsme vypočítali činitele plnění f_v panelu neboli fill faktor podle vztahu (8.4).

$$FF = \frac{P_m}{U_{oc} \times I_{sc}} = \frac{U_m \times I_m}{U_{oc} \times I_{sc}} \quad (8.4)$$

Účinnost přeměny slunečního záření fv panelu je dána vztahem (8.5)

$$\eta = \frac{P_m}{A_c \times E} \quad (8.5)$$

Pomocí regulovatelného zdroje nahrazeného místo odporové dekády (Obr. 8-4) jsme pak proměřili závěrnou charakteristiku fv panelu.



Obr. 8-4 Schéma zapojení pro měření závěrné voltampérové charakteristiky

Jakmile známe průběh AV charakteristiky, je možné z ní podle vztahu (8.6) určit hodnotu paralelního odporu R_{SH} a sériového odporu R_{SO} , které můžeme považovat za měřítko kvality fv panelu. Příliš vysoká hodnota sériového odporu způsobuje, že svorkové napětí panelu bude tím menší, čím větší bude úbytek napětí na sériovém odporu. Naopak příliš nízká hodnota paralelního odporu nás informuje o vadném panelu.

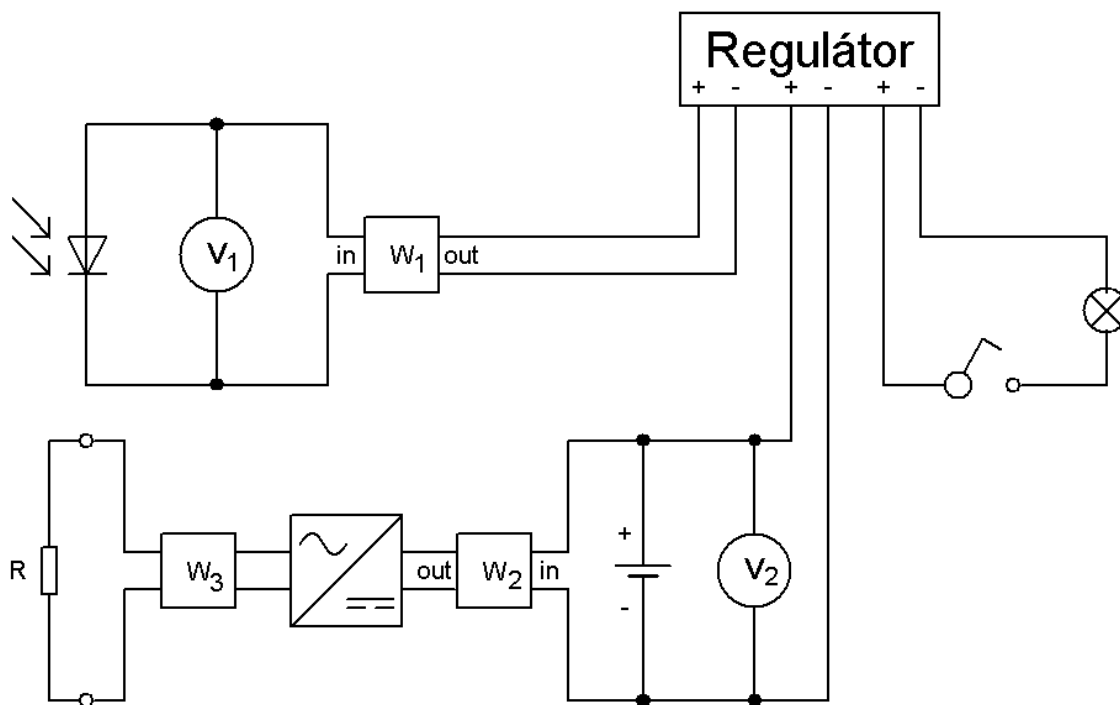
$$R_{SH} = \frac{\Delta U_{SH}}{\Delta I_{SH}} \quad (8.6)$$

V tomto vztahu ΔU_{SH} a ΔI_{SH} jsou rozdíly dvou zvolených (naměřených) bodů (co nejvíce vzdálených) v lineární oblasti před kolenem voltampérové charakteristiky. Stejným způsobem se podle vztahu (8.7) určí také sériový odpor měřeného fv panelu v oblasti za kolenem voltampérové charakteristiky.

$$R_{SO} = \frac{\Delta U_{SO}}{\Delta I_{SO}} \quad (8.7)$$

Možnost zapojení autonomního fv systému je velmi variabilní a záleží pouze na uživateli co v danou chvíli pomocí diagnostických přístrojů potřebuje měřit. Dle schématu (Obr. 8-6) lze

například měřit napětí, proud, výkon a proteklý náboj / kapacitu, který dodává fv panel do akumulátoru. Obdobně je možné měřit tyto veličiny, které z akumulátoru odebírá uživatelem zvolený spotřebič atd.



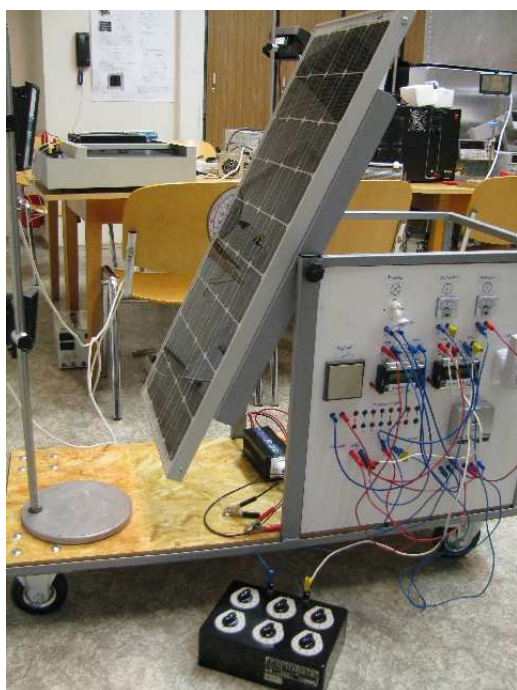
Obr. 8-5 Schéma jednoho z několika možných zapojení fv systému

9 Výsledky měření

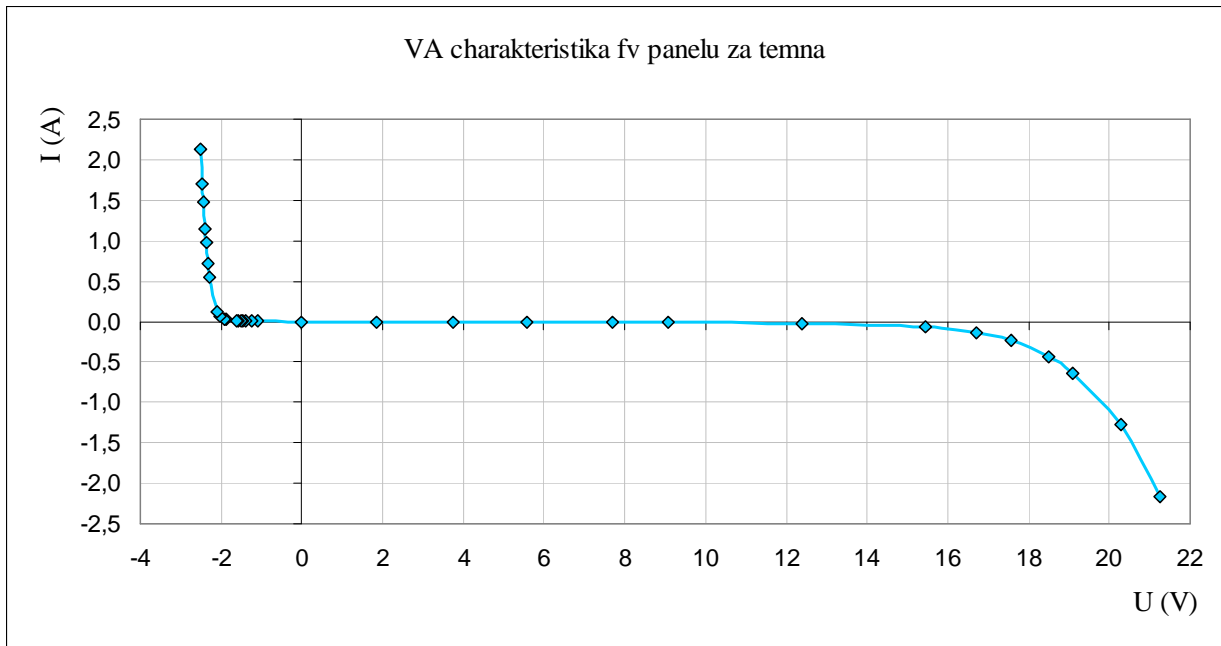
9.1 Měření voltampérové charakteristiky za temna

Výstupní charakteristiky solárních panelů jsou značně ovlivněny tím, jsou-li jednotlivé články ozářeny různou úrovní. Zastínění solárního článku nejen ovlivní výstupní výkon, ale také mění hodnotu napětí naprázdno U_{OC} , hodnotu proudu nakrátko I_{SC} , faktor plnění FF i výslednou účinnost panelu. Při lokálním zastínění některého z článků je ovlivněn ve výsledku výstup z celého panelu.

