

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Metody detekce vad fotovoltaických systémů

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na řešení metod detekce vad fotovoltaických systémů. Cílem této práce je určení vhodnosti jednotlivých metod v různých stádiích provozu fotovoltaických panelů. Zaměřil jsem se na signalizaci vad pomocí monitorovacích systémů.

Záznam dat z analýzy fotovoltaického panelu je přínosem, neboť nahrazuje nestálou kontrolu vyžadující fyzickou přítomnost majitele u fotovoltaické elektrárny. Avšak po signalizaci monitorovacího systému poukazující na závadu je za potřebí kontroly na místě výskytu závady pomocí lidských smyslů a lidského úsudku o následujících krocích. Majitel se rozhoduje o vhodné volbě metody, která zjistí typ závady a její závažnost.

V práci jsem vytvořil systém, metodiku postupu detekce vady, která pomůže majiteli fotovoltaické elektrárny s rozhodováním při možném výskytu závady, určí mu jednotlivé kroky postupu a nabídne mu případně rozřešení vyskytujícího se problému. Ne vždy závada musí vést k výměně fotovoltaického panelu.

Hlavním zjištěním je, že metodika detekce vad neobsahuje striktně dodržovaná pravidla, je jen pomocným vodítkem při rozkrývání závady. Záleží vždy jen na rozhodnutí jednotlivce. Proto může existovat mnoho dalších jiných metodik suplující mnou navrženou metodiku.

Klíčová slova

Křemík, fotovoltaický panel, fotovoltaický článek, účinnost střídače, mikrostrídače, optimizery, metoda LBIC, metoda LBIV, metoda EBIC, metoda ELCD, metoda záření mikroplazmy, termovizní diagnostika, MPP sledovač, monitorovací systém fotovoltaické elektrárny...

Abstract

The master theses presents the principles of methods for detection of defects in photovoltaic systems. The aim of this work is to determine the suitability of different methods in different stages of operation of photovoltaic panels. I focused on the signaling of defects using monitoring systems.

The recording data from the analysis of the photovoltaic panel is beneficial because it replaces the check requiring human presence. However, after the alarm monitoring system showing the defect, human must go check potential defect. The owner will decide on the appropriate choice of the method, which detects the type of fault and its severity.

At work I created methodology to detect defects, this methodology helps owner photovoltaic power plant with decision. The methodology determines the individual steps of the owner in the event of a fault. Not always the fault must lead to an exchange photovoltaic panel.

The main finding is that the method of detection is not governed by observance of strict rules. Therefore, there may more other methodologies substitute my proposed methodology.

Key words

Silicon, solar panel, solar cell, efficiency of the inverter, micro inverter, optimizmy, method of LBIC, method of LBIV, method of EBIC, method of ELCD, method of radiation microplasma, thermal diagnostics, MPP tracker, monitoring system of photovoltaic power plants...

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto 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.

.....

Podpis

V Plzni dne 8.5.2014

Luboš Sládek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Milan Bělík, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
ÚVOD.....	11
1 KŘEMÍK.....	12
2 TECHNOLOGIE VÝROBY FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU.....	15
2.1 VÝROBA FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU TECHNOLOGIÍ TLUSTÝCH VRSTEV.....	15
3 VZNIK VADY NA PV ČLÁNKU.....	21
3.1 PŘI VÝROBĚ.....	21
3.1.1 Vírový defekt.....	21
3.1.2 Pnutí materiálu v ingotu.....	21
3.1.3 Nehomogenita difúzní vrstvy.....	22
3.1.4 Chyba při sítotisku.....	22
3.1.5 Mechanické poškození PV článku.....	23
3.1.6 Logo na skle.....	24
4 VZNIK VADY NA PV SYSTÉMU.....	25
4.1 FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM	25
4.1.1 Zapojení do stringů.....	27
4.2 STŘÍDAČ.....	28
4.2.1 Účinnost střídače.....	29
4.2.2 Mikrostrídače.....	31
4.2.3 Počet fází.....	31
4.2.4 Střídače s transformátorem.....	32
4.3 OCHRANNÉ DIODY	33
4.4 ZASTÍNĚNÍ	36
4.4.1 Rozlišná instalace PV panelů na výšku a šířku.....	38
4.5 ORIENTACE NA SVĚTOVÉ STRANY	40
4.6 OCHRANA PŘED BLESKEM A PŘEPĚTÍ.....	41
4.7 UCHYCENÍ A ZATÍŽENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE	45
4.8 ČINNOST ORGANISMŮ	46
5 DIAGNOSTICKÉ METODY	48
5.1 LABORATORNÍ PODMÍNKY TESTOVÁNÍ	48
5.1.1 Solární simulátor.....	48
5.1.2 Metoda LBIC (Light Beam Induced Current).....	51
5.1.3 Metoda LBIV (Light Beam Inducted Voltage).....	53
5.1.4 Metoda EBIC (Elektron Beam Inducted current).....	54
5.1.5 Metoda ELCD (Electroluminescence Crack Detection Test).....	55
5.1.6 Metoda vyzářování mikroplazmy.....	56
5.1.7 Metoda fotoluminiscence.....	56

5.1.8	<i>Klimatická komora – umělé stárnutí</i>	57
5.2	TERÉNNÍ TESTOVÁNÍ V MÍSTĚ INSTALACE PV ELEKTRÁRNY	58
5.2.1	<i>Termovizní diagnostika</i>	58
5.2.2	<i>Kontrola zrakem</i>	61
5.2.3	<i>Mobilní měření VA charakteristiky</i>	62
5.3	POROVNÁNÍ DIAGNOSTICKÝCH METOD	65
6	PRAKTICKÁ ČÁST	66
6.1	KONTROLA PANELU PŘED UVEDENÍM NA TRH	66
6.2	VÝKONOVÉ OPTIMIZÉRY	67
6.2.1	<i>Výhody optimizerů</i>	67
6.2.2	<i>Cena a záruka optimizerů</i>	69
6.2.3	<i>Monitorovací systém SolarEdge</i>	70
6.2.4	<i>Monitorovací systém Tigo Energy</i>	72
6.3	PV ELEKTRÁRNA S OPITIMIZERY VS. PV ELEKTRÁRNA S BĚŽNÝM JEDNÍM STŘÍDAČEM	73
6.3.1	<i>Spotřeba rodinného domu</i>	73
6.3.2	<i>Výše výkupních cen a zelených bonusů</i>	74
6.3.3	<i>Fotovoltaická elektrárna s běžným střídačem</i>	75
6.3.4	<i>Fotovoltaická elektrárna s optimizéry</i>	77
6.3.5	<i>Fotovoltaická elektrárna se ziskem 20% výkonu pomocí optimizerů</i>	79
6.3.6	<i>Výsledek</i>	81
6.4	MONITOROVACÍ SYSTÉM PV ELEKTRÁRNY S JEDNÍM MPP SLEDOVAČEM	82
6.4.1	<i>Modul Solar Monitor (datalogger)</i>	83
6.4.2	<i>Senzory</i>	84
6.4.3	<i>Vzdálený odečet - webový monitoring</i>	85
6.4.4	<i>Cena</i>	89
6.4.5	<i>Výsledek</i>	90
6.5	MONITOROVÁNÍ POMOCÍ STRINGŮ	93
6.6	PLACENÉ DIAGNOSTICKÉ SLUŽBY	94
6.6.1	<i>Termografické měření fotovoltaických panelů</i>	94
6.6.2	<i>Flash test</i>	96
6.7	SOLÁRNÍ TESTER FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ	97
6.8	FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY UMÍSTĚNÉ NA POLI.....	98
6.9	SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ	100
6.10	NÁVRH MONITOROVACÍHO SYSTÉMU	101
7	METODIKA DETEKCE VAD PV SYSTÉMU	102
7.1	BLOK TESTOVÁNÍ	103
7.2	VÝVOJOVÝ DIAGRAM METODIKY DETEKCE VAD	105
	ZÁVĚR	109
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	110
	PŘÍLOHY	1
	PRINCIP CCD KAMERY.....	1

Seznam symbolů a zkratk

<i>kW_p</i>	Špičkový výkon fotovoltaické elektrárny (<i>p</i> = peak). Jedná se o výkon fotovoltaické elektrárny při standardních testovacích podmínkách (STC = Standard Test Conditions), které jsou: energie dopadá na fotovoltaický panel kolmo a má hodnotu $E = 1 \text{ kW/m}^2$, průzračnost atmosféry $A_m = 1,5$, teplota článků $T = 25^\circ\text{C}$.
<i>PV</i>	Fotovoltaický (Photovoltaic) ...
<i>FV</i>	Fotovoltaický ...
<i>AC</i>	Střídavý proud (alternating current) [A]
<i>DC</i>	Stejnoseměrný proud (direct current) [A]
<i>MPPT</i>	Maximum power point tracking – sledování maximálního bodu výkonu
<i>SEČ</i>	Středoevropský čas (SEČ), anglicky Central European Time (CET), je střední sluneční čas středoevropského poledníku (15 stupňů východně od Greenwiche)
<i>dl</i>	Délka [m]
<i>dλ</i>	Vlnová délka [m]
<i>eV</i>	Jednotka práce a energie mimo soustavu SI. Odpovídá kinetické energii, kterou získá elektron urychlený ve vakuu napětím jednoho voltu $1 \text{ eV} = 1,602176565(35) * 10^{-19} \text{ J}$
<i>E</i>	Energie [J] ([eV])
<i>GaAs</i>	Arsenid gallitý (také arsenid gallia)
<i>I_e</i>	Intenzita záření [W / m^2]
<i>AM</i>	Air mass - Koeficient hmotnost vzduchu definuje přímou délku optické dráhy skrz zemskou atmosféru, vyjádřená jako poměr vzhledem k délce cesty
<i>ppm</i>	Parts per million - výraz pro jednu částici nečistoty v jedné miliontině celku
<i>N</i>	n-polovodiče – majoritními nositeli náboje jsou elektrony (e ⁻)
<i>P</i>	p-polovodiče – majoritními nositeli náboje jsou elektronové díry (h ⁺)
<i>EVA</i>	Etylen-vinil-acetát
<i>LBIC</i>	Light Beam Induced current – laboratorní metoda detekce vady
<i>ASTM</i>	American Society for Testing and Materials

<i>ISO</i>	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
<i>ČSN</i>	Česká technická norma
<i>IEC</i>	International Electrotechnical Commission (Mezinárodní elektrotechnická komise)
<i>I</i>	Elektrický proud [A]
<i>U</i>	Elektrické napětí [V]
<i>P</i>	Elektrický výkon [W]
<i>ERÚ</i>	Energetický regulační úřad
<i>DPH</i>	Daň z přidané hodnoty
<i>ČEZ</i>	České energetické závody
<i>E.ON</i>	Společnost distribuující elektrickou energii a plyn
<i>LED</i>	Light-Emitting Diode
<i>LASER</i>	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
<i>CCD</i>	Charge-Coupled Device (zařízení s vázanými náboji)
<i>USB</i>	Universal Serial Bus (datová Univerzální sériová sběrnice)
<i>JPEG</i>	Joint Photographic Experts Group

Úvod

Cílem při koupi jakéhokoliv zařízení je pořízení produktu bez závad a se stoprocentní funkčností. U nejčastěji používanějších monokrystalických panelů se účinnost pohybuje kolem 15%, což není mnoho, a tudíž každé ztracené procento na výkonu se značně projeví.

Nejlepší prodejci garantují záruku 10 let na PV panel (modul), pokles výkonu za 10 let minimálně na 92% jmenovitého výkonu, za 25 let minimálně na 82% jmenovitého výkonu.

V této práci jsou uvedeny metody, které odhalují vady na fotovoltaických panelech. Za vady považujeme například skryté výrobní vady, vady stářím a i poškození díky činnosti matky přírody. Avšak každá metoda má své výhody a nevýhody. Značná část metod odhalení vad se uskutečňuje v laboratořích. Zkoumaný fotovoltaický panel se musí dopravit do laboratoře a na jeho místo ve fotovoltaické elektrárně se musí najít náhrada v podobě totožného panelu se stejnými parametry.

Nejvíce nám určení kvality znepríjemňují fotovoltaické panely instalované na sedlových střechách rodinných domů. Pohybovat se po střeše pokrytou mnoha panely těsně vedle sebe je velmi obtížné, zdali nemožné. Obtížné také je dopravit na střechu měřicí přístroje, které odkrývají závady na panelech.

Cílem této práce je určení vhodnosti jednotlivých metod. Přáním každého majitele fotovoltaické elektrárny je dosažení čistého zisku sluneční energie, tudíž co nejrychlejší vrácení investice vložené do výstavby. Každý další vložený finanční obnos po výstavbě oddaluje dobu vrácení investice. Za investici po výstavbě můžeme považovat i peníze vynaložené na prevenci proti vzniku závady. Proto se ukazuje, že hlavní porovnávací kritérium metod jsou finance.

Za metodu detekce závady PV panelu též můžeme považovat monitorovací systém PV elektrárny. Při provozu existuje riziko, že vzniklá závada na jednom PV článku ovlivní sousedící sériově připojené články a dojde k celkové či částečné ztrátě výkonu na jednom PV panelu. Při použití jednoho sledovače maximální bodu výkonu MPPT, jeden panel o menším výkonu než sousedící sériově připojené panely sníží celkový výkon PV elektrárny.

1 Křemík

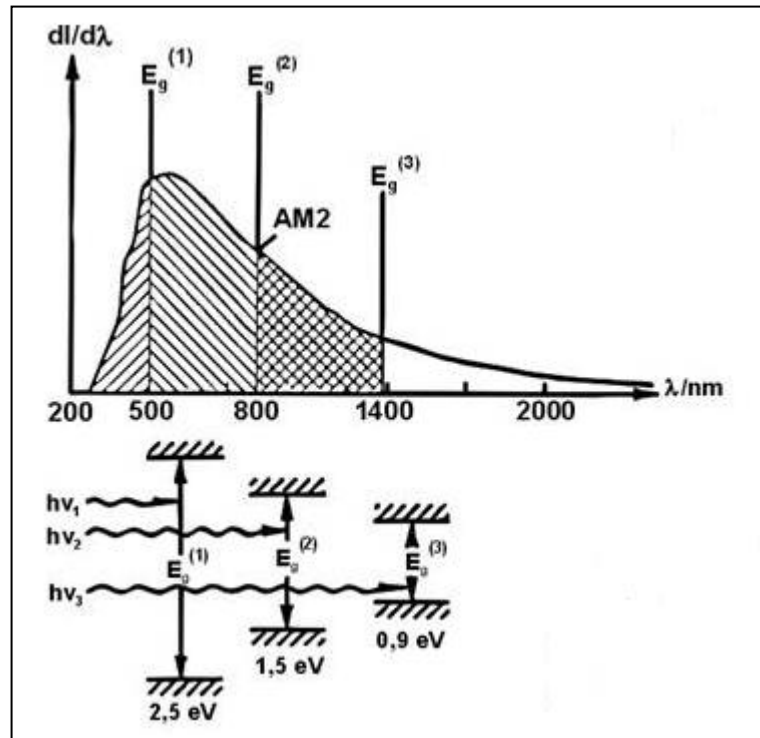
Krystalický křemík je v dnešní době zásadním prvkem pro výrobu a rozvoj fotovoltaického (PV) panelu. Využívá se až v 90% výroby PV panelů. Tento prvek je základním materiálem všech polovodičových součástí v elektrotechnice. Nepoužívá se však čistý křemík, používá se křemík obohacený o příměsi dalších prvků (tzv. donory a akceptory). Tyto příměsi pomáhají vzniknout elektronové či děrové vodivosti a sníží elektrický odpor. Vzniká tak polovodič typu *N* resp. *P*. Pro využití křemíku ve fotovoltaice je mnoho důvodů, jakožto v celé problematice polovodičů.

V zemské kůře je zastoupen v hojném množství. Je druhým nejčtenějším prvkem v zemské kůře. Jeho zastoupení je 26-28%. Proto je relativně levný a dostupný na trhu. Avšak vyskytuje se prakticky pouze ve sloučeninách. Má vysokou afinitu ke kyslíku, s nímž v přírodě tvoří sloučeninu oxid křemičitý SiO_2 . Křemík má zastoupení v mnoha horninách, jako např. pískovcové horniny, jíly, žuly...

Výhodou křemíku je mechanická a chemická odolnost. Odolává úspěšně minerálním kyselinám, až na dvě výjimky. Podléhá kyselině fluorovodíkové (HF) a kyselině dusičné (HNO_3). Další chemickou slabinou křemíku je snadná rozpustnost v zásaditých roztocích, např. v hydroxidu draselném. A nesmíme zapomenout na jeho neškodnost po stránce zdravotní. Křemík a jeho anorganické sloučeniny nejsou toxické, jsou natolik inertní, že projdou trávicím traktem zcela neporušeny. [5]

Křemík jako polovodič, s šířkou vodivostního zakázaného pásu $\Delta E_G \approx 1,1$ eV, umožňuje generovat potřebné množství volných nosičů elektrického náboje. Pro každý prvek je šířka zakázaného pásu charakterizující. Šířka zakázaného pásu připisuje danému prvku vlastnost do jaké míry velikosti vlnových délek je schopen absorbovat světelné záření a přeměnit ho na elektrickou energii, mluvíme o tzv. Shockleyůvo-Queisserůvo limitu. Dopadající záření o větších či menších vlnových délkách v tzv. nevyužitelné oblasti je pohlcen bez užitku nebo projde skrze PV článkem a jejich energie se mění na teplo. S rostoucí vlnovou délkou klesá energie fotonů. Křemík s jeho šířkou zakázaného pásu 1,1 eV absorbuje světelné záření do velikosti cca 1100 nm, a to mu předdefinováá účinnost kolem 30%. Mluvíme o tzv. spektrální citlivosti článku. Z obrázku (Obr. 1) vyplývá závislost absorpce vlnových délek na šířce

zakázaného pásu. Čím menší šířka zakázaného pásu tím je prvek schopen absorbovat větší vlnové délky. [12]



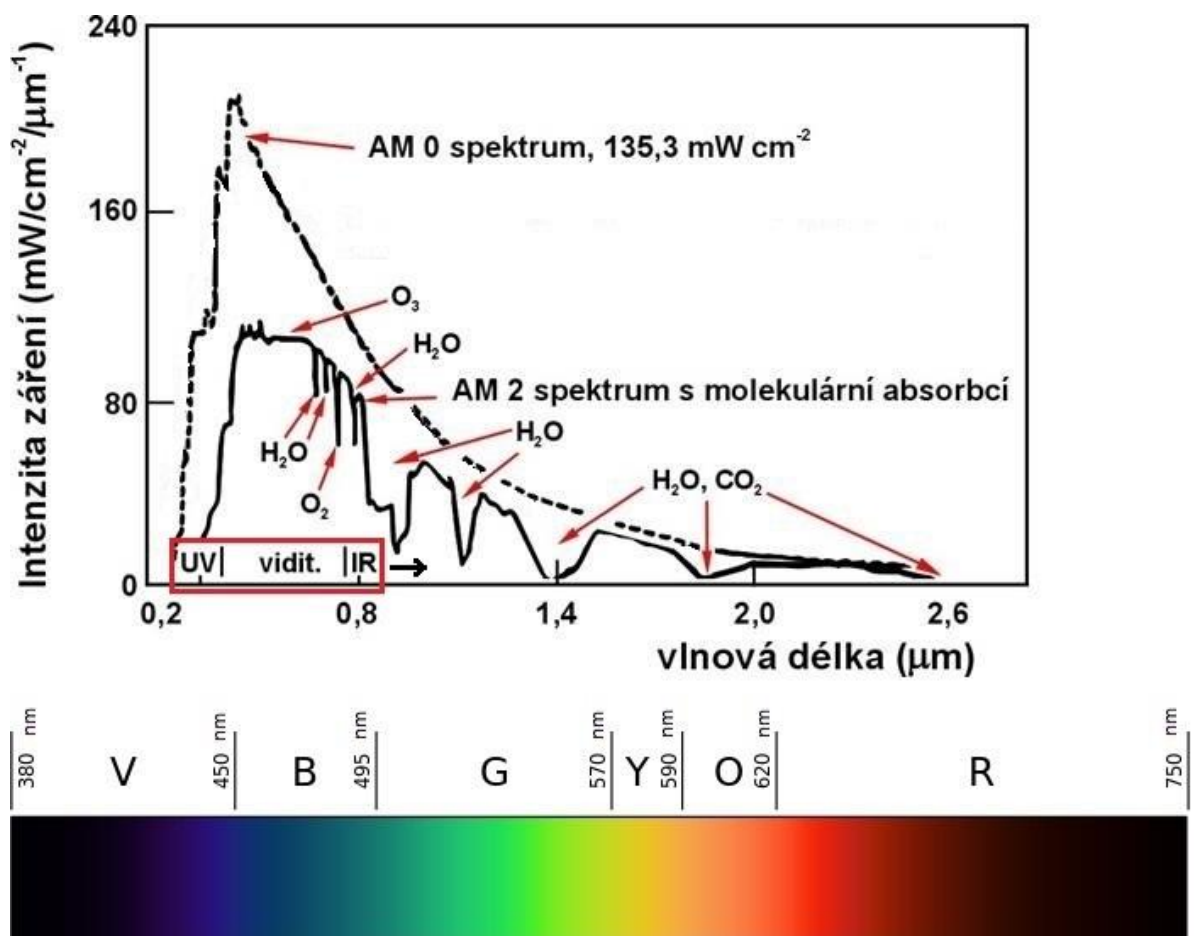
Obr. 1: Závislost absorpce vlnových délek na šířce zakázaného pásu [12]

Při aplikování této souvislosti mezi velikostí zakázaného vodivostního pásu a absorpce vlnových délek se nabízí možnost kombinace chemických prvků s rozdílnou hranicí absorpce za docílení větší účinnosti při výrobě elektrické energie v PV článku. V současné době se pracuje např. na kombinaci křemíkového článku a GaAs článku. Křemíkové články pracují v oblasti viditelného světla blízkého modré barvě a články GaAs v oblasti spektra směrem k červené barvě. Touto kombinací lze dosáhnou účinnosti 30%. [12]

Pro bližší vysvětlení vlastností slunečního záření přikládám obrázek (Obr. 2). Na obrázku můžeme např. pozorovat, že při průchodu slunečního záření atmosférou a dopadu na povrch planety se mění intenzita záření a i spektrální složení. Intenzita záření (nad hranicí atmosféry $1354 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) je snížena prostřednictvím pohlcování, absorpcí a rozptylem, difúzí v atmosféře. Změna spektrální složení je ovlivněna částicemi vzduchu obsažených v atmosféře, na nichž dochází k rozptylu a absorpci. Takto vznikají tzv. absorpční pásy O_2 , N_2 , O_3 a vodní páry. Např. ozon O_3 absorbuje totálně záření s vlnovou délkou pod 290 nm. [12]

Pro charakterizování vlivu vzduchové vrstvy atmosféry byla zavedena veličina AM (air mass). Sluneční záření a jeho spektrální složení ve vesmíru je označováno AM 0. Kdyby záření ideálně proniklo kolmo zemskou atmosférou, použijeme označení AM 1. Ve skutečnosti díky difuznímu záření např. od mraků a úhlu průniku záření atmosférou, dosahuje v středních zeměpisných šířkách spektrální složení záření na povrchu velikosti AM 1,5, tj. jako kdyby prošlo 1,5 násobku délky atmosféry. Pro účely normalizace v roce 1970, na základě analýzy celoročního slunečního záření ve Spojených státech, byla zvolena průměrná hodnota AM 1,5. Od té doby, solární průmysl používá AM 1,5 pro všechna standardizovaná testování PV článků. AM 2 představuje velikost spektrálního složení pro Severní Evropu nebo pro výše položené oblasti či pro zimu v středních zeměpisných šířkách. [12]

Dále můžeme pozorovat, že zastoupení jednotlivých vlnových délek klesá s jejich délkou. Sluneční spektrum dopadající na povrch planety má následující vlnové délky: ultrafialové záření (290 - 380 nm), viditelné světlo (380 - 710 nm) a infračervené záření (710 - 4 000 nm). Nejmenší podíl v celkovém záření dopadající na povrch má ultrafialové záření (0-4 %).



Obr. 2: Spektrální složení slunečního záření [12]

2 Technologie výroby fotovoltaického článku

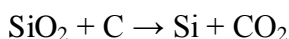
Nejčastěji používaná je „Křemíková technologie tlustých vrstev“. Fotovoltaické panely vyrobené touto technologií mají na trhu zastoupení 85%. Článek je tvořen křemíkovou polovodičovou diodou P-N. Základem této výroby je křemíkový plátek (waffer) získaný nařezáním křemíkového ingotu. Křemíkový ingot z čistého křemíku získáme různými způsoby. Pro polykrystalický článek se využívá lití roztaveného křemíku do formy a výroba monokrystalického ingotu probíhá tzv. Czochralskiho metodou.

Další technologie nazývaná „Křemíková technologie tenkých vrstev“ je charakterizována velmi tenkou vrstvou amorfního nebo mikrokrytalického křemíku na textilií či skle. Ve srovnání s předchozí technologií tlustých vrstev má výsledný fotovoltaický článek menší účinnost a i životnost.

Existují i technologie ve stadiu výzkumu, kde se křemík nevyskytuje. Do těchto technologií zařazujeme panely na bázi organických polymerních vrstev či nanovláken. Takové panely jsou levné avšak málo účinné. Cenově výrazně dražší jsou panely GaAs, které našli své uplatnění ve vesmíru. [2]

2.1 Výroba fotovoltaického článku technologií tlustých vrstev

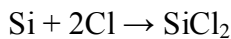
V přírodě se křemík vyskytuje v sloučeninách. Z těchto sloučenin nás zajímá pro výrobu nejvíce oxid křemičitý (křemičitý písek), z něhož získáme surový čistý křemík za pomoci obloukové elektrické pece. Zde oxid křemičitý chemicky reaguje s uhlíkem. Uhlík se do pece dopravuje ve formě koksu nebo může uhlík být zastoupen v grafitové elektrodě. Kyslík uvolněný z SiO_2 reaguje s uhlíkem a je spalován na oxid uhličitý CO_2 . Celý tento proces vyjadřuje tato rovnice:



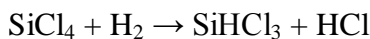
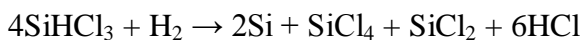
Takto získáme surový křemík o čistotě 97-99%. Pro elektrické polovodičové součástky však potřebujeme mnohem čistější křemík. Pro PV články potřebujeme snížit nečistoty řádově pod 10^{-6} (99,9999 %), což odpovídá čistotě „ppm“ (Parts per milion), je to výraz pro jednu částici nečistoty v jedné miliontině celku. Např. pro integrované obvody potřebujeme dosáhnout čistoty až 10^{-9} .

Způsob jak dosáhnout tak čistého křemíku je „Zonální tavení“. Křemík se upraví do podoby dlouhé tyče. Jejím protažením tavicí pecí se mění místo působení teploty na její povrch. Nečistoty se tímto procesem posouvají k zadní části křemíkové tyče, ta se pak odřízne. Několikátým opakováním tohoto postupu docílíme požadované čistoty. Tato metoda je nejstarší používaná, ne však jediná.

Nejpoužívanější technologií čištění křemíku je dnes „technologie Siemens“ s chlórovým cyklem, takto docílíme čistoty 10^{-9} . Tato metoda spočívá v tom, že je z čistého křemíku vyrobena nejprve těkavá plynná sloučenina trichlorsilan HSiCl_3 . Znázorněno zjednodušeně pomocí chemických rovnic:

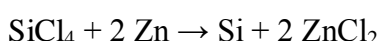


Po destilaci se z trichlorsilanu opět vyredukuje čistý křemík podle zjednodušených rovnic:



Vědci pracují na nových metodách čištění křemíku. Neboť metoda Siemens není dokonalá a nese mnoho úskalí. Samotný chlorid používaný při této metodě, ohrožuje bezpečnost zaměstnanců, pracujících v laboratoři, a též ohrožuje přírodní prostředí. Metoda je také energeticky náročná, což se promítne na ceně finálního produktu. [2]

Trichlorsilan není jedinou sloučeninou křemíku a chloru, kterou můžeme použít pro vyčištění křemíku. Chlorid křemičitý SiCl_4 je využíván v metodě nazývané „Dupontův postup“. Chemická reakce vypadá následně takto:



Tato metoda se nepoužívá, neboť vznikající chlorid zinečnatý ZnCl_2 je moc těkavý a znečišťoval by již vyrobený čistý křemík.

Požadovanou čistotu můžeme překontrolovat elektrickým odporem. Při existenci nečistot by byla hodnota elektrického odporu větší než očekávaná hodnota.

Po operaci čištění vzniknou hrudky čistého křemíku. Následné zpracování těchto hrudek se liší dle požadovaného cíle, tj. typu PV článku. Pro polykrystalický článek se využívá lití roztaveného křemíku do formy. Křemík zde řízeně pomocí indukovaného ohřevu chladne a výsledek nazýváme ingot s průřezem čtverce. Pro výrobu monokrystalického ingotu používáme tzv. Czochralskiho metodu.

Czochralskiho metoda spočívá v ponoření malého monokrystalu při teplotě cca 1 415 °C v inertní atmosféře argonu a za sníženého tlaku do taveniny křemíku. Monokrystalem podélně otáčíme a pulzujeme a pomalu ho vytahujeme z taveniny. Vzniká ingot s průřezem kružnice.

Vzniklý ingot po vychladnutí je nařezán na destičky, tj. křemíkový plátek (waffer). Křemíkový plátek je základní stavební prvek PV článku. Řezáním ztrácíme 10% materiálu. Tloušťka destiček se modernizací technologie řezáním ztenčuje, dnes se pohybuje tloušťka kolem 100 μm. Křemíkový plátek musí projít povrchovou úpravou broušením, aby se zbavil všech nerovností způsobených řezáním a dosáhl dokonalého lesku povrchu

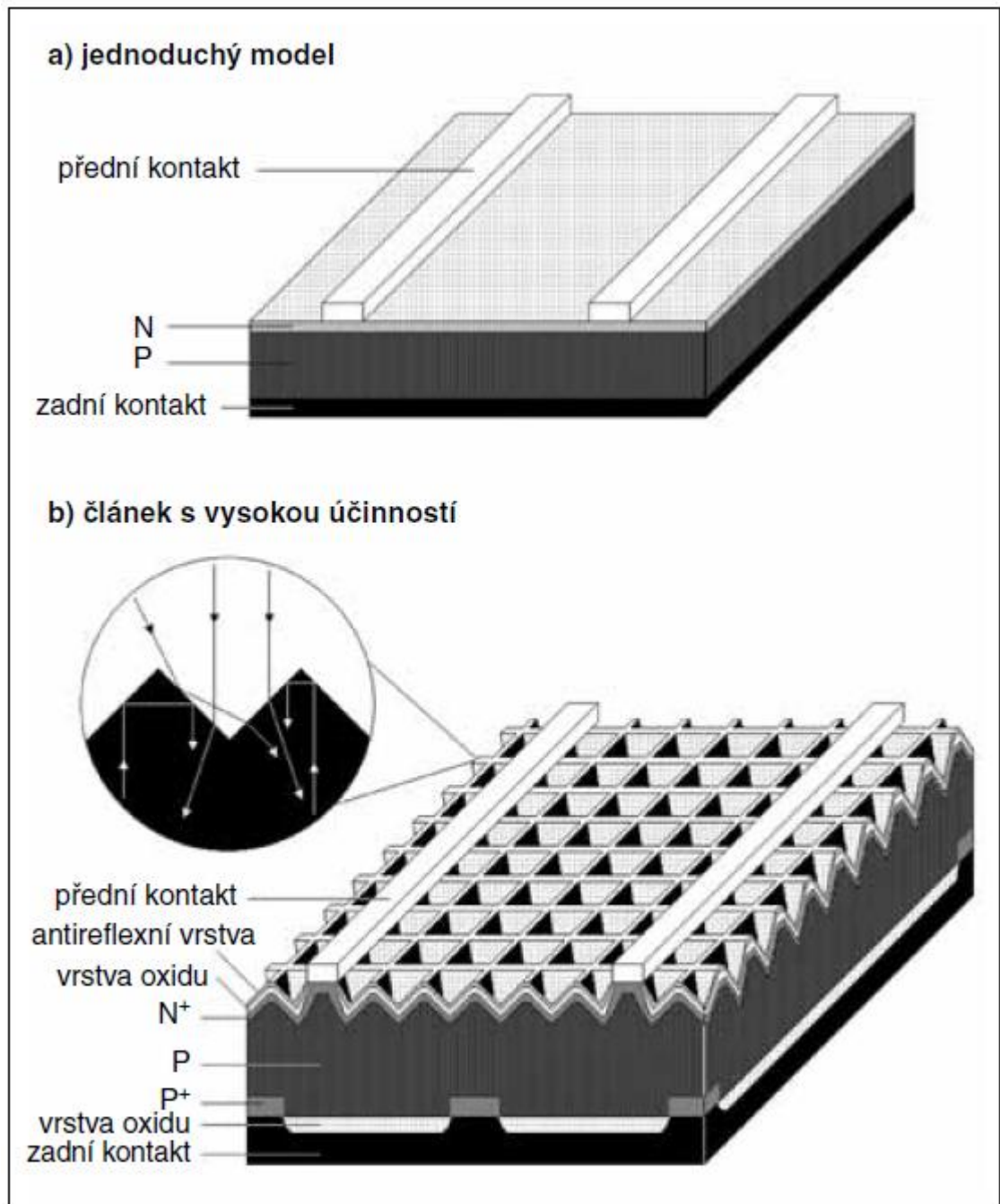
Broušení se provádí pomocí tzv. Lapování. Lapování je nejpřesnější metoda obrábění a dosahuje i největší rozměrové přesnosti. Používá se pro dokončování vnějších i vnitřních rovinných, válcových a tvarových ploch. Lapují se měkké i tvrdé materiály. Je to v podstatě velmi jemné broušení volným brusivem rozptýleným v kapalině nebo pastě (olej, petrolej, benzin apod.), která se přivádí mezi lapovací nástroj a obrobek. Nevýhodou je velká pracnost, malá produktivita a vysoké náklady. Samotné broušení nestačí a provádí se ještě leptání povrchu kyselinou.

Takto opracovaný křemíkový plátek je stále pouhým polovodičovým kovem. V elektrotechnice se používá křemík obohacený o příměsi dalších prvků (tzv. donory a akceptory). Tyto příměsi pomáhají vzniknout elektronové či děrové vodivosti a sníží elektrický odpor. Příměsi jsou do plátku vloženy pomocí difúze v difúzních pecích. Difúze je proces využívající přirozenou vlastnost všech látek vyrovnávat koncentraci v celém dostupném prostoru látky. Pokud částice obsažené v látce mají možnost pohybu, přecházejí z prostředí s vyšší koncentrací do prostředí s nižší koncentrací. Zadní strana plátku je

obohacena malým množstvím pětimocného chemického prvku. Vznikne polovodič typu P. Přední strana, na níž dopadá sluneční záření, je obohacena prvkem trojmocným, za vzniku polovodiče typu N. Toto obohacení se nazývá infundace. Obohacením vznikne polovodičová dioda přechodem N-P. [10]

Dalším krokem je pasivace povrchu plátku, abychom zabránili chemickým reakcím čistého křemíku s okolím. Pro tyto účely používáme nejčastěji plasmaticky nanášený nitrid křemíku (SiN_x) nebo oxid SiO_2 . Pasivační vrstva je vždy kombinovaná s vrstvou antireflexní. Antireflexní vrstva má za úkol minimalizovat odrazy záření. Rozsah spektra využitelného záření pro generaci nosičů je specifická pro každý materiál, pro krystalický křemík c-Si 350 až 1200 nm. Touto úpravou zvýšíme generaci nosičů v objemu PV článku. Antireflexní úpravou mnohou být výsledkem inverzní pyramidy pro zvýšení účinnosti na přední straně plátku. Texturace povrchu pyramidami se provádí anizotropním alkalickým leptáním. Články po těchto úpravách s optimalizovanou nejlepší možnou účinností se jeví lidskému oku černé či tmavomodré. Pro zlepšení účinnosti můžeme provést texturaci i na zadní straně PV článku, tak zachytíme fotony odrazené od země. Odražené fotony mají kratší vlnovou délku, tudíž menší energii.

