

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kontrolní měření FVE malého výkonu

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan KOHOUT**
Osobní číslo: **E12N0117P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Kontrolní měření FVE malého výkonu**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

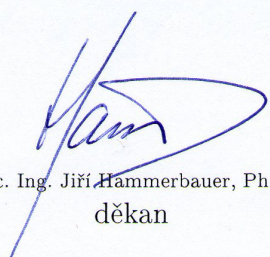
1. Popište parametry a jednotlivé komponenty analyzovaného systému.
2. Porovnejte softwareovou simulaci systému s reálnou výrobou.
3. Proveďte základní kontrolu FV panelů systému pomocí termografie.
4. Změřte podrobně V-A charakteristiky za různých provozních podmínek.
5. Zhodnoťte výsledky měření a navrhněte doporučení k odstranění případných problémů.

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

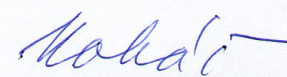
1. přednášky KEE/SOES

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

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2013**
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**


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




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá kontrolou konkrétní FVE malého výkonu po čtyřletém provozu.

V teoretické části práce jsou popsány jednotlivé komponenty analyzovaného fotovoltaického systému. V praktické části je nasimulována roční hodnota výroby elektrické energie dané FVE pomocí programu PVsyst a následně porovnána se skutečně vyrobenou energií v průběhu roku 2013. Dále je provedeno měření solárního generátoru (FVP) pomocí termokamery a I-V analyzátoru, abych mohl zhodnotit kondici FV panelů. Na závěr práce je provedeno celkové zhodnocení měření provedené na FVE, ze kterého vyplývají návrhy na optimalizaci provozu FVE.

Klíčová slova

Fotovoltaická elektrárna, solární generátor, fotovoltaický článek, fotovoltaický panel, fotovoltaický systém, string, intenzita slunečního záření, napěťový střídač, instalační komponenty, obnovitelné zdroje energie, termovizní měření, V-A charakteristika.

Abstract

The diploma thesis deals with the control of specific PV power plant low power after four years of operation.

In the theoretical part are described individual components of the analyzed PV system.

In the practical part is simulated annual value of electricity production of the photovoltaic power plant using PVsyst and then compared with the actual energy generated during 2013. Further there is made measurement of the solar generator (PV pannels) with a thermal camera and I-V analyzer, so I can evaluate the condition of the PV panels. At the conclusion of my thesis is overall evaluation of measurements made on the photovoltaic power plant from which ensue suggestions to optimalization of the PV power plant.

Key words

Photovoltaic power plant, solar generator, photovoltaic cell, photovoltaic pannel, photovoltaic system, string, intensity of solar radiation, voltage inverter, installation components, renewable energy, thermal measurement, V-A characteristic.

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 7.5.2014

Bc. Jan Kohout

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Milanu Bělíku, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině a svým blízkým za jejich podporu.

Obsah

SEZNAM ZKRATEK	8
ÚVOD	9
1 POPIS JEDNOTLIVÝCH KOMPONENTŮ ANALYZOVANÉHO SYSTÉMU.....	10
1.1 NAPĚŤOVÝ STRÍDAČ SOLARMAX S4200.....	12
1.2 FOTOVOLTAICKÉ PANELE LONG ENERGY 175 WATT	13
1.3 PODRUŽNÝ ROZVADĚČ	14
1.4 INSTALAČNÍ KOMPONENTY KONKRÉTNÍ FVE	15
1.5 SPOJOVACÍ KABELY PRO STEJNOSMĚRNÝ PROUD	16
2 SOFTWAREVÁ SIMULACE PROGRAMU PVSYSY V6.12 A REÁLNÁ VÝROBA ENERGIE	17
2.1 SIMULACE FVE PROGRAMU PVSYSY V6.12	17
2.2 REÁLNÁ ROČNÍ VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE FVE.....	22
2.3 POROVNÁNÍ HODNOT VYPOČTENÝCH PROGRAMEM PVSYSY V6.12 S REÁLNOU VÝROBOU.....	23
3 MĚŘENÍ FVP POMOCÍ TERMOKAMERY	26
3.1 PRINCIP TERMOVIZNÍHO MĚŘENÍ.....	26
3.2 TERMOKAMERA FLUKE TI-55FT	27
3.3 ZHODNOCENÍ FOTOGRAFICKÝCH VÝSLEDKŮ Z TERMOKAMERY	27
4 MĚŘENÍ V-A CHARAKTERISTIK FVP	31
4.1 ANALYZÁTOR I-V 400	31
4.2 ZÁKLADNÍ PARAMETRY FV ČLÁNKU OVLIVŇUJÍCÍ PRŮBĚH V-A CHARAKTERISTIKY	34
4.3 MĚŘENÍ V-A CHARAKTERISTIK	40
4.4 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH V-A CHARAKTERISTIK.....	42
4.5 NAMĚŘENÉ V-A CHARAKTERISTIKY ZA RŮZNÝCH PROVOZNÍCH PODMÍNEK.....	44
4.6 VLIV ČÁSTEČNÉHO ZASTÍNĚNÍ FVP	47
5 ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT FVE.....	52
5.1 NÁVRH K ODSTRANĚNÍ NEGATIVNÍCH VLIVŮ NA FVE	54
ZÁVĚR	56
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	57
SEZNAM OBRÁZKŮ	59
SEZNAM GRAFŮ	60
SEZNAM TABULEK.....	61
PŘÍLOHY	62

Seznam zkratk

FVP	Fotovoltaický panel
FVS	Fotovoltaický systém
FVM	Fotovoltaický modul
GlobHor	Globální horizontální záření
T Amb	Okolní teplota
GlobInc	Energie dopadající v rovině kolektoru
EGrid	Energie dodána do sítě
EArray	Energie vydána ze solárního generátoru
GlobEff	Energie dopadající na kolektory, korigovaná na optické ztráty
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System

Úvod

V současné době společnost řeší výrobu elektrické energie s využitím obnovitelných zdrojů. Jedním z těchto obnovitelných zdrojů je sluneční záření, které pro výrobu elektrické energie využívají fotovoltaické elektrárny. FVE jsou jako zdroj energie technologicky relativně jednoduchá zařízení oproti jiným zdrojům energie. Po nainstalování a uvedení do provozu vyžadují jen minimální údržbu. Přesto praxe ukazuje, že systémy fotovoltaických elektráren často vykazují různé poruchy a odchylky od normálu. U nových FVE je většina poruch kryta zárukou technologie. Problém však je, jak zjistit a posléze lokalizovat poruchy malé a na první pohled nezřetelné, které ale přesto snižují výkon elektráren. Musí se podotknout, že žádná FVE nepodává a bez dodržení a zajištění optimálních provozních podmínek ani nemůže podávat 100 % svého teoretického výkonu. Důvodem jsou částečně poškozené panely, chyby v zapojení, nesprávně volené dimenze kabelů, odrazy povrchů a znečištění panelů. Tyto nežádoucí chyby se postupně sčítají, až dochází k vyřazení určité části a tím je výrazně ovlivněn výkon FVE.

Vzhledem k tomu, že mám možnost provádět odečet výroby elektrické energie na malé domácí FVE v obci Libkov č. 40, mohu se zaměřit i na kontrolu její funkčnosti.