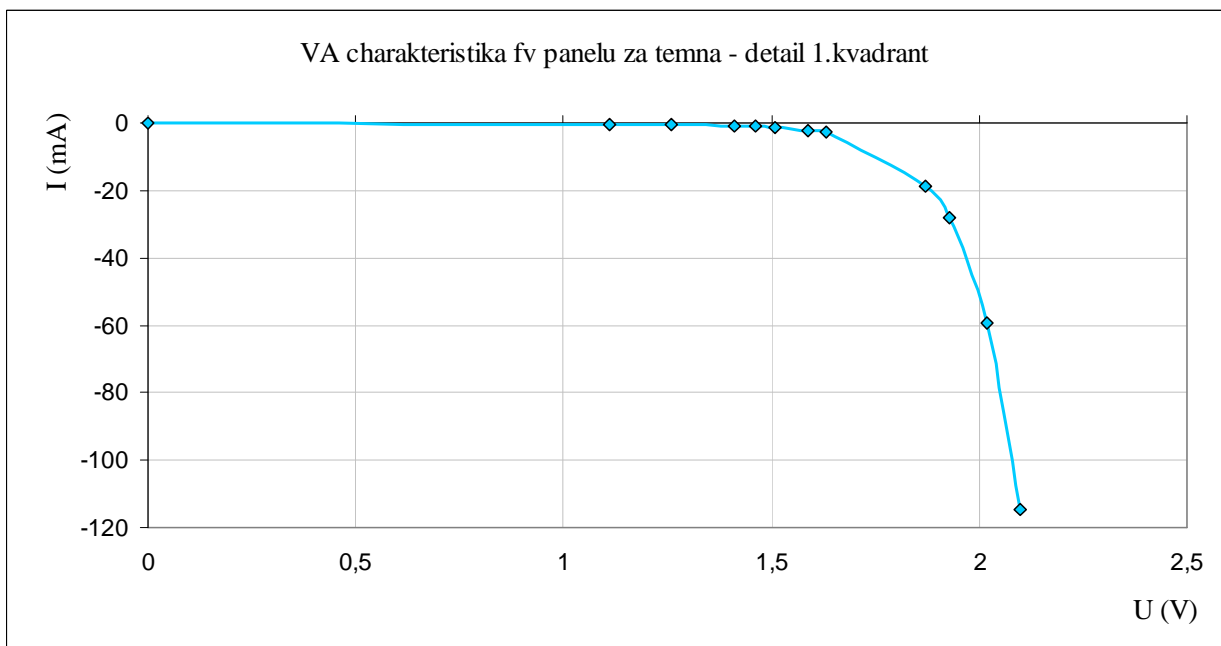
První měření VA charakteristik f_v panelu probíhalo za temna v laboratorních prostorech (Obr. 9-1). Celková plocha panelu byla dokonale zakryta a při měření proudu muselo být ke zdroji panelu připojeno externí napětí, pomocí kterého jsme plynulou regulací mohli proměřit celou charakteristiku. Při kladném napětí jsou diody panelu v průchozím stavu. Při záporném napětí diody blokují do $-2V$ a pak pomalu prorazí. (Obr. 9-2).



Obr. 9-1 Mobilní f_v systém a použité lampy v laboratorním prostředí



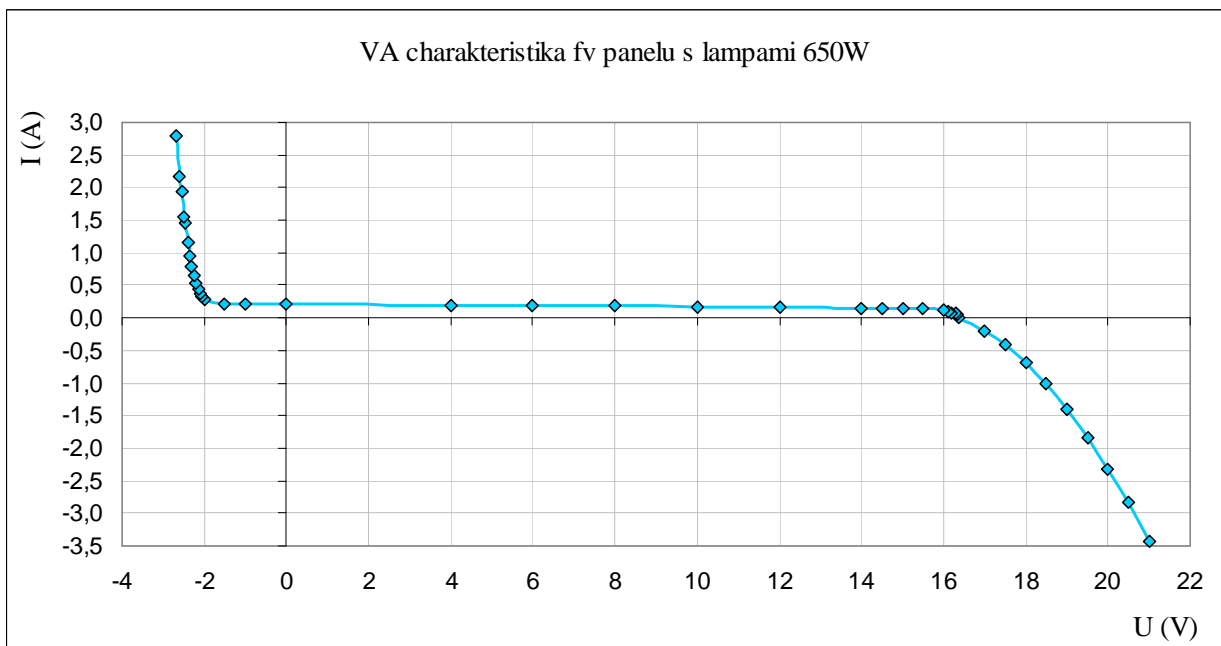
Obr. 9-2 VA karakteristika fv panelu za temna



Obr. 9-3 VA karakteristika fv panelu za temna – detail 1.kvadrant

9.2 Měření voltampérové charakteristiky v laboratoři pomocí žárovkového zdroje

Druhá část měření probíhala taktéž v laboratorních prostorech při teplotě $T = 20^{\circ}\text{C}$, ale tentokrát byl fv panel osvětlován dvěma zdroji světla (150W, 500W) s halogenovými lampami. Při měření bylo potřeba, aby byla celá plocha panelu osvětlena stejně. Osvětlit co nejrovnoměrněji celou část panelu pouze pomocí dvou zdrojů bylo prakticky nemožné, proto naměřený výkon panelu nedosahoval ani 5% jeho celkového výkonu (*Obr. 9-5*). Z grafu je patrné že při zvyšování napětí do 14V v propustném směru je změna proudu minimální, až do oblasti MPP kdy proud začne rychle klesat a napětí se blíží napětí na prázdko U_{OC} . Naměřené a vypočtené hodnoty VA charakteristiky jsou uvedeny v (*Tab. 9-1*).