Nanášení kontaktů (sběrnice) na přední stranu, tj. záporný pól, se provádí sítotiskem hliníku. Na těchto místech je proleptáním porušena antireflexní vrstva. Sítotisk nahradil vakuově napařované či napařované kontakty, neboť zlevnil a zjednodušil výrobu. Aby sítotisk nebránil dopadajícímu záření, na přední stranu není prováděn celoplošně, ale pouze úzkými proužky tvořícími mřížku. Zadní strana, tvořící kladný pól je potažena celá hliníkovou folií. Kontakty můžeme i vnořit do materiálu polovodiče, takto se zvýší plocha styku s polovodičem a i průřez kontaktu. Zlepšíme tak proudovou hustotu protékající článkem.

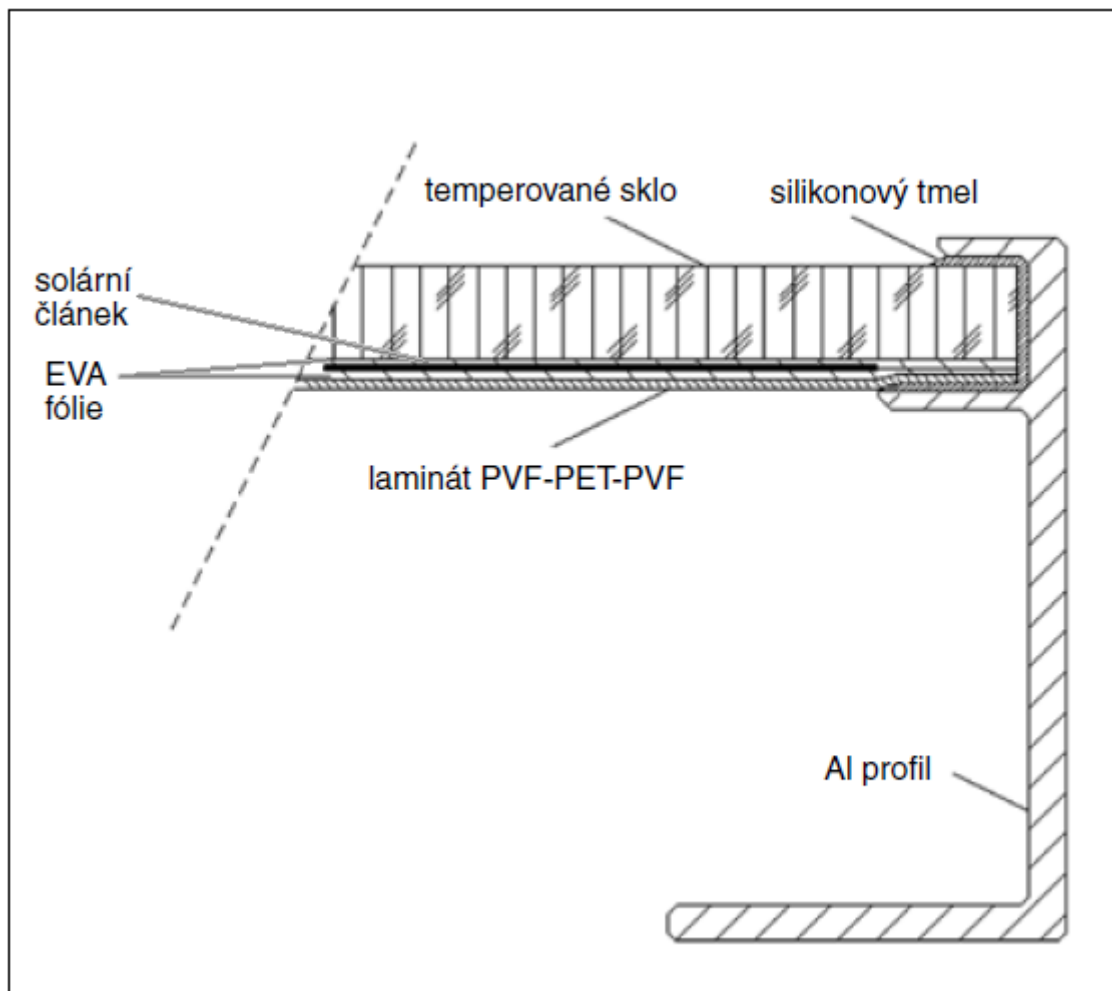


Obr. 3: Schéma PV článku [2]

Vyrobené PV články se spojí sério-paralelní kombinací, aby při definovaném osvětlení poskytovaly žádané stejnosměrné napětí a výkon. Pro efektivitu prostorového uspořádání se PV článek tvaruje tak aby vzniklé mezery mezi jednotlivými články byly co nejmenší. Zároveň docílený tvar musí z ekonomického hlediska vykazovat co nejmenší ztráty na odřezkách.

Před zabudováním PV článků do PV panelů se aplikuje z obou stran na článek ochranná vrstva zabraňující korozi, využívá se plast EVA (etylen-vinil-acetát). Takto ochráněný článek se pokládá na vrstvu laminátu PVF-PET-PVF (polyvinylidenfluorid-polyethylentereftalát-polyvinylidenfluorid). Přední strana se opatří kaleným sklem (temperované sklo), odolávající i krupobití. Mezi jednotlivými vrstvami, se vysaje vzduch a tento celek se vystaví teplotě, při níž taje plast EVA. Roztavený plast se rozteče a zakonzervuje PV články mezi kaleným sklem a laminátem PVF-PET-PVF. Tento celek je odolný vůči vodě a dalším nečistotám.

Finální prací na PV panelu je rámování ochráněných článků do hliníkových profilů. Využívá se slitina hliníku dural (obvykle 90–96 % Al a 4–6 % Cu s menším podílem přísad Mg, Mn) pro svoji větší pevnost v tahu a tvrdost. Spojovacím materiálem pro zakotvení článků do profilu je silikonový tmel.



Obr. 4: Schematický řez PV panelu [2]

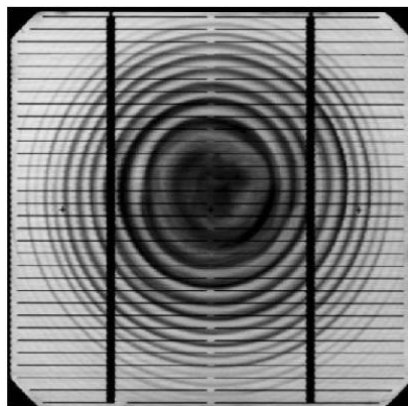
3 Vznik vady na PV článku

3.1 Při výrobě

Vady vzniklé při výrobním procesu PV článku mají příčinu nejčastěji v ne zcela zvládnuté technologii výroby a v neopatrnosti při manipulaci s jednotlivými články. Další příčinou jsou nedostatečně hermeticky uzavřené procesy. Kritické procesy pro vznik mnoho vad jsou např. difúze a Czochralského metoda.

3.1.1 Vírový defekt

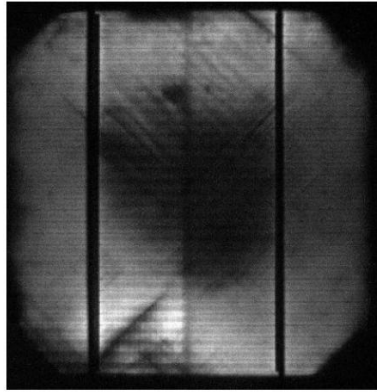
Tato vada se projevuje výraznými soustřednými kružnicemi na PV článku. Závažnost této vady je kritická, neboť zasahuje velkou plochu všech PV článků pocházejících z jednoho totožného ingotu. Vzniká pouze při Czochralského metodě, která je charakteristická pro výrobu monokrystalických článků. Ve fázi tažení monokrystalického ingotu pronikne do čistého křemíku cizorodá příměs, např. kyslík. Závadu odhalíme pomocí metody detekce vad LBIC nebo LBIV.



Obr. 5: Vírový defekt PV článku [1]

3.1.2 Pnutí materiálu v ingotu

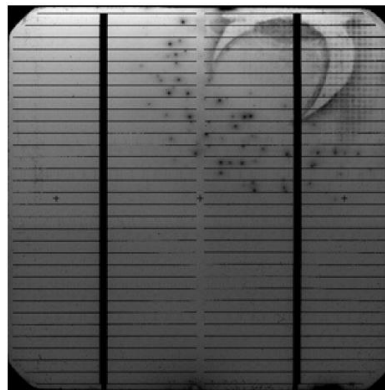
Další vada, která vzniká při Czochralského metodě. Tudiž postihuje všechny monokrystalického články pocházejícího z postiženého ingotu. Příčinou této vady je příliš rychlý růst ingotu, který zapříčiní porušení struktury a přetrhání vazeb křemíku. Závadu odhalíme velmi rychle pomocí elektroluminiscenčního měření, nebo můžeme použít několik hodin trvající metodu detekce vad LBIC.



Obr. 6: Vnitřní pnutí ingotu [1]

3.1.3 Nehomogenita difúzní vrstvy

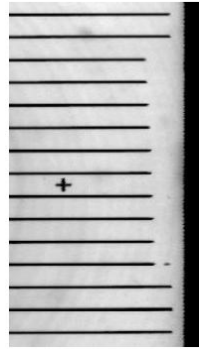
Difúze je proces obohacení čistého křemíku o příměsí, jenž zapříčiní vznik polovodiče typu N respektive typu P. Pro tuto závadu jsou charakteristické černé tečky, odhalitelné na PV článku pomocí metody LBIC a nebo metody záření mikroplazmy.



Obr. 7: Nehomogenita [1]

3.1.4 Chyba při sítotisku

Tuto závadu odhalíme všemi diagnostickými metodami. Závadu rozpoznáme nedotažením mřížky sítotisku, vznikající na přední straně PV článku, do požadovaného konce u hrany článku. Následek této závady je úbytek z celkového množství generovaného proudu [1]



Obr. 8: Chybný sítotisk [1]

3.1.5 Mechanické poškození PV článku

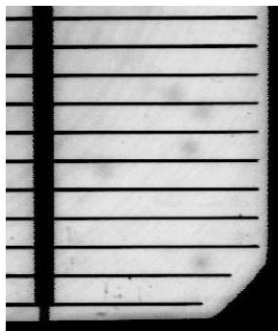
Mechanickým poškozením může vzniknout celá řada vad. Tyto závady řadíme do závad vzniklých při výrobě. Protože takovým závadám dochází jen před pokrytím PV článku všemi ochrannými vrstvami.

Do této skupiny vad patří poškození PV článku poškrábáním. K poškrábání dochází neopatrnou manipulací obsluhy při výrobě nebo diagnostice. Závadu můžeme odhalit pomocí hned několika metod, a to metody LBIC a elektroluminiscenčního měření a také záření mikroplazmy. [1]



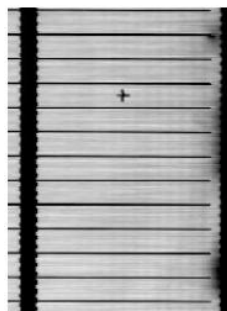
Obr. 9: Poškrábání [1]

Během procesu difúze může dojít k dalšímu mechanickému poškození, průniku prachových částic do plátku křemíku. Prachové částice odhalíme metodou LBIC a elektroluminiscenčním měřením. [1]



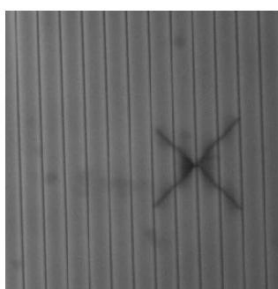
Obr. 10: Prachové částice [1]

Zvláště nebezpečnou závadou jsou neobroušené hrany PV článku. Špatně obroušené či vůbec neobroušené hrany vedou ke zkratu spodní a vrchní části článku. Stejně důsledky má i větší odštípnutý kus hrany. Závadu snadno odhalíme všemi metodami. [1]



Obr. 11: Neobroušené hrany PV článku [1]

Působením nepřiměřeného tlaku na PV článek můžeme zapříčinit vzniku lomu na křemíkovém plátku. Lom odhalíme metodou LBIC a elektroluminiscenčním měřením. [1]



Obr. 12: Lom PV článku [1]

3.1.6 Logo na skle

Ať je to sebevíce absurdní i taková maličkost jako potisk krycího skla firemním logem výrobce na nevhodném místě, a to nad samotným PV článkem, vede ke ztrátě účinnosti. Logo se stává nesmyslným zdrojem zastínění.

4 Vznik vady na PV systému

4.1 Fotovoltaický systém

Základním elementem fotovoltaického systému je fotovoltaický článek. Jelikož samotný jeden fotovoltaický článek dosahuje malého výkonu je spojen do větších celků tzv. fotovoltaických panelů. Fotovoltaické panely jsou běžně spojovány do sérií, jež se nazývají string (řetězec). Výkonné fotovoltaické zdroje jsou tvořeny velkým počtem sério-paralelně řazených fotovoltaických panelů, které tvoří tzv. fotovoltaické pole. [15]

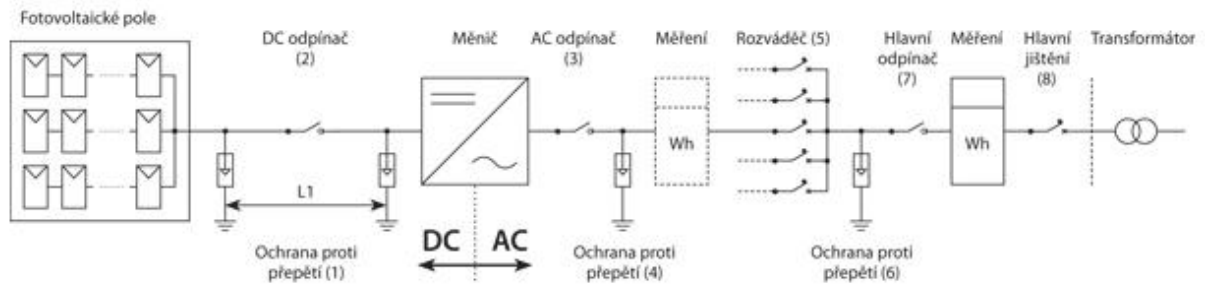
Za PV systémy považujeme fotovoltaické pole připojené k distribuční síti nebo přímo k spotřebičům v domácnosti. PV pole produkuje stejnosměrnou elektrickou energii, avšak distribuční síť a domácí spotřebiče vyžadují střídavé napětí. Proto je nutné stejnosměrné napětí změnit prostřednictvím střídače neboli též invertoru (měniče) na střídavé napětí. [15]

Solární články v panelech nebo jednotlivé solární panely mohou být propojeny v tzv.:

- **sériovém zapojení** - zvyšuje výstupní napětí a zachovává výstupní proud panelu jednotlivých panelů
- **paralelním zapojení** - zvyšuje max. odebíraný proud a zachovává výstupní napětí jednotlivých panelů
- **sériově-paralelním zapojení** - kombinuje sériové i paralelní pospojování pro získání potřebného výstupního napětí a proudu

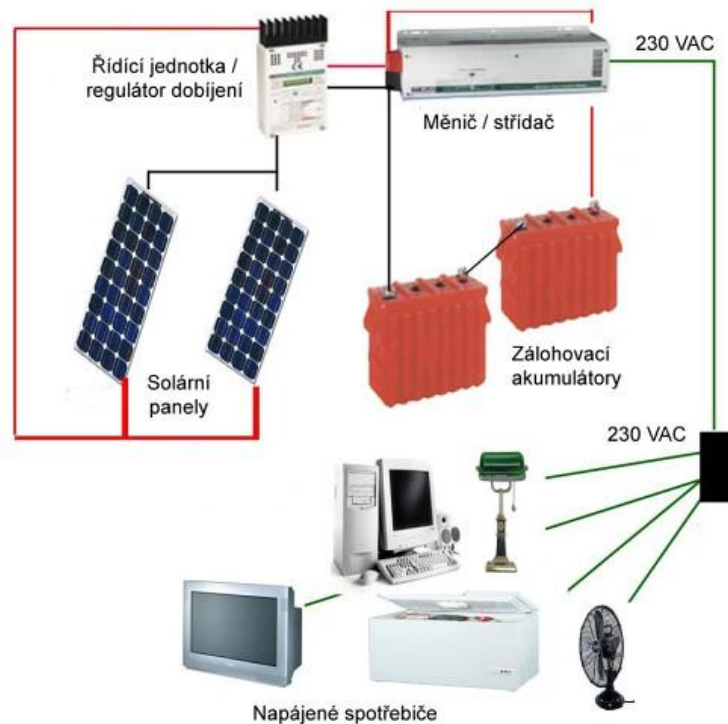
Solární systémy dle cíle využití může rozdělit na solární systém připojený k distribuční síti a na systém izolovaný od distribuční sítě (tzv. ostrovní) sloužící pro akumulaci energie do baterií.

Cílem v systému připojenému k distribuční síti je produkovat na výstupu z PV panelů vysoké napětí v řádech až několika set voltů, z důvodů vyrovnání s napětím právě v distribuční síti. Proto se pro tyto systémy využívá sériové zapojení, kde se vzájemně propojují kladné a záporné póly a takto docílíme zvýšení výstupního napětí. [16]



Obr. 13: Obecné schéma PV systému připojenému k distribuční síti [15]

V systémech izolovaných od distribuční sítě využíváme paralelní zapojení, vzájemné propojením kladných a záporných pólů panelů či článků. Vysoký produkovaný proud o nízkém napětí je akumulován do baterií s napětím 12 nebo 24 V DC. [16]



Obr. 14: Obecné schéma PV systému izolovaného [16]

At' spojíme PV panely seriově či paralelně získáme vždy na výstupu stejný výkon. Pro příklad si uvedeme výpočet pro dva PV panely s napětím 12V a maximálním proudem 6A.

Panely zapojené do serie:

$$P = U * I$$

$$P = (2 * 12) * 6 = 144 \text{ W}$$

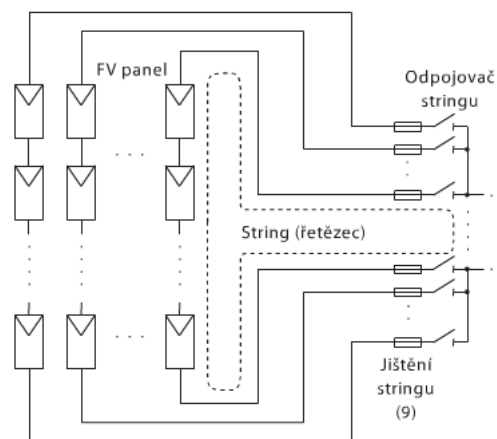
Panely zapojené paralelně:

$$P = U * I$$

$$P = 12 * (2 * 6) = 144 \text{ W}$$

4.1.1 Zapojení do stringů

Zapojení PV panelů do tzv. stringů dosahujeme rozdělení celé PV elektrárny na menší skupiny PV panelů. Skupiny PV panelů jsou paralelně připojeny k jednomu střídači či tzv. stringboxu. Při případné poruše na jednom PV panelu není tudíž zasažena celá PV elektrárna ztrátou výkonu, zasažen je pouze jeden string. Stringy můžeme monitorovat a tudíž i si pomoc k lepší a rychlejší lokalizaci případné závady.



Obr. 15: Zapojení do stringů [15]

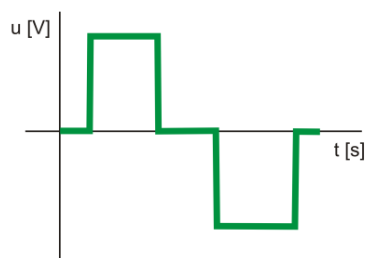
Využití stringů se taky uplatňuje při dimenzování střídače. Jak uvedeno výše, stringy se zapojují do paralelních řetězců do jednoho střídače. Díky paralelnímu zapojení snižují napěťovou zátěž na jeden střídač.

Další výhodou stringů je oddělené sledování maximálního bodu výkonu MPPT, což mnoho střídačů na trhu nabízí. V střídačích bývá umístěno 2 a více MPPT sledovačů.

4.2 Střídač

Střídač neboli též měnič či inventor. Můžeme mu říkat tolika výrazy, neboť zastupuje v PV elektrárně více funkcí. Správně slovem střídač popisujeme zařízení měnící stejnosměrné napětí produkované PV panely na napětí střídavé. Použitím slova stejnosměrný měnič myslíme zařízení měnící velikost napětí, v tomto případě na napětí 230V. Jeho funkce a umístění v solární elektrárně mezi soustavou PV panelů a jimi napájenou sítí mu předurčuje klíčové postavení v celé problematice efektivity.

Vadu na solárním systému můžeme způsobit chybným výběrem a kvalitou podřadného střídače, či jen špatným typem. Dle napěťových výstupních parametrů střídačů rozdělujeme střídače do dvou skupin, střídače s modifikovaným sinusovým výstupem a čistým sinusovým výstupem. [26]



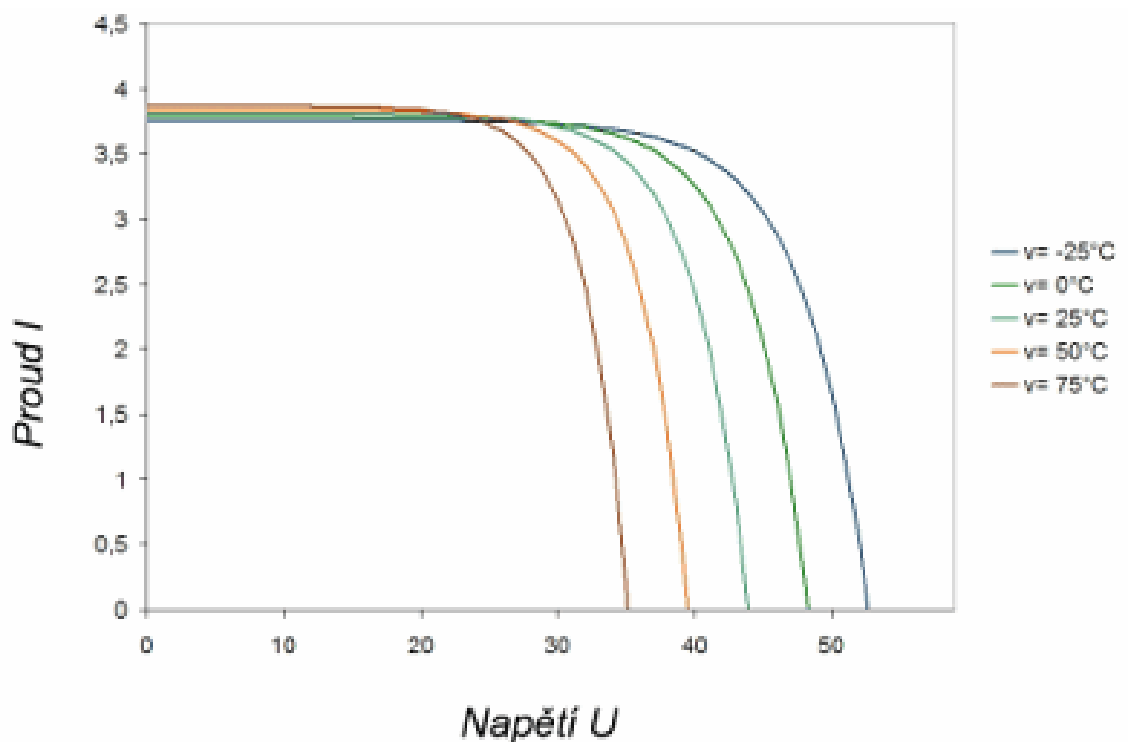
Obr. 16: Modifikovaná sinusovka [25]

Velká část měničů na trhu má tvar výstupu modifikované sinusovky, známé též jako trapézová či pilová sinusovka. Tento tvar výstupu je neškodný pro většinu domácích spotřebičů, avšak najdou se i takové spotřebiče kde může nastat poškození. Citlivé spotřebiče, na tvar přiváděného napětí, jsou například elektrické motory či obrazovky počítačů a televizí a také úsporné žárovky. Velkou výhodou měničů s modifikovanou sinusovkou je nízká cena. [26]

Ačkoliv se zdá, že nejlepším řešením ve volbě střídače je typ s čistou sinusovkou, není to také zcela pravda. Čistá sinusovka vyhrává jen v porovnání s modifikovanou sinusovkou. Ať osadíme PV elektrárnu střídačem s čistou sinusovkou či s modifikovanou sinusovkou, narazíme na velkou chybu společnou pro oba dva typy střídačů. Ani jeden typ se nedokáže vyrovnat s proměnlivým ozářením respektive s různými výkony jednotlivých PV panelů v systému. Výsledkem je neoptimalizovaný systém, neposkytující maximální možný zisk elektrické energie. Blíže si ten problém můžeme vysvětlit na účinnosti střídače. [26]

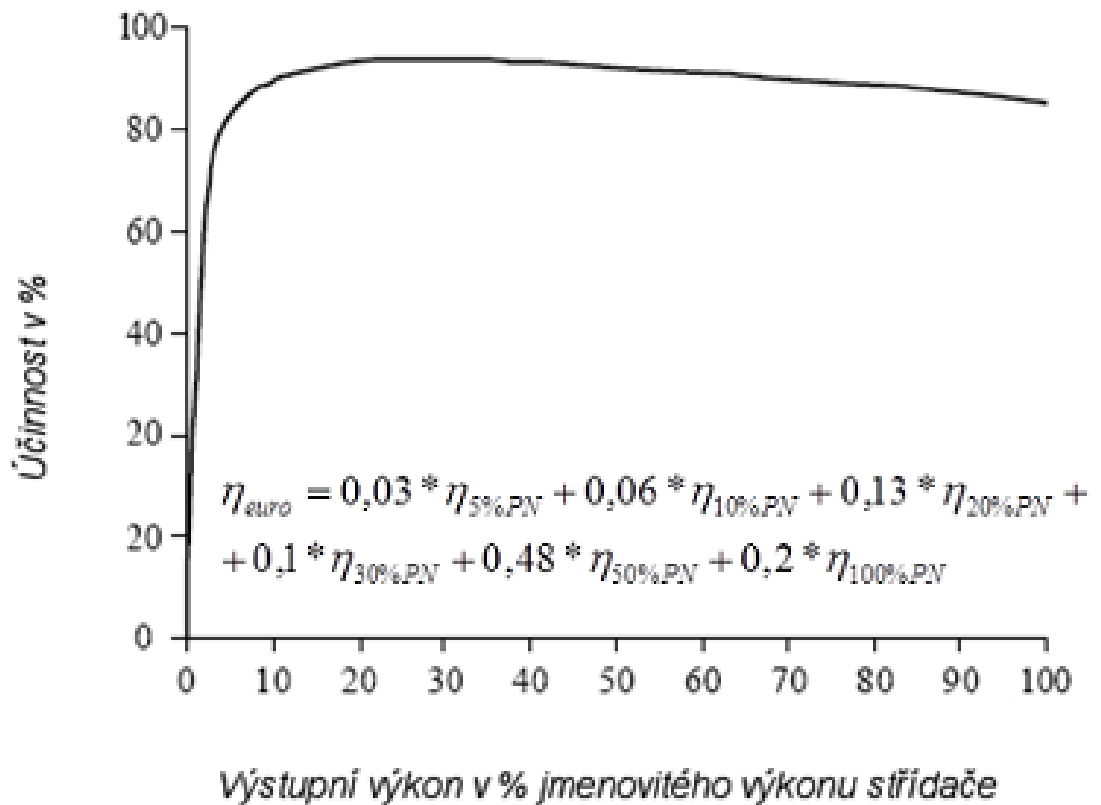
4.2.1 Účinnost střídače

U střídačů se uvádějí několik hodnot účinností, hodnota tzv. americká a hodnota tzv. evropská a hodnota účinnosti MPP (maximum power point) trackeru. Účinnost střídače, vyjádřena americkou metodou, se pohybuje v rozmezí 90-98%. Tato metoda je založena na uvedení maximální možné účinnosti při maximálně optimálních podmínkách (jmenovité DC napětí a střední hodnoty AC výkonu). Avšak DC napětí je velmi proměnlivou veličinou závislou především na teplotě. [39]



Obr. 17: Závislost napětí a proudu na změně teploty [39]

Pro lepší znázornění, jak se bude střídač chovat při změně klimatických podmínek, používáme evropskou metodu. Účinnost je stanovena jako vážená průměrná hodnota při různých stupních zatížení střídače (měří se při 5, 10, 20, 30, 50 a 100 % nominálního výkonu). Výsledek účinnosti se uvádí grafem nebo číselnou procentuální hodnotou, které je menší než u americké účinnosti. [39]



Obr. 18: Evropská účinnost [39]

Evropská metoda nám poukazuje na nedokonalost střídače při měnících se klimatických podmínkách (teplota). Pro optimalizaci výkonu, v daném okamžiku o daném napětí na DC straně, je střídač nastaven na aktuální pracovní bod pomocí tzv MPP trackeru. Jedná se o zařízení pro sledování bodu maximálního výkonu (MPP), které změnou vstupního odporu zajišťuje optimální chod střídače. [39]

Tudíž se velmi důležitým faktorem celkové účinnosti střídače stává účinnost přizpůsobení MPP. Jedná se o parametr udávající, jak rychle dokáže střídač měnit se klimatické podmínky zaregistrovat a na změnu adekvátně a přesně reagovat. [39]

4.2.2 Mikrostrídače

Celkové napětí na DC straně PV systému je dáno jednotlivými napětími na jednotlivých PV panelech. Tyto napětí se vlivem stínění a jiných faktorů liší. Proto výsledný výkon PV elektrárny, o jednom MPP trackeru, je pouze průměrnou hodnotu všech bodů maximálního výkonu MMP.

Problém s proměnlivými výnosy výkonů z jednotlivých panelů má potenciál vyřešit třetí typ strídačů, tzv. mikrostrídače. Jejich velikost umožňuje jejich umístění u každého z PV panelů. Toto umístění umožňuje maximalizovat výnos elektrické energie z celého PV systému. Avšak tato výhoda mikrostrídačů je zastřena mnoha nevýhodami. Jejich cena je značně vysoká a životnost je naopak nízká stejně jako jejich účinnost. [26]

Mikrostrídače též umožňují využít celou plochu střechy bez omezení zdroji potenciálních stínů jako je třeba komín. Nevadí jim ani typová či výkonová rozlišnost PV panelů ve stringu. Jelikož umožňují vypnout PV panely jsou i tudíž ideální při hašení požáru v objektu. Při použití klasického strídače je nebezpečné hasit objekt osazen na střeše PV panely. Také při výměně poškozeného panelu nám mikrostrídače pomáhají. Neboť nemusíme hledat na trhu stejný typ PV panelu se stejnými výkonovými charakteristikami jako poškozený panel a nahradit ho zcela jiným panelem. Stejný problém mikrostrídače řeší i při dočasném vyjmutí panelu ze stringu například díky naplánovanému servisu. [26]

4.2.3 Počet fází

Strídače nadále můžeme rozdělit dle počtu napájených fází. Existují strídače jednofázové a strídače třífázové. Distribuční soustava nízkého napětí je třífázovou soustavou. V domácnosti však máme soustavu jednofázovou, až na výjimky tzv. motorových zásuvek 400V a sporákovou zásuvku.

4.2.4 Střídače s transformátorem

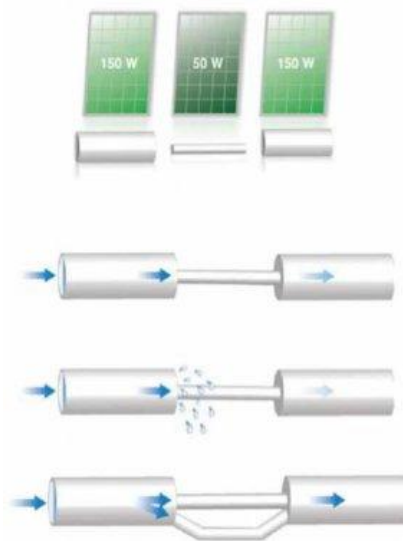
Takto se nazývá střídač využívající transformátor s železným jádrem. Výhodou střídače nevyužívající transformátor je obvykle vysoká účinnost, takto jej můžeme též identifikovat. Avšak nevýhodou bez transformátorových střídačů je absence galvanického oddělení strany stejnosměrného proudu (PV panely) od strany střídavého proudu (domácnost, distribuční síť). Galvanické oddělení pomocí transformátoru se stává bezpečnostním prvkem střídače. Kvůli bezpečnosti, některé země světa ve své legislativě příkazují používat střídače pouze s transformátory, například Itálie. Též technologie PV panelu s amorfním křemíkem si žádá využití střídače s transformátorem. [39]

4.3 Ochranné diody

PV panely opatřujeme dvěma druhy ochranných diod, ByPass diody pro panely spojené do série a diody bránící zpětnému proudu v paralelním uskupení panelů. Doporučují se použít tzv. schottky diody, které mají menší úbytek napětí.

Ochranné diody (ByPass), jak již jsem se zmínil, se využívají u PV panelů spojených do série. Diody jsou k panelům respektive k sérii PV článkům připojeny paralelně. Diody mají funkci ochranou, mohou chránit jeden celý panel ve stringu PV panelů či chránit PV článek v sérii článků v jednom PV panelu.

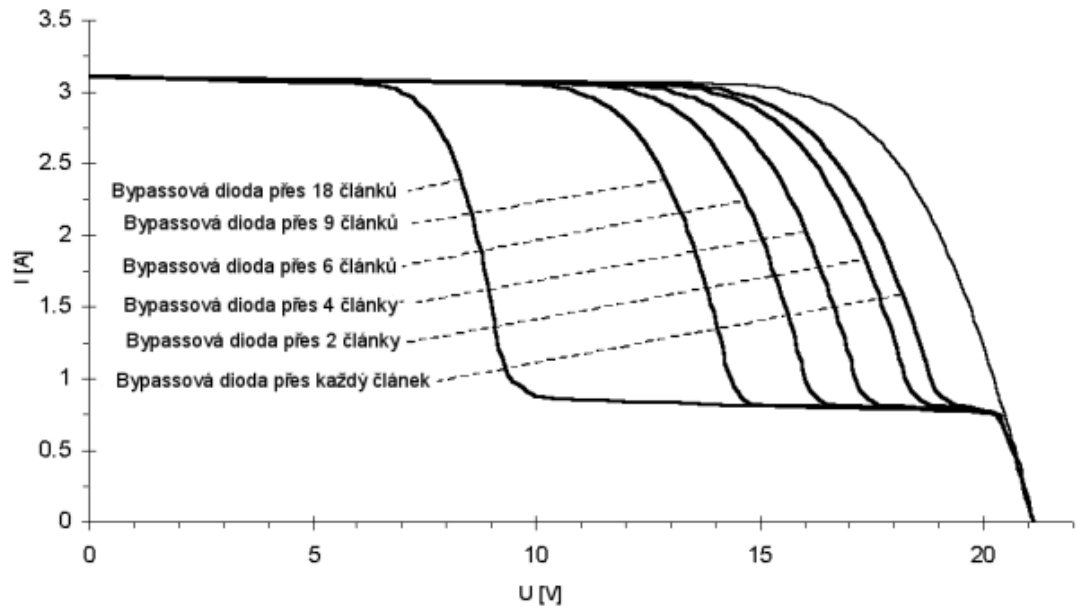
Panely zastíněné či jinak omezené na výkonu diody chrání před proudy generovanými v PV panelech nezastíněných. Diody odpojují články v momentu jejich zastínění a umožňují tím eliminovat pokles výkonu solárního panelu a proudu, který by jinak procházel zastíněnými články.