Z odečtů vyrobené elektrické energie, které na dané FVE průběžně provádím od počátku, zjišťuji, že se její množství během několika let od instalace FVE mění. Je samozřejmé, že se na tomto jevu může podílet nepravdivost v klimatických podmínkách, ale kromě toho se na zmenšení výroby energie můžou projevit i vady na vlastních komponentech, ze kterých je celá FVE složena.

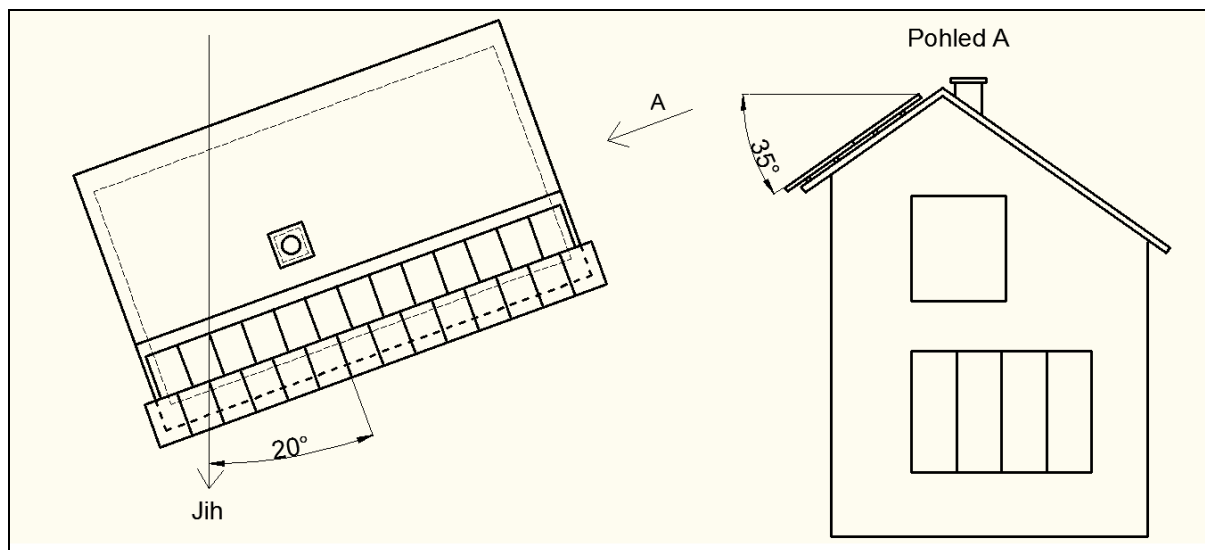
Kromě podmínek, které s výrobou energie ve FVE souvisejí přímo tj. sluneční záření, roční období, znečištění či zastínění FVČ nebo orientace FVP mohou ztráty ve výrobě energie vznikat například nedodržením montážních pokynů nebo vadami vlastních FVČ. Tyto vady mohou být jak přímo z výroby, tak postupně se projevující v průběhu doby.

Proto jsem se rozhodl navázat na mou bakalářskou práci týkající se návrhu FVE a věnovat se tomuto problému podrobněji.

Cílem diplomové práce bude zjistit eventuální problémy spojené s funkcí dané FVE v obci Libkov, čp. 40 a navrhnout možný postup pro zoptimalizování chodu FVE.

1 Popis jednotlivých komponentů analyzovaného systému

Dříve než se budeme zabývat konkrétním měřením fotovoltaické elektrárny (FVE), uvádíme návrh jednotlivých prvků FVE a jejich konkrétní popisy. Pro konkrétní návrh FVE byla zvolena střecha technicko-provozní budovy (garáž u rodinného domku) v Libkově čp. 40, okres Domažlice. Střecha má sklon 35° a je orientována na jihovýchod (-20°). (schematicky ukazuje obrázek č. 1).

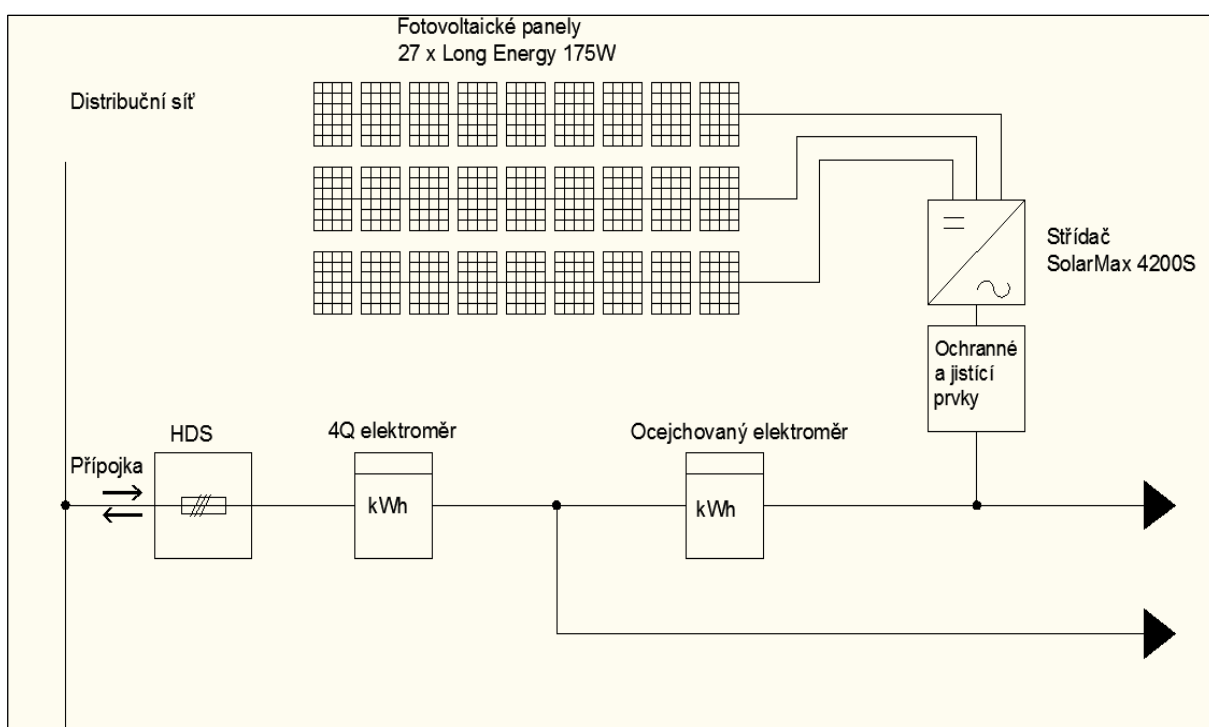


Obrázek 1: Orientace a sklon střechy technicko-provozní budovy, Libkov čp. 40, okr. Domažlice



Obrázek 2: Reálná fotografie FVE

Projekt dané FVE je řešen jako FVS pro vlastní spotřebu a prodej přebytků do sítě. Jedná se o dvacet sedm monokrystalických fotovoltaických panelů typu Long Energy každý o výkonu 175 Watt s celkovým instalovaným výkonem 4,73 kWp umístěných na střeše objektu, kde jsou osazeny na hliníkové konstrukci, která je připevněna ke konstrukci krovu střechy. Panely produkují stejnosměrný elektrický proud, který je přiveden kabely k jednofázovému DC/AC měniči napětí. Střídač značky SolarMax 4200S transformuje stejnosměrný elektrický proud na střídavý elektrický proud o napětí 230 V / 50 Hz, který lze již dodávat do distribuční soustavy. Měnič je dále vybaven ochrannými prvky a systémem automatického odpojení od sítě při jejím výpadku, či pokud její frekvence, napětí nebo impedance neodpovídá stanoveným mezím. Připojení nové výroby elektrické energie s instalovaným výkonem 4,73 kWp do distribuční soustavy bylo realizováno v souladu se splněním podmínek stanoviska k žádosti o připojení výroby k DS č. 4120539043 vydaném ČEZ Distribuce, a.s.