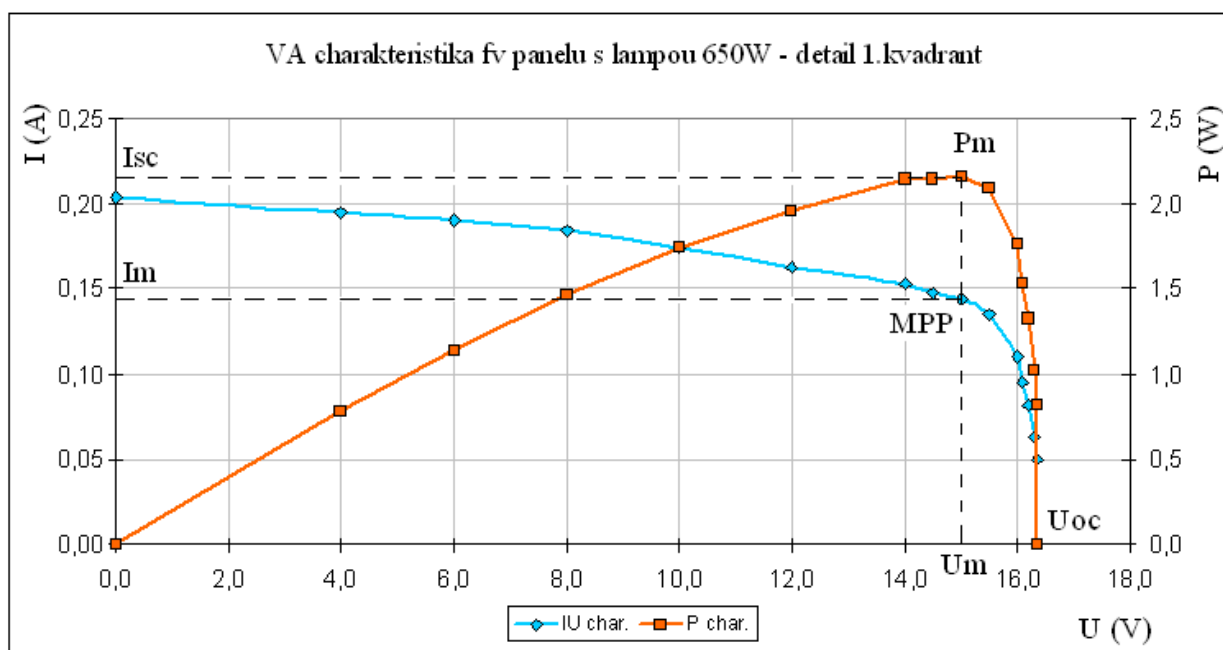


Obr. 9-4 VA charakteristika fv panelu s lampami 650W

Tab. 9-1 Naměřené a vypočtené hodnoty fv panelu s lampami 650W

U (V)	I (A)	P (W)	Rm (Ω)
21,00	-3,430		
20,50	-2,831		
20,00	-2,314		
19,50	-1,850		
19,00	-1,406		
18,50	-1,018		
18,00	-0,686		
17,50	-0,411		
17,00	-0,200		
16,36	0	0	-
16,35	0,050	0,82	327,00
16,30	0,063	1,03	258,73
16,20	0,082	1,33	197,56
16,10	0,095	1,53	169,47
16,00	0,110	1,76	145,45
15,50	0,135	2,09	114,81
15,00	0,144	2,16	104,17
14,50	0,148	2,15	97,97
14,00	0,153	2,14	91,50
12,00	0,163	1,96	73,62
10,00	0,174	1,74	57,47

U (V)	I (A)	P (W)	Rm (Ω)
8,00	0,184	1,47	43,48
6,00	0,190	1,14	31,58
4,00	0,195	0,78	20,51
0	0,204	0	0
-1,00	0,208		
-1,5	0,211		
-2,00	0,284		
-2,05	0,318		
-2,10	0,366		
-2,15	0,431		
-2,20	0,523		
-2,25	0,639		
-2,30	0,783		
-2,35	0,950		
-2,40	1,153		
-2,45	1,460		
-2,50	1,550		
-2,55	1,930		
-2,60	2,160		
-2,70	2,800		



Obr. 9-5 VA charakteristika fv panelu s lampami 650W – detail 1.kvadrant

Podle postupu uvedeném v kapitole 8, jsme změřili proud na krátko I_{SH} a napětí na prázdko U_{OC} , určili maximální výkonný pracovní bod MMP, ze kterého jsme vypočítali podle (8.2) maximální dodávaný výkon panelu a podle (8.3) vnitřní odpor při tomto výkonu.

$$I_{SH} = 0,204A$$

$$U_{OC} = 16,36V$$

$$P_m = U_m \times I_m = 15 \times 0,14 = 2,16W$$

$$R_m = \frac{U_m}{I_m} = \frac{15}{0,144} = 104,17\Omega$$

Podle (8.4) jsme vypočítali faktor plnění který při takto osvětleném panelu dosahoval hodnoty 64%. V ideálním případě by byl faktor plnění 100%. Pro reálné články se jeho maximální hodnota pohybuje od 75% do 85%.

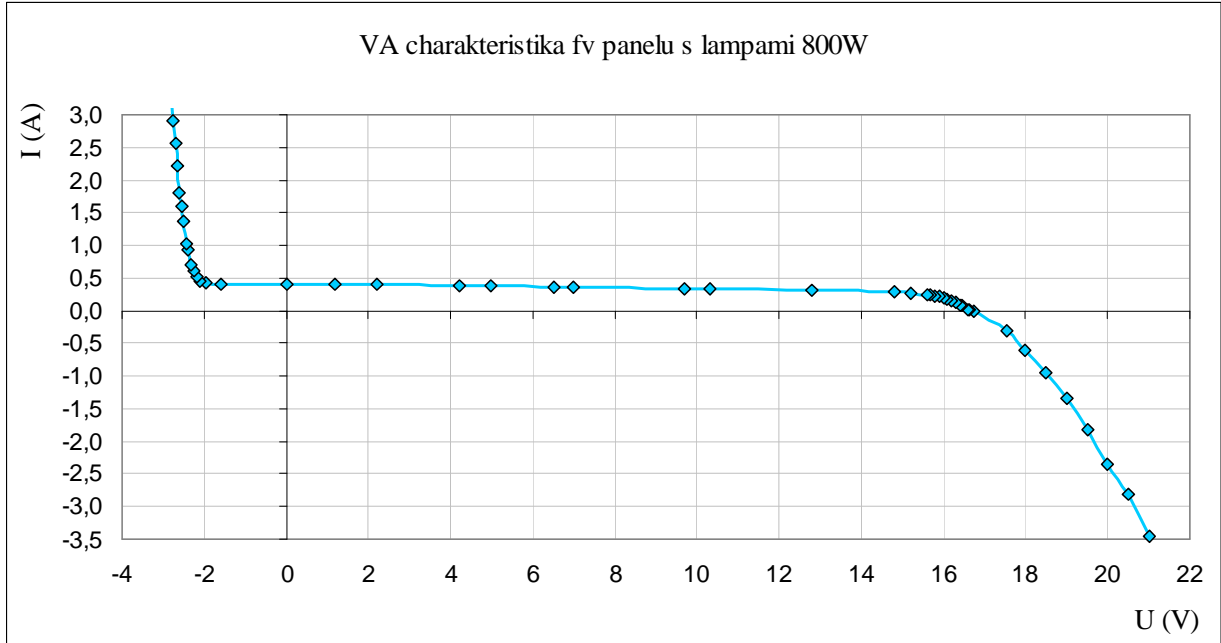
$$FF = \frac{P_m}{U_{OC} \times I_{SC}} = \frac{U_m \times I_m}{U_{OC} \times I_{SC}} = \frac{15 \times 0,144}{16,36 \times 0,204} \times 100 = 64\%$$

V poslední části výpočtu jsme podle (8.6) a (8.7) vypočítali hodnoty paralelního a sériového odporu při daném osvětlení.

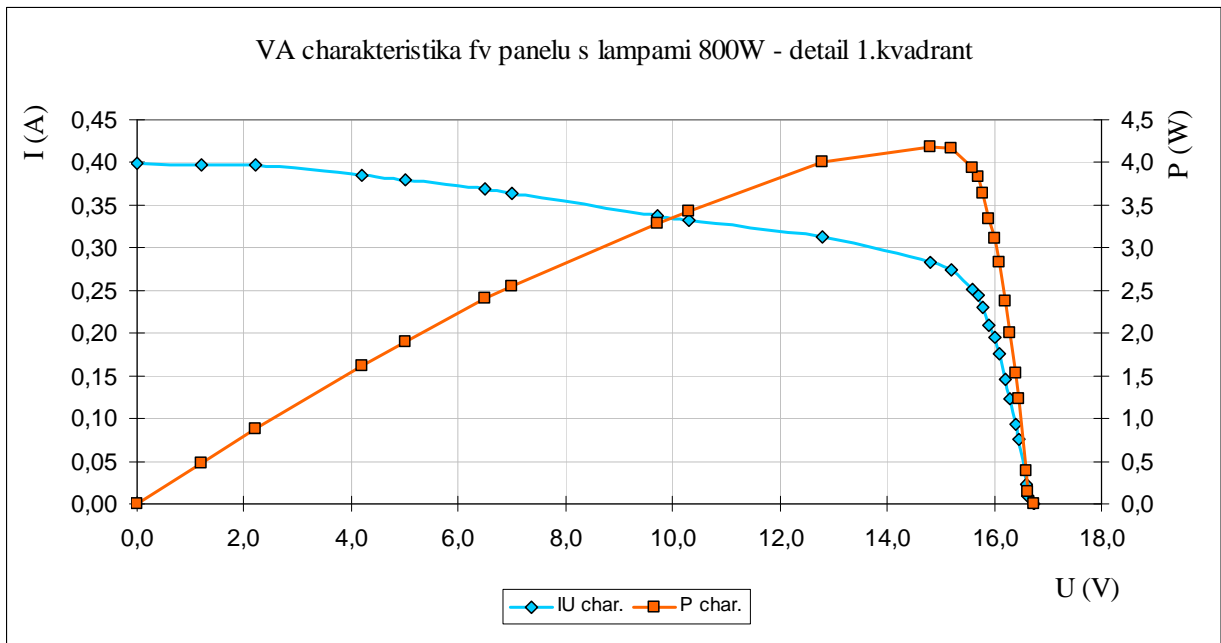
$$R_{SH} = \frac{\Delta U_{SO}}{\Delta I_{SO}} = 268,51\Omega$$

$$R_{SO} = \frac{\Delta U_{SH}}{\Delta I_{SH}} = 6,14\Omega$$

Stejným způsobem jako v předchozím případě jsme postupovali při měření VA charakteristiky pro tři zdroje světla (150W,150W,500W). V tomto případě byl výkon dvojnásobný a dosahoval zhruba k 8,5% celkového výkonu fv panelu. Tabulky výsledků měření jsou zpracovány v (Příloha 7).