Obr. 19: Princip ByPassu [19]

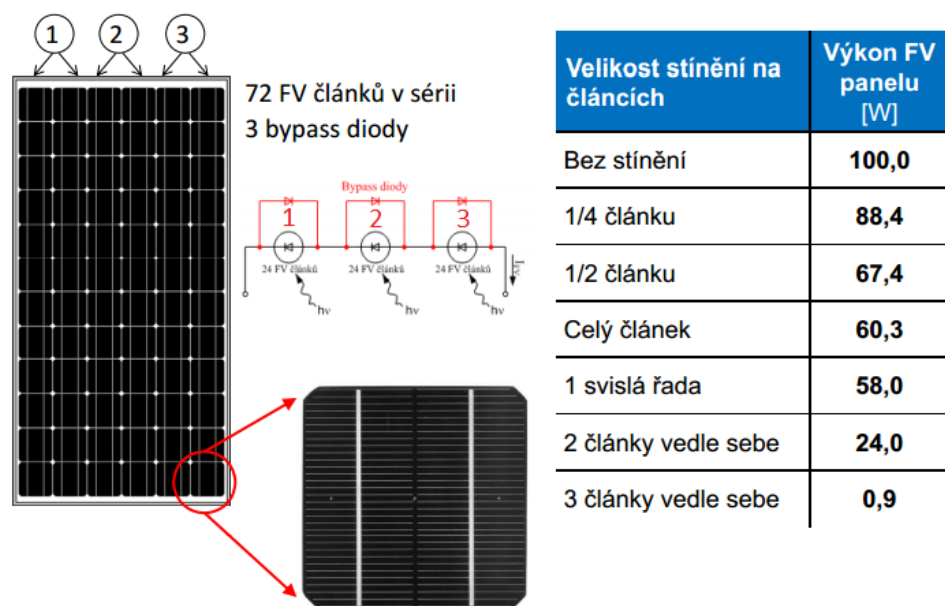
U PV panelu neosazenými ByPass diodami riskujeme v extrémním případě zničení celého panelu. Při zastínění více solárních článků v panelu k vzrůstu ztrátového výkonu. To způsobuje značné zahřívání těchto solárních článků. V místě velkého nárůstu tepla, dochází k protavení pouzdra solárního článku a jeho zničení. Toto místo se nazývá „horké místo“ (hot spot). Tudíž ke vzniku vady na PV panelu. [27]

V případě integrování ByPass diody do PV panelu, se v panelu v nejlepším případě nenachází jen jediná dioda, ale rovnou několik diod. Nejčastěji v praxi jedna ByPass dioda překlenuje obvykle 18-24 článků. [27]

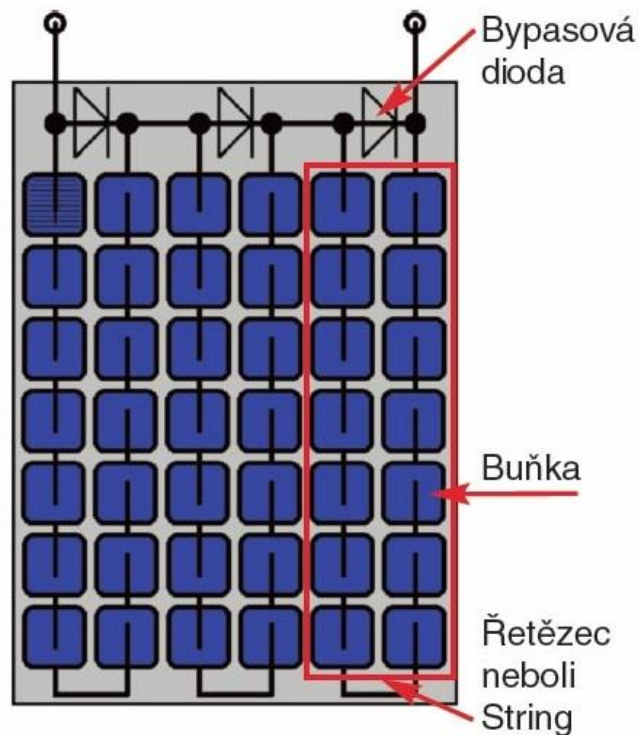


Obr. 20: Vliv U-I charakteristiky na osazení bypass diodami kdy jeden článek je zastíněn [27]

Z výše uvedeného obrázku (Obr. 20) můžeme vyčíst, že nejlepší by bylo ByPass diody aplikovat zvlášť pro každý PV článek v panelu. Ale z důvodů ekonomických a i z faktu že diody způsobují určitý zkratový proud tomu tak není. Nezapomeňme však, že výkon PV panelu je právě určen z velikosti napětí a proudu $P = U \cdot I$. [27]



Obr. 21: Vliv na výkon při zastínění rozdílně velké plochy [28]



Obr. 22: Uspořádání bypass diod [44]

Výkon jak z Obr. 20 a Obr. 21 můžeme vidět, závisí na uspořádání ochranných ByPassů uvnitř jednoho PV panelu a počtu diod. Pořád ale dosahujeme lepších výsledků, než kdybychom použili PV panel bez ochranných diod, kde při pouhém 2% zastínění plochy klesne výkon cca o 70%.

V případě paralelního spojení může nastat jev, kdy z důvodu zastínění na PV panelech bude menší napětí než na akumulátorech a dochází zpětným proudům. Tento jev nastává i po soumraku. Taktéž druhá ochranná dioda zase zajišťuje, k "vyrovnávání proudů" mezi méně osvětleným a více osvětleným panelem. Tato ochranná dioda je připojena do série s panelem. [4]

Proto a i z jiných důvodů se doporučuje PV systémy montovat jen ze stejných panelů, o stejném výkonu, stejného typu od jediného výrobce. Který často i definuje, jaký jejich maximální počet lze vzájemně propojit pro zachování definovaných vlastností.

4.4 Zastínění

Nejprve bych rád upozornil, že jevy popsané v následujících odstavcích, způsobené zastíněním PV panelů, mohou být způsobeny i jinými událostmi, např. poškozením panelu či vrstvou nečistot.

Zastíněný PV panel generuje menší stejnosměrný proud nežli panely nezastíněné. Nerovnoměrné zastínění PV panelů v jednom stringu způsobí nežádoucí jev, kdy celkový výkon stringu je roven výkonu z nejvíce zastíněného PV článku.

Stejně následky vzniknout i při opačném jevu nežli je zastínění, a to při rozdílné intenzitě ozáření např. díky drobné odlišnosti orientace (nerovnoměrný sklon) jednoho PV panelu. A také stejný následek má i nerovnoměrné zahřívání panelů díky například rozdílnému množství zaprášení na povrchu PV panelu. S růstem teploty výrazně klesá výstupní výkon panelu díky poklesu napětí na jednotlivých článcích. Rozdíl v teplotě (a tedy i v elektrických vlastnostech panelu) přitom může být velmi rozdílný i mezi panely jednoho stringu. Též nezapomeňme, že panely zároveň stárnou různě rychle.



Obr. 23: Ukázka systému Sunlux Tigo a nerovnoměrného výkonu na jednotlivých PV panelech [19]

Zastínění PV panelů může nastat z mnoha příčin. Cílem každého projektu je se vyvarovat jakémukoli zastínění a předpokládat všechny příčiny. Ať uvažujeme-li jakékoli umístění PV panelů na střeše či fasádě domu umístěného v nějaké zástavbě či v krajině, téměř vždy se najdou zdroje zastínění. V husté zástavbě velkoměsta způsobují zastínění vyšší budovy okolo PV elektrárny. V méně osídlených lokalitách je typickým zdrojem vyšší hustá vegetace kolem PV elektrárny. Dále třeba objekty umístění přímo na střeše jako např. satelitní antény a komíny.

Často se setkáváme s příčinami zastínění, které se projevují v zimních měsících z důvodu nižší výšky Slunce nad horizontem. Není to vždy chyba projektu, důvodem může být přání vlastníka o optimalizaci PV elektrárny na větší výkon v letních měsících, tudíž jiných úhlů natočení PV panelů. Typickým příkladem je instalace PV panelů v řadách za sebou, kde dochází v zimních měsících ke vzájemnému zastínění vždy dolní poloviny řady panelů.

Dalším důvodem zastínění může být špatná nosná konstrukce PV panelů. Tyto případy by se neměli vyskytovat, neboť to už hraničí s neodborností instalační firmy. Na obrázku 24 můžete vidět případ, kdy přítlačná svorka zasahuje několik milimetrů do plochy PV článků.



Obr. 24: Zastínění PV článků [KEE/SOES]

Do významné skupiny zdrojů zastínění zařazujeme i mračna. V případě malé domovní elektrárny umístěné na střeše hrozí zastínění celé plochy elektrárny. V tomto případě poklesne výkon rovnoměrně na všech PV panelech. Avšak u PV elektrárnách větších výkonů o mnohonásobně větší ploše umístěných na polích může nastat situace, že jeden okraj elektrárny je ozářen a druhý okraj je ve stínu pod oblaky. Tuto situaci zachraňuje nespočet stringů.



Obr. 25: Nerovnoměrné zastínění PV elektrárny [37]

4.4.1 Rozlišná instalace PV panelů na výšku a šířku

Za PV panel instalovaný na výšku považujeme panel, jenž svoji delší hranou je kolmo k hřebenu střechy. A tudíž za panel instalovaný na šířku považujeme panel umístěn svojí delší hranou rovnoběžně s hřebenem střechy a rovnoběžně se zemí.

Pokud se na střeše nachází PV panely, bez integrovaných bypass diod, instalované jen na výšku či jen na šířku tak můžeme považovat PV elektrárnu za správně instalovanou. Vadou se stává případné střídání instalace v jednom stringu, jednou na výšku a v podruhé na šířku. Vadou je i jeden osamělý panel ve stringu s opačnou orientací instalace než ostatní sousedící.



Obr. 26: Instalace PV panelu s rozdílnou orientací k sousedícím panelům a k zemi [38]

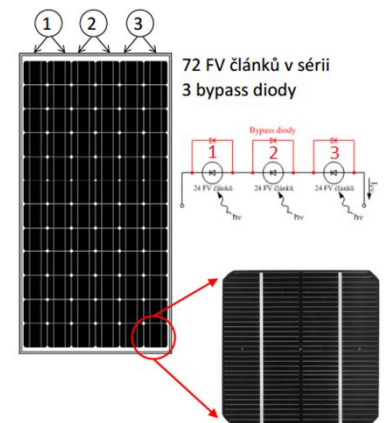
Slunce za den zaznamená největší pohyb, největší „ušlou“ vzdálenost rovnoběžně s horizontem, od východu na západ. Panel umístění na šířku bude ztlačně více nerovnoměrně zastíněn či nerovnoměrně zahříván při pohybu slunce od východu nežli panel sousedící umístěn na výšku. Tento fakt způsobí rozdílné výkony na těchto sousedících panelech a omezení výkonu elektrárny.

Zkomplikovat instalaci nám mohou ochranné bypass diody integrované uvnitř jednoho PV panelu. Pokud je jimi panel opatřen, je jejich umístění nevyjímatelně uvnitř panelu a konstrukce je přizpůsobena většinou více pro instalaci na výšku.

Vliv stínění FV panelů



Velikost stínění na článkách	Výkon FV panelu [W]
Bez stínění	100,0
1/4 článku	88,4
1/2 článku	67,4
Celý článek	60,3
1 svislá řada	58,0
2 články vedle sebe	24,0
3 články vedle sebe	0,9

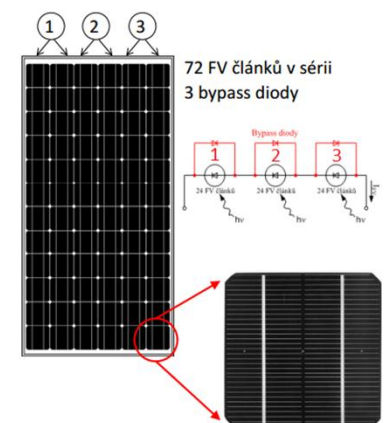


Obr. 27: Zastínění (ohřátí) PV panelu s třemi bypass diody případně umístěného na výšku [28]

Vliv stínění FV panelů



Velikost stínění na článkách	Výkon FV panelu [W]
Bez stínění	100,0
1/4 článku	88,4
1/2 článku	67,4
Celý článek	60,3
1 svislá řada ¹⁾	58,0
2 články vedle sebe ²⁾	24,0
3 články vedle sebe ³⁾	0,9

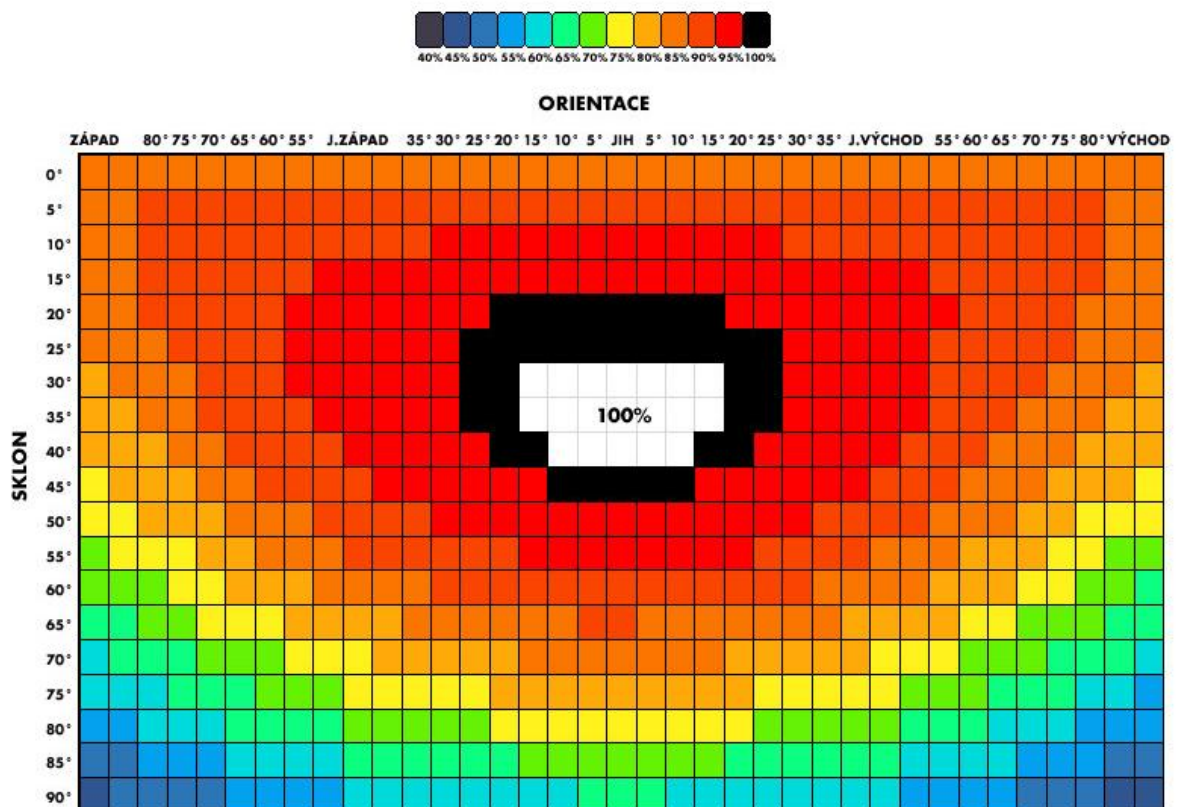


Obr. 28: Zastínění (ohřátí) PV panelu s třemi bypass diody případně umístěného na šířku [28]

4.5 Orientace na světové strany

Za vadu můžeme považovat i nevhodnou instalaci v podobě nerespektování orientace PV panelů dle světových stran. Volbou orientace máme možnost optimalizace výkonu pro denní dobu či roční období. Ve střední Evropě pro celoroční provoz se považuje optimální orientace přesně na jih a sklon panelů cca 45°. Pokud vyžadujeme větší účinnost v letních měsících, zvolíme menší úhel a pokud v zimních měsících zvolíme větší úhel. Špatnou orientací, tj. příliš velkou odchylkou od jihu se okrádáme zbytečně o procenta účinnosti. S odchylkou větší než 45° od jihu se instalace na střechu nedoporučuje. [13]

Umístění na sedlovou střechu je problematické, protože nám dává malý prostor pro manipulaci s úhlem otočení konstrukce pro PV panely přesně na jih. Avšak striktně dodržování pravidla orientace přesně na jih není nutné. Jak vidíte z obrázku (-), odchylka orientace až o 30° od jihu způsobí změnu celoroční účinnosti o 5%.



Obr. 29: Sklon a orientace vs. výnosy [13]

4.6 Ochrana před bleskem a přepětí

Dle normy ČSN EN 62305 je povinnost zřizovat hromosvod jen u objektu veřejného charakteru, např. školy, nemocnice.

Povinnost instalovat kompletní ochranu před bleskem řeší § 36 odst. (1) písm. a) a odst. (2) vyhl. č. 268/2009 Sb. - vyhlášky o technických požadavcích na stavby, kde se říká:

§ 36 Ochrana před bleskem

(1) Ochrana před bleskem se musí zřizovat na stavbách a zařízeních tam, kde by blesk mohl způsobit:

- ohrožení života nebo zdraví osob, zejména ve stavbě pro bydlení, stavbě s vnitřním shromažďovacím prostorem, stavbě pro obchod, zdravotnictví a školství, stavbě ubytovacích zařízení nebo stavbě pro větší počet zvířat
- poruchu s rozsáhlými důsledky na veřejných službách, zejména v elektrárně, plynárně, vodárně, budově pro spojová zařízení a nádraží,
- výbuch zejména ve výrobně a skladu výbušných a hořlavých hmot, kapalin a plynů,
- škody na kulturním dědictví, popřípadě jiných hodnotách, zejména v obrazárně, knihovně, archivu, muzeu, budově, která je kulturní památkou,
- přenesení požáru stavby na sousední stavby, které podle písmen a) až d) musí být před bleskem chráněny,
- ohrožení stavby, u které je zvýšené nebezpečí zásahu bleskem v důsledku jejího umístění na návrší nebo vyčnívá-li nad okolí, zejména u továrního komína, věže, rozhledny a vysílací věže.

(2) Pro stavby uvedené v odstavci 1 musí být proveden výpočet řízení rizika podle normových hodnot k výběru nejvhodnějších ochranných opatření stavby.

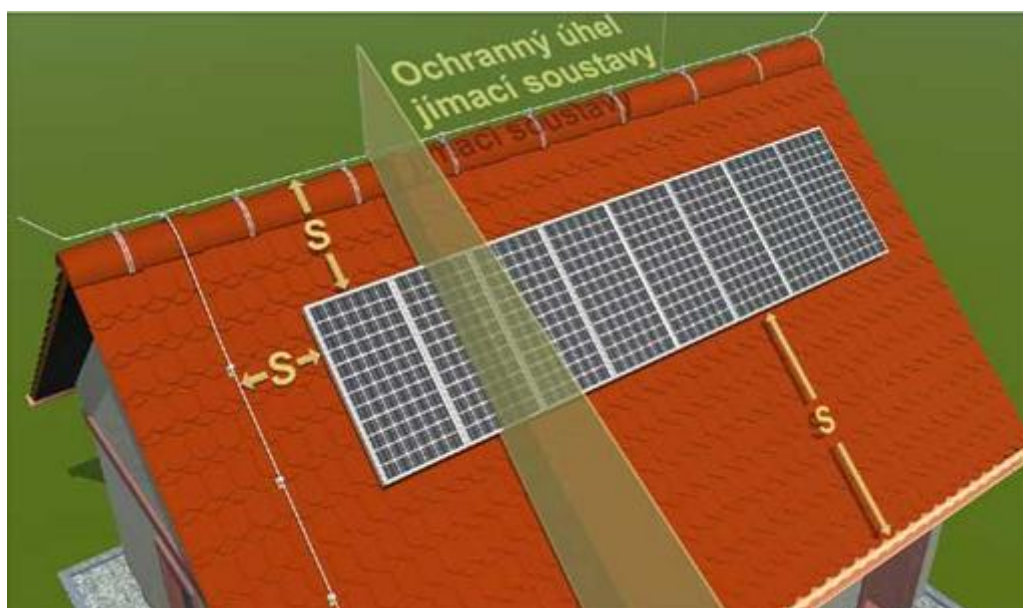
(3) Pro uzemnění systému ochrany před bleskem se u staveb zřizuje přednostně základový zemnič.

Díky umístění PV článků na střechy či na pole v místech s minimální možností zastínění cizím susedícím předmětem, vzniká velké nebezpečí úderu bleskem. V blízkosti se nenachází žádný vyšší objekt, který by mohl posloužit náhodně jako jímač.

Ochrana před bleskem je prevence před materiálovými škodami na celé fotovoltaické soustavě a dopomáhá k požární bezpečnosti. A v případě PV elektrárny prevence před škodami ekonomickými, způsobenými dny odstávky potřebnými na výměnu poškozených částí. Bohužel mnoho majitelů elektráren spoléhá na náhodu a elektrárnu nemají ochráněnou před úderem blesku. Špatně či vůbec ochráněné PV články můžeme proto považovat za vadu.

Fotovoltaické elektrárny z hlediska ochrany před bleskem můžeme rozdělit do tří skupin: instalace na sedlovou střechu, instalace na pultovou střechu a instalace na pole (volné prostranství).

V případě sedlové střechy z nevodivého materiálu, která je již opatřena hromosvodem, dbáme na dostatečnou vzdálenost (označována „s“) PV panelů a jejich nosné konstrukce od jímací soustavy. Velikost „s“ se stanoví výpočty. Přímý úder blesku nehrozí. Nosnou konstrukci propojíme měděným drátem o průřezu minimálně 6mm². Nadále se musí zajistit ochrana před indukovaným přepětím. Přepět'ová ochrana se umisťuje co nejbližší PV panelů a na vstup do měniče. Pokud je vzdálenost PV panelů od měniče po kabelu několik metrů, instaluje se přepět'ová ochrana jen na vstup měniče. [14]



Obr. 30: Vzájemná poloha jímací soustavy a PV panelů [14]

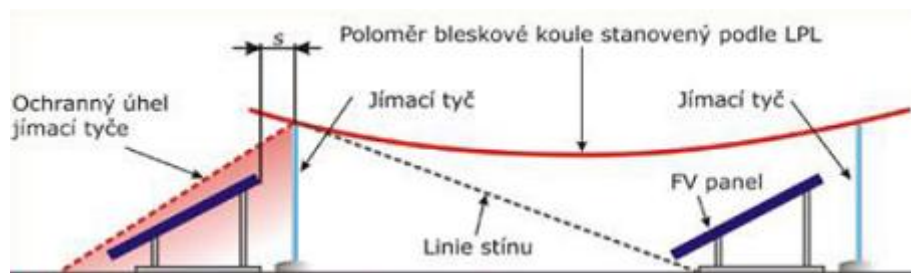
Pokud není možné dodržet dostatečnou vzdálenost „s“, ohrožujeme nejvíce PV panely. Bohužel právě ty jsou nejdražší součástí celého fotovoltaického systému. Pro jejich bezpečí propojíme jímací soustavu s nosnou konstrukcí PV panelů na několika místech. Zvýšíme počet pomocných jímáčů a též zvýšíme počet svodů rozložených symetricky kolem PV panelů, aby případný bleskový proud se měl šanci rozdělit. Stejnoseměrný vodič mezi panely a měničem opatříme svodičem bleskových proudů. [14]

Nadále může nastat situace potřeby instalace PV panelů na pultovou střechu, tj. rovnou střechu. Pultové střechy nabízí větší prostor pro instalaci většího počtu PV panelů. Nosnou konstrukci umístíme dostatečně daleko od plechování okrajů střechy. Ochranu před přímým úderem zajistíme soustavou oddálených jímacích tyčí, které svojí výškou zajistí dostatečný ochranný úhel jímací soustavy. Dle zařazení celé soustavy na střeše do tříd ochrany před bleskem je potřeba doplnit mřížovou soustavu. Ve sdružovacích rozvaděčích na střeše se instalují svodiče přepětí zvolené podle počtu sériově zapojených PV panelů. [14]



Obr. 31: Vzájemná poloha jímacích tyčí a PV panelů [14]

U velkých elektráren umístěných na polích se ochrana před úderem blesku provádí opět metodou oddálenou soustavou jímacích tyčí. Jímací tyče jsou rozmístěny do prostoru mezi PV panely dle obrázku (-). Do země v nezamrzající hloubce jsou umístěny vodiče zemnicí ochrany sestavené do mřížky. S mřížovou zemnicí ochranou jsou spojeny nosné konstrukce PV panelů. V případě nouze o místo mezi panely je možné použít vysoké teleskopické jímací tyče dosahující výšky až 22m. Soustava se opatří svodiči přepětí na straně stejnosměrného napětí. [14]



Obr. 32: Vzájemná poloha jímacích tyčí a PV panelů [14]



Obr. 33: Poškození PV panelu bleskem [32]

4.7 Uchycení a zatížení nosné konstrukce

Ať PV panel je umístěn na střeše či na zemi, pro každý druh solárního panelu je dán výrobcem montážní postup, který jasně specifikuje možné způsoby uchycení (mnohdy s tolerancí na milimetry) včetně druhu příchytek, které lze použít, minimálních roztečí mezi příchytkami a řadu dalších parametrů.

Špatné uchycení se stává vadou. Nejlepší test kvality uchycení nám poskytuje sama matka příroda. Nebezpečné je zatížení nosné konstrukce PV panelů a jejich uchycení silným větrem či v našich klimatických podmínkách vrstvou sněhu. Odolností konstrukcí proti působení větru ošetřuje mezinárodní norma ČSN P ENV 1991-2-4 "Zásady navrhování a zatížení konstrukcí, část 2-4 Zatížení konstrukcí větrem". V Evropě se i při nejhorších podmínkách počítá s běžným větrem v přízemní vrstvě do rychlosti $v = 160$ km/h. [31]

Při umístění PV elektrány na „pevnou“ zem, hraje velkou roli ve stabilitě a uchycení nosné konstrukce podloží, složení a pevnost půdy. Vyplatí se znát i názor geologa. V příkladě jak můžeme vidět na obrázku 32, byla evidentně opomenuta kvality podloží, které asi bylo příliš měkké a silný vítr povalil PV panel i s betonovou patkou.



Obr. 34: Povalení PV panelu větrem [32]

4.8 Činnost organismů

Organismy jsou častým strůjcem poškození PV panelů a veškerého dalšího zařízení v PV elektrárně. Jejich činností přímo či nepřímo mohou zapříčinit ke vzniku vady.

Fotovoltaická elektrárna jako celek, od PV článku až k vodiči vedoucímu do sítě, se skládá z mnoha prvků citlivých na biologickou korozi (degradaci) kovů a plastů. Biologickou korozi způsobuje napadení žijícím organismem nabývajícím podoby mikroorganismů či složitějších forem života, jako hmyzu a obratlovců. Každá činnost všech organismů způsobující nežádoucí změny na vlastnostech technických materiálů se nazývá biodeteriorizace.

Od slova biodeteriorizace je odvozen název pro organismus, jenž se tuto činnost provozuje, a to biodeteriogen. Biodeteriogen nadále můžeme rozdělit dle velikosti na:

mikrobiodeteriogen

agresivní houby (plísně) – jednoduché rostliny

agresivní bakterie – jednobuněčné organismy

makrobiodeteriogen

hmyz, obratlovci, další mnohobuněční živočichové

Mikrobiologická koroze je závažné leč často opomíjené téma. Mikrobiologické korozi podléhají veškeré kovy a slitiny, odolává jen titan. Koroze kovů může probíhat i za nepřítomnosti kyslíku, tuto korozi nazýváme anaerobní korozi. Anaerobní koroze probíhá pod slupkou společenstva bakterií tzv. biofilmu. Vrchní vrstva biofilmu je prokysličená, zatímco spodní vrstva je bez kyslíku a probíhá zde anodická reakce. Korozním činidlem je sulfan (postaru sirovodík), anodickou reakcí vznikají sulfidy železa, na katodě je sulfan redukován na vodík H_2 a anion HS^- . Vznikající sulfidy jsou ovšem samy o sobě pro železo též korozivní. Jsou totiž dobrými vodiči elektřiny s malým přepětím vodíku, a pokud pokryjí katodové místo, stávají se samy katodou, depolarizují ji a článek je tak udržován v chodu. [24]

Pod biofilmem se též vyskytují anaerobní organismy „dýchající“ sulfáty tzv. sulfátredukující bakterie, které mikrobiologickou korozi značně urychlují. Některé z těchto bakterií „dýchají“ též nitráty a snad i fosfáty.

I plastické hmoty mohou být napadeny mikroorganismy, zejména plísněmi. Plísně zařazujeme do skupiny mikrobiodeterioeů, tato skupina je citlivá při reprodukci na vhodné klimatické podmínky jako například podmínky panující v tropických oblastech, avšak i v našem podnebí. Plastické hmoty porušují tím, že se živí makromolekulárními látkami obsažené přímo ve stavební struktuře plastů nebo je rozrušují svými produkty látkové přeměny tzv. metabolity (malé molekuly nebo ligandy bílkovin). [29]

Dalším značným problémem je usazování nečistot na spodní části PV panelu kde též díky rosení vznikají vhodné podmínky pro dalšího zástupce mikrobiodeteriogenů, jsou jimi houby, konkrétně lišejníky a mechy. Ačkoliv vypadají neškodně, postihují až 90% PV panelů. Díky výskytu na spodní části PV panelu disponují velkým potenciálem poškodit nenávratně panel. Zastíní spodní články panelu a to má za následek přehřívání článků a následný pokles výkonu panelu či až destrukci panelu. Též mohou být nebezpečné pro těsnění mezi sklem a hliníkovým rámem panelu. [6]

Od makrobiodeteriogenů, mezi než řadíme hmyz a obratlovce, se na PV elektrárně vyskytují též poškození. Umístěním elektrárny na poli (loukách) do říše hlodavců se vystavujeme velkému nebezpečí. Porušení izolace vodiče až na samotný vodivý materiál může zapříčinit fatální nebezpečí, riziko požáru. Důvod proč se hlodavci rádi zakusují do kabelů, může například hladina aromatických látek obsažených v izolaci kabelu.

Dalším strůjcem znečištění povrchu PV panelu jsou ptáci, jejich exkrementy pokryjí často značnou plochu panelu. Takto dochází k zastínění a následnému snížení výkonu.

5 Diagnostické metody

Významnou součástí výrobního procesu PV panelů je jejich testování za účelem odhalení defektů neboli skryté vady. Testování dopomáhá k rozvoji výzkumu a vývoji PV panelu a zabraňuje vzniku defektu již v technologickém procesu výroby. Nástrojem testování jsou „Diagnostické metody“, které lokalizují a identifikují defekt.

5.1 Laboratorní podmínky testování

5.1.1 Solární simulátor

Často se setkáváme i s druhotným pojmenováním této metody „flash test“. Metoda spočívá v testování PV panelů za specifických podmínek a standardů, napodobující sluneční záření za jasného dne na Zemi (intenzita záření 1000W/m^2 a teplota 25°C). Podmínky definuje norma ČSN EN 60904-9. Tato norma rozřazuje solární simulátory do tříd A, B nebo C. Norma také poskytuje požadovanou metodologii pro určení hodnocení dosaženého solárním simulátorem. Pro jednotlivé třídy, jsou podmínky následující:

Klasifikace	Spektrální shoda (každý interval)	Prostorové Nerovnoměrnost	Časová nestabilita
Třída A	0.75–1.25	2%	2%
Třída B	0.6–1.4	5%	5%
Třída C	0.4–2.0	10%	10%

Tab. 1: Klasifikace solárních simulátorů dle americké normy ASTM E927-10

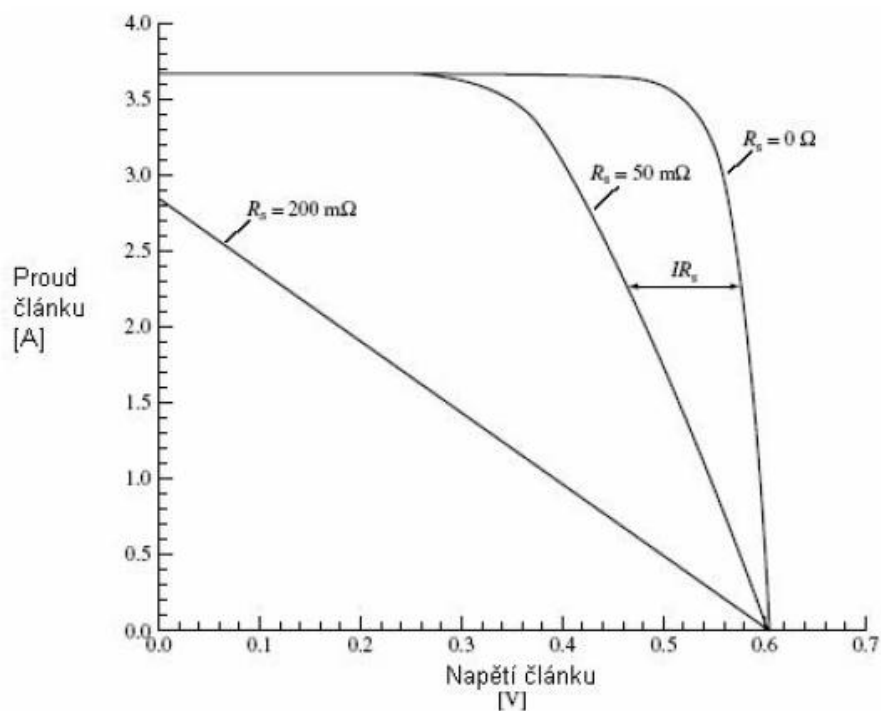
Nejproblematictější je shoda se slunečním spektrem, která může vyvolat relativně velká zkreslení při vyhodnocování parametrů solárních modulů. [20]

V solárních simulátorech jako kontinuální zdroj světla je využívána xenonová oblouková lampa.

Základním sledovaným parametrem je proud I_{450} , podle něhož a níže uvedených dalších parametrů jsou články rozděleny do skupin. Tento proud je měřen při napětí 450mV. Pro optimalizaci účinnosti je vhodné do jednoho PV panelu používat pouze články zařazené do stejné skupiny. Parametry jsou vyneseny do grafu pomocí VA charakteristiky. [23]

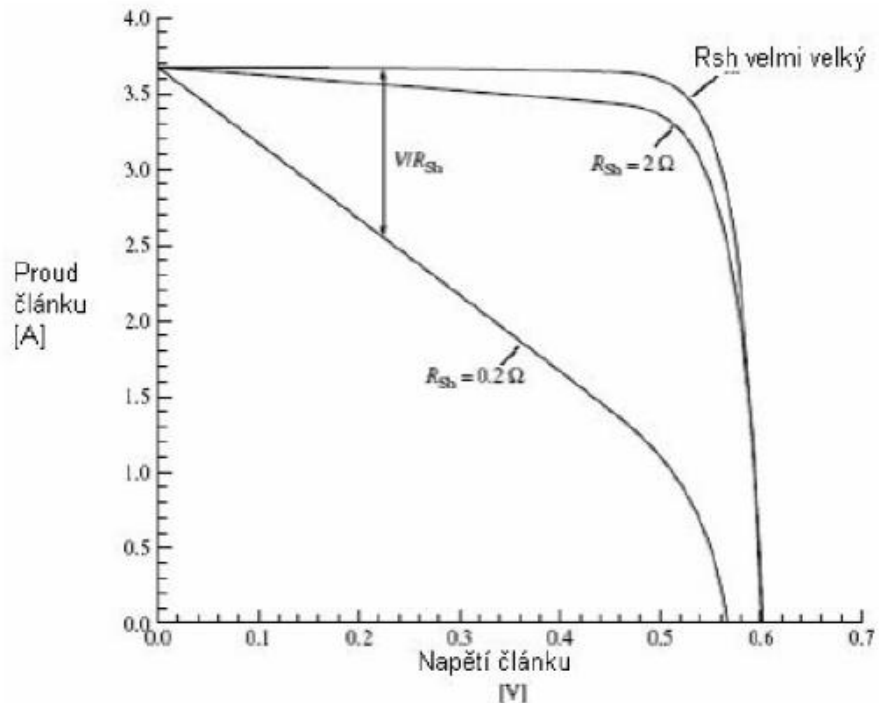
Parametry, jež jsou sledovány na PV člancích [23] :

- Proud na krátko I_{SC} - tento proud je měřen při nulovém napětí U.
- Napětí na prázdko U_{OC} - toto napětí je měřeno při nulovém proudu I.
- Maximální výkon P_m - výkon, jaký je schopen článek dodat. Maximální výkon je v charakteristice okolo středu ohybu. Zařízení, které odebírá elektrickou energii z článku musí zatěžovat článek, tak aby se jeho výkon pohyboval okolo tohoto maximálního výkonu.
- Proud I_m - proud, při kterém solární článek dodává maximální výkon.
- Napětí U_m - napětí, při kterém solární článek dodává maximální výkon.
- Účinnost solárního článku - tento parametr udává, jaká je efektivita solárního článku při přeměně světelné energie na elektrickou.
- Sériový odpor R_{SO} - v ideálním případě je roven nule. Se zvyšováním sériového odporu solárního článku se snižuje proud nakrátko I_{SC} , který má za následek vznik napětí na sériovém odporu a tudíž zvýšení diodového proudu I_D . Napětí U_{OC} se nemění. Výsledkem je snížení tzv. fill faktoru a tedy i účinnosti článku.