Obrázek 3: Schéma elektrického zapojení navrhované FVE

Obrázek č. 3 schematicky znázorňuje propojení z FVM přes napěťový střídač, jisticí prvky, cejchovaný elektroměr, 4Q elektroměr až do hlavní domovní skříně, kde je přípojka do distribuční sítě. FVP jsou zapojeny do třech stringů. Každý string obsahuje v sérii 9 FVP. 4Q elektroměr umožňuje jak energii odebírat z DS tak i do ní dodávat.

V následujícím textu této kapitoly se zaměříme na popis a vysvětlení funkce jednotlivých komponent FVE, které jsme využili při projektování konkrétní FVE v obci Libkov čp. 40.

Budeme se zabývat: napěťovým střídačem, konstrukcí FVP, podružným rozvaděčem a instalačními komponenty pro FVE.

1.1 Napěťový střídač SolarMax S4200

Napěťový střídač (obr. č. 4) propojuje solární generátor a síť střídavého proudu. Střídač převádí stejnosměrný proud, který vyrobí solární generátor na střídavý proud, který zároveň splňuje parametry elektrické sítě to je frekvence 50Hz a napětí 230V. Pomocí výkonové elektroniky je převod na střídavý proud efektivnější (menší ztráty). Tento střídač může být přímo spojen s veřejnou sítí, protože jeho výkon je maximálně do 5 kW a plocha modulů nepřesahuje cca 50 m². Střídač dodává do sítě maximální výkon tehdy, když pracuje v bodě maximálního výkonu solárního generátoru. Hodnota bodu MPP závisí na intenzitě ozáření a teplotě modulu. Pomocí regulátoru se dosáhne maximální výkon FVP. Střídač nám umožňuje archivování provozních dat a ethernetové připojení k PC. Na displeji střídače je možno sledovat okamžitý výkon FVE, vyrobenou elektrickou energii za určité období, dobu práce systému a případně poruchu FVE. Pro bezpečný provoz střídače jsou v něm zabudována různá stejnosměrná a střídavá ochranná zařízení (např. ochrana proti přepólování, přepěťová ochrana a ochrana před přetížením).[1]

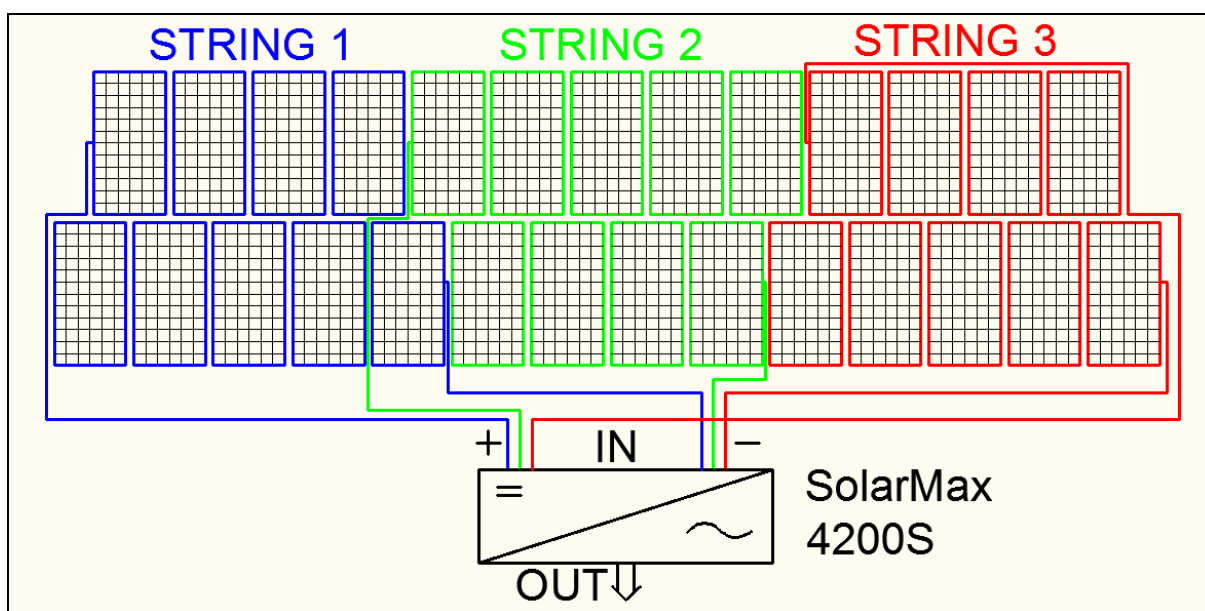


Obrázek 4: Napěťový střídač SolarMax 4200S [4]

Obrázek č. 4 zobrazuje jednofázový napěťový střídač SolarMax 4200S, včetně přívodů od jednotlivých větví (stringů) FVP, který jsme využili pro konkrétní FVE v Libkově. Technické údaje o střídači SolarMax 4200S jsou uvedeny v příloze A.

1.2 Fotovoltaické panely Long Energy 175 Watt

Solární generátor pro konkrétní FVE požadovaného výkonu je tvořen z dvaceti sedmi monokrystalických křemíkových panelů. Celý systém je rozdělen do tří větví po devíti panelech, které jsou paralelně propojeny do napěťového střídače, kde se proudy z jednotlivých větví sečtou (uvedeno na obr. č. 5).

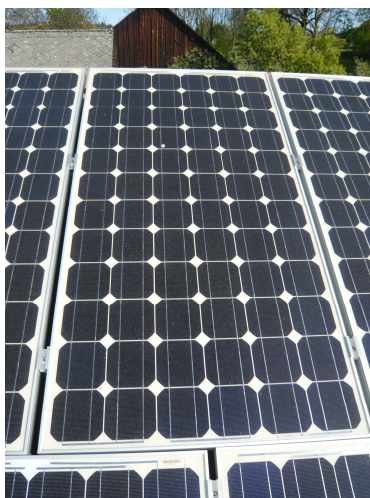


Obrázek 5: Zapojení FVP do jednotlivých větví (stringů)

Jednotlivé FVP ve stringu jsou propojeny sériově - vždy kladný pól je připojený na záporný pól sousedního panelu. Napětí v jednotlivých větvích se sčítá a proud zůstává stejný.

Hliníkový rám FVP je připevněn ke střešní konstrukci. Moduly splňují normu ČSN EN 61 215, IEC 61215. Odolávají veškerým povětrnostním vlivům (např. rychlost větru do 160km/h) a jsou odolné vůči kroupám do průměru 25 mm. Moduly jsou bezúdržbové.

Na následujícím obrázku č. 6 je zobrazen jeden FVP instalovaný na měřené FVE.



Obrázek 6: FV-panely Long Energy 175 Watt

Technické specifikace FV panelů Long Energy 175W jsou zobrazeny v příloze B.