Obr. 9-6 VA charakteristika fv panelu s lampami 800W



Obr. 9-7 VA charakteristika fv panelu s lampami 800W – detail 1.kvadrant

Naměřené a vypočtené hodnoty fv panelu s lampami 800W

$$I_{SH} = 0,398A$$

$$U_{OC} = 17,68V$$

$$T = 20^{\circ}C$$

$$P_m = 4,19W$$

$$R_m = 52,30\Omega$$

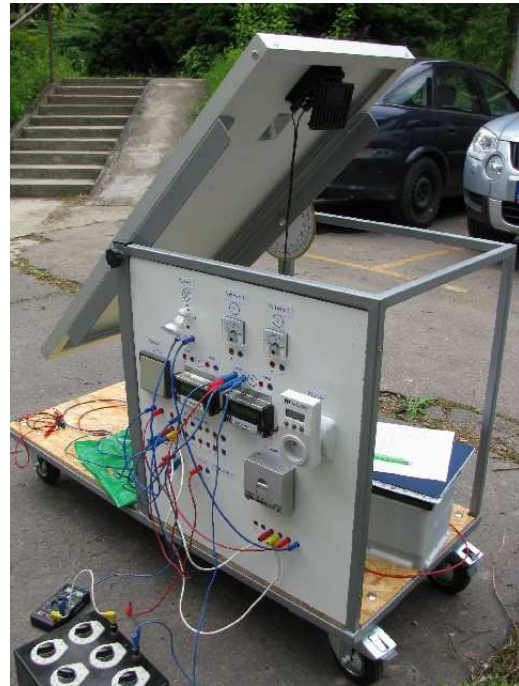
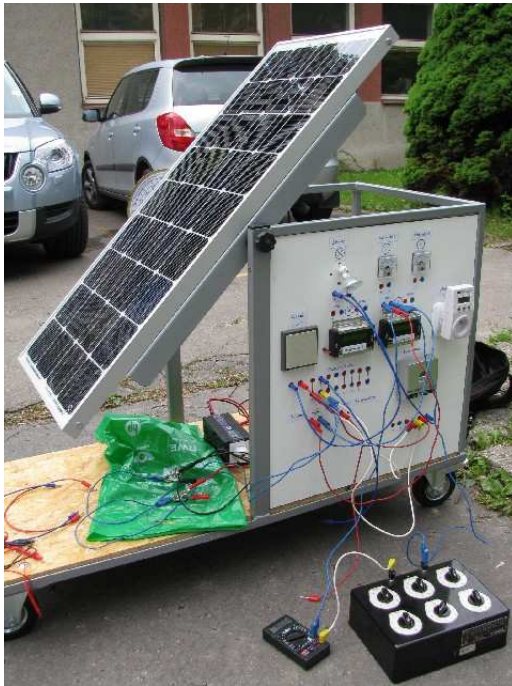
$$FF = 59\%$$

$$R_{SH} = 125,42\Omega$$

$$R_{SO} = 8,17\Omega$$

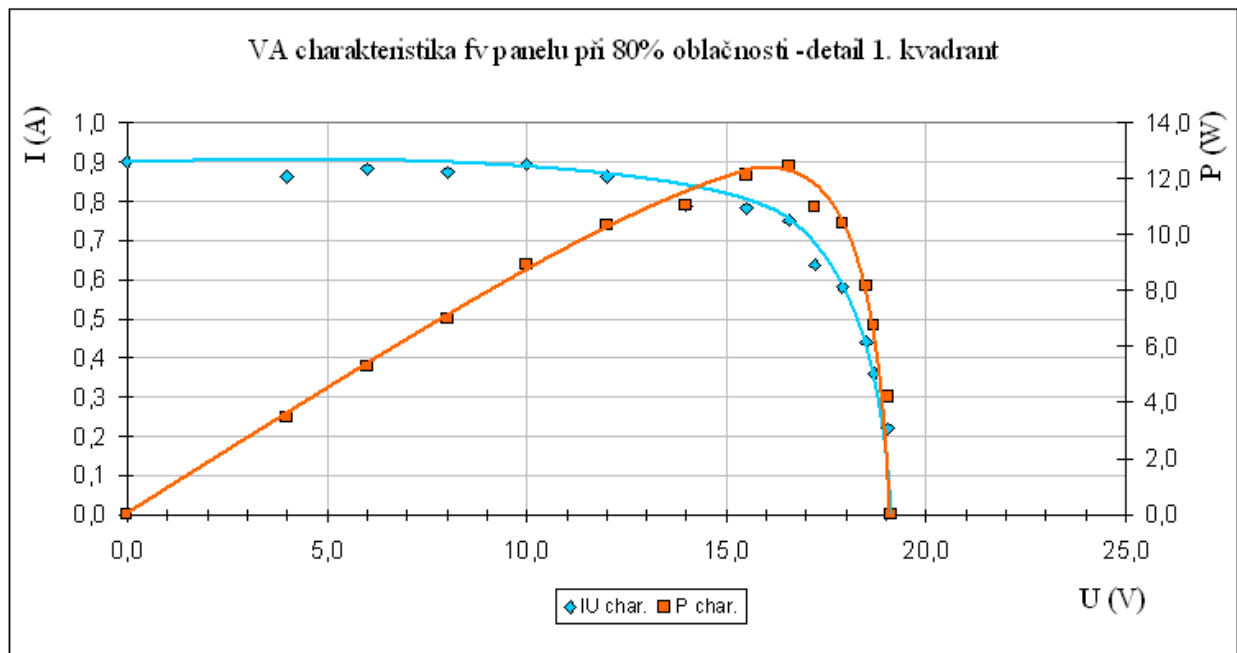
9.3 Měření voltampérové charakteristiky venku

Třetí část měření byla provedena venku (*Obr. 9-8*), při cca 80% oblačnosti. Velká část lidí si myslí, že při zatažené obloze solární panely nedodávají žádný elektrický proud. To je však velký omyl, protože na zemi neustále dopadá obrovské množství sluneční energie. Při jasné obloze využívá panel přímé záření, při zatažené obloze nepřímé sluneční záření. Panel má samozřejmě při zatažené obloze výkonnost menší, ale i tak dostačující, že dosahuje na otevřeném prostranství hodnoty napětí deklarovaného výrobcem.



Obr. 9-8 Mobilní fv systém ve venkovním prostředí

Měření probíhalo při teplotě $T = 22^{\circ}C$ v 10.00 hod a tentokrát jsme museli počítat i s úhlem naklonění panelu. Jako nejideálnější byl po čase měření při zatažené obloze úhel $\alpha = 10^{\circ}$. Díky velké oblačnosti doprovázelo měření mnoho nepřesností, mezi které patřilo právě nestálé osvětlení a s tím spojené výkyvy proudů. Z naměřených výsledků je patrné že i při převážně zatažené obloze fv panel dosahoval maximálního výkonu kolem 12W, což je sice pouhých 24% celkového výkonu, nicméně 3x více než při použití lamp v laboratoři. Z tohoto měření vyplývá jak je pro fv panely důležité rovnoměrné osvětlení celé jeho plochy.



Obr. 9-9 VA charakteristika fv panelu venku – detail 1.kvadrant

Naměřené a vypočtené hodnoty fv panelu venku

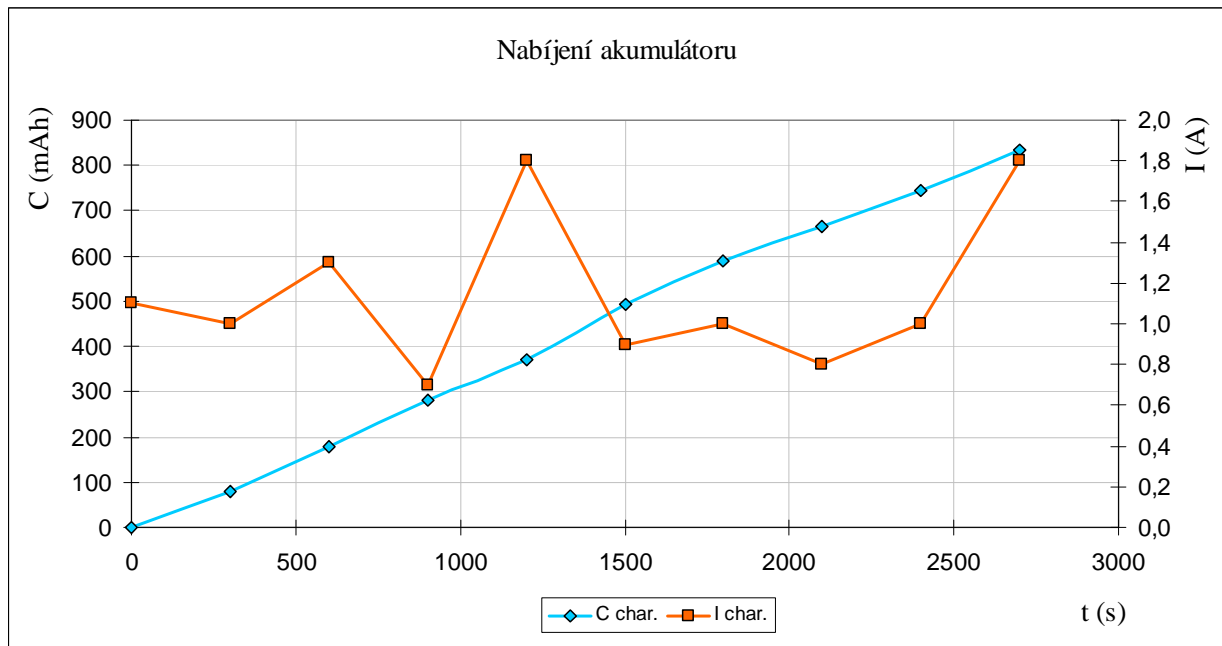
$I_{SH} = 0,9A$	$P_m = 12,41W$	$FF = 72\%$
$U_{OC} = 19,1V$	$R_m = 22,07\Omega$	$R_{SH} = 155\Omega$
$T = 22^\circ C$		$R_{SO} = 3,33\Omega$
$\alpha = 10^\circ$		