Obr. 35: Vliv sériového odporu R_S na VA charakteristiku PV článku [23]

- h) Paralelní odpor R_{SH} - v ideálním případě je roven nekonečnu. Muže být způsoben velkými defekty krystalické mřížky nebo existencí svodového proudu na okrajích článku. Tento odpor je paralelně připojen k diodě, kde může dojít k úbytku proudu.



Obr. 36: Vliv paralelního odporu R_p na VA charakteristiku PV článku při $R_s = 0 \Omega$ [23]

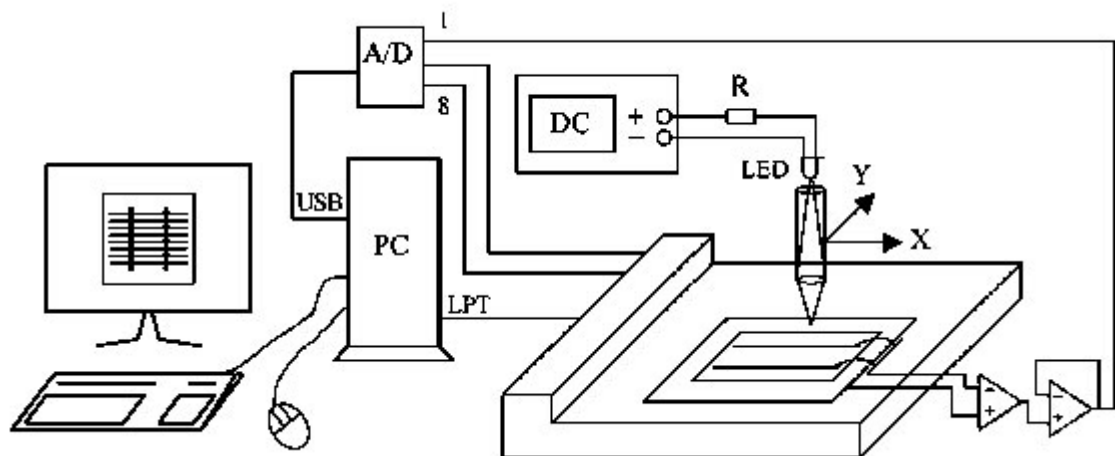
- i) Faktor plnění Fill Fakttor - jedná se o míru elektrické jakosti solárních článku vyjádřenou v procentech. S rostoucí hodnotou roste i kvalita článku. Čím je hodnota vyšší, tím je diagnostikovaný solární panel (článek) kvalitnější. Charakteristické hodnoty jsou někde mezi 60-80 % pro krystalické křemíkové solární články.

$$FF = \frac{I_M * U_M}{I_{SC} * U_{OC}} = \frac{P_M}{P_o} * 100 [\%]$$

5.1.2 Metoda LBIC (Light Beam Induced Current)

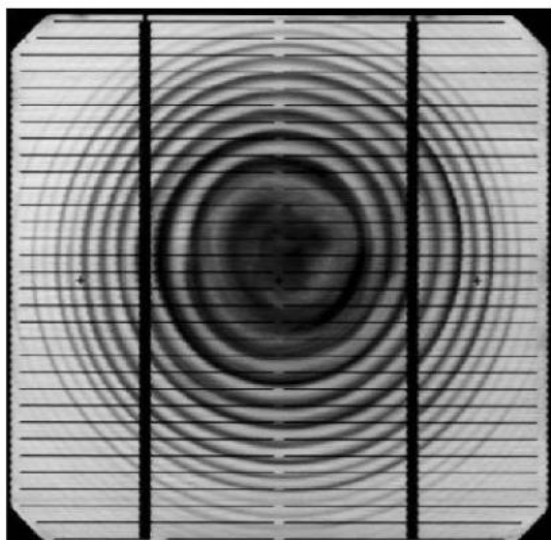
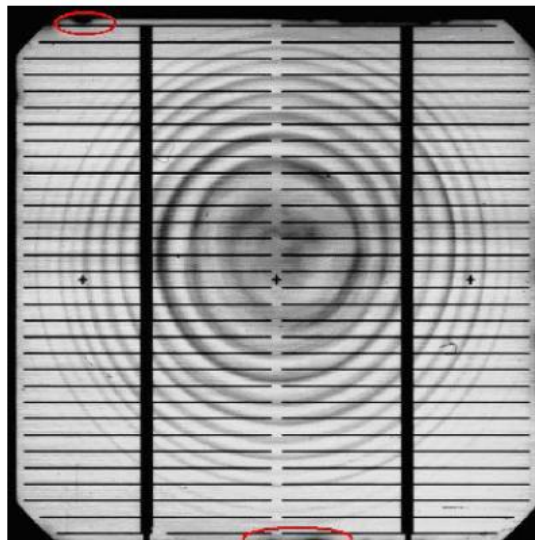
Jedná se nedestruktivní metodu testování, kdy je PV článek zapojen v propustném směru. Celá metoda je založena na snímání změny proudu na krátko. Nad článkem se pohybuje po osách X a Y LED dioda zaostřena do velmi úzkého paprsku. Dioda svým pohybem rozděluje tak prostor nad článkem na pomyslný velmi hustý souřadnicový systém. Lokální odezva proudu článku na záření LED diody je zaznamenána a je přiřazena bodu v souřadnicovém systému do matice hodnot. K různým hodnotám proudu jsou přiřazeny různé barvy ve stupnici šedé a tato vzniknou tzv. proudové mapy PV článku. Místo LED diody je možné využít červený laser, ale ten je oproti LED diodě mnohonásobně dražší. [23]

Nevýhodou této metody je časová náročnost a také skutečnost že různé zdroje záření mají různou hloubku vniku do článku, tudíž odhalí jiné vady. Při některých vlnových délkách zdroje záření zůstanou vady neodhaleny a při jiných se objeví. [23]

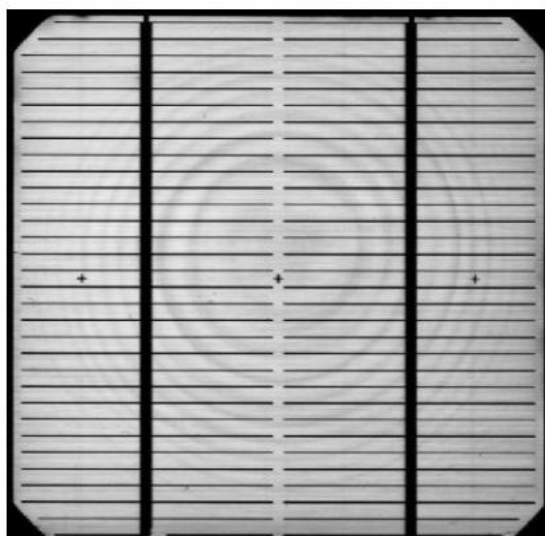
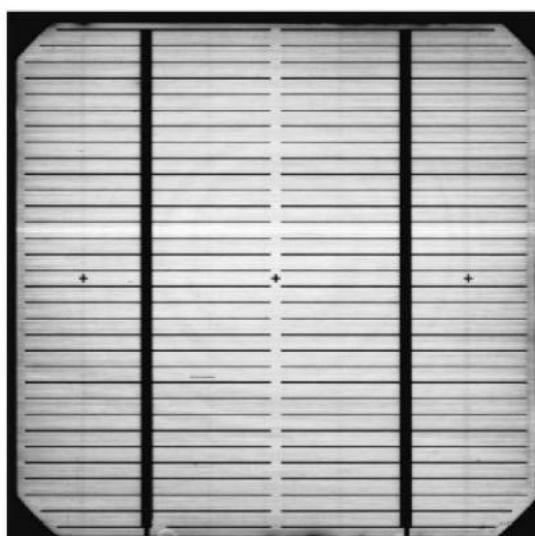


Obr. 37: Zapojení měřicího pracoviště LBIC [22]

- PC – měřicí počítač
- DC – stabilizovaný zdroj napětí světelného zdroje
- LED – zdroj konstantního světelného toku
- A/D – převodník proud–napětí
- LPT – skenovací zařízení

Obr. 38: IR LED – 850 nm, $T=298K$ [1]Obr. 39: červená LED – 630 nm, $T=298K$ [1]

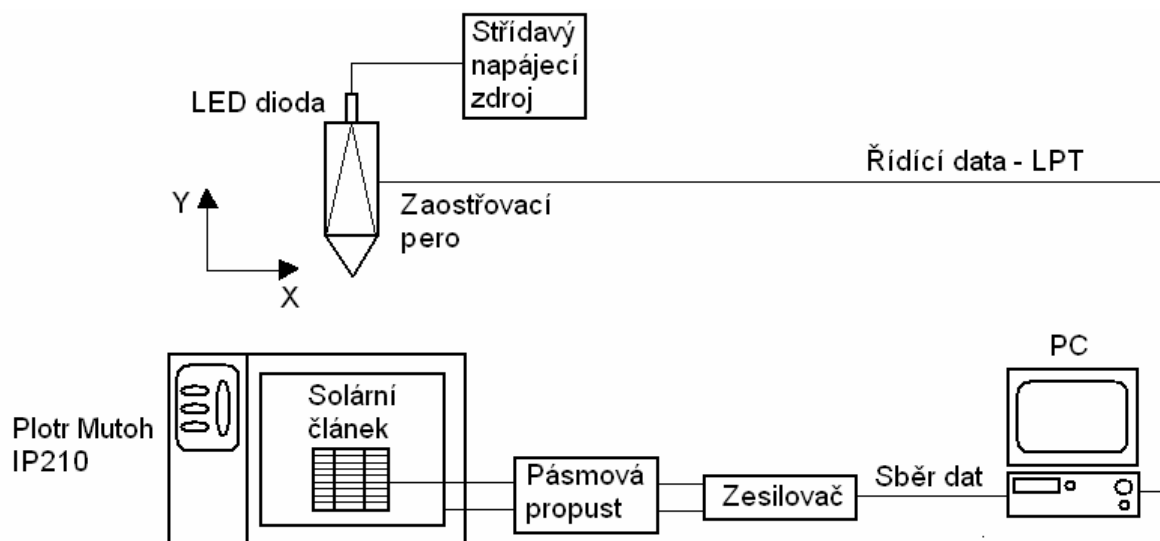
V oblasti červeného spektra záření se PV článku objevil vírový defekt a zkratky na hraně článku (označené červeným kroužkem).

Obr. 40: zelená LED – 525 nm, $T=298K$ [1]Obr. 41: modrá LED – 465 nm, $T=298K$ [1]

Při nižších vlnových délkách záření zdroje se kvalita zobrazených informací snižuje a tím se vytrácí možnost nalezení defektu.

5.1.3 Metoda LBIV (Light Beam Inducted Voltage)

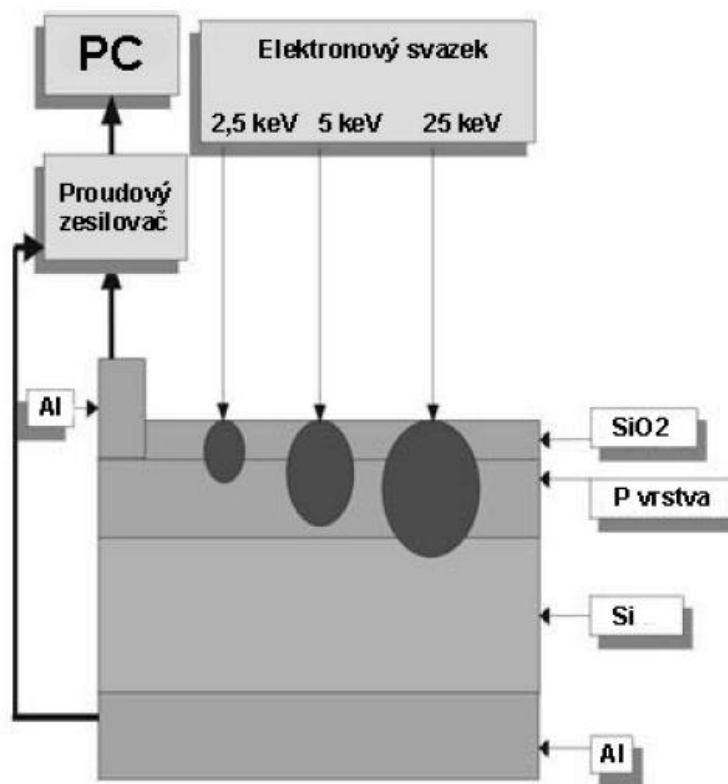
Jedná se nedestructivní metodu testování, kdy je PV článek zapojen v propustném směru. Tato metoda je velmi podobá metodě předešlé LBIC, avšak místo proudu je snímáno napětí naprázdno na PV článku. Též je prostor nad článkem rozdělen do souřadnicového systému a ze záznamu lokálního napětí je vytvořena matice hodnot. Nad článkem po souřadnicovém systému pohybujeme zdrojem záření LED diodou. [23]



Obr. 42: Zapojení měřícího pracoviště LBIV [23]

5.1.4 Metoda EBIC (Elektron Beam Inducted current)

Tato metoda je založena na obstřelování PV článku elektrony. Elektrony s větší energií pronikají hlouběji do článku. Elektronový paprsek vytváří pár elektron - díra v solárním článku podobně jako světlo při normálním provozu článku. Pomocí elektronového rastrovacího mikroskopu jsou zachyceny skryté přechody a vady v článku a například také difúzní délka minoritních nosičů. Elektronový rastrovací mikroskop umožňuje, díky svým rozlišovacím schopnostech, zkoumání na atomové úrovni. Tato metoda je využívána i ve fyzice ke zkoumání materiálů. [56]

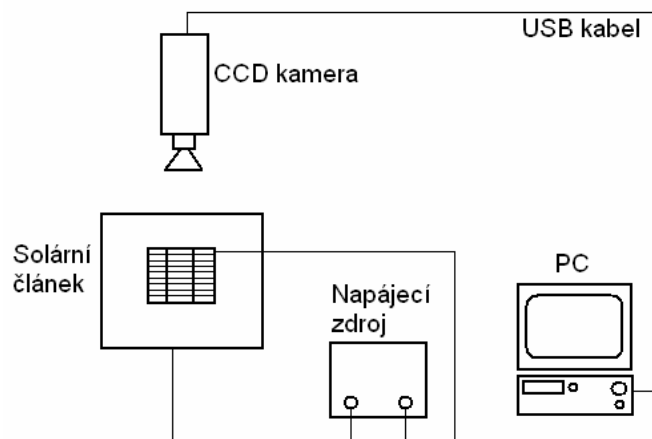


Obr. 43: Zapojení měřícího pracoviště EBIC [56]

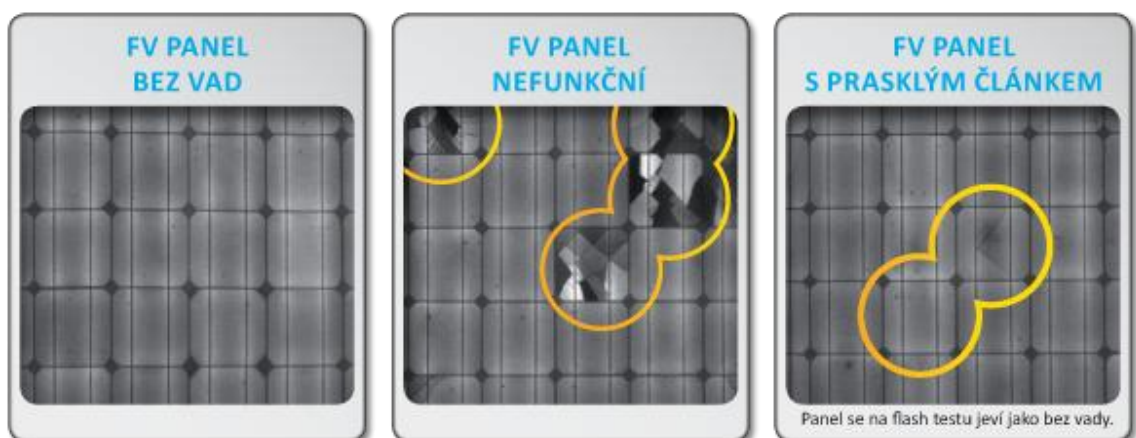
5.1.5 Metoda ELCD (Electroluminescence Crack Detection Test)

Metoda česky známá jako elektroluminiscence je založena na přeměny elektrické energie na teplo a světelnou energii. PV článek je opět zapojen v propustném směru, tudíž se jedná o nedestruktivní metodu. Pokud projde článkem elektrický proud, aktivuje se P-N přechod a dojde ke světelné emisi díky zářivé rekombinaci křemíku. Vyzářené energie světelné emise je snímána tzv. CCD kamerou (viz. příloha). Na snímku jsou zachyceny proudové hustoty. Větší proudové hustoty jsou znázorněny světlejší barvou. Vady PV článku reprezentuje tmavší barva menších proudových hustot. [57]

Výhodou této metody oproti metodám LBIC a LBIV je rychlost zjištění výsledků. Rychlost získání výsledků je způsobena způsobem snímání. Zatímco metody LBIC a LBIV používají souřadnicový systém a měření bod po bodu, metoda ELCD používá jedinou CCD kameru snímající všechny body zároveň. Expozice snímku trvá řádově jen sekundy. [56]



Obr. 44: Zapojení měřícího pracoviště ELCD [23]



Obr. 45: Výsledky měření pomocí metody ELCD [59]

Typy možných odhalitelných závad pomocí elektroluminiscence [59]:

- Detekce - zlomených článků a mikroprasklin ve struktuře článků
- Detekce odtržených kontaktů páskové sběrnice (busbar)
- Detekce chybějícího nebo přerušného sítotiskového sběrného proužkuv (finger)
- Detekce nehomogenit a příměsí v krystalickém křemíku

5.1.6 Metoda vyzařování mikroplazmy

Při této metodě je PV článek zapojen v závěrném směru, tudíž se jedná o destruktivní metodu. Do závěrného směru je přivedeno napětí, které způsobuje záření mikroplazmy v místech nehomogenity krystalické mřížky křemíku a lavinových průrazů, tudíž v místech defektu PV článku. Vznik mikroplazmy je doprovázen emisí světla, které je opět snímáno pomocí CCD kamery. Tato metoda je nebezpečná v tom, že v místech mikroplazmy vzrůstá teplota a v případě většího napětí může vlivem oteplení dojít až k zničení PV článku. [56] [23]

5.1.7 Metoda fotoluminiscence

Měření pomocí metody fotoluminiscence je do značné míry podobné předešlé metodě s tím rozdílem, že při této metodě není solární článek napájen, ale je buzen vnějším zdrojem světelného záření a opět je článek snímán CCD kamerou. Této metody se využívá při velkovýrobě článků díky její rychlosti. [11]

5.1.8 Klimatická komora – umělé stárnutí

Zkoušky v klimatické komoře (dle norem ČSN/IEC) zajišťují zrychlené stárnutí testovaných solárních panelů. Účelem testování PV panelů v klimatické komoře je zjištění jaké budou mít solární panely vlastnosti po několikaletém provozu za standardních klimatických podmínek. [55]



Obr. 46: Klimatická komora [55]

V klimatické komoře provádíme tyto zkoušky:

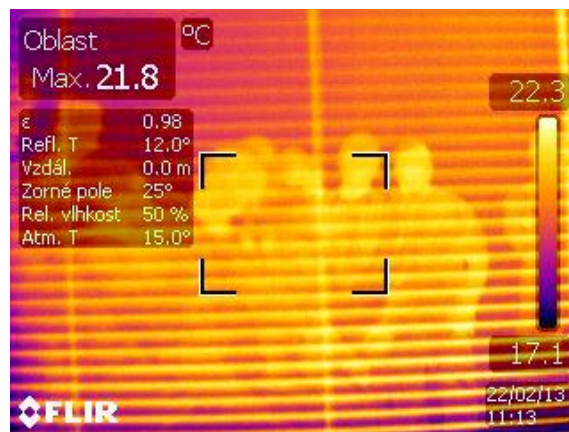
- Zkouška teplotním cyklováním zatěžuje díky rychlým teplotním změnám vzorek, tak, že následně vlivem rozdílných hodnot koeficientu tepelné roztažnosti materiálů různých částí solárního panelu dochází odhalení skrytých vad (vadné pájení, poškození článků, delaminace, snížení výkonu a izolačního odporu). [55]
- Zkouška mrznoucí vlhkostí ukáže snížené odolnosti solárního panelu proti vlhkosti, která při rychlém zchladnutí ve struktuře panelu vymrzne. [55]
- Zkouška vlhkým teplem ověří odolnost panelu vůči dlouhodobému působení vlhkosti a tepla (42 dní). U panelů s poškozenými solárními články dochází často k výraznému snížení jejich výkonu. [55]

5.2 Terénní testování v místě instalace PV elektrárny

5.2.1 Termovizní diagnostika

Pro termovizní diagnostiku používáme zařízení zvané termokamera. Metoda pracující na principu detekce infračervené části spektra, která je pro lidské oko neviditelná. Tato metoda je vhodná na snímání rozložení teplot na povrchu jakéhokoliv zařízení. Výhodou diagnostiky PV panelu pomocí termokamery je rychlost pořízení výsledků a též skutečnost, že se snímá za provozu panelu, aniž by byl odpojen od PV elektrárny. [57] [55]

Nevýhodou jsou požadavky na parametry intenzity záření, během měření by se měla intenzita nacházet nad hodnotou 500 W/m^2 , tudíž sluneční dny. Důležitým parametrem je také venkovní teplota prostředí. Pro optimální a přesné měření se doporučuje větší rozdíl teplot mezi zkoumaným objektem a okolním prostředím. Měření je tudíž nejlepší provádět při nízkých teplotách vzduchu. Další obtížností při měření pomocí termokamery je samotné sklo chránící PV články. Jedná se konkrétně o tvrzené sklo, které se vyznačuje nízkou emisivitou. Od skla se odráží teplo vyzařované z okolních objektů. Toto teplo může pak zkreslit požadované výsledky. Aby se zamezilo případným tepelným odrazům, provádí se snímání termokamerou v úhlu 5° - 60° . Též i silný vítr se může stát překážkou pro úspěšné měření [57]



Obr. 47: Odraz tepelného toku v okně [KEE/SOES]

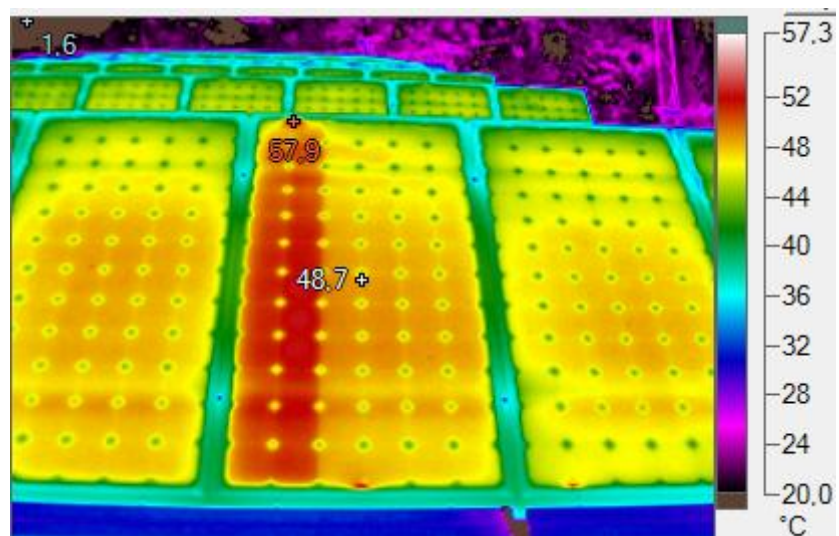
Problematiku odrazů tepelného toku od tepelného zdroje na skle můžeme odstranit měřením PV panelu z jeho zadní strany. Pokud se jedná o instalaci na poli či tzv. pultové střeše měření zadní strany je velmi jednoduché. Problém nastává při měření instalace PV elektrárny na sedlové střeše. Výhodou měření zadní strany panelu je její větší tepelná vodivost. Sklo má přece jen větší tepelný odpor nežli vrstvy laminátové folie. [57]

Výsledky jsou zobrazeny pomocí snímků s rozlišnou škálou barev. K jednotlivým teplotám je přiřazena konkrétní barva. Pro nízké teploty jsou využívány barvy fialové a modré. Pro vysoké teploty žluté a červené a bílé. Snímky jsou ukládány v známých zobrazovacích formátech obrázků, jako je formát JPEG.

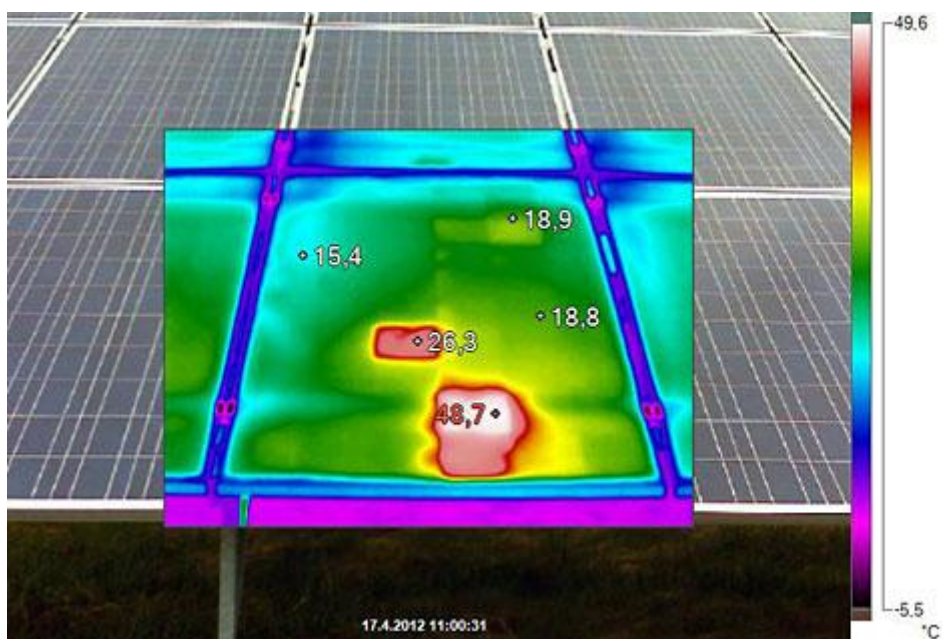
Termokamerou můžeme provádět kontrolu i jiných komponentů PV elektrárny nežli jen kontrolu samotného PV panelu. Můžeme kontrolovat kabeláž a rozvaděče a také nosnou konstrukci PV elektrárny a další komponenty.

Typy defektů, které můžeme pomocí termovize odhalit [55]:

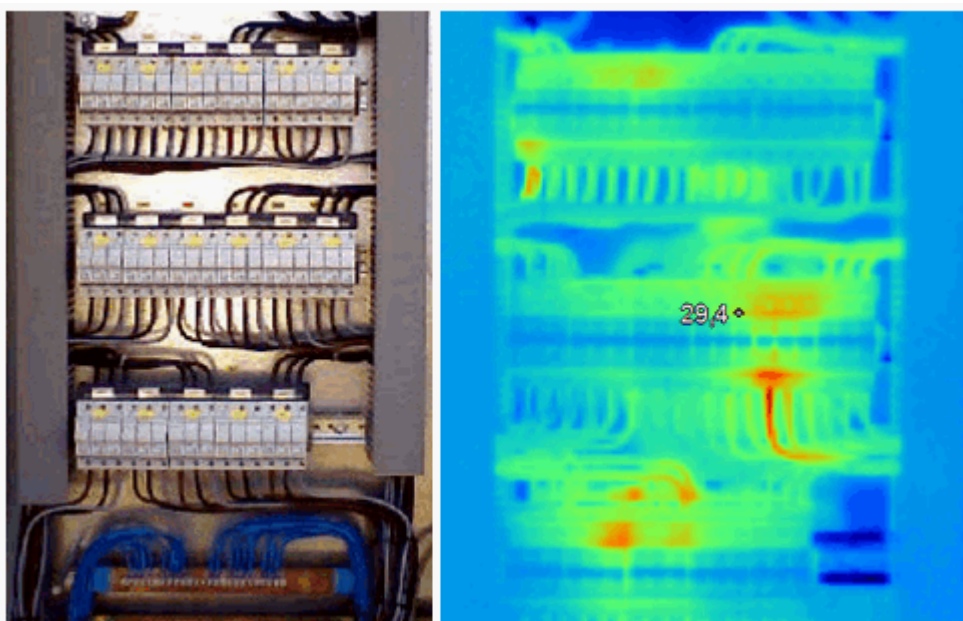
- Přejížděný odpor v pájeném spoji
- Přejížděný odpor v konektoru
- Nízký paralelní odpor jednotlivého solárního článku (interní zkrat ve struktuře solárního článku)
- Vadnou nebo propustně pólovanou překlenovací (bypass)diodu
- Rozdíly ve voltampérových charakteristikách jednotlivých fotovoltaických článků v jednom modulu
- Zastínění jednotlivých článků nebo jejich částí
- Teplotní nehomogenita
- Odpojené stringy



Obr. 48: Poškození ByPass diody (jedna ze tří) [61]



Obr. 49: Poškození PV článků [62]



Obr. 50: Tepelné namáhání kabeláže v rozvaděči [63]

5.2.2 Kontrola zrakem

Velmi dobrým pomocníkem při odhalení mnoha závad zůstává lidský zrak. Mnohdy i další lidské smysly se zapojí do odhalení závady jako je hmat a čich. Byl jsem svědkem kdy bleskem poškozený PV panel nejevilo po kontrole vizuální (zrakem) žádné známky poškození, ale byl z něho cítit pach spáleniny.

Zrakem můžeme odhalit například závady na PV panelu jako jsou nečistoty v podobě ptačích exkrementů a listů a pylu a sněhu. Stejný problém jako nečistoty způsobuje zastínění. Zastínit panel nám může komín či anténa či strom. Nadále můžeme odhalit praskliny v bezpečnostním sklu panelu. Nedostatky v nosné konstrukci PV elektrárny v podobě povolené matice či šroubu, zahýbané profily, špatné vzájemné umístění hromosvodu a vodivé konstrukce atd.

Ačkoliv můžete mít sebe nejlepší monitorovací systém, nerozezná typ závady. Analýza problému zbývá stále na člověku samotném. Po předložení výstrahy či podezřelých dat z monitoringu, musí člověk dojít k lokaci umístění panelu a prohlédnout si ho zrakem.



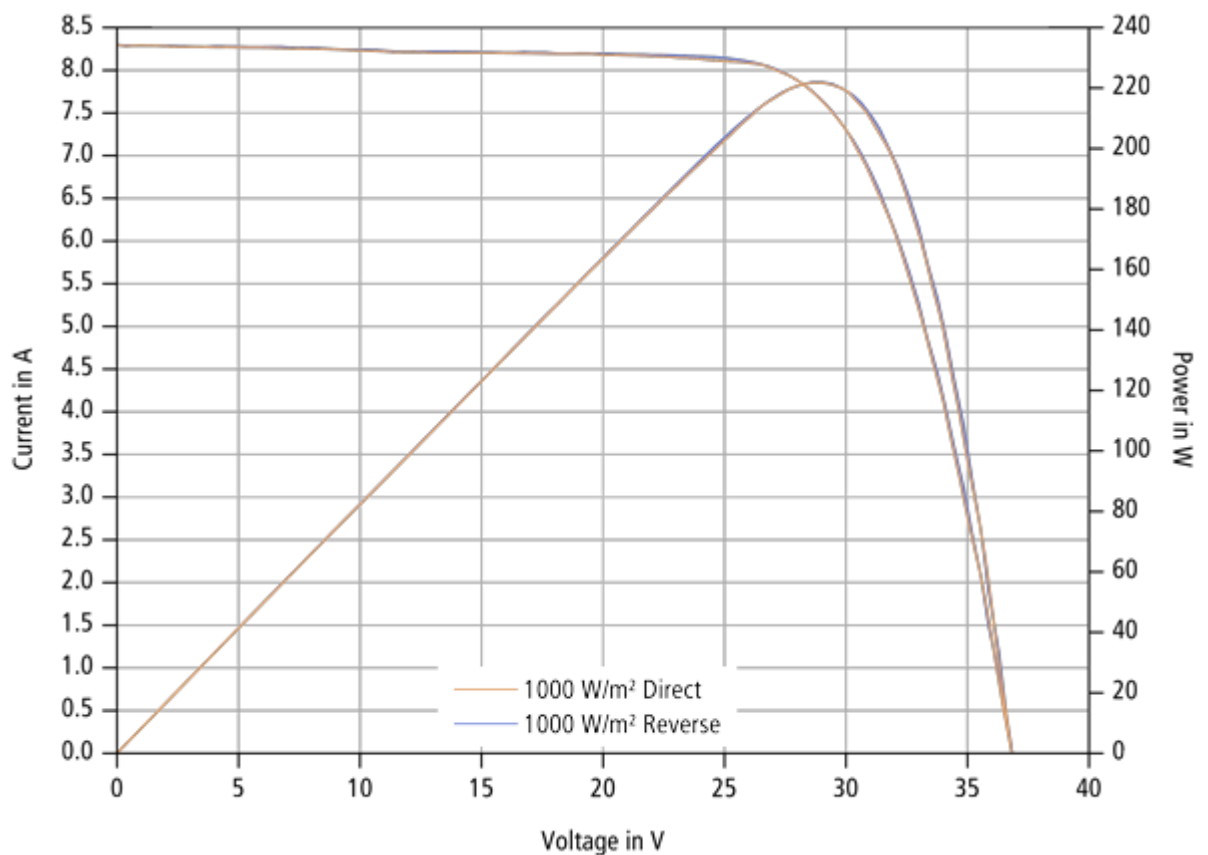
Obr. 51: Rozsypané bezpečnostní sklo PV panelu [64]

Další část PV elektrárny, kterou můžeme zkontrolovat pouhým zrakem, je elektroinstalace. Pevné spoje ve svorkovnici, přehryzané izolace od hlodavců, spálené pojistky a sluncem zpuchřelé izolace nám představují také nebezpečná rizika a závady.