1.3 Podružný rozvaděč

U měniče je ještě instalován tzv. podružný rozvaděč, který obsahuje elektroměr, jenž měří veškerou vyráběnou energii fotovoltaického systému pro fakturaci zelených bonusů. V případě využití režimu výkupních cen (fotovoltaický systém funguje nezávisle na existující elektrické instalaci) je k současnému elektroměru přiřazen ještě jeden elektroměr, který měří výrobu z fotovoltaického systému.

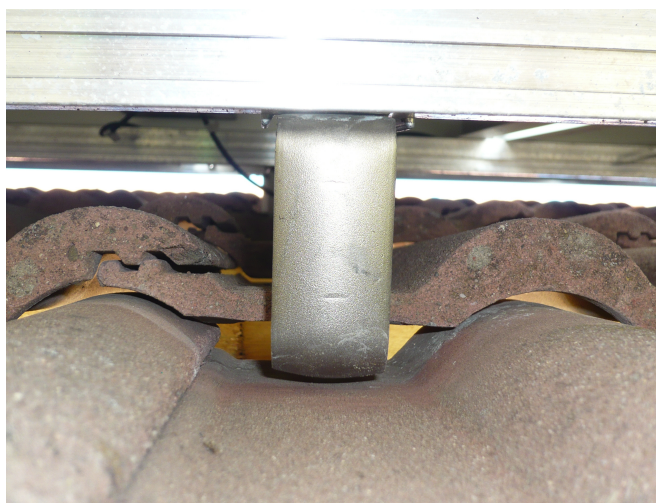
Následující obrázek č. 7 znázorňuje rozvaděč s jeho ovládacími prvky naší konkrétní FVE.



Obrázek 7: Rozvaděč a jednotlivé ovládací prvky

1.4 Instalační komponenty konkrétní FVE

FVE a vlastní umístění FVP by mělo být realizováno obzvláště s ohledem na zatížení nosné konstrukce – v našem případě střešní konstrukce a vlastního krovu (zatížení modulem 15kg/m²). V zimních měsících se váha modulu zvyšuje o hmotnost sněhu ležícího na něm. Hliníkové profily (obr. č. 9) jsou upevněny pomocí nerezových háků (obr. č. 8) na střešní konstrukci, přičemž střešní krytina zůstává neporušena a plní dál svoji funkci. Vzdálenost profilů mezi sebou se volí podle vzdálenosti řad střešních tašek a přípustných upevňovacích tolerancí modulu. Je-li upevňovací konstrukce sestavena s přijatelnou tolerancí, je možné přistoupit k montáži modulů a následně k jejich zapojení.[1]



Obrázek 8: Střešní nerezový hák pro uchycení AL profilu



Obrázek 9: Hliníkový profil nosné konstrukce modulů

Obrázky č. 8 a č. 9 znázorňují hlavní upevňovací prvky FVP, které jsou součástí nosné konstrukce FVP.

1.5 Spojovací kabely pro stejnosměrný proud

K propojení mezi jednotlivými moduly solárního generátoru nebo ke střídači se používají jednožilové kabely s dvojitou izolací, které zajišťují dostatečnou bezpečnost. Pro rychlou montáž či demontáž jsou kabely vybaveny konektorem MC4. Solární kabely jsou vedeny a upevněny v hliníkových profilech konstrukce. Kabely musí být odolné proti UV záření a povětrnostním vlivům ve velkém teplotním rozsahu.



Obrázek 10: Spojovací kabely FVP

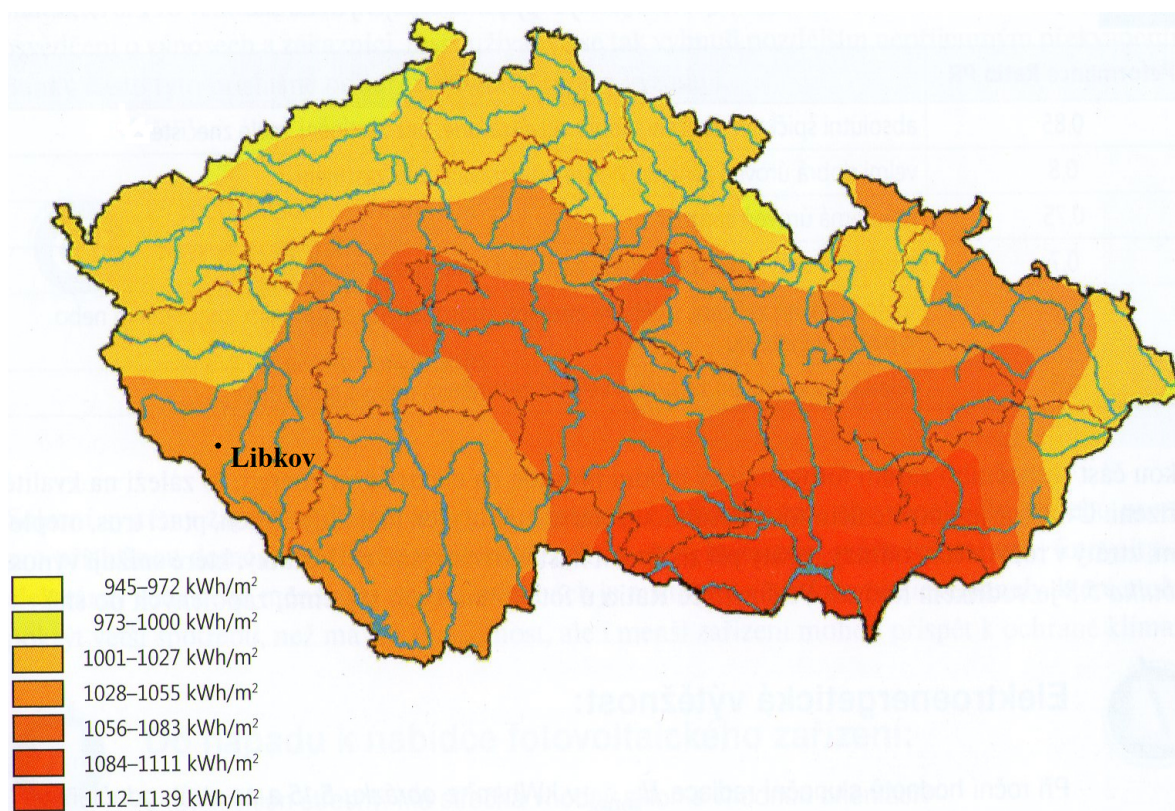
Na obrázku č. 10 je zobrazen jednožilový kabel se spojovací zástrčkou MC4 pro propojení jednotlivých FVP.

2 Softwarová simulace programu PVsyst V6.12 a reálná výroba energie

V této kapitole se zabýváme výpočtovým programem PVsyst, který nám poskytne teoretické hodnoty. Výsledky z programu pak porovnáváme se skutečnými naměřenými hodnotami z konkrétní FVE.

2.1 Simulace FVE programu PVsyst V6.12

Před projektováním a instalací FVE jsme vzali v úvahu hodnoty osvitů ČR slunečním zářením, konkrétně polohu obce Libkov - viz obrázek č. 11



Obrázek 11: Celkové ozáření v České republice [2]

Z obrázku č.11 můžeme vyčíst hodnotu slunečního osvitů v ročních hodnotách kWh/m². Pro naši lokalitu, která je vyznačena na mapě, je hodnota ozáření 1028 – 1055 kWh/m² což slibuje dostatečné množství sluneční energie pro ekonomický provoz FVE.