V poslední čtvrté části měření jsme se zabývali nabíjením akumulátoru připojeného k fv systému. Nabíjení probíhalo v podobných podmínkách jako předchozí měření tj. při cca 80% oblačnosti, teplotě $T = 20^\circ C$ v 9.30 hod a úhlu náklonu panelu $\alpha = 10^\circ$. Obecné pravidlo pro nabíjení je, že se má nabíjet proudem o velikosti jedné desetiny kapacity baterie. Přesnější vzorec se rovná 12-ti násobku kapacity akumulátoru (9.1).

$$I_N = 0,12 \times C \quad (9.1)$$

Podle zobrazovacího displeje regulátoru měl akumulátor po připojení k fv systému 25% své kapacity. Nabíjení probíhalo po dobu 45 minut. Za tuto dobu byla velikost celkové kapacity proleklého náboje 834 mAh. Čas nabíjení akumulátoru lze vypočítat podle vzorce (9.2). Jelikož v našem případě byl dobíjecí proud díky velké oblačnosti proměnný (Obr. 9-10), nebylo možné čas nabíjení tímto způsobem spočítat.

$$t = \frac{C \times 1,2}{I_N} \quad (9.2)$$



Obr. 9-10 Charakteristika nabíjení akumulátoru

Museli jsme tedy vycházet z velikost celkové kapacity proleklého náboje po dobu nabíjení za předpokladu, že se počasí nezmění. Dosazením do vzorce (9.3) bylo dále možné vypočítat pouze teoretickou velikost kapacity proleklého náboje za den. Další předpoklad byl takový, že na panel bude dopadat nepřímé sluneční záření po dobu 10h během dne.

$$t = C \quad (9.3)$$

$$\frac{2700}{3600} = 834mAh$$

$$1h = 1112mAh$$

$$1h \times 10 = 11120mAh$$

Celkové kapacity baterie je 100Ah. Baterie by se tak teoreticky za den dobila o 11% tj. na 36% své kapacity.

10 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a realizovat mobilní autonomní fv systém, jenž je umístěn na konstrukci a který by bylo možné převážet a natáčet dle potřeb měření. V první části práce je detailně rozebrán návrh a postup výroby pohybové části systému, který je realizován v podobě transportního plošinového vozíku vyrobeného z ocelových profilů. V nosné konstrukci vozíku je uchycen fv panel jenž je možné vertikálně natáčet v rozmezí 0 - 75°.

Druhá část práce se zaměřuje na návrh pracovní plochy s příslušenstvím a popis jednotlivých diagnostických přístrojů, pomocí kterých je možné měřit parametry fv panelu v různých provozních podmínkách. Pracovní plocha je realizována tak, že možnost zapojení autonomního fv systému je velmi variabilní a záleží pouze na uživateli co v danou chvíli potřebuje měřit.

V poslední třetí části jsme se zabývali měřením VA charakteristik fv panelu v různých podmínkách. Měření probíhalo v laboratorních prostorech a venku. V laboratorních prostorech jsme nejprve měřili VA charakteristiky fv panelu za temna, následně byl panel osvětlován dvěma a třemi zdroji světla s halogenovými lampami. Při tomto měření bylo zjištěno, že jedním z důležitých faktorů na vlastnosti fv panelu je rovnoměrná intenzita osvětlení. Výkon panelu v tomto případě dosahoval 8,5% celkového výkonu. Měření VA charakteristik panelu venku probíhalo při cca 80% oblačnosti a po dobu měření bylo zjištěno, že i při zatažené obloze dosahoval panel k 24% svého celkového výkonu, což je 3x více než při použití lamp. Další důležitý faktor, který se projevil na výsledcích měření je úhel sklonu panelu. Nejideálnější úhel za daných podmínek byl 10°. Díky velké oblačnosti doprovázelo měření mnoho nepřesností, mezi které patřilo právě nestálé osvětlení a s tím spojené výkyvy proudů.

Navrhnutý mobilní autonomní fv systém má posloužit pro studenty VUT v rámci laboratorních cvičení jako praktická ukázka toho jak se fv panely a jejich vlastnosti chovají v různých podmínkách.

Použitá literatura

- [1] Mgr. Karel Murtinger, Ing. Jiří Beranovský, Ph.D., Ing. Milan Tomeš, CSc., *Fotovoltaika 2007*, ERA, Brno
- [2] Murtinger K., Truxa J., 2006 : *Solární energie pro váš dům*, ERA group, Brno
- [3] Bc. Ondřej Dus, *Vliv zastínění na parametry solárních modulů*, 2008, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Brno
- [4] Doc. Ing. Vaněk, J. Ph.D., Křivík, P., Novák, V. *Alternativní zdroje energie*, 2006, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Brno
- [5] Libra M., Poulek V., *Solární energie*, 2005, ČUZ, Praha
- [6] Bc. Martin Liška, *Hodnocení vybraných fotovoltaických systémů*, 2010, Mendlova univerzita, Fakulta agronomická, Brno
- [7] Internetové stránky, [online], <http://www.czrea.org>
- [8] Internetové stránky, [online], <http://fotovoltaika.org>
- [9] Internetové stránky, [online], <http://www.ekobydleni.eu/category/solarni-energie>
- [10] Internetové stránky, [online], <http://www.solarhaus.cz/>

Seznam symbolů a zkratek

<i>ČR</i>	Česká Republika	
<i>CO₂</i>	Oxid uhličitý	
<i>ERÚ</i>	Energetický regulační úřad	
<i>EU</i>	Evropská unie	
<i>fv</i>	Fotovoltaika	
<i>H₂SO₄</i>	Kyselina sírová	
<i>MPP</i>	Pracovní bod maximálního výkonu (Maximum Power Point)	
<i>OZE</i>	Obnovitelné zdroje energie	
<i>α</i>	Úhel náklonu	(°)
<i>A_C</i>	Plocha fv panelu	(mm ²)
<i>E</i>	Intenzita elektrického pole; intenzita osvětlení	(W/m ²)
<i>C</i>	Protékající náboj / kapacita akumulátoru	(mAh)
<i>FF</i>	Činitel plnění (Fill Factor)	(%)
<i>I_M</i>	Proud maximálního výkonu	(A)
<i>I_N</i>	Proud nabíjecí	(A)
<i>I_{SC}</i>	Proud nakrátko	(A)
<i>η</i>	Účinnost fv panelu	(%)
<i>P_M</i>	Maximální výkon	(W)
<i>R</i>	Odpor	(Ω)
<i>R_M</i>	Vnitřní odpor	(Ω)
<i>R_{SH}</i>	Paralelní odpor	(Ω)
<i>R_{SO}</i>	Sériový odpor	(Ω)
<i>t</i>	Čas	(s)
<i>T</i>	Teplota	(°C)
<i>U_M</i>	Napětí maximálního výkonu	(V)
<i>U_{OC}</i>	Napětí naprázdno	(V)
<i>V_{Ach}</i>	Voltampérová charakteristika	(V)
<i>ΔU_{SH}</i>	Rozdíl napětí v lineární oblasti V _{Ach} před kolenem V _{Ach}	(V)
<i>ΔU_{SO}</i>	Rozdíl napětí v lineární oblasti V _{Ach} za kolenem V _{Ach}	(V)
<i>ΔI_{SH}</i>	Rozdíl proudů v lineární oblasti V _{Ach} před kolenem V _{Ach}	(A)
<i>ΔI_{SO}</i>	Rozdíl proudů v lineární oblasti V _{Ach} za kolenem V _{Ach}	(A)

Přílohy

1. Fv panel SOLARTEC STR 36-50 / 12
2. Fv regulátor PHOCOS CX10
3. Akumulátor VARTA 12V 100Ah Solar
4. Měníč napětí SP 300 12V / 230V
5. Technická dokumentace fv systému
6. Cenové zhodnocení fv systému
7. Výsledky měření

SOLARTEC STR36-50 / 12

Mechanické vlastnosti

Délka	1005 mm
Šířka	453 mm
Tloušťka	34 mm
Hmotnost	5,9 kg
Propojovací box	propojovací box SOLARTEC
Přední sklo	3 mm
Solární články	36 ks , krystalický Si (102,5 x102,5 mm)
Zapouzdření článků	EVA (Ethyl - Vinyl - Acetát)
Zadní strana	tedlar
Rám	eloxovaný hliník, viz. nákres