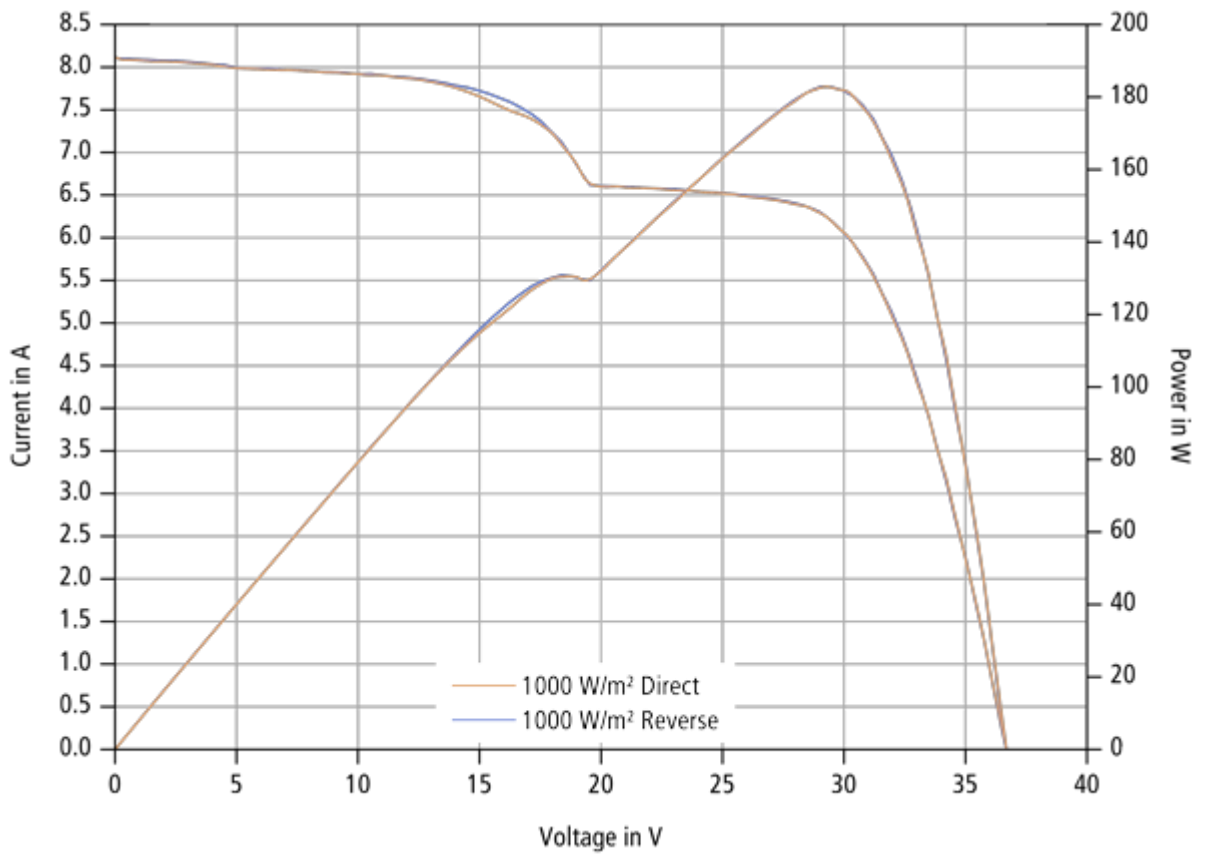
5.2.3 Mobilní měření VA charakteristiky

Při této metodě není použit žádný umělý světelný zdroj, ale využito přímé sluneční světlo. Měření se provádí pomocí voltmetru a ampérmetru a multimetru nebo pomocí speciálně určeném zařízení analyzátoru. K provedení měření je zapotřebí jediné, přístup ke konektorům PV panelů. Tyto analyzátoři umožňují záznam dat v reálném čase do osobního počítače pomocí USB rozhraní. Výsledky jsou zobrazeny v podobě VA charakteristik v uživatelsky příjemném softwaru. [57]

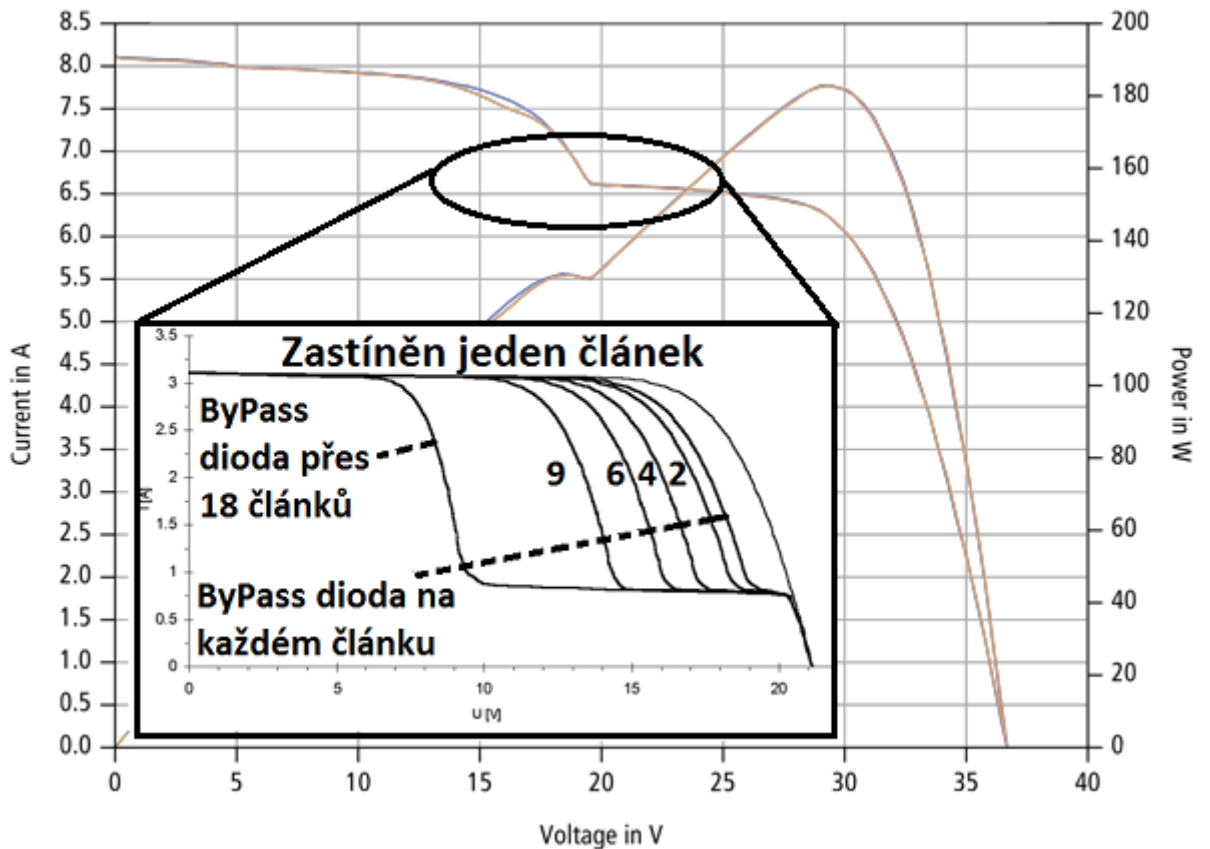
Výhodou těchto měření je rychlost a přesnost dosažených výsledků. Další výhodou je jednoduchost obsluhy měřící aparatury. Nevýhodou je samotné venkovní prostředí, nemůžeme zaručit stálost prostředí po delší časový úsek. Teplota prostředí a intenzita záření se mění velmi rychle a tím se mění i výsledky. Výsledky se budou lišit hodinu od hodiny a i ze dne na den. Proto před zahájením měření se udává například intenzita slunečního záření do softwaru. [57]



Obr. 52: VA charakteristika PV článku bez poškození [59]



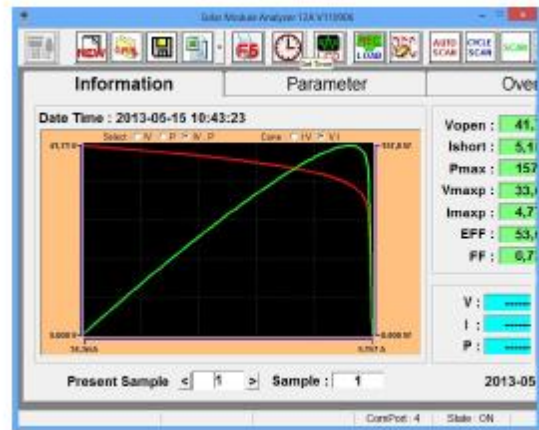
Obr. 53: VA charakteristika PV článku s defektem [59]



Obr. 54: VA charakteristika PV článku se zastíněným či zničeným jedním až více články [59]

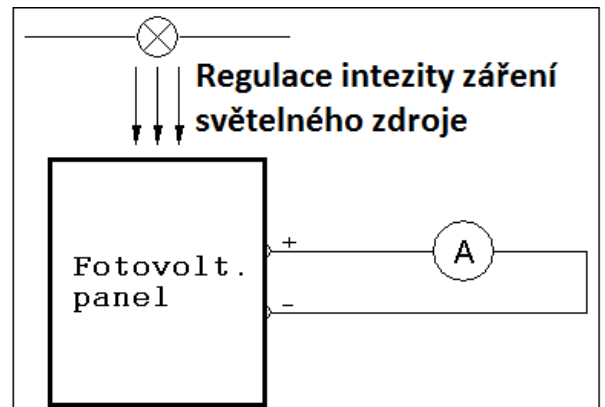
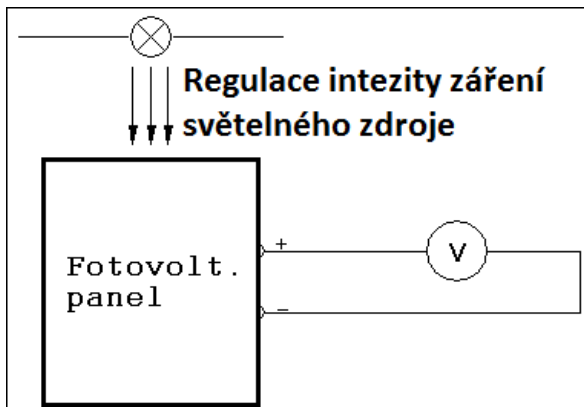


Obr. 55: Analyzátor PROVA 210 [57]

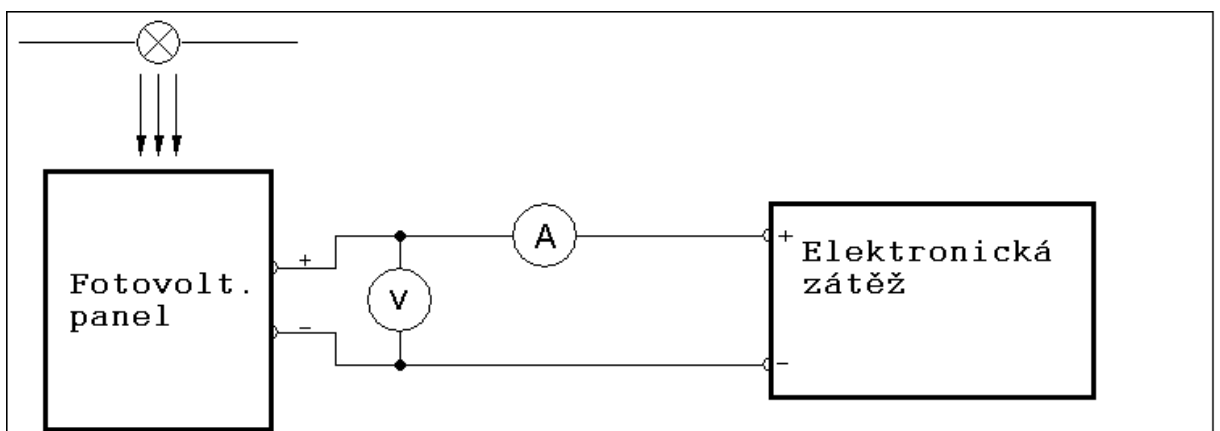


Obr. 56: Software Solar Modul Analyzer [57]

Metodika měření VA charakteristiy PV panelu



Obr. 57: Měření závislosti napětí a proudu na změně intezity záření [67]



Obr. 58: Měření závislosti napětí a proudu na změně velikosti elektronické zátěže [67]

5.3 Porovnání diagnostických metod

Porovnání diagnostických metod					
Metoda	Místo měření	Destrukce	Rychlost	Vypnutí panelu	Kontrola střídače a kabeláže ...
Solární simulátor	laboratoř	NE	Pomalý	ANO	NE
LBIC	laboratoř	NE	Pomalý	ANO	NE
LBIV	laboratoř	NE	Pomalý	ANO	NE
EBIC	laboratoř	NE	Pomalý	ANO	NE
ELCD	laboratoř	NE	Rychlý	ANO	NE
Mikroplazma	laboratoř	ANO	Rychlý	ANO	NE
Fotoluminiscence	laboratoř	NE	Rychlý	ANO	NE
Klimatická komora	laboratoř	NE	Pomalý	ANO	NE
Termovizice	elektrárna	NE	Rychlý	NE	ANO
Zrak	elektrárna	NE	Rychlý	NE	ANO
VA charakteristika	elektrárna	NE	Rychlý	ANO	ANO

Tab. 2: Porovnání diagnostických metod

6 Praktická část

6.1 Kontrola panelu před uvedením na trh

V první řadě dochází k sledování a kontroly vstupních materiálů a jednotlivých dílů, z nichž se PV panel skládá. Výrobní prostory a i sklady materiálu musí splňovat přísné podmínky na čistotu prostředí. Jedná se o klimatizované místnosti, do kterých neproniká přímé sluneční světlo. Je zamezeno negativnímu působení okolí na kvalitu vyráběného panelu. [49]

Po finální části výroby PV panelu kdy je zalit do folie a pevně uchycen v hliníkových profilech tvořící rám je panel podroben tzv. flash testu. V flash testu je ověřen jeho výstupní výkon. Měření probíhá na švýcarských přístrojích Pasan. Tato společnost patří k lídrům v testování fotovoltaických článků a panelů. [49]

Certifikáty potvrzující kvalitu (jakost) výroby (ISO 9001:2000 /ISO 9001:2001/ ISO 9001:2008) jsou nedílnou součástí procesu již od roku 2001, a to jak pro použité články a ostatní komponenty, ze kterých se panel skládá, tak pro celý panel. [49]



Obr. 59: Certifikační logo pro jakost výroby TÜV SÜD [50]

Přístroje ověřující výstupní výkon panelu jsou kalibrovány za pomoci referenčních panelů. Ty jsou pravidelně ověřovány u certifikačních autorit působících v Jižní Koreji (Korea Testing Laboratory (KTL) a Korea Institute of Energy Research (KIER)). [49]

Vyskytne-li se i přes důslednou výrobu a kontroly na některých panelech chyba, pak je možné její příčinu podle sériových čísel jednoduše dohledat a odstranit. Průběžně jsou sledovány tendence výrobních parametrů, je proto možné většině chyb zabránit ještě dříve, než k nim skutečně dojde. [49]

6.2 Výkonové optimizéry

6.2.1 Výhody optimizerů

Osazení PV elektrárny výkonovými optimizéry, též známí jako maximizery, umožňuje monitorování každého jednotlivého PV panelu v elektrárně, tudíž okamžité odhalení špatného vadného PV panelu. Jedná se o malý modul na každém PV panelu, jeden string či celá PV elektrárna je opatřena jediným DC/AC měničem. Optimizery můžeme nainstalovat již na stávající PV elektrárnu se střídačem s jedním MPP slepovačem.

Optimizery jsou produktem umožňující provedení PV elektrárny s distribuovaným energetickým systémem. Tento systém hlídá a řídí maximální bod výkonu fotovoltaického pole (MPP) na každém PV panelu zvlášť díky optimizérům. Takže o optimizérech můžeme říci, že jsou to sledovače MPP proudu na úrovni každého PV panelu. Doposud u klasické koncepce PV elektrárny se o hlídání maximálního bodu výkonu staral inventar (střídač). Když se hlídá MPP proud na jednom stringu a jeden PV panel je zastíněn, je nucen inventar snížit proud na úroveň proudu zastíněného panelu. Nebo samotný nesoulad mezi panely díky rozdílné kvalitě z výroby způsobí, že inventar zprůměruje hodnoty MPP proudů. V obou případech se jedná o ztráty. Díky umístění sledovačů MPP proudů (optimizerů) na každý panel zvlášť, tyto problémy odstraníme. [33]



Obr. 60: Solaredge výkonový optimizér [26]

Stejně jako mikrostrídače (viz. kapitola 4.2) jsou optimizéry umístěny u každého PV panelu. A stejně jako mikrostrídače pomáhají k odstranění problému s proměnlivým ziskem výkonu z jednotlivých PV panelů díky rozdílnému osvětlení respektive zastínění a podobně. Při osazení PV elektrárny „běžným“ střídačem platí pravidlo, že výkon na jednom stringu je roven výkonu nejslabšího bodu v celém stringu. Ale optimizéry dosahují mnoho násobně větší životnosti a větší účinnosti, díky tomu že jeden měnič DC/AC zůstává na jednom stringu.

Z invertoru se stává vysoce spolehlivý centrální invertor. Protože MPPT (MPP tracking) a řízení napětí jsou řešeny zvlášť, invertor se stará pouze o přeměnu stejnosměrného proudu (DC) na střídavý proud (AC). Tudíž jde o méně složité zařízení a tím je spolehlivější. Konstatní napětí zajišťuje stálý provoz s nejvyšší účinností nezávisle na délce stringu a teplotě. [35]

Optimizéry mimo jiné nám pomáhají odstranit nesoulad mezi jednotlivými panely:

- Výrobní tolerance kvality (2-5%)
- Výkonově rozdílné PV panelu v jednom stringu
- Nesoulad úhlové orientace PV panelů
- Nesoulad teplot
- Nesoulad znečištěním
- Neodhalené poškození při transportu
- Různé tempo stárnutí panelů
- Částečné stínění – mezi řadami,
- Postupující mraky

V místech instalace PV elektrárny, kde se často vyskytují kombinace těchto výše uvedených faktorů, ztrácíme největší procentuální díl z možného energetického zisku. Takovým místem je například střecha rodinného domku, kde máme mnoho zdrojů stínů (strom, anténa, komín ...). Díky optimizmu právě na takových místech můžeme získat o 20% větší zisk. [26]

Díky odstranění nesouladu mezi jednotlivými panely se nám při projektu PV elektrárny například na střechu rodinného domu otevírají nové možnosti. Nyní lze využít celou plochu střechy, neboť nám už nevádí stíny například od komína. V oblasti monitorování, nám optimizéry též otevřeli nové možnosti. V případě tradičních systémů/střídačů nemá majitel PV elektrárny příliš možností vadný panel odhalit nebo je to zdoluhavé a finančně náročné. Obtížná dostupnost panelů na střeše zabraňuje použití základních metod detekce vad jako například termokamery. Též optimizéry disponují chytrou funkcí tzv. SafeDC, která vypne panely při nečinnosti střídače, výpadku sítě nebo při zvýšené teplotě. Tato funkce se využije v případě požáru domu, na němž je PV elektrárna umístěna. Doposud bylo nebezpečné hasit tyto domy. [26]

6.2.2 Cena a záruka optimizerů

SolarEdge nabízí 12 let na střídače a 25 let na optimizéry. Střídače Solaredge nemají MMP tracker a slouží výhradně ke konverzi DC na AC. I to je jeden z důvodů, proč si může Solaredge dovolit poskytovat tak dlouhé záruky u střídačů jako standard. Výroba je navíc v rukou světoznámých výrobců Jabil a Flextronics. [34]

Cena střídače Solaredge je ovšem nižší a není nutné dokupovat žádný komunikační/monitorovací hardware za několik stovek EUR (integrován ve střídači). Započteme-li cenu prodloužené záruky (a případných servisních nákladů) u konkurence, dostáváme se na obdobné ceny jako u klasické technologie. Připočteme-li navíc vyšší výrobu a bezporuchový provoz, dostaneme také vyšší čistou současnou hodnotu a rychlejší návratnost investice. [34]

6.2.3 Monitorovací systém SolarEdge



Obr. 61: Solární systém s použitím opitimizérů SolarEdge [51]

1.) SolarEdge PowerBox

SolarEdge Power box je integrován do každého modulu, kde nahradí tradiční propojovací krabici (junction box). PowerBox optimalizuje výstupní energii a umožňuje sledování výkonu a parametrů každého modulu. Dále PowerBox automaticky udržuje konstantní napětí na stringu (řetězci), čímž umožňuje projektantovi větší flexibilitu v návrhu optimálního FV systému a také vyšší odolnost proti chybám v koncepci. [51]

Vlastnosti:

- Plně funkční a certifikovaný PowerBox
- Do modulu zabudované SolarEdge řešení
- MPTT na úrovni modulu - optimalizuje každý modul zvláště
- DC napětí je vždy konstantní bez ohledu na počet modulů ve stringu
- Monitoring jednotlivých modulů - jednoduchá detekce poruch na modulu či stringu bez další nutné kabeláže
- Umožňuje paralelním stringům nesejnou délku bez nutnosti závěrných diod
- Bezpečné napětí stringu, když je invertor odpojený nebo vypnutý
- Ochrana proti krádeži za méně peněz
- 25 let záruky na spolehlivost

2.) SolarEdge invertor

Invertor od SolarEdge je vysoce spolehlivý centrální invertor. Protože MPPT (MPP tracking) a řízení napětí jsou řešeny zvlášť, invertor se stará pouze o přeměnu stejnosměrného proudu (DC) na střídavý proud (AC). Tudíž jde o méně složité zařízení a tím je spolehlivější. Konstantní napětí zajišťuje stálý provoz s nejvyšší účinností nezávisle na délce stringu a teplotě. [51]

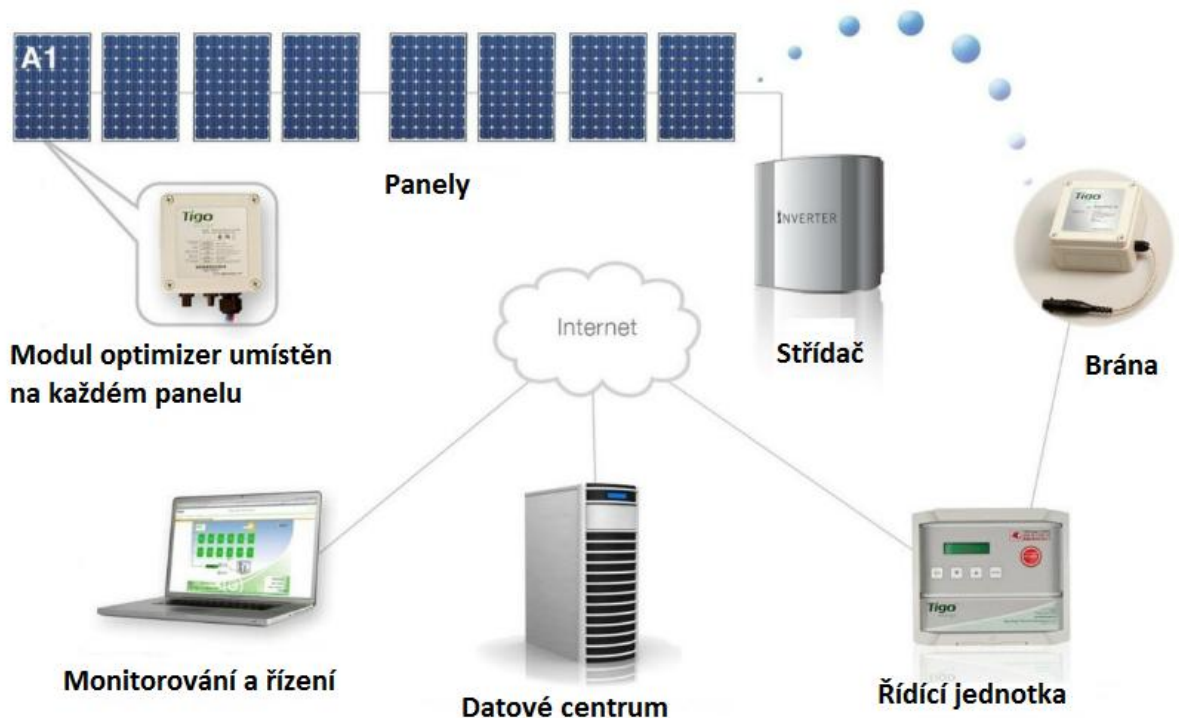
Vlastnosti:

- Vynikající účinnost (větší než 97%)
- Zabudovaný přijímač informací z modulů
- Konstantní DC napětí
- Invertor vždy pracuje s nejvyšší účinností
- Konstantní napětí na stringu umožňuje jednoduchý návrh FV systému a omezuje instalační náklady
- Broadband komunikace s internetem
- IP 65 krytí
- Malý, lehký a jednoduchý k instalaci
- Vynikající spolehlivost se standardní zárukou 12 let

3.) SolarEdge monitorovací portál

Webová aplikace umožňuje monitorování modulu, stringů i celého systému. Software automaticky upozorní na široké spektrum problémů, které ovlivňují výrobu energie a které by jinak zůstaly nepovšimnuty. SolarEdge monitoring může sledovat FV systém ve spojení s PowerBoxy nebo již instalovaný FV systém nezávisle. [51]

6.2.4 Monitorovací systém Tigo Energy



Obr. 62: Solární systém s použitím opitimizérů TIGO Energy [19]

Ceník systému Tigo Energy k datu 1.5.2014. Převodní kurz mezi Českou korunou a Eurem byl k datu 1.5.2014 1€ = 27,500 Kč [52]

Cena monitorovacího systému s optimizery od Tigo Energy pro PV elektrárnu s 18 PV panely		
Řídící jednotka + Brána	500,25 € tax incl.	13 756,875 Kč
Solar optimizer – 300W	54,05 € tax incl.	1486,375 Kč x 18 PV panelů
Celková cena	-	40 511,625 Kč

Tab. 3: Cena monitorovacího systému Tigo Energy pro 18 PV panelů

6.3 PV elektrárna s opitimizery vs. PV elektrárna s běžným jedním střídačem

6.3.1 Spotřeba rodinného domu

Celková spotřeba elektřiny: **5,813 MWh**

Vyúčtování od společnosti E-on za období 29.03.2012 do 19.04.2013: **18 571 Kč s DPH**

Platba za distribuci elektřiny	3422 Kč bez DPH
Platba za související služby	3573 Kč bez DPH
Platba za dodávku elektřiny	8442 Kč bez DPH
Celková cena s DPH	18 571 Kč

Tab. 4: Roční výdaje domácnosti za dodávku elektřiny

Seznam spotřebičů:

Ohřívač vody	2,2 kW
Elektrická trouba	1,5 kW
Elektrické přenosné topné těleso	1,5 kW
Pračka	0,95kW
Mikrovlnka	800 W
Lednice	120 W
Televize	80 W
Notebook	2 x 65 W
Osvětlení	27 x 40 W; 11 x 60 W; 3 x 25 W; 5 x 18 W; 1 x 35 W; 1 x 23 W; 1 x 9 W; 1 x 7 W
Čerpadlo oběhu vody u plynového kotle	22 W

Tab. 5: Seznam spotřebičů

6.3.2 Výše výkupních cen a zelených bonusů

Cenové rozhodnutí ERÚ č. 4/2013 ze dne 27. listopadu 2013, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie. Platné pro rok 2014.

Datum uvedení výrobný do provozu		Instalovaný výkon výrobný [kW]		Jednotarifní pásmo provozování	
od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
-	31. 12. 2005	-	-	7 418	6 688
1. 1. 2006	31. 12. 2007	-	-	15 565	14 835
1. 1. 2008	31. 12. 2008	-	-	15 180	14 450
1. 1. 2009	31. 12. 2009	0	30	14 243	13 643
1. 1. 2009	31. 12. 2009	30	-	14 139	13 409
1. 1. 2010	31. 12. 2010	0	30	13 265	12 665
1. 1. 2010	31. 12. 2010	30	-	13 161	12 431
1. 1. 2011	31. 12. 2011	0	30	7 959	7 359
1. 1. 2011	31. 12. 2011	30	100	6 264	5 534
1. 1. 2011	31. 12. 2011	100	-	5 837	5 107
1. 1. 2012	31. 12. 2012	0	30	6 410	5 810
1. 1. 2013	30.6.2013	0	5	3 478	2 878
1. 1. 2013	30.6.2013	5	30	2 887	2 287
1.7.2013	31. 12. 2013	0	5	3 050	2 450
1.7.2013	31. 12. 2013	5	30	2 479	1 879

Tab. 6: Výkupné ceny pro výrobu elektrické energie pomocí PV elektrárny [36]

Zákon č. 180/2005 Sb. i jeho nástupce, zákon č. 165/2012 Sb., který ho od začátku letošního roku nahrazuje, stanovuje dva módy výkupu pro fotovoltaické elektrárny:

- Garantovaná výkupní cena je fixovaná na 20 let, energii je povinen odebírat jeden z hlavních energetických distributorů (ČEZ, E.ON, PRE).
- Takzvaný zelený bonus je fixován pouze na jeden rok, jde o příspěvek k vyrobené elektrické energii, kterou si provozovatel elektrárny může spotřebovat sám nebo prodat třetímu subjektu za libovolnou cenu.

6.3.3 Fotovoltaická elektrárna s běžným střídačem



TaleSun 4,4 kWp a Power One PVI-4,2
30.1.2013

Kalkulace FVE 4,41 kWp

Výkon modulu za STC (Wp)	245
Instalovaný výkon (kWp)	4,41

VOTUM s.r.o.
Jidřišská 939/20
110 00 Praha 1

Technologie					
Popis	Cena za jednotku (Kč)	Počet jednotek	Jednotka	Cena/Wp (Kč)	Cena celkem (Kč)
FV moduly TaleSun TP660P - 245Wp	4 732,26	18	ks	19,32	85 180,68
Invertor 1-fázový Power One PVI-4,2-TL-OUTD	30 860,00	1	ks	7,00	30 860
Konstrukce	24 915,00	1	ks	5,65	24 915
Elektro DC/AC, ochrany, měření, rozvaděče	24 000,00	1	kpl	5,44	24 000
Kabeláž + konektory	4 800,00	1	kpl	1,09	4 800
Technologie celkem				38,49	169 756

Doplňující informace	
Celkový výkon FVE v kW	4,41 kW
Předpokládaný roční výkon FVE	4,77 MWh
Výsledná výnosová efektivita systému (výnos.výkon/instal.výkon)	1081,63 kWh/kWp

- Kalkulace platí pro větrnou oblast III (0,45 kN/m²) a sněhovou oblast I (0,7 kN/m²), 290 m.n.m, osvětlení a meteoropodmínky Jižní Čechy - České Budějovice
- Jednolitá hliníková konstrukce K2 pro betonovou střešní tašku, háky přímo na krokve; sklon střechy 35°
- Ceny loco Praha, sklad Horní Počernice

Tab. 7: Fotovoltaická elektrárna s běžným střídačem [35]

Doba zaplacení investice technologie s běžným střídačem:

$$\frac{4,77 [MWh]}{5,813 [MWh]} = 0,8205745742 * 18 571 [Kč] \cong 15 238,89 Kč$$

PV elektrárna ušetří za 1 rok elektrickou energii o hodnotě přibližně 15 238,89 Kč

Dle rozhodnutí ERÚ č. 4/2013 ze dne 27. listopadu 2013 platí pro tuto PV elektrárnu výkupní cena ve výši 3050 Kč/MWh a zelený bonus ve výši 2450 Kč/MWh.

a) Veškerá elektrická energie získaná PV elektrárnou je v domácnosti spotřebována

$$t_a = \frac{\text{Celková cena investice do PV elektrárny}}{\text{Roční cena ušetřené el. energie ze sítě} + \text{Roční výkon} * \text{Zelené bonusy}}$$

$$= \frac{169 756 [Kč]}{15238 [Kč] + 4,77 [MWh] * 2450 [Kč/MWh]} \cong 6,3 \text{ roků}$$


Pozn.: Výsledek je pouze orientační, neboť stát každoročně mění hodnotu tzv. Zeleného bonusu. A také roční výkon 4,77 MWh pravděpodobně nepokryje celou spotřebu domácnosti, tudíž nezapomeňme připočíst cenu dokoupené el. energie.

b) Veškerá elektrická energie získaná PV elektrárnou je prodána

$$\begin{aligned} t_b &= \frac{\text{Celková cena investice do PV elektrárny}}{\text{Roční výkon} * \text{Výkupní cena} + \text{Roční výkon} * \text{Zelené bonusy}} \\ &= \frac{169\,756[\text{Kč}]}{4,77[\text{MWh}] * 3050[\text{Kč/MWh}] + 4,77[\text{MWh}] * 2450[\text{Kč/MWh}]} \\ &\cong \mathbf{6,47\, \text{roků}} \end{aligned}$$

Pozn.: Vlastník stále platí za kupovanou el. energii. Výsledek je pouze orientační, neboť stát každoročně mění hodnotu tzv. Zeleného bonusu.

6.3.4 Fotovoltaická elektrárna s optimizéry



TaleSun 4,4 kWp a SolarEdge SE4000
20.1.2013

Kalkulace FVE 4,41 kWp


VOTUM s.r.o.
Jidřišská 939/20
110 00 Praha 1

Výkon modulu za STC (Wp)	245	
Instalovaný výkon (kWp)	4,41	

Technologie					
Popis	Cena za jednotku (Kč)	Počet jednotek	Jednotka	Cena/Wp (Kč)	Cena celkem (Kč)
FV moduly TaleSun TP660P - 245Wp	4 732,26	18	ks	19,32	85 181
Invertor 1-fázový SolarEdge SE4000	28 780,00	1	ks	6,53	28 780
Power Optimizer SolarEdge OP250LV	1 482,00	18	set	6,05	26 676
Konstrukce	25 095,00	1	ks	5,69	25 095
Elektro DC/AC, ochrany, měření, rozvaděče	24 000,00	1	kpl	5,44	24 000
Kabeláž + konektory	4 800,00	1	kpl	1,09	4 800
Technologie celkem				44,11	194 532

Doplňující informace	
Celkový výkon FVE v kW	4,41 kW
Předpokládaný roční výkon FVE	4,90 MWh
Výsledná výnosová efektivita systému (výnos.výkon/instal.výkon)	1111,11 kWh/kWp

Kalkulace platí pro větrnou oblast III (0,45 kN/m²) a sněhovou oblast I (0,7 kN/m²), osvětlení a meteoropodmínky Praha
 Jednovrstvá hliníková konstrukce K2 pro betonovou střešní tašku, háky přímo na krokve; sklon střechy 35°
 Ceny loco Praha, sklad Horní Počernice



Tab. 8: Fotovoltaická elektrárna s optimizéry [35]

Doba zaplacení investice technologie s běžným střídačem:

$$\frac{4,90 [MWh]}{5,813 [MWh]} = 0,8429382419 * 18\,571 [Kč] \cong 15\,654,20 \text{ Kč}$$

PV elektrárna ušetří za 1 rok elektrickou energii o hodnotě přibližně 15 654,20 Kč

Dle rozhodnutí ERÚ č. 4/2013 ze dne 27. listopadu 2013 platí pro tuto PV elektrárnu výkupní cena ve výši 3050 Kč/MWh a zelený bonus ve výši 2450 Kč/MWh.

a) Veškerá elektrická energie získaná PV elektrárnou je v domácnosti spotřebována

$$t_a = \frac{\text{Celková cena investice do PV elektrárny}}{\text{Roční cena ušetřená el. energie ze sítě} + \text{Roční výkon} * \text{Zelené bonusy}}$$

$$= \frac{194\,532 [Kč]}{15\,654,20 [Kč] + 4,90 [MWh] * 2450 [Kč/MWh]} \cong 7,033 \text{ roků}$$

Pozn.: Výsledek je pouze orientační, neboť stát každoročně mění hodnotu tzv. Zeleného bonusu. A také roční výkon 4,90 MWh pravděpodobně nepokryje celou spotřebu domácnosti, tudíž nezapomeňme připočíst cenu dokoupené el. energie

b) Veškerá elektrická energie získaná PV elektrárnou je prodána

$$\begin{aligned}t_b &= \frac{\text{Celková cena investice do PV elektrárny}}{\text{Roční výkon} * \text{Výkupní cena} + \text{Roční výkon} * \text{Zelené bonusy}} \\ &= \frac{194\,532[\text{Kč}]}{4,90[\text{MWh}] * 3050[\text{Kč/MWh}] + 4,90[\text{MWh}] * 2450[\text{Kč/MWh}]} \\ &\cong \mathbf{7,22 \text{ roků}}\end{aligned}$$

Pozn.: Vlastník stále platí za kupovanou el. energii. Výsledek je pouze orientační, neboť stát každoročně mění hodnotu tzv. Zeleného bonusu.