Z nejnižší hodnoty ozáření (1028 kWh/m^2) můžeme stanovit přibližný instalovatelný výkon fotovoltaického zařízení:

$$P_{MPP} = A \cdot \eta \cdot I \quad (1.1)$$

A $[\text{m}^2]$ plocha solárního generátoru

η [%] účinnost FVP

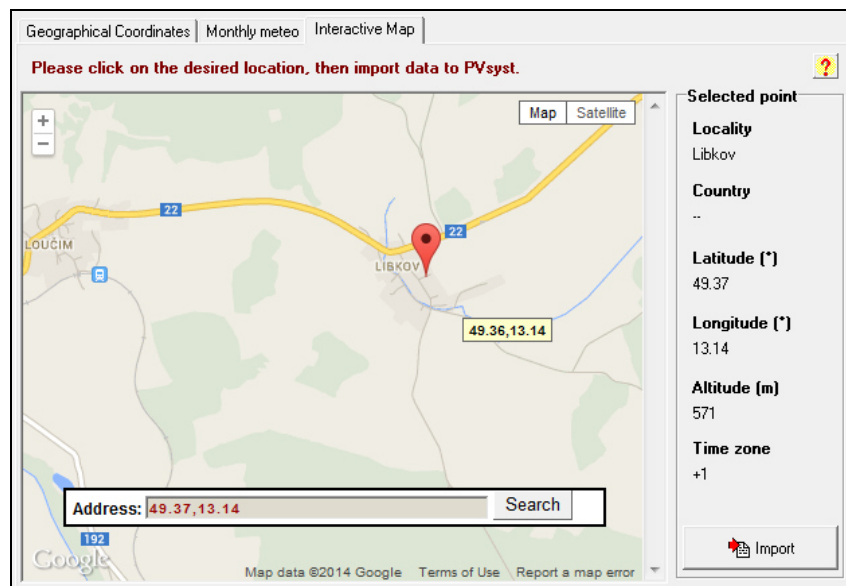
I $[\text{kWh/m}^2]$ intenzita slunečního záření

Pro plochu FVP o $34,5 \text{ m}^2$, při účinnosti 14 % (0,14) a intenzitu slunečního osvětlení 1028 kWh/m^2 (nejnižší hodnota převzatá z obrázku č.11) platí:

$$P_{MPP} = 34,5 \text{ m}^2 \cdot 0,14 \cdot 1,028 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} = 4,965 \text{ kW}_p \quad [2]$$

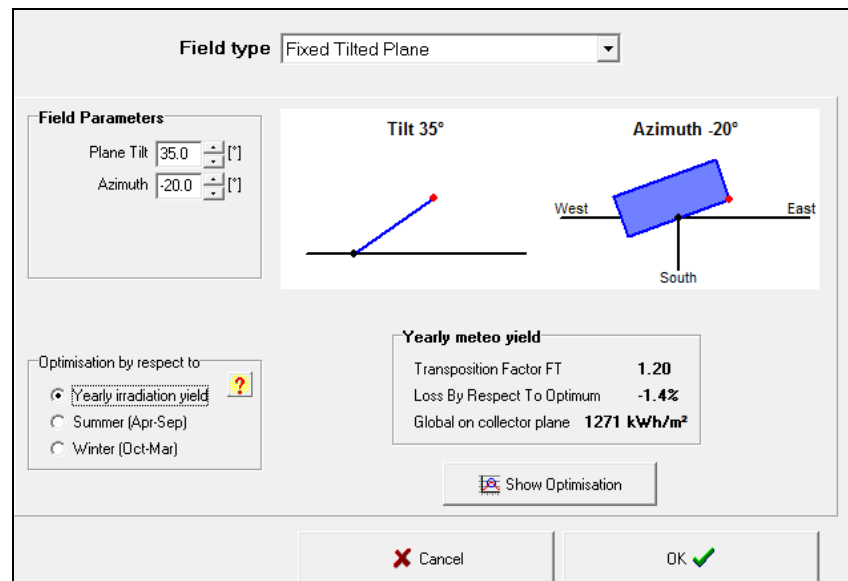
Při vlastní práci s programem PVsyst jsme v prvním kroku zadali do programu geografickou polohu dané FVE (obr. č. 12).

Pro přesnější výpočet výroby elektrické energie jsme využili hodnoty (intenzita slunečního záření pro jednotlivé měsíce), které jsme získali z výpočtového programu PVGIS.



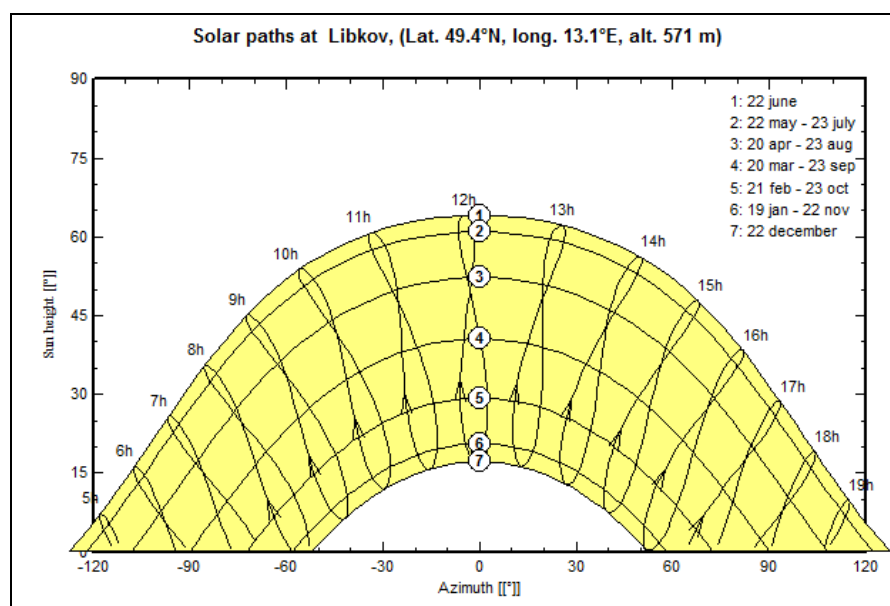
Obrázek 12: Geografická poloha FVE z počítačového programu PVsyst

Dalším krokem bylo zadání konkrétních hodnot týkajících se umístění a orientace FVE do programu PVsyst. Sluneční generátor je pevně uchycen na střeše o sklonu 35° a o orientaci -20° na jihovýchod (zobrazeno na následujícím obrázku č. 13).



Obrázek 13: Zadání sklonu a orientace panelů v programu PVsyst

Z výsledku výpočtu na obrázku č. 13 vyplývá, že vlastní umístění a orientace panelů se odchyluje pouze o 1,4 % od optimálních hodnot zaručujících největší zisk solárního záření. Přestože FVP jsou příznivě orientovány, musíme počítat s tím, že slunce a všechny stíny se v průběhu dne i roku pohybují. V našem výpočtu, ale neuvažujeme zastínění modulů ani výšku slunce nad obzorem v jakémkoliv ročním období. Pouze pro představu dráhy slunce v lokalitě, kde se nachází měřená FVE uvádíme obrázek č. 14, na kterém je znázorněna výška slunce v různých ročních obdobích.