Elektrické parametry

Výkonová třída / max. výkon Pmax ($\pm 5\%$)	50,0 Wp
Optimální napětí Umpp	17,4 V
Napětí naprázdno Uoc	21,5 V
Proud nakrátko Isc	3,27 A
Optimální proud Impp	2,98 A
Max. systémové napětí	750 V

Rozsah pracovních teplot: $-35 \div +85 \text{ }^{\circ}\text{C}$

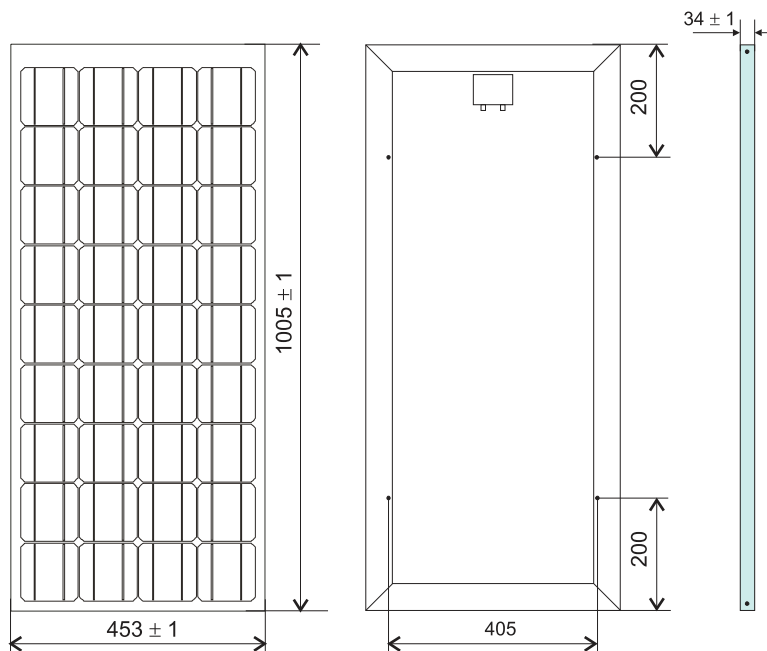
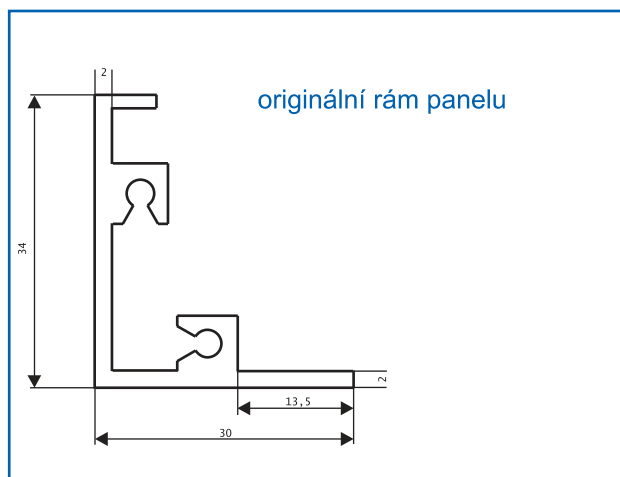
Doporučený průřez vodiče: $\geq 4 \text{ mm}^2/12 \text{ V}$; $\geq 2,5 \text{ mm}^2/24 \text{ V}$

Montážní úchyty: otvory v rámu, šrouby M6

Záruka: 2 roky

Garance výkonu: 20 let

Elektrické parametry jsou vztažené ke slunečnímu záření 1000 W/m^2 , spektrum AM 1,5G, teplota 25°C (standardní testovací podmínky - STP)





CX10, CX20, CX40 Solar Charge Regulator with LC Display



- Battery State-of-Charge display LCD
- Charge and discharge status display
- Acoustic load disconnect pre-warning
- Load status indication
- Choose between 3 load disconnect algorithms
- boost/absorption/float PWM-regulation (series type)
- Prepared for DIN rail mounting
- Automatic 12 / 24 Volt detection
- Integrated temperature compensation
- Covered terminals (up to 16mm² wire size)
- Full solid-state protection



CX

The CX series is a sophisticated solar charge regulator family with exceptional features in this price range. Beside a perfect PWM regulation with integrated temperature compensation the controllers provide extraordinary display-, programming- and safety functions. The battery state of charge is clearly displayed with a bar chart, as well as energy flows from and to the battery and the load status (e.g. overload, load short circuit). The deep discharge protection function can be set up to three different modes: voltage controlled, SOC controlled or adaptive (fuzzy logic).

Acoustic warnings are built in, as well as a programmable nightlight function.

The CX also provides a built-in excess energy management function which means that in combination with especially designed loads (e.g. Phocos Solar Refrigerators/Coolers SF32E, SF50E) it is possible to make use of excess energy which would be lost otherwise because of the overcharge protection of the battery. A better utilization of the solar system is the benefit.

The compact case design is prepared for DIN rail mounting (mounting device available as an accessory).

	CX10	CX20	CX40
Charge current max.	10 A	20 A	40 A
Load current max.	10 A	20 A	40 A
System voltage	12/24 V	12/24 V	12/24 V
Self power consumption	< 4 mA	< 4 mA	< 4 mA
Dimensions (wxhxd)	89x90x39 mm	89x90x39 mm	89x90x39 mm
Type of protection	IP20	IP20	IP20

Phocos AG, Germany
info@phocos.com

Phocos Europe GmbH, Austria
info-europe@phocos.com

Phocos Eastern Europe S.R.L., Romania
info-easterneurope@phocos.com

Phocos China Ltd., China
info-china@phocos.com

Phocos India Solar Pvt. Ltd., India
info-india@phocos.com

Phocos SEA Pte Ltd, Singapore
info-sea@phocos.com

Phocos Latin America S.R.L, Bolivia
info-latinamerica@phocos.com

Phocos Rep. Office Brazil, Brazil
info-brazil@phocos.com

Phocos Rep. Office Eastern Africa, Kenya
info-easternafrica@phocos.com

Phocos Rep. Office Southern Africa, Namibia
info-sadc@phocos.com

Phocos SunDanzer, USA
info-usa@phocos.com

Phocos Rep. Office Australia, Australia
info-australia@phocos.com

VARTA Solar 100Ah



Délka: 353 mm
Šířka: 175 mm
Výška: 190 mm
kontakt plus: vpravo
hmotnost: 25 kg

Jmenovité napětí	12 V
Jmenovitá kapacita 100h při 27°C	100 Ah
Jmenovitý proud	1 A
Elektrolyt	ředěná kyselina sírová
Hustota elektrolytu	1,28 - 0,01 kg/l při 27°C 1,23 - 0,01 kg/l při vyšších teplotách
Množství elektrolytu	asi 5,7 l
Váha baterie	
Prázdňá	asi 17,3 kg
Plná	24,6 kg
Rozměry (délkaxšířkax výška)	352 x 175 x 190 mm
Teplotní rozsah	přípustná: od -20 °C až do 45 °C doporučený: od +5 °C do 30 °C
Přípustné vybití baterie	max 80% jmenovité kapacity
Nejnižší napětí	10,5 V
Nabíjecí napětí	trvale max. 14,1 při 25 °C koeficient kompenzace teploty $T_k = -25 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ u 12 V baterií může být max. napětí krátkodobě (1 hodina) až 15 V
Interval údržby	Větší než jeden rok za normálních provozních podmínek
Ztráta kapacity	ca. 0,3% / den, asi 10% / měsíc
Pouzdro baterie	polypropylenové se záklopnými držáky
Póly baterie	kulaté póly podle normy DIN
Odčerpání elektrolytu	postraní s možností připojení hadice
Uzávěr	po uvedení do provozu a případné doplnění vody
Kontrola elektrolytu	značka max. a min.
Separátor	makroporézní umělá hnota potažená skleněnou vrstvou s minimálním odporem
Elektrody	mřížkové desky

Měníče napětí 12V

DC / AC

Intelligent



SP 5000 (12 V)



SP 3000 (12 V)



SP 1200 (12 V)



SP 600 (12 V)