6.3.5 Fotovoltaická elektrárna se ziskem 20% výkonu pomocí optimizerů

Některé zdroje uvádí zisk na výkonu díky optimizerů až 25-30%. Jak se píše o kapitoly výše, optimizéry nám pomáhají na místech s větší výskytem zastínění jako například sedlová střecha rodinného domu. Optimizéry odstraní rozdíly mezi PV panel z výroby a rozdíly v stárnutí...

Ukázka zlepšení výnosnosti na PV elektrárně s ročním výkonem 4,77 MWh (4,41 kWp) za cenu 194 532 Kč (viz. kapitola výše):

$$4,77[MWh] * 120[\%] = 6,201[MWh]$$

$$\frac{6,201 [MWh]}{5,813 [MWh]} = 1,066746946 * 18 571[Kč] \cong 19 810,56 Kč$$

PV elektrárna ušetří za 1 rok elektrickou energii o hodnotě přibližně 19 810,56 Kč

Dle rozhodnutí ERÚ č. 4/2013 ze dne 27. listopadu 2013 platí pro tuto PV elektrárnu výkupní cena ve výši 3050 Kč/MWh a zelený bonus ve výši 2450 Kč/MWh.

a) Veškerá elektrická energie získaná PV elektrárnou je v domácnosti spotřebována

$$\begin{aligned} t_a &= \frac{\text{Celková cena investice do PV elektrárny}}{\text{Roční cena ušetřená el. energie ze sítě} + \text{Roční výkon} * \text{Zelené bonusy}} \\ &= \frac{194\,532[Kč]}{19\,810,56 [Kč] + 6,201[MWh] * 2450[Kč/MWh]} \\ &\cong \mathbf{5,558 \text{ roků}} \end{aligned}$$

Pozn.: Výsledek je pouze orientační, neboť stát každoročně mění hodnotu tzv. Zeleného bonusu. A také roční výkon 4,90 MWh pravděpodobně nepokryje celou spotřebu domácnosti, tudíž nezapomeňme připočíst cenu dokoupené el. energie

b) Veškerá elektrická energie získaná PV elektrárnou je prodána

$$t_b = \frac{\text{Celková cena investice do PV elektrárny}}{\text{Roční výkon} * \text{Výkupní cena} + \text{Roční výkon} * \text{Zelené bonusy}}$$
$$= \frac{194\,532[\text{Kč}]}{6,201[\text{MWh}] * 3050[\text{Kč/MWh}] + 6,201[\text{MWh}] * 2450[\text{Kč/MWh}]} \cong \mathbf{5,7 \text{ roků}}$$

Pozn.: Vlastník stále platí za kupovanou el. energii. Výsledek je pouze orientační, neboť stát každoročně mění hodnotu tzv. Zeleného bonusu.

6.3.6 Výsledek

U PV elektrárny využívající technologii optimizmů, při použití stejného počtu PV panelů o stejném celkovém výkonu 4,41kWp jako u elektrárny využívající běžný střídač, se předpokládaný roční výkon zvedl o 130kWh. Tato hodnota je jen předpokládaná, zisk ve výkonu se bude lišit dle lokality a počtem zdrojů stínů. Čím komplikovanější lokalita na zastínění, jakou jsou třeba střechy rodinných domů, tím větší zisk ve výkonu pomocí technologie optimizmů. A nezapomeňme, že díky technologii opitimizérů můžeme instalovat větší počet PV panelu na totožnou střechu.

Rozdílnou pořizovací cenu PV elektráren můžeme velkou nadsázkou přisoudit k nutnosti koupě 18ks opitimizérů, jeden za 1482 Kč.

PV elektrárna 4,41 kWp	Veškerá el. energie spotřebována	Veškerá el. energie prodána
PV elektrárna s optimizmy zisk 20%	5,558 roků	5,7
PV elektrárna s optimizery	7,033 roků	7,22 roků
PV elektrárna s běžným jedním střídačem	6,3 roků	6,47 roků
Rozdíl posledních dvou řádků	0,733 roků (8,8 měsíců)	0,75 roků (9 měsíců)

Tab. 9: Porovnání dob navrácení investice u různých technologií PV elektráren

Pozn.: Výsledky jsou pouze orientační, neboť stát každoročně mění hodnotu tzv. Zeleného bonusu.

PV elektrárna 4,41 kWp	Roční výkon	Tržní hodnota ročního výkonu
PV elektrárna s optimizmy zisk 20%	6,201 MWh	19 810,56 Kč
PV elektrárna s optimizery	4,90 MWh	15 654,20 Kč
PV elektrárna s běžným jedním střídačem	4,77 MWh	15 238,89 Kč

Tab. 10: Porovnání tržních hodnot ročního výkonu

Investice vynaložená do PV elektrárny vybavenou technologií optimizerů se zaplatí pouze přibližně o 9 měsíců později, než-li investice vynaložená do elektrárny s běžným jedním střídačem. Za povšimnutí též stojí skutečnost, že ekonomicky výhodnější je provozovat PV elektrárnu jako ostrovní systém, tj. spotřebovat veškerou vyrobenou elektrickou energii v domácnosti a žádnou neprodávat.

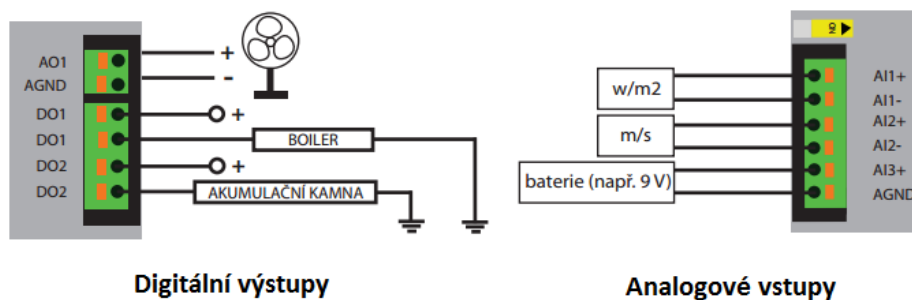
6.4 Monitorovací systém PV elektrárny s jedním MPP sledovačem

Hlídaní maximálního bodu výkonu MMP se děje pouze na úrovni celé PV elektrárny či jednoho stringu, dle typu střídače. Skutečnost existence optimizerů na trhu, tento monitorovací systém degraduje na nedokonalý po mnoha stránkách.

Pro ukázkou jak takový systém monitorovací PV elektrárny s jedním střídačem vypadá, jsem zvolil technologii společnosti Solar Monitor. Vybral jsem tuto technologii, neboť nejenom že funguje jako monitorovací systém, ale funguje jako spínací relé.

Technologie měří výkony a napětí jednotlivých stringů. Nadále však tato technologie nabízí, díky analogovým vstupům, měření teploty vzduchu, teplotu panelu, osvit jednotlivých panelů a měření rychlosti proudění vzduchu (anometry). Solar Monitor obsahuje také digitální vstupy, na které můžeme připojit jakékoliv čidlo oznamující spojeno/rozpojeno (čidlo pohybu, bleskojistka, optická závora...). Také obsahuje digitální výstupy, díky nimž můžeme třeba sepnout boiler či ventilátor atd.. Jednotlivé segmenty celého systému zle pořídít ve formě jednoduchých stavebnicových modulech.

Samotná společnost nevyrobí střídače, ale nabízí širokou kompatibilitu s různými výrobci.

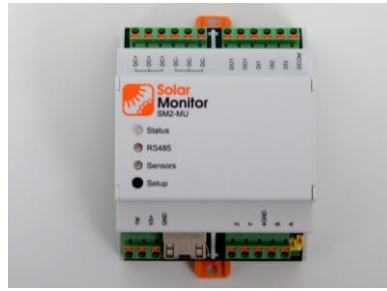


Obr. 63: Ukázka využití vstupů a výstupů z modulu Solar Monitor [40]

Na obrázku též můžete vidět tzv. PC modul (Power Control) který slouží k řízení výkonu Vaší solární elektrárny. Na základě příkazu odběratele (ČEZ, E.ON, apod.) elektrárna svůj výkon automaticky přizpůsobí. PC modulem lze řídit výkon činný i jalový. [40]

Připojení modulu je snadné pomocí sběrnice HBUS, která je ukryta v DIN liště. Modul pouze nasadíte na DIN lištu a přisunete k základní jednotce nebo dalšímu modulu. Tím je propojení dokončeno. [40]

6.4.1 Modul Solar Monitor (datalogger)



Obr. 64: Modul Solar Monitor typu START [40]

Společnost nabízí více provedení Modul Solar Monitor pro různý počet střídačů. Vybral jsem typ START pro domácnost a malé elektárny, neboť je první z nabídky dle nejnižší ceny, který nabízí připojení senzorů a je konstruován pro jeden střídač. Nadále k tomuto modulu připojujeme střídač a elektroměr či popřípadě další rozšiřující moduly, nabízené stejnou společností.

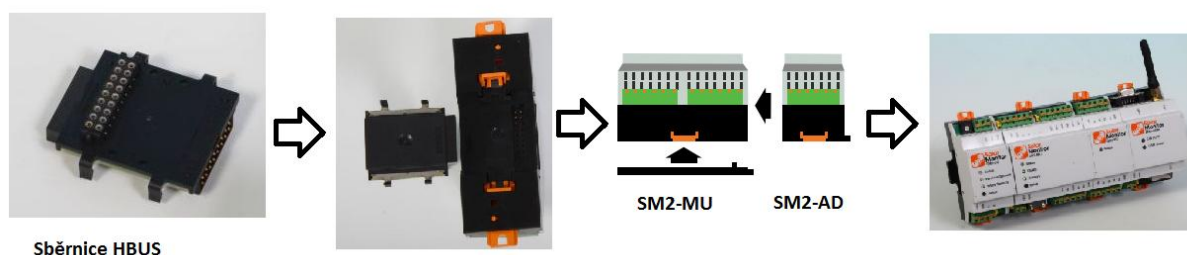
Výhodou pořízení takového monitorovacího systému je samozřejmě přehled o výkonu současném a historicky zaznamenaném. Přehled o výkonu výrazně zjednodušuje fakturaci a vykazování výroby vyžadované českou legislativou. Další významnou funkcí je monitoring bleskojistky. Data jsou zobrazována v přehledných grafech na monitorech či na domácím počítači, v dnešní době též i na moderních mobilních telefonech s velkým displejem. Modul je vybaven síťovým portem. Také máme možnost sledovat data ledovat online na internetovém servru.



Obr. 65: Služby monitoring modulu [40]

6.4.2 Senzory

K základnímu provedení Solar Monitor modulu SM2-MU lze připojit až 10 senzorů. V případě potřeby více senzorů můžeme přikoupit rozšiřující modul SM2-AD, který zvyšuje počet zařízení, která lze připojit k Solar Monitoru. Rozšiřuje o dva analogově diferenciální vstupy a jeden analogový vstup. Avšak podmínkou pro komunikaci mezi modulem základním a rozšiřujícím je datová komunikační sběrnice HBUS. [40]



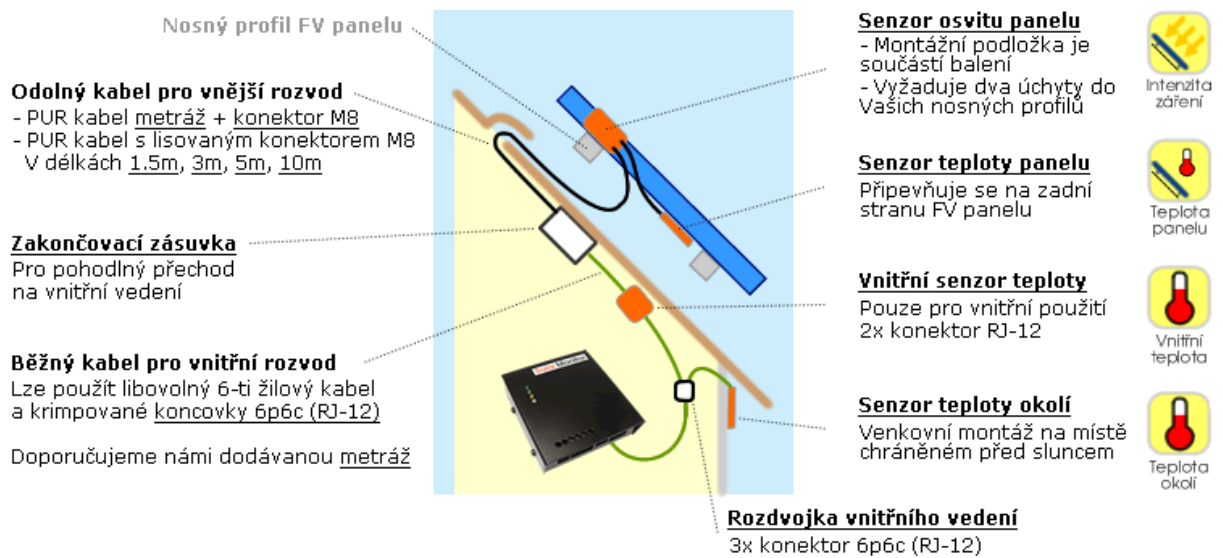
Obr. 66: Připojení rozšiřujícího modulu SM2-AD k základnímu modulu Solar Monitor [40]



Obr. 67: Rozšiřující modul SM2-AD [40]

Můžeme si vybrat mezi následujícími senzory:

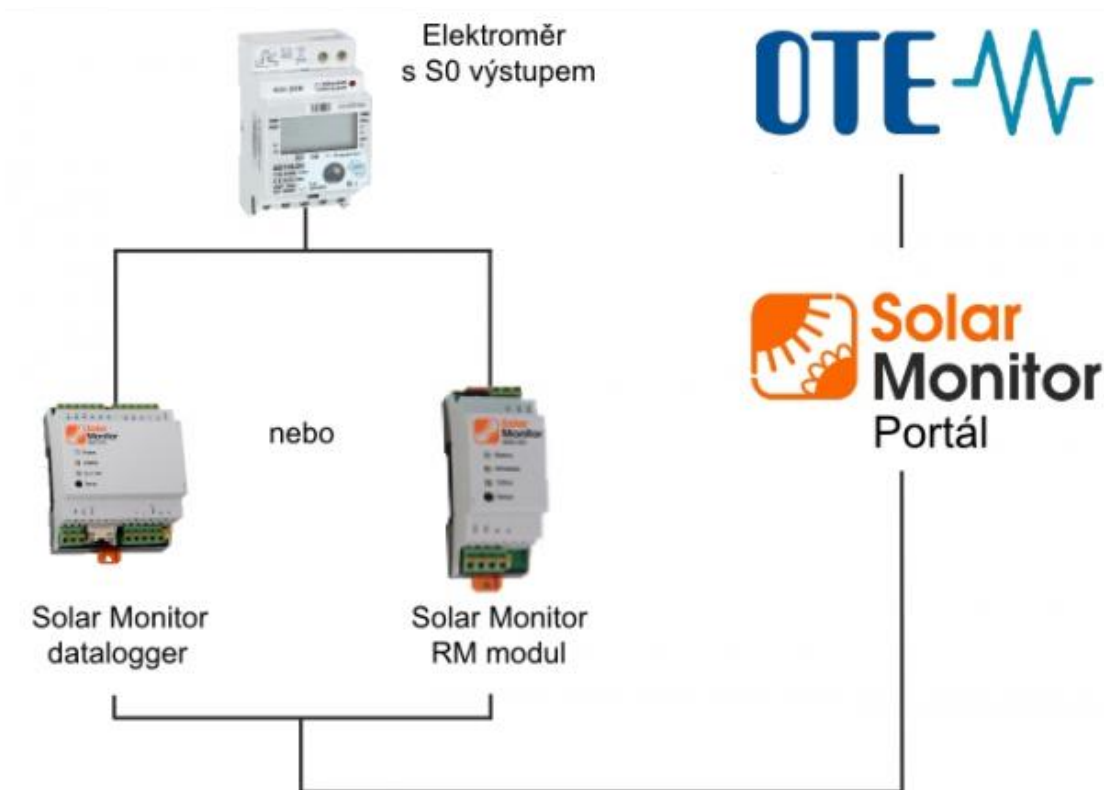
- Senzor teploty prostředí (okolního vzduchu)
- Senzor teploty fotovoltaického panelu
- Senzor osvětlení s polykrystalickým článkem
- Snímací prvek pro měření rychlosti proudění vzduchu (anemometr)



Obr. 68: Rozvod senzorů kolem PV panelů [40]

6.4.3 Vzdálený odečet - webový monitoring

Jako mnozí jeho konkurenti nabízí systém Solar Monitor sledování dat z PV elektrárny online pomocí webového portálu. Tuto službu systém nabízí prostřednictvím základního modulu nebo rozšiřujícího modulu Solar Monitor RM. [41]



Obr. 69: Vzdálený monitoring spojený s Operátorem trhu s elektřinou (OTE) [41]

RM modul slouží pro vzdálený odečet elektroměrů nebo pro připojení i k jinému zařízení, u kterého potřebujeme měřit pulzy nebo zjišťovat binární stavy. Zařízení obsahuje 3 optoelektronicky izolované vstupy, které je možné nakonfigurovat buď na čítání pulzů nebo na čtení stavu vstupu. Ideální pro vzdálený odečet elektroměrů, vodoměrů, plynoměrů, ale i dalších zařízení s S0 výstupem. [40]



Obr. 70: Funkčnost RM modulu [40]

Tento systém umožňuje mít přehled o datech z PV elektrárny. Neustále mít data k dispozici i v době mimo pobyt domova, například v práci nebo na cestách pomocí smartphonu. Data jsou vizualizovaná na internetovém portále Solar Monitor Portál. Na portále je možné po přihlášení uživatele také konfigurovat nastavení čítačů, binárních vstupů, GSM a sítě. Služba však není zadarmo. [40]

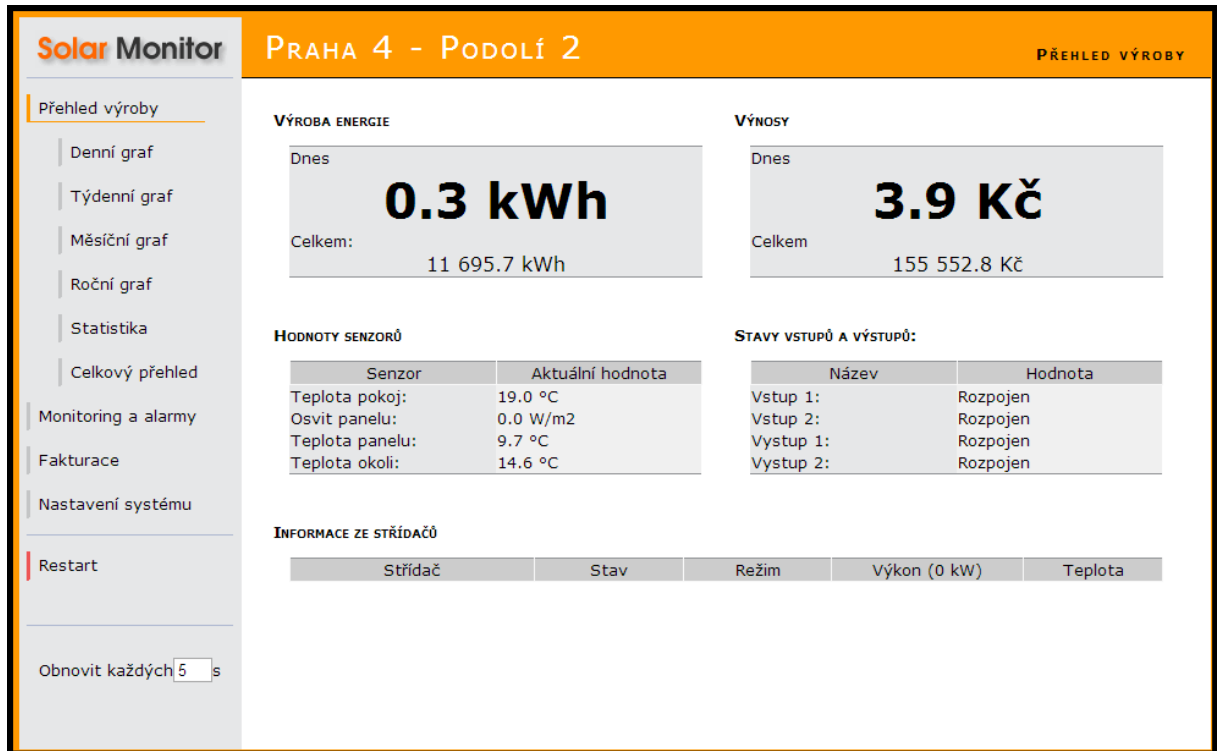
Následující údaje o cenách služeb webového portálu jsou platné k datu 22.4.2014. [41]

Název služby	Portal Standard
Vizualizované údaje	<ul style="list-style-type: none"> energie, výkon střídačů, ozáření (časový interval vzorkování 5 minut)
Cena za 1rok na 1 střídač	508 Kč vč. DPH

Název služby	Portal Full
Vizualizované údaje	<ul style="list-style-type: none"> energie - výroba i spotřeba individuální charakteristiky střídačů (UPV, IPV, UAC, IAC, PAC, f, TKK) senzory fyzikálních veličin - ozáření, teplota, rychlost a směr větru lze provádět energetický audit porovnáním s PVGIS či ČHMÚ
Cena za 1rok na 1 střídač	847 Kč vč. DPH

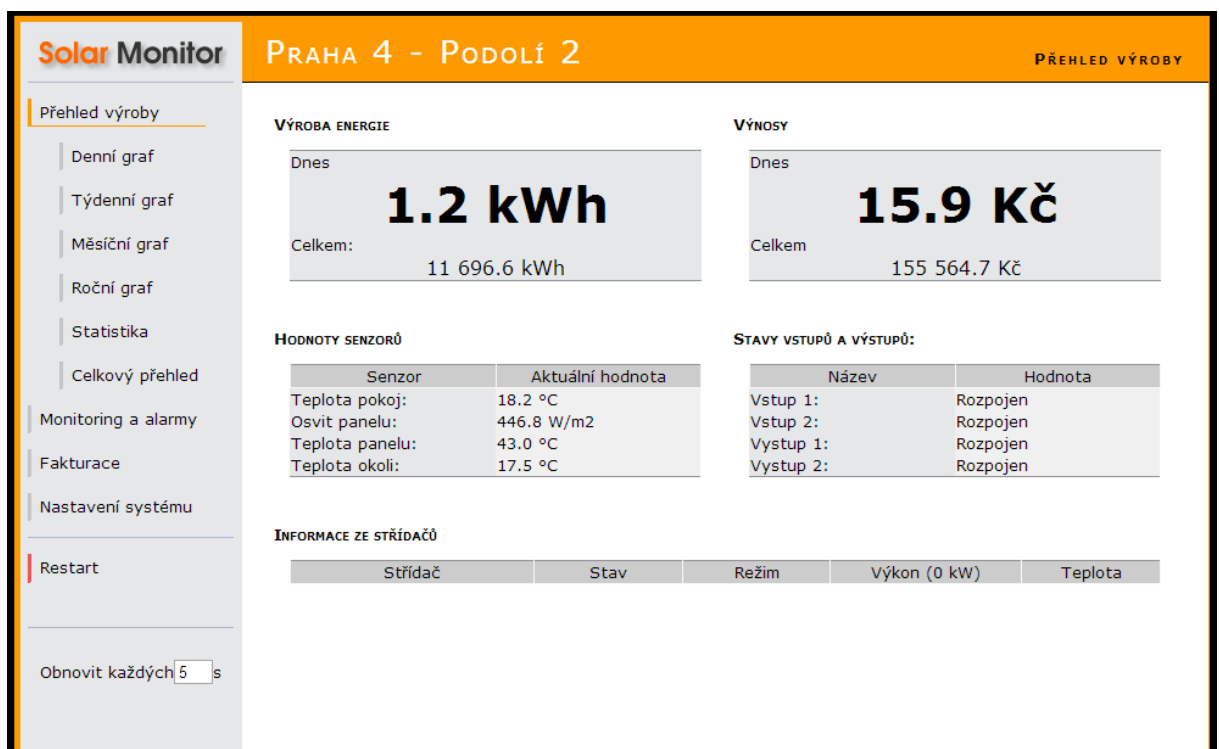
Tab. 11: Porovnání cen služeb webového portálu

Ukázka veřejně zpřístupněného výstupu Solar Monitor Portal z PV elektrárny Praha 4 – Podolí 2 (instalovaný výkon 3,2 kW) pořízena dne 22.4.2014 v 22:40 h (SEČ).



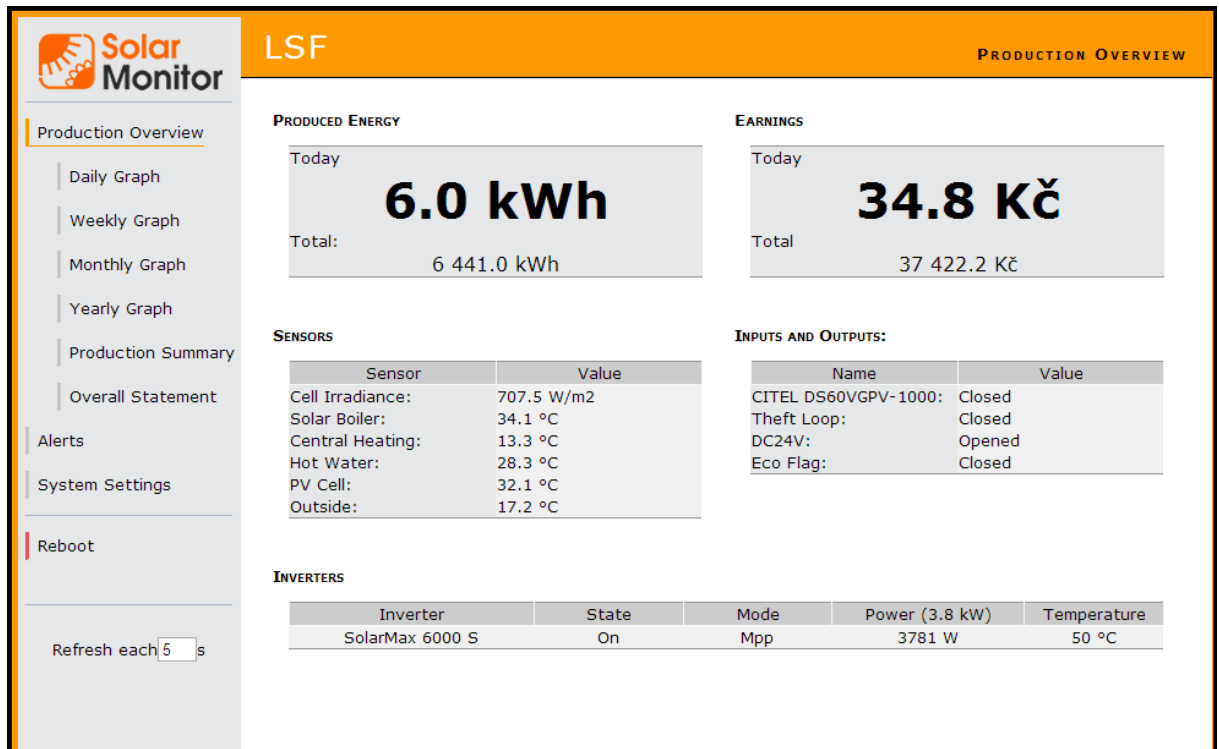
Obr. 71: Přehled výroby a hodnot senzorů v NOCI [43]

Ukázka veřejně zpřístupněného výstupu Solar Monitor Portal z PV elektrárny Praha 4 – Podolí 2 (instalovaný výkon 3,2 kW) pořízena dne 23.4.2014 v 11:40 h (SEČ).

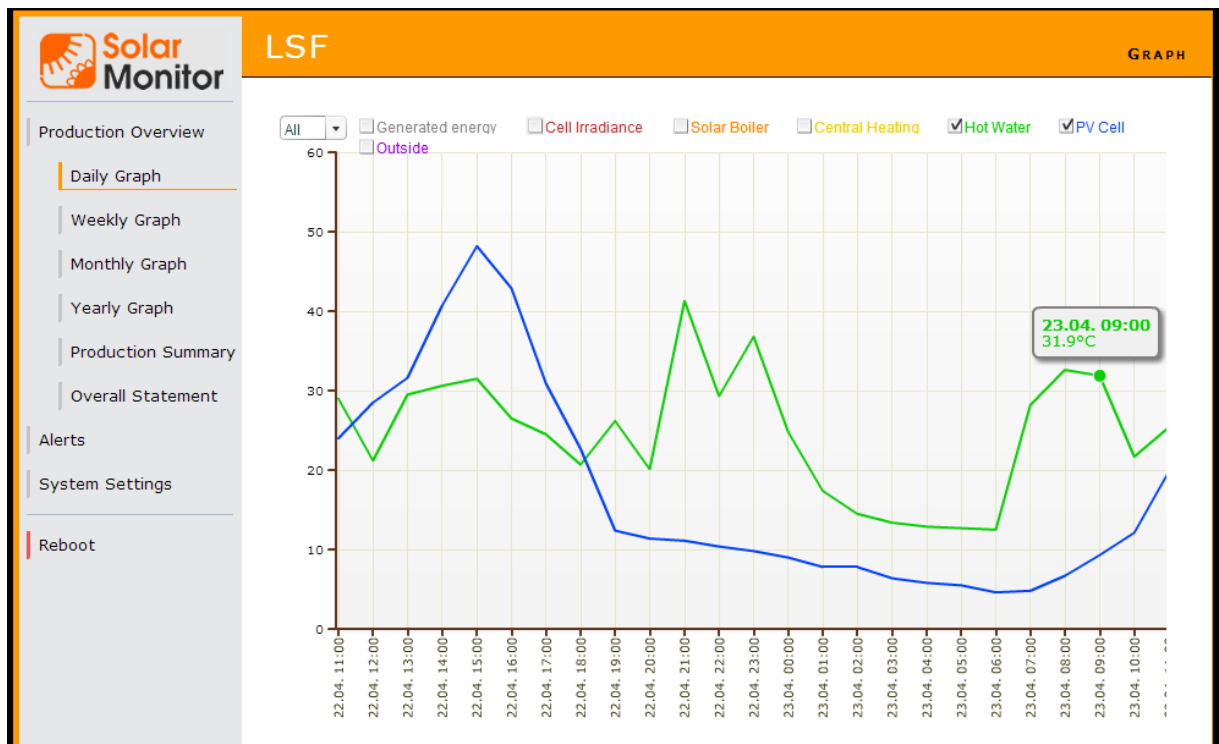


Obr. 72: Přehled výroby a hodnot senzorů ve DNE [43]

Ukázka veřejně zpřístupněného výstupu Solar Monitor Portal z PV elektrárny LSF (instalovaný výkon 4,6 kW) pořízena dne 23.4.2014 v 12:00 h (SEČ).



Obr. 73: Přehled výroby a hodnot senzorů ve DNE (aktuální výkon 3,8 kW) [45]



Obr. 74: Denní přehled hodnot teploty PV článků (modře) a teploty vody v solárním boileru (zeleně) [45]

6.4.4 Cena

Ceny jsou platné k datu 20.4.2014 [41] Uvádím pro představu jen ceny zásadních komponentů systému Solar Monitor.

Solar Monitor Start (datalogger)	9 041 Kč vč. DPH
Napájecí zdroj 12V/1A Phoenix Contacts	1 387 Kč vč. DPH
Sada senzorů (1senzor osvit, 1senzor teploty okolí, 1senzor teploty panelu)	5 613 Kč vč. DPH
Senzor teploty PV panelu s délkou kabelu 10m	1 631 Kč vč. DPH
Senzor osvit	3 315 Kč vč. DPH
Senzor teploty prostředí s délkou kabelu 7m	1 261 Kč vč. DPH
Anemometr - senzor rychlosti větru	12 705 Kč vč. DPH
Sběrnice HBUS pro Solar Monitor	386 Kč vč. DPH
Rozšiřující moduly - AD modul - vstupy a výstupy	3 751 Kč vč. DPH
Rozšiřující moduly - DI modul - digitální vstupy	3 700 Kč vč. DPH
RM modul - vzdálený odečet	4 378 Kč vč. DPH
Elektroměr ZPA ED110.D0	2 962 Kč vč. DPH

Tab. 12: Ceny technologie Solar Monitor

6.4.5 Výsledek

Cílem nejlepšího monitorovacího systému je zabezpečit chod PV elektrárny. Úkolem této práce je navrhnout metodiku odhalení závady na PV systému. Čím více kvalitních informací o závadě získáme, tím více kvalitnější metodika. Nedohlížet pouze na výstupní výkon celé soustavy, ale dohlížet na funkčnost jednotlivých prvků v soustavě PV elektrárny. Včasným upozorněním na chybu a informací o přesné lokalizaci chyby, šetří peníze a čas.

Co je ovšem kvalitní informace, co běžný majitel/provozovatel PV elektrárny potřebuje vědět? Majitele v první řadě zajímá maximální výkonový zisk. A naskytne-li se závada/menší zisk, tak důležitá informace je o lokalizaci závady a časový charakter, je-li závada trvalá či jen přechodná třeba díky zastínění.

Monitorovací systém Solar Monitor umožňuje měření mnoha proměnných veličin v PV elektrárně. Získáváme informace také pomocí senzorů měřících teplotu okolí, teplotu PV panelu, sluneční osvit, povětrnostní podmínky. Ovšem kvalita informací není moc přesná. I při osazení senzorů ke každému PV panelu, nás informace z nich pouze ne zcela přesně nasměrují k místu a druhu závady. Informace o teplotě panelu a osvitu může být milná a PV panel může být v pořádku. Jak píše výše ani běžného uživatele tyto informace nezajímají, nejdůležitější pro něj je informace zda PV panel funguje správně a o jakém výkonovém zisku a v případě chyby, zda se jedná o chybu trvalou či přechodnou.

Například senzory osvitu PV panelu měří pouze nepatrnou část plochy celé PV elektrárny. Tudíž při použití pouhého jednoho senzoru na PV elektrárnu může nastat potíž v případě zastínění jen třeba jedné třetiny elektrárny. Senzor se může nacházet v osvětlené dvoutřetinové části. V takovém případě bude senzor ukazovat „správné“ hodnoty a bude obelhávat obsluhu či majitele PV elektrárny. V případě osazení senzory osvitu na každý PV panel zvyšujeme cenu investice a také bohužel se problému s nepřesností nezbavíme. Senzor je v takovém případě umístěn vedle PV panelu a zabírá ke všemu drahocennou plochu pro umístění sousedícího panelu. Stále senzor osvitu měří pouze malou plochu ke všemu vedle PV panelu. Může nastat situace, kdy senzor může být zastíněn a přitom celý PV panel bude osvětlen.

Podobný problém jako u senzoru osvitů nastává i u senzoru teploty PV panelu. Tento senzor je umístěn na spodní ploše PV panelu. Měření teploty bohužel zase nezahrnuje celý panel, ale jen nepatrnou část z jeho rozměrů. Zase hrozí situace, že senzor bude umístěn v bodě, kde panel se zrovna nepřehřívá. Častým jevem je například poškození jen pouze jeden PV článok v celém PV panelu, pokud senzor nebude umístěn přímo pod poškozeným článkem tak závadu neodhalí.