Obrázek 14: Diagram dráhy Slunce pro lokalitu Libkov z programu PVsyst

Dále jsme doplnili do databáze počítačového programu PVsyst parametry modulu typu Long Energy 175 W. Až po té jsme mohli s tímto typem modulu ve výpočtu pracovat. V dalším postupu byl vybrán střídač typu SolarMax 4200S, který byl již v databázi programu zaveden. Nakonec jsme nastavili počet FVP ve stringu.

Nastavená konfigurace výpočtových parametrů je znázorněna na obrázku č. 15.

Global System configuration

1 Number of kinds of sub-arrays

Simplified Schema

Global system summary

Nb. of modules	27	Nominal PV Power	4.7 kWp
Module area	35 m ²	Maximum PV Power	0.0 kW/dc
Nb. of inverters	1	Nominal AC Power	4.2 kWac

PV Array

Sub-array name and Orientation

Name: PV Array

Orient.: Fixed Tilted Plane

Tilt: 35°

Azimuth: -20°

Presizing Help

No Sizing

Enter planned power: 4.7 kWp

... or available area: 35 m²

Select the PV module

Available Now: [dropdown]

Sort modules: Power Technology

Long energy [dropdown] | 175 Wp 30V | Si-mono | P 175M | Since 2010 | Manufacturer 2010 [dropdown] | Open

Sizing voltages: V_{mpp} (60°C) 30.6 V

V_{oc} (-10°C) 49.1 V

Select the inverter

Available Now: [dropdown]

Sort inverters by: Power Voltage (max)

SolarMax [dropdown] | 4.2 kW | 100 - 550 V TL | 50 Hz | Solarmax 4200S | Until 2014 [dropdown] | Open

Nb. of inverters: 1

Operating Voltage: 100-550 V

Global Inverter's power: 4.2 kWac

Input maximum voltage: 600 V

"String" inverter with 3 inputs

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 9 (should be between 4 and 12)

Nbre strings: 3

Overload loss: 0.1 %

P_{nom} ratio: 1.13

Show sizing

Nb. modules: 27 | Area: 35 m²

Operating conditions

V_{mpp} (60°C): 276 V

V_{mpp} (20°C): 328 V

V_{oc} (-10°C): 442 V

Plane irradiance: 1000 W/m²

I_{mpp} (STC): 14.7 A

I_{sc} (STC): 16.0 A

I_{sc} (at STC): 15.8 A

The Array maximum power is greater than the specified Inverter maximum power. (Info, not significant)

Max. in data STC

Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C: 4.3 kW

Array nom. Power (STC): 4.7 kWp

Obrázek 15: Konfigurace konkrétní FVE v programu PVsyst

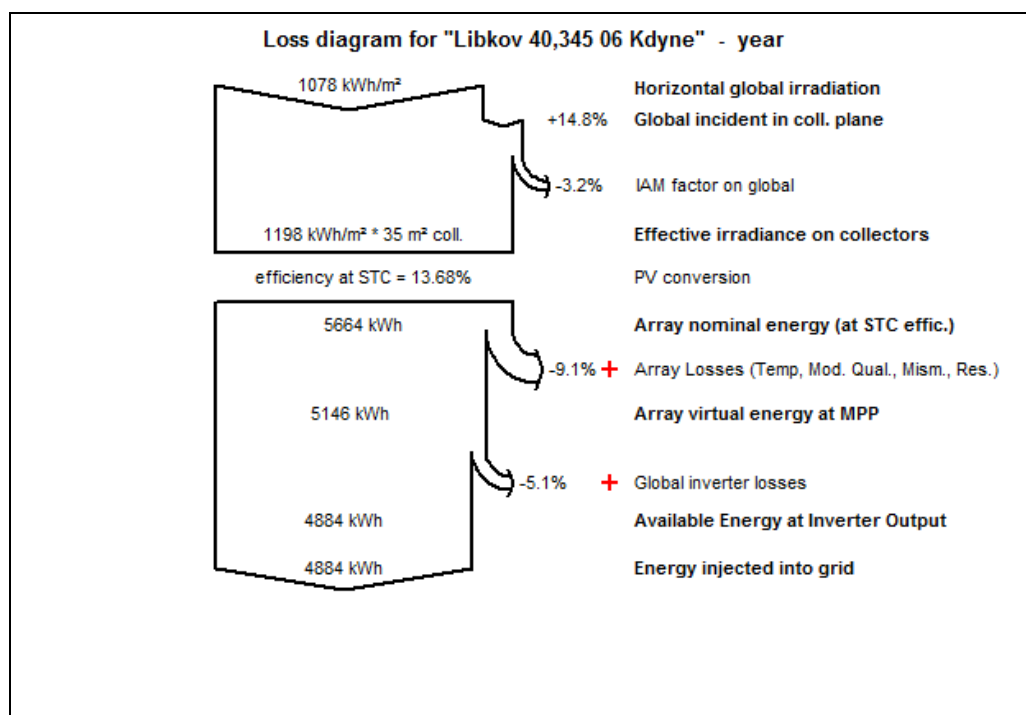
Po zadání konkrétních údajů do programu PVsyst byla vygenerována tabulka č. 1.

	GlobHor [kWh/m ²]	T Amb [°C]	GlobInc [kWh/m ²]	GlobEff [kWh/m ²]	EArray [kWh]	EGrid [kWh]
January	28.3	-2.28	49.9	48.2	221.7	210.3
February	45.6	-0.48	65.7	63.6	291.6	277.3
March	78.7	2.76	99.1	96.2	425.9	404.4
April	116.8	7.46	127.3	123.4	536.2	509.4
May	154.1	13.2	157.7	152.6	641.8	609.0
June	149.5	15.83	144.1	139.0	583.0	553.0
July	157.9	16.79	155.9	150.8	624.5	592.3
August	142.1	17.61	153.0	148.3	611.5	580.0
September	92.1	12.56	107.5	104.3	443.4	420.9
October	61.9	7.92	87.8	85.1	372.9	354.2
November	30.2	2.33	49.0	47.4	213.8	202.6
December	20.9	-1.57	40.6	39.3	180.1	170.3
Year	1 078.1	7.71	1 237.5	1 198.2	5 146.3	4 883.8

Tabulka 1: Výstupní hodnoty z programu PVsyst

Z tabulky č. 1 jsou patrné vypočítané hodnoty výroby elektrické energie v jednotlivých měsících po dobu jednoho roku.

Výsledné hodnoty z tabulky č. 1 jsou použity při tvorbě ztrátového diagramu (obr. č. 16).



Obrázek 16: Diagram ročních ztrát z programu PVsyst

Obrázek č. 16 nám zobrazuje celkovou intenzitu záření na plochu solárního generátoru.

Pro polohu FVE v naší lokalitě je podle výstupů z programu tato intenzita $1\,198\text{ kWh/m}^2$. Tato hodnota nám vyjde, když k horizontálnímu globálnímu záření $1\,078\text{ kWh/m}^2$ přičteme $14,8\%$ záření na modul v rovině a odečteme odchylku $3,2\%$ od standardního pásma $AM=1,5$.