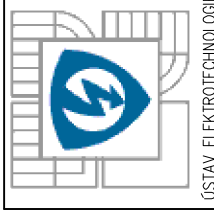
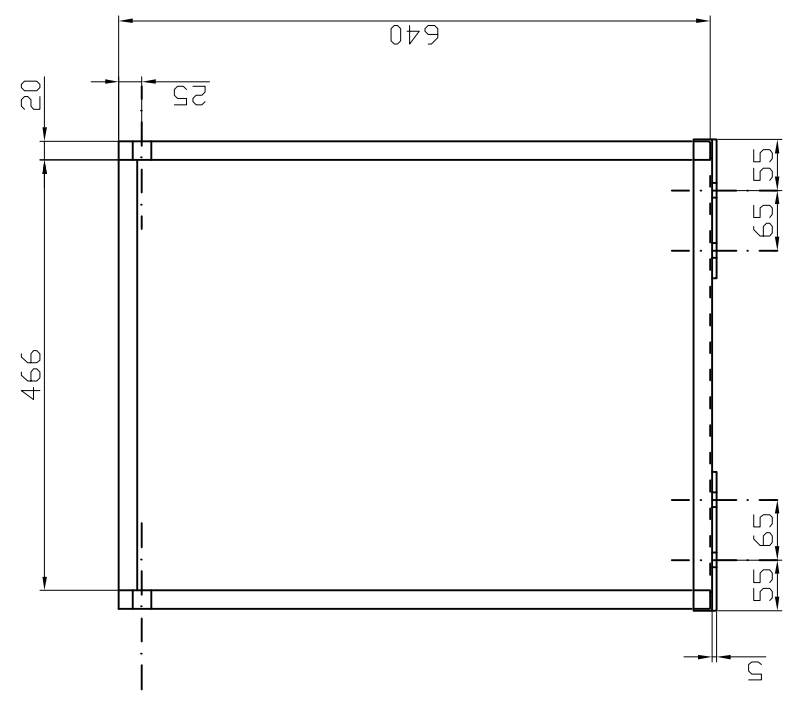
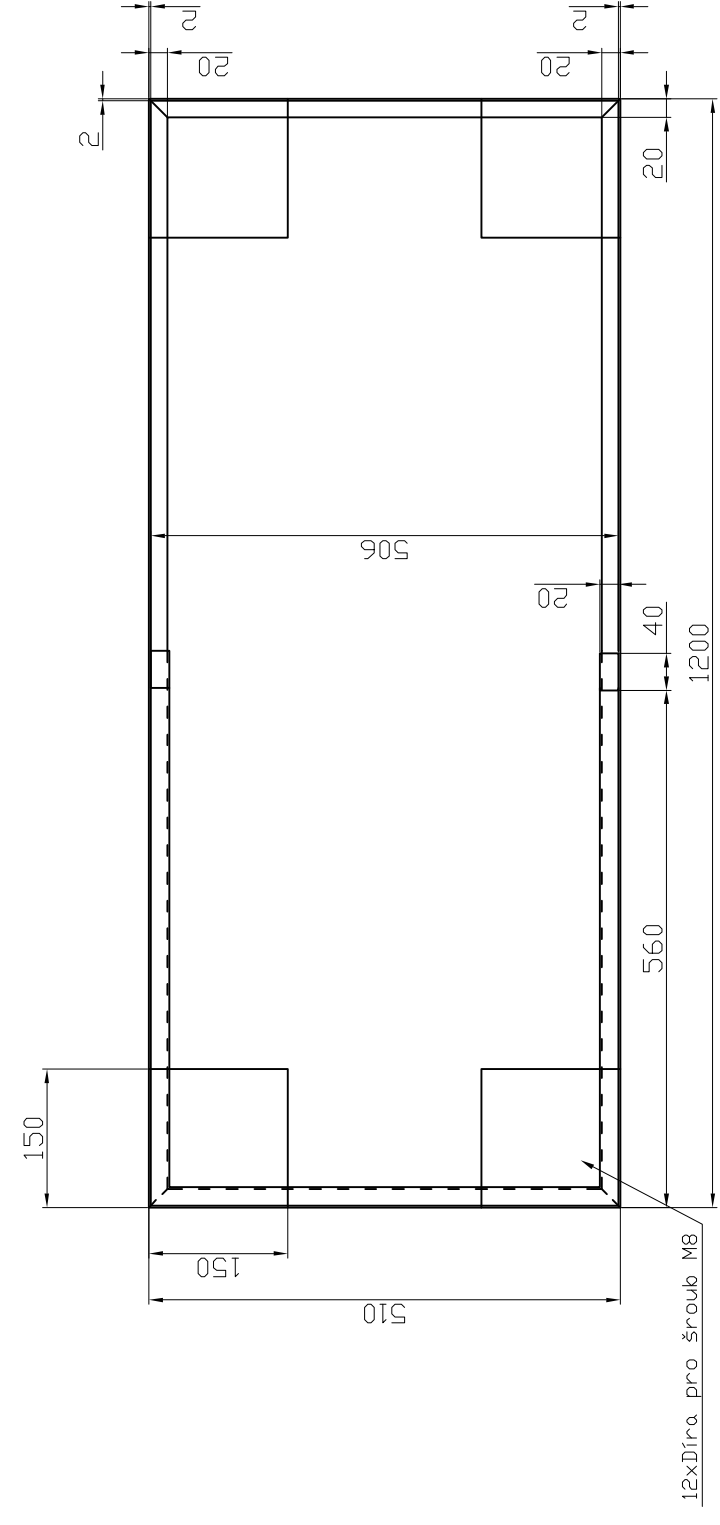
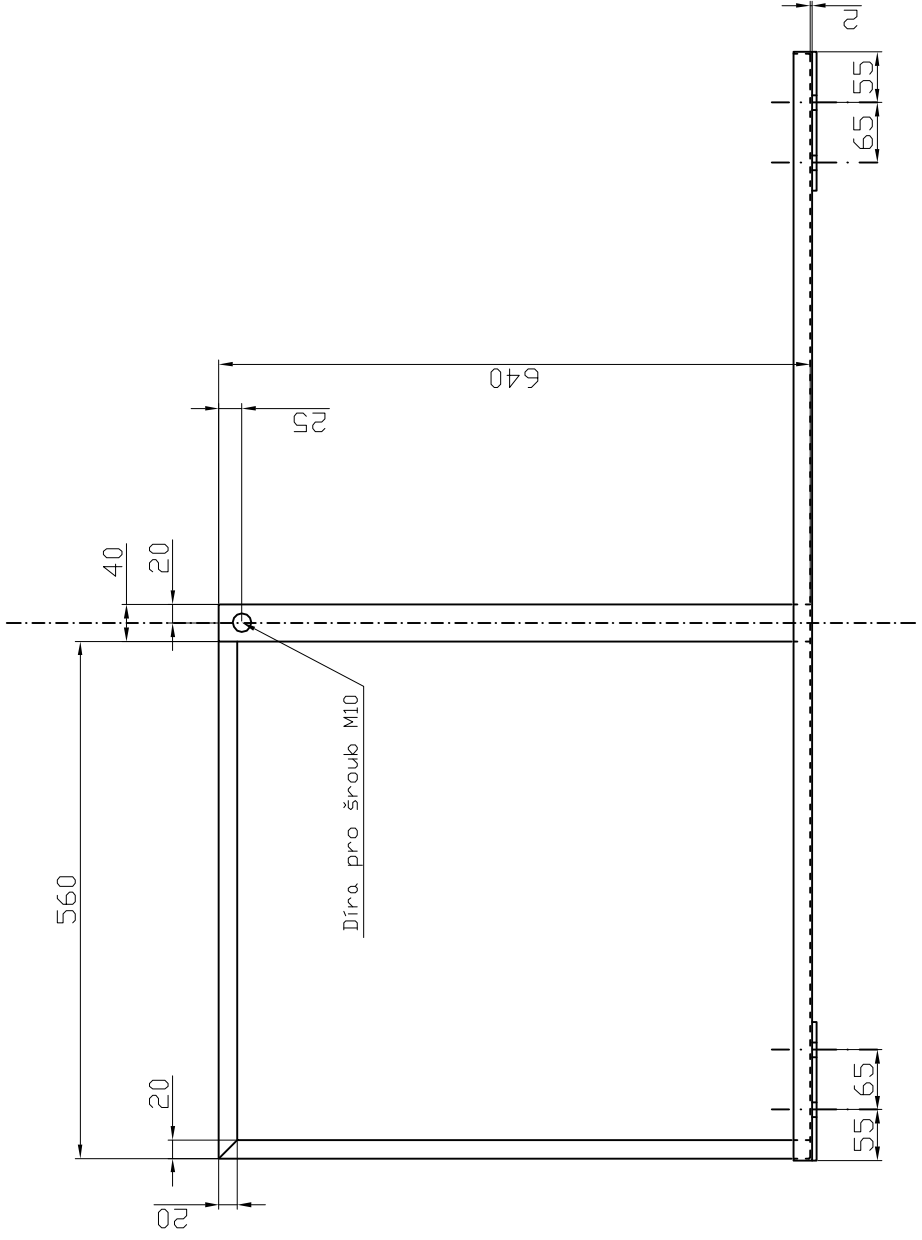


SP 300 (12 V)



SP 150 (12 V)