Shrnutí výsledku poznatku o monitorovacím systému Solar Monitor, můžeme popsat následujícími slovy. Od běžného monitorovacího systému určeného pro jeden střídač s jedním sledovačem maximálního bodu výkonu MMP se liší tím, že poskytuje funkci spínacího relé a možnost připojení senzorů. Toto hodnotím kladně. Ovšem jak se ukázalo, senzory poskytují zavádějící informace a pouze naznačující směr zkoumání problému. Hodnoty získané pomocí senzorů mohou být často i milné.

Cena při pokrytí každého PV panelu v elektrárně všemi senzory v sadě, je moc vysoká. Například pro 18 panelů (viz. kalkulace pro optimizery) bude celková cena sady senzorů $18 * 5613 = 101\,034$ Kč.

Senzor teploty okolí ovšem nepotřebuje na každém PV panelu a senzor osvitů je příliš drahý aby se montoval ke každému panelu. Pro přehled o každém panelu by na něm měl být umístěn senzor teploty panelu. Pomocí těchto senzorů můžeme detekovat zahřívání panelu například díky poškození PV článku nebo poškození bypass diody. Při odhalení zastínění může levnější senzor teploty okolí suplovat senzor osvitů. Pro snímání rychlejších změn osvitů se však hodí dražší senzor osvitů. Teplota místa dlouhodobě zastíněného bude nižší než teplota na přímém slunci. Pro plochu, kterou představují 18 PV panelů bych aplikoval minimálně 3 senzory teploty okolí. Podchytil bych kritická místa vzniku rozsáhlého stínu od zdroje jako je například komín.

Ceny senzorů pro PV elektrárnu s 18 PV panely	
Sada senzorů	<i>Celková cena = $18 * 5613 = 101\,034$ Kč</i>
Senzory teploty panelu a 3 senzory osvitů	<i>Celková cena = $18 * 1631 + 3 * 3315 = 39\,303$ Kč</i>
Senzory teploty panelu a 3 senzory teploty prostředí	<i>Celková cena = $18 * 1631 + 3 * 1261 = 33\,141$ Kč</i>
Senzory teploty panelu a 1 senzor osvitů a 3 senzory teploty prostředí	<i>Celková cena = $18 * 1631 + 1 * 3315 + 3 * 1261 = 36\,456$ Kč</i>

Tab. 13: Příplatek za senzory aplikovaných do PV elektrárny s 18 PV panely

V případě menší instalace PV elektrárny, třeba za účelem pokrytí spotřeby ohříváče vody (boileru) s nějakou minimální rezervou výkonu se dostaneme na číslo přesahující 2,2 kW. To znamená instalovat deset PV panelů o výkonu 245 Wp (PV elektrárna 2,45 kWp). Tento počet PV panelů zabere menší rozlohu střechy a máme větší možnosti v umístění panelů na střechu a větší možnosti eliminovat zdroje stínů. V tomto případě bych zvolil jen jeden senzor osvitů.

Cena bez senzorů PV elektrárny o výkonu 2,45 kWp se může pohybovat v rozmezí 90 000-110 000 Kč. Při ceně jednoho PV panelu TaleSun TP660-245Wp 4732,26 Kč a střídače nižší výkonové varianty od inventuru Power One PVI 4,2 TI-OUTD 30 860 Kč (viz. kapitola - optimalizery vs. jeden běžný střídač). Nezapomeňme započítat cenu konstrukce a kabeláže a jističů a elektroměru a práce při instalaci atd.

Pro pokrytí plochy PV elektrárny na místě s více potenciálními zdroji stínu, bych zvolil více senzorů teploty okolí pro odhalení zastínění aspoň jedné třetiny plochy elektrárny. Pro přehled o slunečním svitu a očekávaném výkonu všech panelů bych doplnil instalaci o jeden senzor osvitů.

Ceny senzorů pro PV elektrárnu s 10 PV panely	
Sada senzorů	$Celková\ cena = 10 * 5613 = 56\ 130\ Kč$
Senzory teploty panelu a 1 senzor osvitů	$Celková\ cena = 10 * 1631 + 1 * 3315 = 19\ 625\ Kč$
Senzory teploty panelu 1 senzor teploty prostředí	$Celková\ cena = 10 * 1631 + 1 * 1261 = 17\ 571\ Kč$
Senzory teploty panelu a 1 senzor osvitů a 3 senzory teploty prostředí	$Celková\ cena = 10 * 1631 + 1 * 3315 + 3 * 1261 = 23\ 408\ Kč$

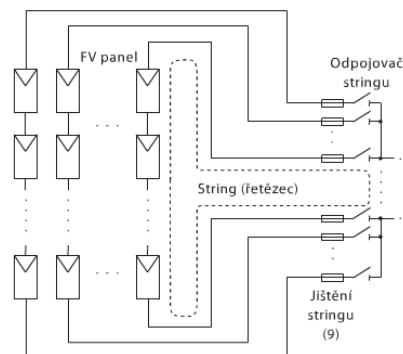
Tab. 14: Příplatek za senzory aplikovaných do PV elektrárny s 10 PV panely

Doposud jsem kalkuloval pouze s cenou senzorů. Ale celý systém Solar Monitor nejsou pouze samotné senzory. Musíme započítat cenu dataloggeru a napájení a elektroměru a v případě potřeby vzdáleného odečtu tak i RM modul. Jelikož datalogger tolika senzorů pro 18 PV panelů nepojme, musíme přikoupit ještě rozšiřovací modul AD.

Ceny monitorovacího systému pro PV elektrárnu s 18 PV panely	
Sada senzorů	$Celková\ cena = 18 * 5613 = 101\ 034\ Kč$
Senzory teploty panelu a 3 senzory osvitů	$Celková\ cena = 18 * 1631 + 3 * 3315 = 39\ 303\ Kč$
Senzory teploty panelu a 3 senzory osvitů + datalogger + elektroměr + napájení + AD m.	$Celková\ cena = 39\ 303 + 9041 + 1387 + 2962 + 3751 = 56\ 444\ Kč$

Tab. 15: Cena monitorovacího systému Solar Monitor aplikovaných do PV elektrárny s 18 PV panely

6.5 Monitorování pomocí stringů



Obr. 75: Zapojení do stringů [15]

Dnešní střídače jsou vybaveni více než jedním slepovačem maximálního výkonového bodu zisku MPP. Zpravidla jsou to střídače s dvěma MPP sledovači. Díky dvěma slepovačům můžeme PV elektrárnu pomyslně rozdělit ve dvě, na dva stringy seriově spojených PV panelů. Systém nám pak hlídá a optimalizuje výkon na každém stringu zvlášť a též majitelovi udává výkonové informace o každém stringu.

Díky důmyslnějším střídačům můžeme na jeden MPP sledovač připojit více stringů, ovšem trh nenabízí více než v rozmezí 2-4 stringů. Například střídač Power one PVI - 4,2 TL – OUTD pro asi 4,8 kWp, jenž byl též použit pro kalkulaci srovnání technologií optimizérů vs. jeden běžný střídač o několik kapitol výše, nabízí dva sledovače MPP. Na první sledovač je možné připojit dva stringy a na druhý sledovač MPP připojit jeden string. [42]

V tomto případě, použití střídače Power one PVI - 4,2 – TL – OUTD (30 860 Kč), můžeme 18 PV panelů rozdělit na tři skupiny panelům (3 stringy) po šesti panelech. Pokud bude jedna třetina PV elektrárny (6 panelů od jednoho stringu) zastíněna bude střídač sám regulovat výkon a optimalizovat, zatímco zbylé dvě třetiny nebudou zasaženy a budou produkovat maximální možný výkon.

Kombinace několik střídačů pro jednu PV elektrárnu pro střešní instalaci je příliš drahá, používá se v instalacích na pole u elektráren s mnohonásobně větším výkonem.

Bohužel možnost připojit více stringů na jeden střídač je většinou výhrada dražších střídačů pro větší výkony elektráren cca. nad 3kW (střídač SMA Sunny Boy 3000TL).

6.6 Placené diagnostické služby

6.6.1 Termografické měření fotovoltaických panelů

Pracovní podmínky termografie fotovoltaických panelů:

- Elektrárna musí být během měření v provozu.
- V době snímání FV modulů elektrárny musí být k dispozici osoba technika zodpovědného za provoz FVE.
- K dispozici musí být předložen plán modulů FVE.
- Dané místu musí mít připojení k síti.
- Pro dosažení dostatečného teplotního kontrastu při kontrole solárních panelů v terénu je potřeba sluneční ozáření alespoň 500 W/m² nebo vyšší.

1.) Ceník bez DPH služeb termografické diagnostiky společnosti OREMO sídlící v Praze platný k datu 1.5.2014 [46]

OREMO – Opravy Revize Montáže (Praha)	
Měření FV panelů o výkonu FVE 0 až 100 kWp	1.200,- Kč
Měření FV panelů o výkonu FVE 0,1 až 1MW za každých započatých 100 kWp	1.150,- Kč
Měření FV panelů o výkonu FVE 1 až 2.2 MW za každých započatých 100 kWp	950,- Kč
Hodinová sazba měření termokamerou pro nestandardní měření	650,- Kč/hod
Měření ve výškách za použití horolezecké techniky	1.050,- Kč/hod
Zpracování a vystavení protokolu po nestandardním měření dle rozsahu	od 500,- Kč
Doprava mimo Prahu 5, 6 a 13	6,50 Kč/km

Tab. 16: Ceník služeb společnosti OREMO

Cena pro PV elektrárnu na sedlové střeše cca. 5kWp nacházející v lokalitě města Plzeň:

Celková cena měření

$$\begin{aligned}
 &= \text{Cena měření} + \text{Hodinová sazba měření} \\
 &+ \text{Příplatek za měření za použití horolezecký techniky} + \text{Protokol} \\
 &+ \text{Doprava} \\
 &= 1200[\text{Kč}] + 2[\text{hod}] * 650 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{hod}} \right] + 2[\text{hod}] * 1050 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{hod}} \right] + 500[\text{Kč}] + 2 \\
 &* 90[\text{km}] * 6,50 \left[\frac{\text{Kč}}{\text{km}} \right] = \mathbf{6270 [\text{Kč}]} \text{ (bez DPH)}
 \end{aligned}$$

2.) Ceník služeb vč. DPH termografické diagnostiky společnosti SOLARIS sídlící v Praze platný k datu 1.5.2014 Neúčtujeme kilometrové, cestovné, ubytování. [47]

SOLARIS (Praha)		
Velikost FVE	Cena [Kč]	Zahrnuté služby
Do 5 kWp	4 499	<ul style="list-style-type: none"> • termovizní měření DC/AC, rozvaděčů, měniče, koncovek
Do 10 kWp	6 999	<ul style="list-style-type: none"> • termovizní měření panelů • vystavení nové revizní zprávy
Do 15 kWp	8 999	<ul style="list-style-type: none"> • celková diagnostika FVE • profylaktická kontrola
Do 30 kWp	11 499	<ul style="list-style-type: none"> • měření napětí na stringu • kontrola elektroinstalace, kontrola měřících zařízení (elektroměrů)
Do 50 kWp	19 999	<ul style="list-style-type: none"> • měření izolačního odporu • dotažení DC/AC spojů
Do 75 kWp	29 999	<ul style="list-style-type: none"> • vyvolání nejčastější chyby či upozornění ze servisního módu měniče
Do 100 kWp	39 999	<ul style="list-style-type: none"> • vizuální kontrola panelů a konstrukce • kontrola spojovacího materiálu

Tab. 17: Ceník služeb společnosti SOLARIS

3.) Ceník služeb bez DPH termografické diagnostiky společnosti GESTEL sídlící v Plzni platný k datu 1.5.2014 [48]

Výstupní zpráva obsahuje analýzu „problematických“ míst, hodnoty naměřených teplot, termovizní a klasickou fotografii (cca 20 snímků) sloužící pro Vaši orientaci.

GESTEL (Plzeň)	
První hodina měření	1666 Kč bez DPH
Každá další hodina měření	1100 Kč bez DPH
Doprava mimo Plzeň (započítána i cesta zpět)	13,90 Kč/km

Tab. 18: Ceník služeb společnosti GESTEL

Cena pro PV elektrárnu na sedlové střeše cca. 5kWp nacházející v lokalitě města Plzeň:

$$\text{Celková cena měření pro 2h} = 1666 \text{ [Kč]} + 1100 \text{ [Kč]} = \mathbf{2766 \text{ [Kč]}} \text{ (bez DPH)}$$

6.6.2 Flash test

Ceník služeb bez DPH termografické diagnostiky společnosti ABOT – fotovoltaická zařízení s.r.o. sídlící v Olomouci platný k datu 1.5.2014 [49]

Cena nezahrnuje dopravní náklady. Měření probíhá na zařízení Pasan, Sun Simulator IIIb MFG 502. Zařízení je klasifikováno dle normy IEC 60904-3, kategorie A, STC – AM 1.5 global, 1000W/m², 25°C. Testování není certifikováno a charakter výsledků je pouze informativní. Cenové podmínky se stanovují individuálně. [49]

ABOT – fotovoltaická zařízení s.r.o. (Olomouc)	
1-5 ks	2 800 Kč
5-10 ks	2 750 Kč
10-50 ks	2 700 Kč

Tab. 19: Ceník služeb společnosti ABOT

6.7 Solární tester fotovoltaických panelů

Bezpečnost a kvalitu fotovoltaických systémů připojených do distribuční sítě zaručuje norma ČSN EN 62446. Tato norma definuje základní testy, minimální požadavky na systémovou dokumentaci, zkoušky při uvádění do provozu a kontrolu:

Zemní propojení: mezi nechráněnými kovovými částmi a ochranným uzemněním v budově

Izolační odpor: mezi stejnosměrnými vodiči a nechráněnými kovovými částmi

Napětí naprázdno: (při otevřeném okruhu) každé fotovoltaické větve

Zkratový proud: každé fotovoltaické větve

Provozní test

Do nedávna bylo pro měření těchto testů potřeba hned přístrojů (tester izolačních odporů, digitální multimetr, klešťový ampérmetr pro měření DC proudů), ale dnes na trhu existuje kompaktní tester v sobě zahrnující všechny požadované testy. Například solární tester EazyPV je velice jednoduchý a kompaktní solární tester, který umožňuje provádět všechna tato měření pouhým stiskem jednoho tlačítka. Schopný měřit až do rozsahu: zemní propojení 199Ω , izolační odpor $199M\Omega$, napětí $1000VDC$. [17]



Obr. 76: Solární tester EazyPV [17]

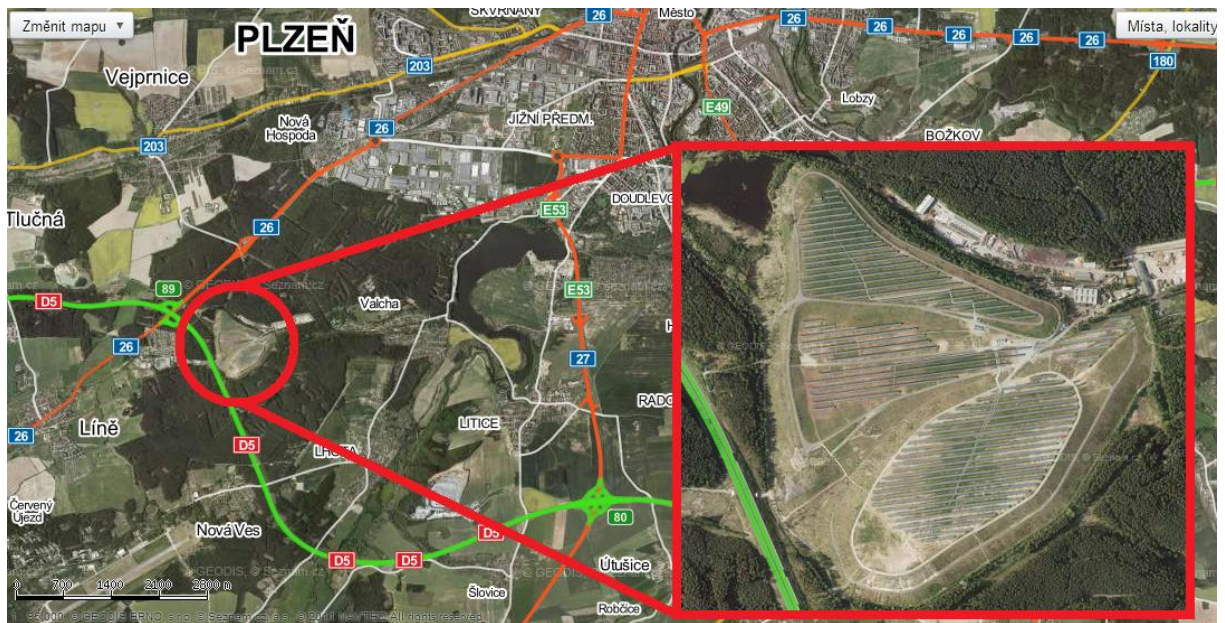
6.8 Fotovoltaické elektrárny umístěné na poli

Za vzorový příklad PV elektrárny jsem si vybral fotovoltaickou elektrárnu Sulkov, která uzavírá dvanáctku největších slunečních elektráren v Česku. Elektrárna se nachází západně od Plzně v blízkosti dálnice D5. Svoji rozlohou zabírá 51.5 hektarů a je složena ze dvou celků. Byla vybudována na místě bývalé skládky odpadu.[53]

První celek, FVE Sulkov I, disponuje výkonem 4,99 MW. Druhá, Sulkov II, disponuje výkonem také 4,99 MW. Celkově má elektrárna výkon téměř 10 MWp. O tento výkon se starají panely značky Sunmodule SW 215 se sklonem 32°. [53]

Výkon jednoho PV panelu Sunmodule SW 215: 215 Wp

Počet PV panelů v elektrárně: $\frac{10\,000\,000\text{ Wp}}{215\text{ Wp}} \cong 46\,511\text{ ks panelů}$



Obr. 77: PV elektrárna Sulkov [54]

Investice do modulů optimizerů [35]: $46\,511\text{ [ks]} * 1482\text{ [Kč]} = 68\,929\,302\text{ Kč}$

Vhodnost instalace optimizerů na velké PV elektrárny	
Vlastnosti technologie optimizerů	Pomůže?
Výrobní tolerance kvality (2-5%)	ANO
Výkonově rozdílné PV panelu v jednom stringu	NE
Nesoulad úhlové orientace PV panelů	NE
Nesoulad teplot	NE
Nesoulad znečištěním	NE
Neodhalené poškození při transportu	ANO
Různé tempo stárnutí panelů	ANO
Částečné stínění – mezi řadami	NE
Postupující mraky	ANO

Tab. 20: Porovnání výhod optimizerů pro velké PV elektrárny

Projekt velké PV elektrárny je vždy důkladně spočítán a umístěn na místo s bez zastínění a velkou sluneční intenzitou záření. O PV panely je každodenně postaráno obsluhou, která je čistý a kontroluje osobně na místě či třeba pomocí kamery. Kvalitně vyprojektovaná PV elektrárna může být zastíněna pouze postupujícími mraky. Zapojení do stringů eliminuje ztráty postupujícími mraky.

Velkou výhodou PV elektráren v polích je dostupnost pozemní obsluhy a monitoring pomocí kamer a monitorovacího dispečinku umístěného v lokalitě PV elektrárny nebo majitelé PV elektráren mohou využít služeb vzdáleného dispečinku.

Monitorovací vlastnosti optimizerů mohou být nahrazeny větším počtem stringů. U velkých PV elektráren jsou často používány tzv. StringBoxy, které umožní zvětšit počet stringů na jeden střídač.

Výkonový zisk díky optimizerů není tak značný jako při instalaci PV elektráren na sedlové střeše. Optimizery se v použití ve velkých PV elektráren mohou vypořádávat jen s rozlišným stárnutím PV panelů a rozlišnou kvalitou panelu při výrobě a poškozením při výrobě. Nedosáhneme zisku 20% jako je teoreticky možné u sedlové střechy, ale dosáhneme řádově jen jedno až tři procenta. Dá se pak polemizovat nad poměrem cena investice a dosažený výkon navíc.

6.9 Shrnutí výsledků

Po dobu životnosti PV panelu, jenž se pohybuje v rozmezí 20-25 let, by se pravidelné kontroly bezpečnosti a výkonu PV elektrárny měli provádět každoročně. Životnost optimizmů se pohybuje též kolem 25-30let.

Pro PV elektrárnu do 5kWp (18 PV panelů) s životností 25 let	
Termografické měření od společnosti GESTEL za 2h měření	25[let] * 2766 [Kč] = 69 150 [Kč] (bez DPH)
Flash test od společnosti ABOT – fotovoltaická zařízení s.r.o	25[let] * 2700 [Kč] = 67 000 [Kč] (bez DPH) Cena bez započítání dopravy
Servis PV elektrárny od společnosti SOLARIS	25[let] * 4499 [Kč] = 112 475 [Kč] (bez DPH)
Běžný střídač s jedním MPPT sledovačem a systém Solar Monitor – Senzory teploty panelu a 3 senzory osvětlení + datalogger ... (bez vzdáleného odečtu hodnot)	56 444 [Kč]
Optimizery - SolarEdge systém (bez ceny střídače)	26 676 [Kč]
Optimizery - Tigo Energy systém (bez ceny střídače)	40 511, 625 [Kč]
Monitorování pomocí stringů (pouze nad cca 3 kW)	SMA Sunny boy 3000TL 3kW (2 MPPT, 4 stringy) 41744,00Kč [66]

Tab. 21: Porovnání jednotlivých monitorovacích systémů

6.10 Návrh monitorovacího systému

Návrh monitorovacího systému pro PV elektrárnu na sedlové střeše rodinného domu. Vybral jsem sedlovou střechu, neboť se na ní vyskytují mnohé překážky limitující možný zisk výkonu. Jsou například komíny, antény, vikýře, střešní okna, balkóny, malé stísněné plochy, blízké stavby a porosty (těsně sousedící s domem), špatná orientace na jih ...



Obr. 78: PV elektrárna na sedlové střeše, ne příliš optimálně orientovaná na jih [65]

Jak vidíte na obrázku, vysoký komín vrhá stín na značnou plochu střechy a další zdroj stínu je anténa, to je první viditelný problém. Další nepříjemnost je ne zcela optimální orientace na doporučenou jižní světovou stranu.

Použil bych PV panely z polokrystalického křemíku, které mají rychlejší náběh na výkon a snesou i „špatné“ úhlu dopadu slunečního záření. Ale ztrácejí na výkonu v porovnání s monokrystalickým křemíkem.

Tato situace nabízí k instalaci mikrostrídačů nebo optimizerů, které zredukuje ztráty způsobené stíny a ztráty špatnou světovou orientací střechy. Systémy SolarEdge či Tigo Energy jsou kandidáti pro instalaci.

Pomůžou zvýšit výkon a zároveň monitorovat systém bez instalace dalších senzorů teploty či osvětlení. Jak jsem uvedl v kapitole výše, monitorovací systém pomocí optimizérů je o desítky tisíc levnější než použití senzorů, a též slibují výkonový zisk elektrárny navíc.

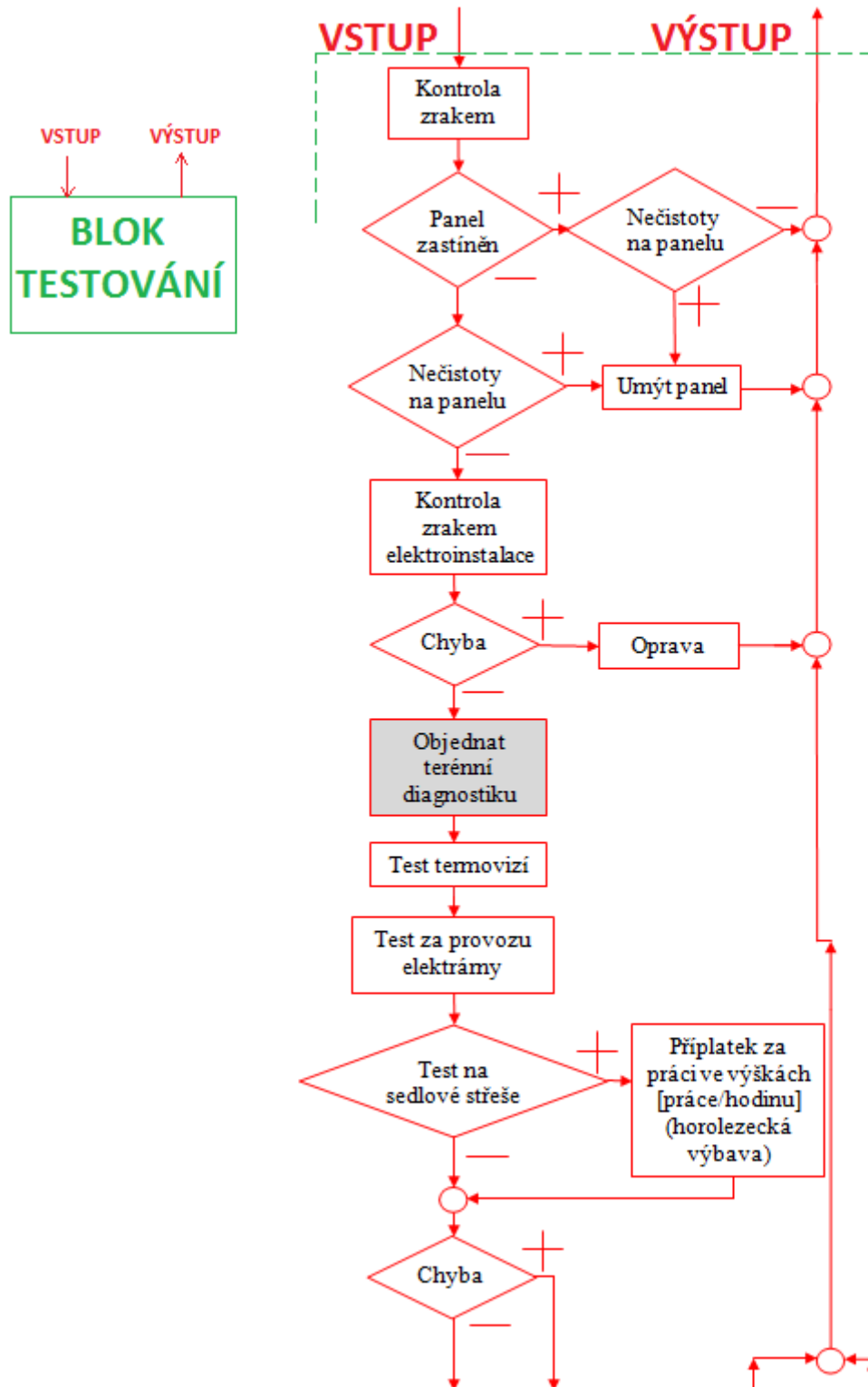
7 Metodika detekce vad PV systému

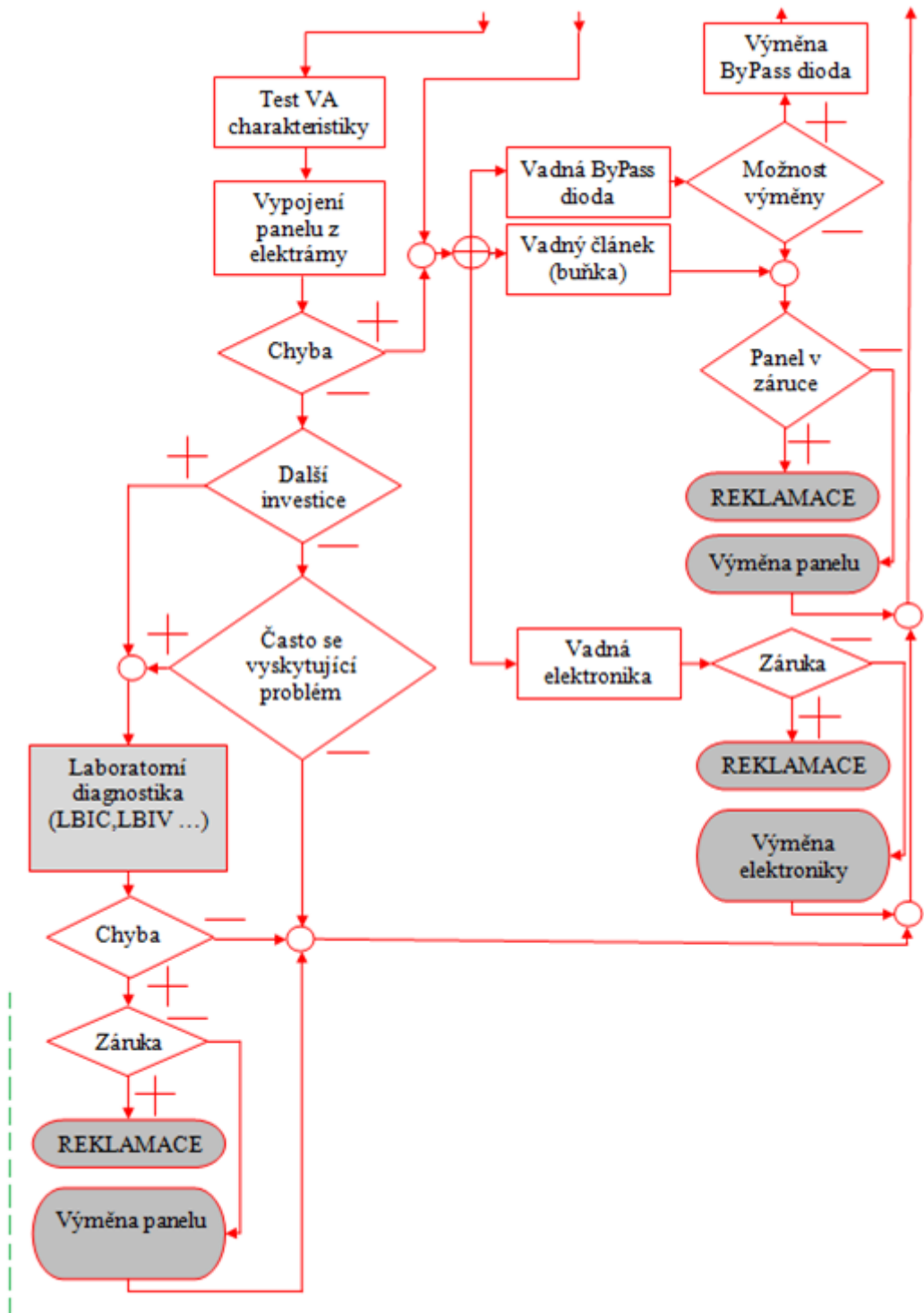
Jelikož ne vždy každá závada musí vést nutně k výměně fotovoltaického panelu, vytvořil jsem systém, metodiku postupu detekce vady. Metodika pomáhá majiteli fotovoltaické elektrárny s rozhodováním, určí mu jednotlivé kroky postupu a nabídne mu případně rozřešení vyskytujícího se problému. Avšak metodika detekce vad neobsahuje striktně dodržovaná pravidla, je jen pomocným vodítkem při rozkrývání závady. Záleží vždy jen na rozhodnutí jednotlivce. Proto může existovat mnoho dalších jiných metodik doplňující mnou navrženou metodiku.

Metody monitorování jsem rozdělil do tří skupin. Metody bez monitorovacího systému (zeleně označena). Tato metoda nese značné úskalí při hlídání a odhalení závady, neboť je pro odhalení závady vyžadovaná lidská přítomnost. Při instalaci fotovoltaické elektrárny na sedlové střeše je častá lidská přítomnost velmi komplikovaná. Profesionálové z oboru doporučují kontrolovat fotovoltaickou elektrárnu bez monitoringu jednou za rok pomocí například termovce. Za další metodu monitorování jsem zvolil monitorovací systém nehlídající každý panel (označen červeně), avšak hlídající například intenzitu záření a teplotu okolí. Tento systém nabízí majiteli jen strohé informace, které často mohou vést k falešnému poplachu o potenciální závadě. Nadále zvolená metoda detekce závady je monitorovací systém hlídající každý jednotlivý panel (označen modře). Tento systém reprezentuje například technologie optimizerů.

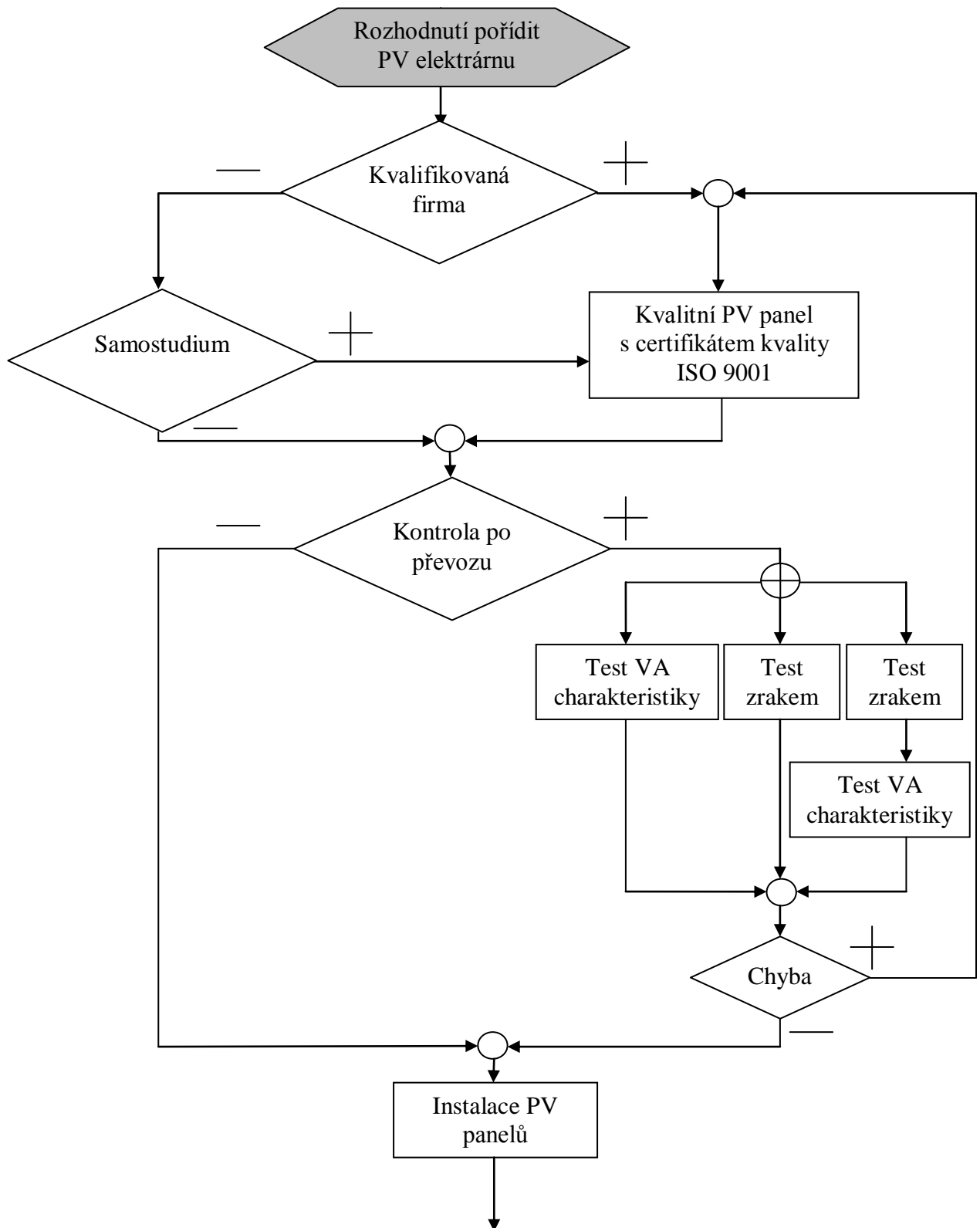
Ať si vlastník fotovoltaické elektrárny vybere jakoukoliv metodu monitorování, vždy může aplikovat mnou navrženou metodiku postupu pro odhalení a vyřešení závady. Nazval jsem tuto metodiku jako „Blok testování“. Má jeden vstup a jeden výstup. Vstup je kompatibilní s třemi metodami monitorování popsaných výše. Test je vždy zahájen zřetelnou kontrolou zastínění a nečistot. Blok nadále pokračuje v popisu postupu až do rozhodnutí o výměně panelu. Výstup z „Bloku testování“ představuje návrat do koloběhu monitorování panelů.