Hodnota záření ($1\,198\text{ kWh/m}^2$) se vynásobí plochou solárního generátoru ($34,5\text{ m}^2$) a účinností FVP ($13,68\%$). Dostáváme celkovou možnou vyrobenou energii solárním generátorem $5\,654\text{ kWh}$. Tato hodnota se liší od vypočítané hodnoty programem PVsyst z důvodu zaokrouhlování při programových výpočtech (programová hodnota je $5\,664\text{ kWh}$). Po odečtení ztrát (teplota, znečištění a zastínění modulů, chyba přizpůsobením MPP a ztráty střídače) dostáváme výpočtovou hodnotu vyrobené energie **4 884 kWh** (uvádí tabulka č. 1 a obrázek č. 16).

2.2 Reálná roční výroba elektrické energie FVE

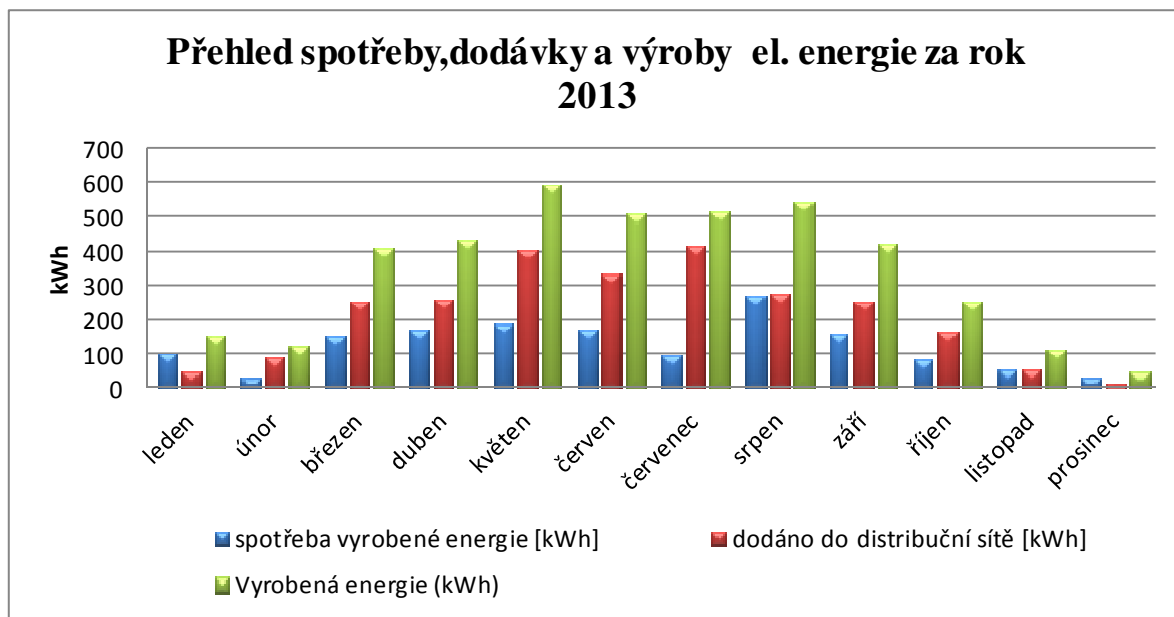
V této kapitole jsou uvedeny skutečné naměřené hodnoty výroby energie. Skutečné hodnoty byly odečítány v jednotlivých měsících pro rok 2013. V následující tabulce č. 2 je uvedena spotřeba, dodávka a celková výroba elektrické energie FVE.

měsíc	spotřeba vyrobené energie [kWh]	dodáno do distribuční sítě [kWh]	Vyrobená energie [kWh]
Leden	105	56	161
Únor	33	94	127
Březen	157	260	417
Duben	174	264	438
Květen	192	411	603
Červen	178	338	516
Červenec	99	419	518
Srpen	273	279	552
Září	164	260	424
Říjen	88	171	259
Listopad	59	60	119
Prosinec	36	17	53
Celkem/rok	1 558 kWh	2 629 kWh	4 187 kWh

Tabulka 2: Skutečné hodnoty FVE z roku 2013

Z tabulky č. 2 můžeme vyčíst celkovou vyrobenou elektrickou energii pro rok 2013, která činí $4\,187\text{ kWh}$. Tu pak porovnáváme s odhadem vypočtené hodnoty z programu PVsyst.

Pro přehlednost hodnot z tabulky č. 2 uvádíme následující graf č. 1.



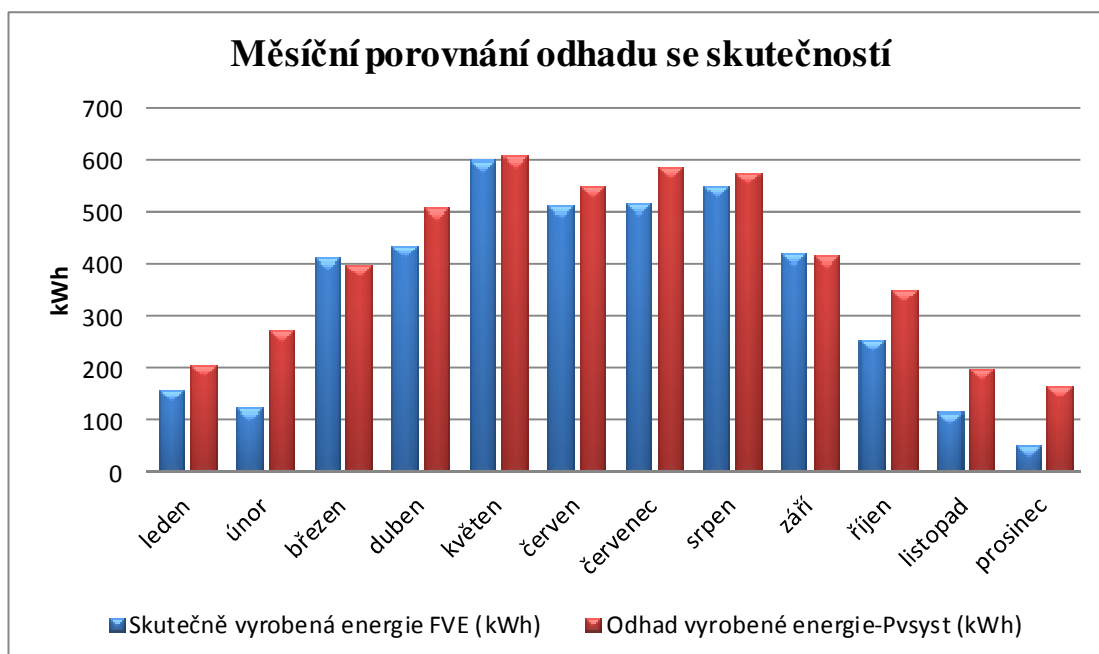
Graf 1: Přehled spotřeby, dodávky a výroby el. energie za rok 2013

2.3 Porovnání hodnot vypočtených programem PVsyst V6.12 s reálnou výrobou

V následující tabulce č. 3 a grafu č. 2 je uvedeno srovnání měsíční reálné výroby naměřené na FVE s teoretickým předpokladem.