TECHNICKÉ PARAMETRY	SP 5000/12	SP 3000 /12	SP 1200 /12	SP 600 /12	SP 300 /12	SP 150/12
Vstupní napětí (V)	10 - 15	10 - 15	10 - 15	10 - 15	10 - 15	10 - 15
Výstupní napětí (V)	230	230	230	230	230	230
Trvalý výstupní výkon (W)	5 000	3 000	1 200	600	300	150
Špičkový výstupní výkon (W)	10 000	5 500	2 400	1 500	900	350
Vstupní proudové zatížení (A)	500	300	55	60 / 30	30 / 15	15 / 8
Výstupní vlnový tvar	modif. sinusoida	modif. sinusoida	modif. sinusoida	modif. sinusoida	modif. sinusoida	modif. sinusoida
Výstupní frekvence (Hz)	50	50	50	50	50	50
Účinnost (%)	85 - 90	85 - 90	85 - 90	85 - 90	90	90
Tepelná ochrana	60° ± 5 °C	60° ± 5 °C	60° ± 5 °C	60° ± 5 °C	60° ± 5 °C	60° ± 5 °C
Přepětíová ochrana	ano	ano	ano	ano	ano	ano
Ochrana před záměnou polarit	ano (pojistka)	ano (pojistka)	ano (pojistka)	ano (pojistka)	ano (pojistka)	ano (pojistka)
Ochrana před záměnou napájení 12/24V	ano	-	ano	ano	ano	ano
Ochrana před přetížením	-	ano	ano	-	-	-
Ochrana proti vybití akumulátoru	10,5 V	10,5 V	10,5 V	10,5 V	10,5 V	10,5 V
Pojistka	30 A - 24 ks	30 A - 16 ks	30 A - 5 ks	25 A - 3 ks / 15 A - 3 ks	25 A / 35 A	15 A / 10 A
Rozměry (d x š x v) (mm)	500x169x152	360x169x152	320x210x85	200x173x65	155x73x73	140x73x45 / 130x73x73
Hmotnost (g)	10 800	7 000	3 300	2 000	900	560



Kreálil: Martin Horváth
 Schválil: Petr Smekal
 Datum vydání: 12.02.2010
 Měřítko: 1:10 (mm)

Název: Mobilní autonomní fotovoltaický systém

Druh dokumentu: Technická dokumentace

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	B	C	D	E	F	G	H		

Cenové zhodnocení fv systému

Materiál	Počet (ks)	Cena (Kč)
Profil ohýbaný L 20x20x3 dle EN10025	-	73,3
Profil ohýbaný L 50x50x3 dle EN10025	-	95,7
Profil uzavřený svar. 20x20x2 dle EN10219	-	56,7
Profil uzavřený svar. 40x20x2 dle EN10219	-	39,3
Ocel plocha 150x150x5 dle EN10058	4	83,2
Ovlávací prvek STGM M10	2	65,7
Závitová tyč M10x1000	1	23,9
Matice křídlová M10	2	3,4
Podložka M10	2	0,6
Šroub M8x16	16	12,6
Matice samojistná M8	16	7,7
Podložka M8	16	3,4
Šroub M6	2	2,2
Matice samojistná M6	2	3,4
Podložka M6	2	0,6
Vrut do dřeva s půlkulatou hlavou 5x20	10	2,3
Transportní kolečko	2	378,1
Transportní kolečko otočné s brzdou	2	603,2
Plastové ucpávky do jacklů	2	4,0
Práce - řezání ocelových profilů	-	83,9
Cena celkem bez DPH (19%)		1543,2
Cena celkem s DPH (19%)		1836,4

Tab. 1 Cenová tabulka použitého materiálu na výrobu transportního vozíku

Materiál / Produkt	Počet (ks)	Cena (Kč)
Pracovní plocha z lamino desky 580x840x12	1	75,0
Zdířka pro banánek modrá	23	34,5
Zdířka pro banánek červená	23	34,5
Banánek modrý	10	75,0
Banánek červený	10	75,0
Faston 4,8x0,8	42	52,5
Vodivý kabel 6000x2,5mm ² modrý	-	42,0
Vodivý kabel 6000x2,5mm ² červený	-	42,0
Objímka na žerovku	1	20,0
Žárovka halogenová 12V 20W	1	30,0
DC voltmetr PM91 30V	2	130,0
Vypínač	1	20,0
DC wattmetr Pelikán	2	1280,0
Zásuvka 1nas bílá	1	62,5
Měřič spotřeby 230V / 3000W	1	550,0
FV regulátor PHOCOS CX10	1	882,0
Akumulátor VARTA 12V 100Ah Solar	1	3360,0
Měnič napětí SP 300 12V/230V	1	1008,0
FV panel SOLARTEC STR 36-50 / 12	1	4623,0
Cena celkem bez DPH (20%)		12396
Cena celkem s DPH (20%)		14875

Tab. 2 Cenová tabulka přístrojů a použitého materiálu na výrobu pracovní desky

Naměřené a vypočtené hodnoty VA charakteristik FV panelu:

U (V)	I (A)
21,24	-2,17
20,27	-1,28
19,08	-0,64
18,51	-0,43
17,58	-0,24
16,71	-0,15
15,44	-0,07
12,39	-1,98E-02
9,08	-6,17E-03
7,68	-4,17E-03
5,58	-2,24E-03
3,75	-1,14E-03
1,85	-4,10E-04
0	0
-1,11	2,30E-04
-1,26	3,30E-04
-1,41	7,00E-04
-1,46	9,10E-04
-1,51	1,22E-03
-1,59	2,02E-03
-1,63	2,67E-03
-1,87	1,87E-02
-1,93	2,82E-02
-2,02	0,06
-2,10	0,11
-2,29	0,54
-2,33	0,72
-2,37	0,98
-2,39	1,15
-2,43	1,48
-2,46	1,71
-2,50	2,13

Tab. 1 za temna

U (V)	I (A)	P (W)	Rm (Ω)
21,00	-3,430		
20,50	-2,831		
20,00	-2,314		
19,50	-1,850		
19,00	-1,406		
18,50	-1,018		
18,00	-0,686		
17,50	-0,411		
17,00	-0,200		
16,36	0	0	-
16,35	0,050	0,82	327,00
16,30	0,063	1,03	258,73
16,20	0,082	1,33	197,56
16,10	0,095	1,53	169,47
16,00	0,110	1,76	145,45
15,50	0,135	2,09	114,81
15,00	0,144	2,16	104,17
14,50	0,148	2,15	97,97
14,00	0,153	2,14	91,50
12,00	0,163	1,96	73,62
10,00	0,174	1,74	57,47
8,00	0,184	1,47	43,48
6,00	0,190	1,14	31,58
4,00	0,195	0,78	20,51
0	0,204	0	0
-1,00	0,208		
-1,5	0,211		
-2,00	0,284		
-2,05	0,318		
-2,10	0,366		
-2,15	0,431		
-2,20	0,523		
-2,25	0,639		
-2,30	0,783		
-2,35	0,950		
-2,40	1,153		
-2,45	1,460		
-2,50	1,550		
-2,55	1,930		
-2,60	2,160		
-2,70	2,800		

Tab. 2 s lampami 650W

U (V)	I (A)	P (W)	Rm (Ω)
21,00	-3,46		
20,50	-2,82		
20,00	-2,36		
19,50	-1,83		
19,00	-1,34		
18,50	-0,94		
18,00	-0,60		
17,54	-0,32		
16,73	0	0	-
16,64	0,01	0,13	2080,00
16,60	0,02	0,38	721,74
16,45	0,08	1,23	219,33
16,40	0,09	1,53	176,34
16,30	0,12	2,00	132,52
16,20	0,15	2,37	110,96
16,10	0,18	2,83	91,48
16,00	0,20	3,12	82,05
15,90	0,21	3,34	75,71
15,80	0,23	3,63	68,70
15,70	0,24	3,83	64,34
15,60	0,25	3,93	61,90
15,20	0,27	4,16	55,47
14,80	0,28	4,19	52,30
12,8	0,31	4,01	40,89
10,30	0,33	3,43	30,93
9,70	0,34	3,28	28,70
7,00	0,36	2,54	19,28
6,50	0,37	2,41	17,57
5,00	0,38	1,90	13,16
4,20	0,39	1,62	10,91
2,20	0,40	0,87	5,54
1,20	0,40	0,48	3,02
0	0,40	0	0
-1,60	0,41		
-1,96	0,43		
-2,09	0,46		
-2,19	0,53		
-2,25	0,60		
-2,32	0,71		
-2,40	0,93		
-2,42	1,03		
-2,50	1,36		
-2,55	1,61		
-2,60	1,80		
-2,65	2,21		
-2,70	2,56		
-2,75	2,91		
-2,80	3,25		

Tab. 3 s lampami 800W

U (V)	I (A)	P (W)	Rm (Ω)
19,10	0	0	-
19,05	0,22	4,19	86,59
18,70	0,36	6,73	51,94
18,50	0,44	8,14	42,05
17,90	0,58	10,38	30,86
17,20	0,64	10,96	27,00
16,55	0,75	12,41	22,07
15,50	0,78	12,09	19,87
14,00	0,79	11,05	17,74
12,00	0,86	10,32	13,95
10,00	0,89	8,90	11,24
8,00	0,87	6,99	9,15
6,00	0,88	5,28	6,82
4,00	0,86	3,44	4,65
0	0,90	0	0

Tab. 4 venku

t (s)	U (V)	I (A)	P (W)	C (mAh)
0	13,45	1,1	14,8	0
300	13,00	1,0	13,0	81
600	13,80	1,3	17,9	179
900	13,75	0,7	9,6	282
1200	14,10	1,8	25,4	372
1500	14,00	0,9	12,6	492
1800	14,05	1,0	14,1	589
2100	13,90	0,8	11,1	664
2400	14,00	1,0	14,0	745
2700	14,20	1,8	25,6	834

Tab. 5 nabíjení akumulátoru