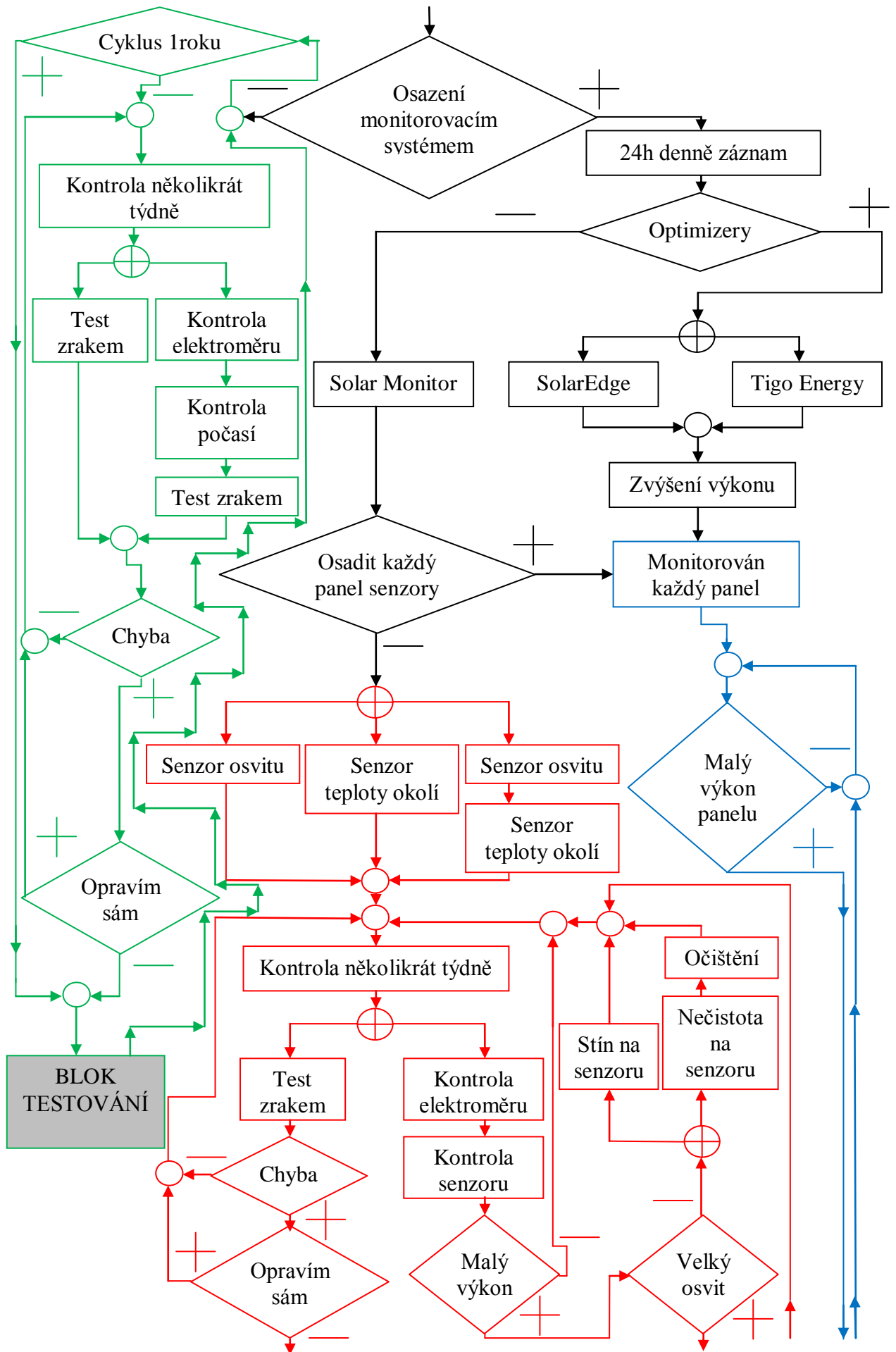
7.1 Blok testování

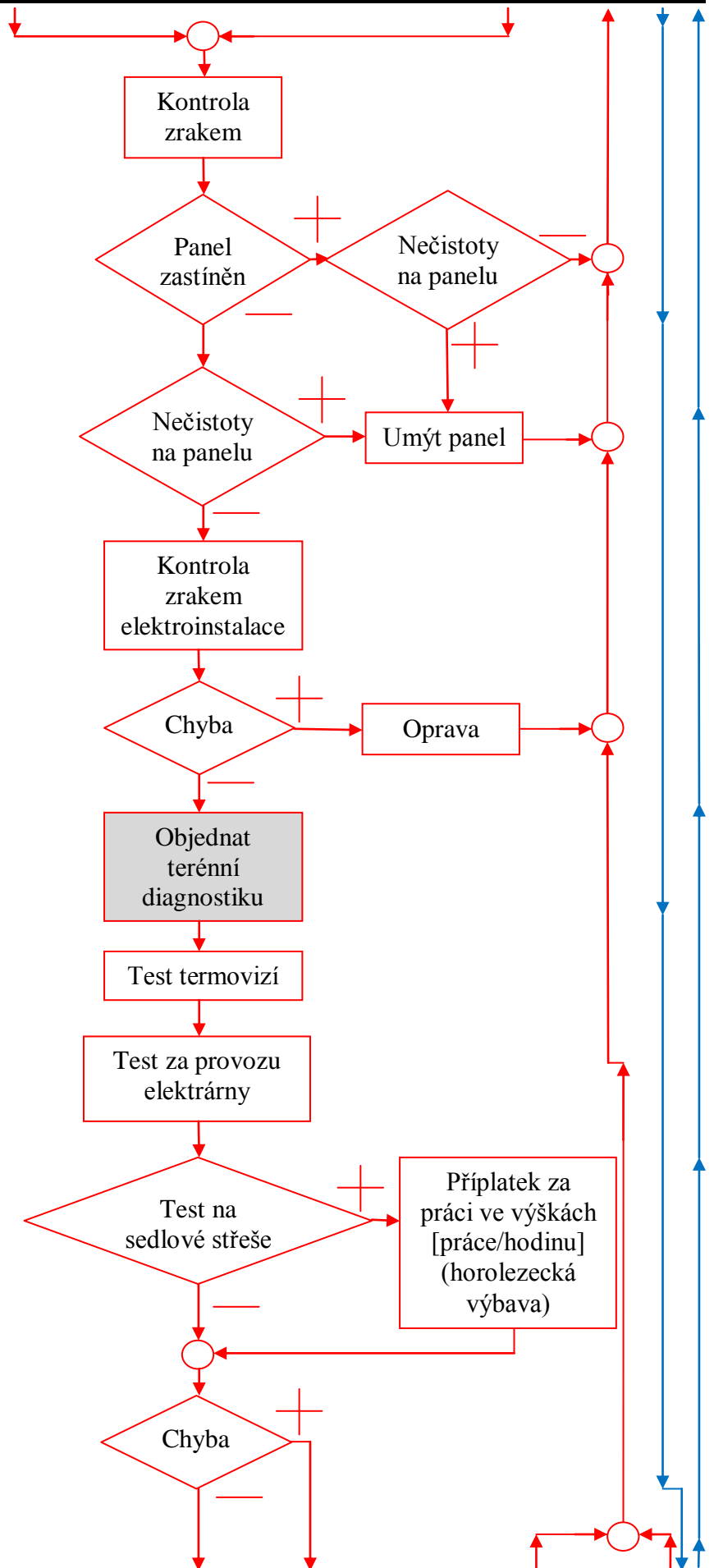


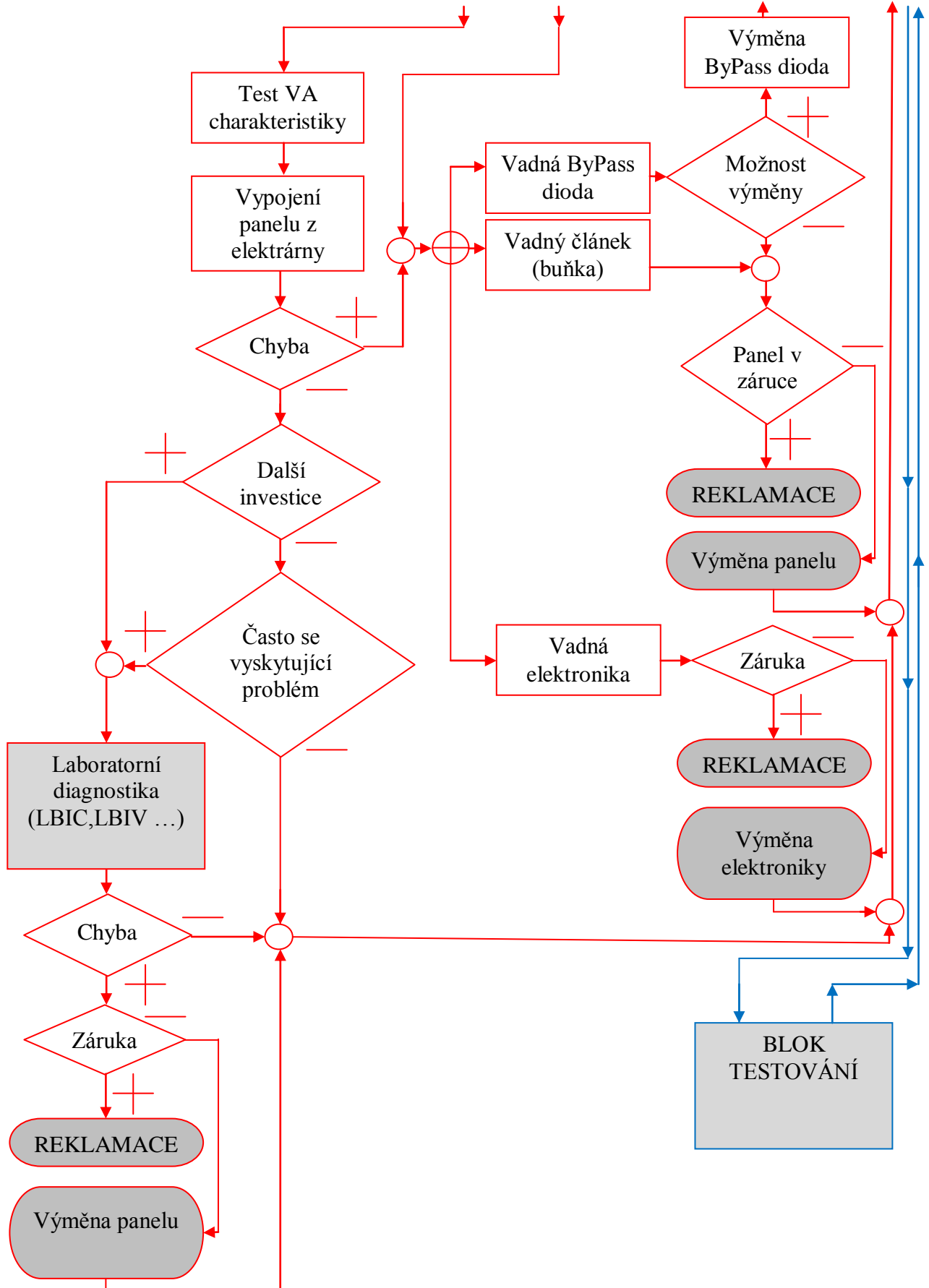


7.2 Vývojový diagram metodiky detekce vad









Závěr

Fotovoltaická elektrárna ačkoliv se zdá velmi jednoduchá, není tomu tak. Je to velmi složité sofistikované zařízení skládající se z mnoho komponentů. Každý z těchto komponentů má své úskalí při výběru do konkrétní elektrárny a při jeho používání. Existuje mnoho závad, které se mohou projevit na celkové účinnosti celého fotovoltaického systému, též i snížit bezpečnost provozu. Například při použití střídače bez transformátoru není galvanicky oddělena strana stejnosměrného napětí od strany střídavého napětí.

Slabinou standardní fotovoltaické elektrárny je umístění pouze jednoho sledovače maximálního bodu výkonu (MPPT) do střídače. Když se hlídá MMP proud pouze na jednom stringu a jeden PV panel je zastíněn, je nucen inventar snížit proud na úroveň proudu zastíněného panelu. Nebo samotný nesoulad mezi panely díky rozličné kvalitě z výroby způsobí, že inventar zprůměruje hodnoty MMP proudů. V obou případech se jedná o ztráty. Řešení přichází v podobě sledovačů MMP proudů (optimizerů) na každém panelu zvlášť.

Vedlejším přínosem optimizerů je monitorování na úrovni každého panelu, pomáhají tak k přesné lokalizaci potenciálně poškozeného panelu. V práci jsem porovnal účinnost a cenu optimizerů s alternativními metodami odhalení potenciální závady. Při hlídání každého jednotlivého panelu by investice například do senzorů teploty fotovoltaického panelu a senzorů osvětlení překročila značně investici do optimizerů.

Pomocí monitorovacího systému s více či méně větší přesností odhalíme lokalizaci potenciální vady. Ať využijeme jakýkoliv monitorovací systém, následuje po objevení závady její analýza a analýza závažnosti. Je vyžadována přítomnost člověka v místě lokalizace závady. Následuje rozhodování o dalším postupu při opravě závady.

Jelikož ne vždy každá závada musí vést nutně k výměně fotovoltaického panelu, vytvořil jsem systém, metodiku postupu detekce vady. Metodika pomáhá majiteli fotovoltaické elektrárny s rozhodováním, určí mu jednotlivé kroky postupu a nabídne mu případně rozřešení vyskytujícího se problému. Avšak metodika detekce vad neobsahuje striktně dodržovaná pravidla, je jen pomocným vodítkem při rozkrývání závady. Záleží vždy jen na rozhodnutí jednotlivce. Proto může existovat mnoho dalších jiných metodik doplňujících mou navrženou metodiku.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] JANDOVÁ, Kristýna. *Diagnostické metody plošného rozložení defektů solárních článků*. Brno, 2008. 92 stran. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí doktorské práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.
- [2] ELEKTRO časopis pro elektrotechniku, *Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů* [online]. Poslední změna 8.11.2013. [Cit. 8.11.2013.] Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40646.html
- [3] TZB-info, *Fotovoltaika* [online]. Poslední změna 9.11.2013. [Cit. 9.11.2013.] Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7316-fotovoltaika-barevne-clanky-s-vysokou-ucinnosti-pro-architektonicke-aplikace.html>
- [4] Solarnimoduly. *Propojení jednotlivých částí ostrovního fotovoltaického systému* [online]. Poslední změna 18.1.2014. [Cit. 18.1.2014.] Dostupné z: <http://www.solarnimoduly.cz/propojeni-a-montaz-panelu.html>
- [5] Energy expert, *Záručí vady solárních panelů* [online]. Poslední změna 28.11.2013. [Cit. 28.11.2013.] Dostupné z: <http://www.energyexpert.cz/aktuality/zarucni-vady-solarnich-panelu>
- [6] Solarjob. *Proč čistit?* [online]. Poslední změna 31.3.2014. [Cit. 31.3.2014.] Dostupné z: <http://www.solarjob.cz/10-proc-cistit/>
- [7] TZB-info, *Solární články z krystalického křemíku* [online]. Poslední změna 9.11.2013. [Cit. 9.11.2013.] Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3553-solarni-clanky-z-krystalickeho-kremiku-zakladni-technologie-soucasne-fotovoltaiky.html>
- [8] ČVUT, *Demonstrační fotovoltaický systém FVS 2003A* [online]. Poslední změna 13.11.2013. [Cit. 13.11.2013.] Dostupné z: <http://k313.feld.cvut.cz/solarsys/panelsol.html>
- [9] Zwick, *Zkoušky fotovoltaických modulů* [online]. Poslední změna 13.11.2013. [Cit. 13.11.2013.] Dostupné z: <http://www.zwick.cz/cs/oblasti-pouziti/solarni-prumysl.html>
- [10] SOLARENVI, *O sluneční energii* [online]. Poslední změna 9.11.2013. [Cit. 9.11.2013.] Dostupné z: <http://www.solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/slunecni-energie/.html>
- [11] BRUKNER, Jakub. *Mikroskopická analýza defektů solárních článků*. Brno, 2013. 41 stran. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí doktorské práce Ing. Radek Stojan.

- [12] SCRIGROUP, *Získávání sluneční energie* [online]. Poslední změna 29.11.2013. [Cit. 29.11.2013.]. Dostupné z: <http://www.scrigroup.com/limba/ceha-slovaca/28/ZSKVN-SLUNEN-ENERGIE53937.php>
- [13] SOLARENVI, *Vliv orientace střechy na energetický výnos elektrárny* [online]. Poslední změna 3.12.2013. [Cit. 3.12.2013.]. Dostupné z: <http://solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/technicke-informace/vliv-orientace-strechy-na-energeticky-vynos-elektrarny/>
- [14] DEHN. *Fotovoltaické elektrárny a ochrana před bleskem*[online]. Poslední změna 3.12.2013. [Cit. 3.12.2013.] Dostupné z: http://www.sunlux.cz/attachments/article/395/P%C5%99ep%C4%9B%C5%A5ov%C3%A9_ochrany_ve_fotovoltaice.pdf
- [15] OEZ. *Ochranné a spínací přístroje pro fotovoltaické panely – bezpečná fotovoltaika* [online]. Poslední změna 15.1.2014. [Cit. 15.1.2014.] Dostupné z: <http://www.oez.cz/aktuality/ochrann-a-spinaci-pristroje-fotovoltaicke-panely-bezpecna-fotovoltaika>
- [16] TZB-info. *Začínáme s fotovoltaickými panely* [online]. Poslední změna 15.1.2014. [Cit. 15.1.2014.] Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/6068-zaciname-s-fotovoltaickymi-panely>
- [17] Rail Comp. *EasyPV Solární tester fotovoltaických panelů* [online]. Poslední změna 18.1.2014. [Cit. 18.1.2014.] Dostupné z: <http://www.railcomp.cz/produkty-a-sluzby/nieaf-smitt-bv/solarni-testery-fotovoltaickych-panelu/eazypv---solarni-tester-fotovoltaickych-panelu/>
- [18] Wikipedie, *Fotovoltaický článek* [online]. Poslední změna 8.11.2013. [Cit.8.11.2013.]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaick%C3%BD_%C4%8DI%C3%A1nek.html
- [19] SUNLUX. *Provoz, údržba, optimalizace elektráren* [online]. Poslední změna 2.4.2014. [Cit. 2.4.2014.] Dostupné z: <http://sunlux.cz/ke-stazeni/optimalizace-monitoring>
- [20] ČERNÁ, Ladislava. *Fotometrie, radiometrie a spektroskopie*. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta elektrotechnická, Katedra elektrotechnologie. [Cit. 6.2.2014.] Dostupné z: <http://pasan.feld.cvut.cz/dokumenty/fotometrie.pdf>
- [23] ROČEK, Radovan. *Modifikace měřícího pracoviště pro měření solárních článků článků*. Brno, 2009. 47 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikačních. Vedoucí doktorské práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.
- [21] ABOT. *Diagnostika FV modulů a FVE* [online]. Poslední změna 17.2.2014. [Cit. 17.2.2014.] Dostupné z: <http://www.abot.cz/cs/sluzby/diagnostika-fv-modulu-a-fve>

- [22] ASB portal. *Diagnostické metody fotovoltaických článků FV* [online]. Poslední změna 17.2.2014. [Cit. 17.2.2014.] Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/fotovoltaika/diagnosticke-metody-fotovoltaicky-ch-clanku>
- [24] Vesmír. *Mikrobiální koroze kovů* [online]. Poslední změna 17.3.2014. [Cit. 17.3.2014.] Dostupné z: <http://www.vesmir.cz/clanky/clanek/id/4549>
- [25] Měníče napětí. *Co je měnič napětí k čemu slouží?* [online]. Poslední změna 28.3.2014. [Cit. 28.3.2014.] Dostupné z: <http://www.menicenapeti.net/index.php?sek=d>
- [26] nazeleno.cz. *I elektronika solárních elektráren se vyvíjí. Přichází nové možnosti sledování výkonu*, [online]. Poslední změna 30.3.2014. [Cit. 30.3.2014.] Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/i-elektronika-solarnich-elektren-se-vyviji-prichazeji-nove-moznosti-sledovani-vykonu.aspx>
- [27] CHOCHOLÁČ, Jan. *Využití bypassových diod ve fotovoltaických panelech*. Brno, 2011. 68 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí doktorské práce Ing. Petr Křivík, Ph.D.
- [28] Fotovoltaika.sfv.cvut.cz. *Vliv stíněn FV panelů* [online]. Poslední změna 30.3.2014. [Cit. 30.3.2014.] Dostupné z: <http://fotovoltaika.fsv.cvut.cz/download/Ostatni/Vliv%20stineni%20FV%20panelu.pdf>
- [29] ASB-portal.cz. *Koroze plastických hmot-biologické vlivy* [online]. Poslední změna 31.3.2014. [Cit. 31.3.2014.] Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/rekonstrukce-staveb/koroze-plasticky-ch-hmot-biologicke-vlivy>
- [30] Wikipedie, *Křemík* [online]. Poslední změna 8.11.2013. [Cit. 8.11.2013.] Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/K%C5%99em%C3%ADk.html>
- [31] TZB-info. *Odolnost fotovoltaického solárního systému proti zatížení větrem* [online]. Poslední změna 31.3.2014. [Cit. 31.3.2014.] Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4453-odolnost-fotovoltaickeho-solarniho-systemu-proti-zatizeni-vetrem>
- [32] 4-CONSTRUCTION. *Poškození solárních panelů* [online]. Poslední změna 31.3.2014. [Cit. 31.3.2014.] Dostupné z: <http://www.4-construction.com/cz/clanek/poskozeni-solarnich-panelu/>
- [33] VOTUM Smart Energy. *Jak optimalizovat FVE?* [online]. Poslední změna 2.4.2014. [Cit. 2.4.2014.] Dostupné z: <http://www.votum.cz/pdf/cesky/SolarEdge%20-%20distribuovany%20system%20sberu%20energie.pdf>
- [34] Solární novinky. *Solar Edge: 10 důvodů pro nejlepší střídače a optimalizéry současnosti* [online]. Poslední změna 2.4.2014. [Cit. 2.4.2014.] Dostupné z: http://www.solarninovinky.cz/index.php?par=rs_4-rl_2013041801-rm_0#.UzySJKh_vDO
- [35] VOTUM Smart Energy. *Služby a produkty* [online]. Poslední změna 7.4.2014. [Cit. 7.4.2014.] Dostupné z: <http://www.votum.cz/sluzby-a-produkty/>

- [36] TZB-info. *Výše výkupních cen a zelených bonosů* [online]. Poslední změna 7.4.2014. [Cit. 7.4.2014.] Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/vyse-vykupnich-cen-a-zelenych-bonusu>
- [37] SUDOP PRAHA. *Fotovoltaické elektrárny Raslko a Mimoň* [online]. Poslední změna 7.4.2014. [Cit. 7.4.2014.] Dostupné z: <http://www.sudop.cz/projekty?project-id=23&do=project-detail>
- [38] nalezeno.cz. *Solární elektrárny 2011* [online]. Poslední změna 7.4.2014. [Cit. 7.4.2014.] Dostupné z: <http://www.nalezeno.cz/energie/fotovoltaika/solarni-elektrarny-2011-jen-grid-off-vyplati-se.aspx>
- [39] TZB-info. *Odolnost Fotovoltaický střídač-účinnost není vše* [online]. Poslední změna 9.4.2014. [Cit. 9.4.2014.] Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5571-fotovoltaicky-stridac-ucinnost-neni-vse>
- [40] Solar Monitor. [online]. Poslední změna 16.4.2014. [Cit. 16.4.2014.] Dostupné z: <http://www.solarmonitor.cz/>
- [41] Shop Solar Monitor. [online]. Poslední změna 20.4.2014. [Cit. 20.4.2014.] Dostupné z: <http://shop.solarmonitor.cz/cs/>
- [42] Power-One. *General specifications outdoor model* [online]. Poslední změna 20.4.2014. [Cit. 20.4.2014.] Dostupné z: http://shop.solarpartner.cz/pdf/pvi-3_0_3_6_4_2-tl_en.pdf
- [43] PORTAL-solarmonitor.cz. *Praha 4- Podolí 2* [online]. Poslední změna 22.4.2014. [Cit. 22.4.2014.] Dostupné z: <http://demo1.etch.cz/values.xml>
- [44] PROREVIZE. *Fotovoltaické moduly a instalace fotovoltaických elektráren pod kontrolou termokamer testu* [online]. Poslední změna 23.4.2014. [Cit. 23.4.2014.] Dostupné z: <http://www.prorevize.cz/termodiagnostika/216-fotovoltaicke-moduly-a-instalace-fotovoltaickych-elektren-pod-kontrolou-termokamer-testo>
- [45] PORTAL-solarmonitor.cz. *LSF* [online]. Poslední změna 23.4.2014. [Cit. 23.4.2014.] Dostupné z: http://demo7.etch.cz:8011/graph_d.xml
- [46] OREMO. *Ceník služeb termografické diagnostiky - termovize* [online]. Poslední změna 1.5.2014. [Cit. 1.5.2014.] Dostupné z: <http://www.oremo.cz/cenik-termovize>
- [47] SOLARIS. *Ceník servisu FVE* [online]. Poslední změna 1.5.2014. [Cit. 1.5.2014.] Dostupné z: <http://www.sollaris.cz/servis-fve-elektren/cenik-servisu-fve/>
- [48] ABOT – fotovoltaická zařízení s.r.o. . *Ceník diagnostických služeb* [online]. Poslední změna 1.5.2014. [Cit. 1.5.2014.] Dostupné z: <http://abot.cz/diagnostika-fv-modulu-a-fve/cenik-diagnostickych-sluzeb>
- [49] ROAD ENERGY. *Technologie výroby panelu* [online]. Poslední změna 1.5.2014. [Cit. 1.5.2014.] Dostupné z: <http://www.roadenergy.eu/d32-technologie-vyroby-panelu-html.html>

- [50] TÜD SÜD. *ISO 9001 – Qualität mit System* [online]. Poslední změna 1.5.2014. [Cit. 1.5.2014.] Dostupné z: <http://www.tuev-sued.de/management-systeme/iso-9001>
- [51] VOTUM.– *Jak optimalizovat - SolarEdge* [online]. Poslední změna 1.5.2014. [Cit. 1.5.2014.] Dostupné z: <http://www.votum.cz/SolarEdge/>
- [52] ALMASolar Shop. *List of products by manufacturer – Tigo Energy* [online]. Poslední změna 1.5.2014. [Cit. 1.5.2014.] Dostupné z: <http://www.alma-solarshop.com/mfg/tigo-energy>
- [53] WIKIPEDIE. *Fotovoltaická elektrárna Sulkov* [online]. Poslední změna 3.5.2014. [Cit. 3.5.2014.] Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaick%C3%A1_elektr%C3%A1rna_Sulkov
- [54] MAPY.CZ. *Fotovoltaická elektrárna Sulkov* [online]. Poslední změna 3.5.2014. [Cit. 3.5.2014.] Dostupné z: <http://www.mapy.cz/#!x=13.297718&y=49.706377&z=13&l=15>
- [55] SOLARTEC. *PV test – diagnostická laboratoř* [online]. Poslední změna 3.5.2014. [Cit. 3.5.2014.] Dostupné z: <http://www.solartec.cz/rozsahle-instalace/provozovani-fve-elektraren/pv-test-diagnosticka-laborator>
- [56] SLÁDEK, František. *Diagnostika fotovoltaických článků pomocí LBIV*. Brno, 2008. 51 stran. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí doktorské práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.
- [57] KLADIVA, Roman. *Dlouhodobé sledování parametrů fotovoltaických panelů*. Brno, 2013. 99 stran. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí doktorské práce Ing. Roman Gvritishvili.
- [58] Wikipedie, *Difuze* [online]. Poslední změna 9.11.2013. [Cit. 9.11.2013.]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Difuze.html>
- [59] ABOT – fotovoltaická zařízení s.r.o. . *Diagnostika FV modulů a FVE* [online]. Poslední změna 3.5.2014. [Cit. 3.5.2014.] Dostupné z: <http://www.abot.cz/cs/sluzby/diagnostika-fv-modulu-a-fve>
- [60] WIKISKRIPTA. *Princip CCD kamery* [online]. Poslední změna 3.5.2014. [Cit. 3.5.2014.] Dostupné z: http://www.wikiskripta.eu/index.php/Princip_CCD_kamery
- [61] SOLARTEC. *Diagnostika FV elektráren* [online]. Poslední změna 3.5.2014. [Cit. 3.5.2014.] Dostupné z: <http://www.pvtest.cz/cs/diagnostika>
- [62] Sunfin Praha. . *Termovize solárních panelů* [online]. Poslední změna 4.5.2014. [Cit. 4.5.2014.] Dostupné z: <http://sunfin.cz/thermovision-panels.html>

- [63] Výzkumné energetické centrum – Vysoká škola báňská. *Termovizní měření a VA charakteristika* [online]. Poslední změna 4.5.2014. [Cit. 4.5.2014.] Dostupné z: <http://vec.vsb.cz/cz/energeticke-sluzby/monitoring/sunny-guard/termovizni-mereni-a-va-charakteristika.html>
- [64] SGC Diagnostika skla. . *Prasklé bezpečnostní sklo – solární panel* [online]. Poslední změna 4.5.2014. [Cit. 4.5.2014.] Dostupné z: <http://www.znalecnasklo.cz/portfolio/praskle-bezpecnostni-sklo-fotovoltaika/>
- [65] MAPY.CZ. *Předměstí Tábora*[online]. Poslední změna 3.5.2014. [Cit. 3.5.2014.] Dostupné z: <http://www.mapy.cz/#!x=14.681271&y=49.419704&z=18&l=15>
- [66] ANCER UPS s.r.o.. *Střídač-měnič SMA Sunny boy SB 3000 TL-21*[online]. Poslední změna 3.5.2014. [Cit. 3.5.2014.] Dostupné z: <http://www.vltava2000.cz/ancer/GoodsDetail.asp?strGoodsID=2381>
- [67] Česká zemědělská univerzita v Praze. *Měření vlastností PV panelu*[online]. Poslední změna 3.5.2014. [Cit. 3.5.2014.] Dostupné z: home.czu.cz/storage/54513_uloha_III.m.doc

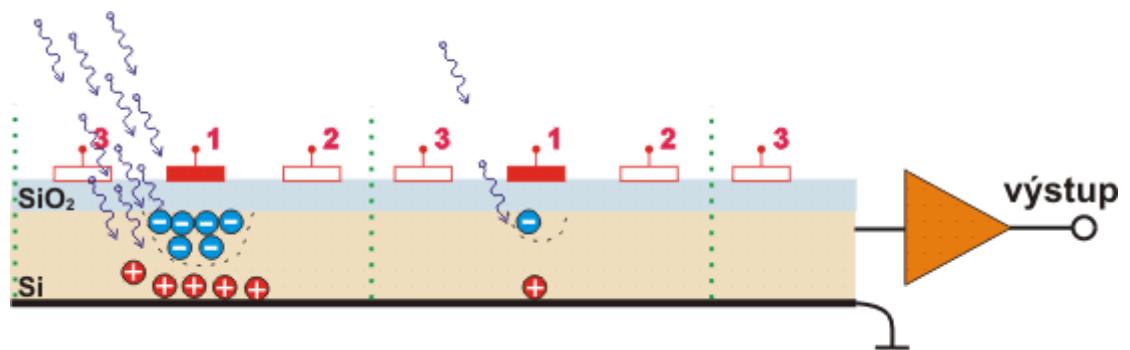
Přílohy

Princip CCD kamery

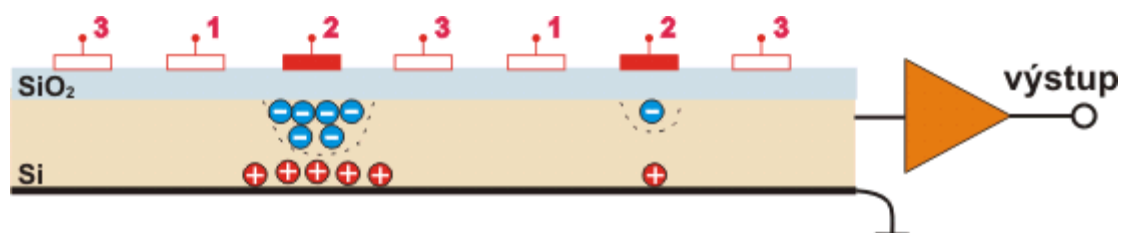
CCD čip (*Charge-coupled device*) je moderním detektorem obrazu široce používaným v digitálních fotoaparátech, videokamerách i webkamerách. Vlastní princip, je poměrně jednoduchý, krok za krokem je naznačen na následujících obrázcích. [60]

Při ozáření polovodiče fotonem dochází k vzniku elektronové vodivosti elektron-díra. Počet takto uvolněných nosičů náboje je úměrný intenzitě dopadajícího záření. Na destičce křemíku jsou umístěny řízené elektrody. Napěťovým impulzem do jednotlivých elektrod řídíme tok elektronových párů elektron-díra směrem k výstupnímu vodiči. Zachycený proudový impuls odpovídá jasu, který působil na hodnocený pixel. [60]

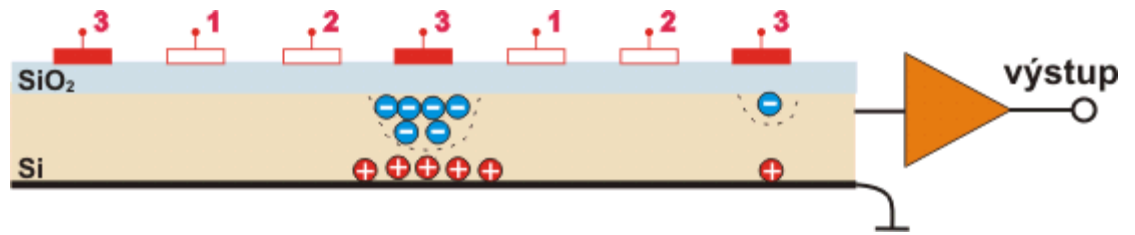
Na elektrodách je připojen kladný náboj a na dolní straně destičky je připojen záporný náboj, uzemnění. Díky této skutečnosti jsou od sebe v destičce odděleny kladné a záporné páry elektron-díra. [60]



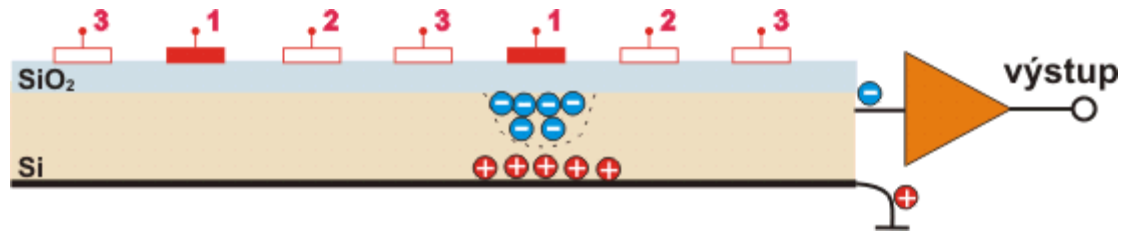
Obr. 79: Princip CCD kamery – dopad fotonu - vznik náboje [60]



Obr. 80: Princip CCD kamery – posun náboje z elektrody č.1 na elektrodu č.2 [60]



Obr. 81: Princip CCD kamery – posun náboje z elektrody č.2 na elektrodu č.3 [60]



Obr. 82: Princip CCD kamery – posun náboje z elektrody č.3 na elektrodu č.1 [60]