	Skutečně vyrobená energie FVE [kWh]	Odhad vyrobené energie-PVsyst [kWh]
Leden	161	210,3
Únor	127	277,3
Březen	417	404,4
Duben	438	509,4
Květen	603	609
Červen	516	553
Červenec	518	592,3
Srpen	552	580
Září	424	420,9
Říjen	259	354,2
Listopad	119	202,6
Prosinec	53	170,3
Celkem/rok	4 187 kWh	4 883,8 kWh

Tabulka 3: Porovnání odhadu se skutečností



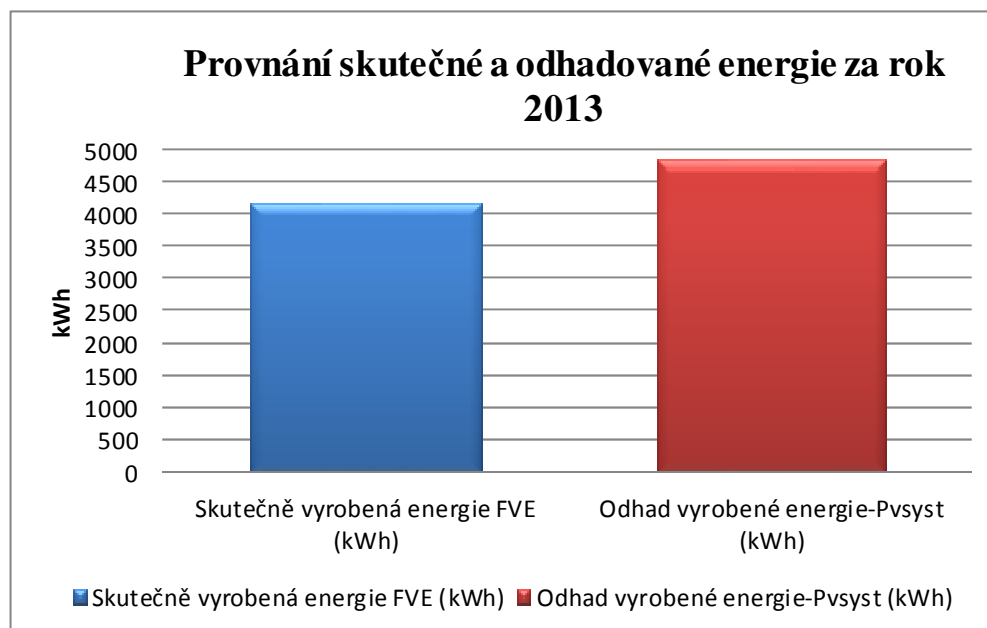
Graf 2: Měsíční porovnání odhadu se skutečností

Z grafu č. 2 vyplývají rozdíly hodnot vyrobené energie mezi odhadem a skutečností v jednotlivých měsících. Tyto rozdíly mohou být způsobeny např.: zasněžením, přehřátím, vadami FVČ apod.

Pro lepší představu výsledků skutečně vyrobené a odhadnuté energie za rok 2013 je uvedena tabulka č. 4 a graf č. 3.

	Rok 2013
Skutečně vyrobená energie FVE	4 187 kWh
Odhad vyrobené energie-PVsyst	4 883,8 kWh

Tabulka 4: Skutečnost a odhad vyrobené energie pro rok 2013



Graf 3: Porovnání skutečné a odhadované energie za rok 2013

Tabulka č. 4 a graf č. 3 nám ukazují rozdíl mezi skutečně vyrobenou elektrickou energií a výpočtovou hodnotou z programu PVsyst je **696,8 kWh**, což činí 15 %.

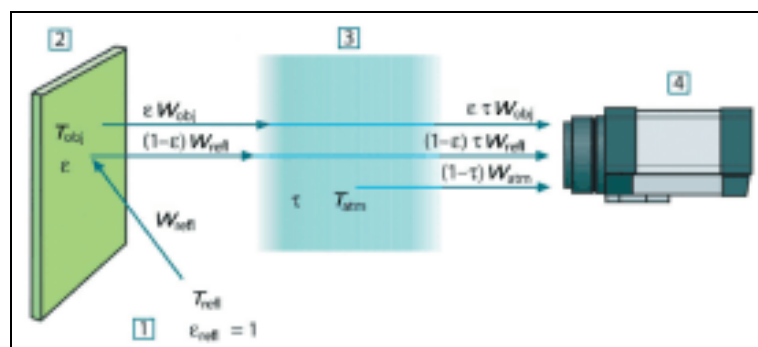
Rozdíl mezi skutečně vyrobenou a odhadnutou energií 15 % by mohl být považován za přijatelný. Může být kromě jiného způsoben např. závadami ve vlastním FVS (vadné FVČ aj.). Při zjištění a odstranění eventuálních vad bychom mohli docílit i větší účinnosti našeho FVS – FVE. K vyloučení poškození FVS provedeme měření pomocí termokamery a I-V analyzátoru měřením V-A charakteristik jednotlivých stringů a následně i panelů. Tyto metody budeme popisovat v následujících kapitolách.

3 Měření FVP pomocí termokamery

Nejčastější ztráty vznikají vlivem okolní a tím i vlivem vlastní teploty FVP nebo jejich odrazivosti. Tyto ztráty však v zásadě nelze bez větších nákladů nijak ovlivnit. Dále se na ztrátách podílejí další důvody jako špatné dimenze kabelů, střídačů a znečištění panelů, které je však možné rozpoznat a následně optimalizovat. Tím zvýšíme celkový výkon FVE. Pro zjištění těchto nedostatků se provádí optické měření fotovoltaických panelů termokamerou a to bez omezení a zásahu do chodu elektrárny. Cílem tohoto měření je určit vadné panely a nedostatky, které snižují celkový výkon FVE.

3.1 Princip termovizního měření

Termovizní měření je moderní metodou bezkontaktního snímání a analýzy teplotních polí. Termovizní kamera snímá infračervené záření v rozsahu vlnových délek (8 až 14 μ m), které vychází nejen z povrchu těles, ale i záření z okolí na jeho povrch.



Obrázek 17: Schéma termovizního systému [9]
(1- okolí, 2- měřený předmět, 3- atmosféra, 4- kamera)

Detektor na základě analýzy intenzity záření vyhodnocuje teplotu. Teplotní rozdíly na IČ snímku jsou znázorněny různým barevným odstínem. Termovizní systém vyžaduje nastavení některých parametrů pro přesnější vyhodnocení snímané teploty předmětu. Schopnost tělesa vyzařovat IČ záření (emitance) je u předmětů různá. Při měření je třeba znát parametr zvaný emisivita (poměr vyzařené energie k odražené energii, která je pro různé materiály různá). Pro sklo, které tvoří vrchní plochu FVP, je tato hodnota 0,92.

Termovizní metoda patří mezi nejrychlejší a nejkomfortnější způsoby měření. Její hlavní předností je rychlost, bezkontaktnost, nedestruktivnost a možnost měřit i těžko dostupná místa.[9]

3.2 Termokamera Fluke Ti-55FT

Termokamera Fluke Ti-55FT (obr. č 18) je multifunkční přístroj pro radiometrické a bezkontaktní měření teplotního obrazu. Tento přístroj má výjimečnou vlastnost (Fluke IR-Fusion), kdy se termosnímek prolíná s reálným vizuálním snímkem, pro ilustraci této funkce uvádíme obrázek č. 33. Tato technologie nám umožňuje lépe identifikovat a zaznamenávat podezřelé oblasti FV generátoru. Přístroj měří v širokém teplotním rozmezí a umožňuje nastavovat si vlastní úroveň emisivity měřeného předmětu. Výsledné termogramy se ukládají na paměťovou kartu k dalšímu zpracování pomocí programu SmartViewč™. [11]



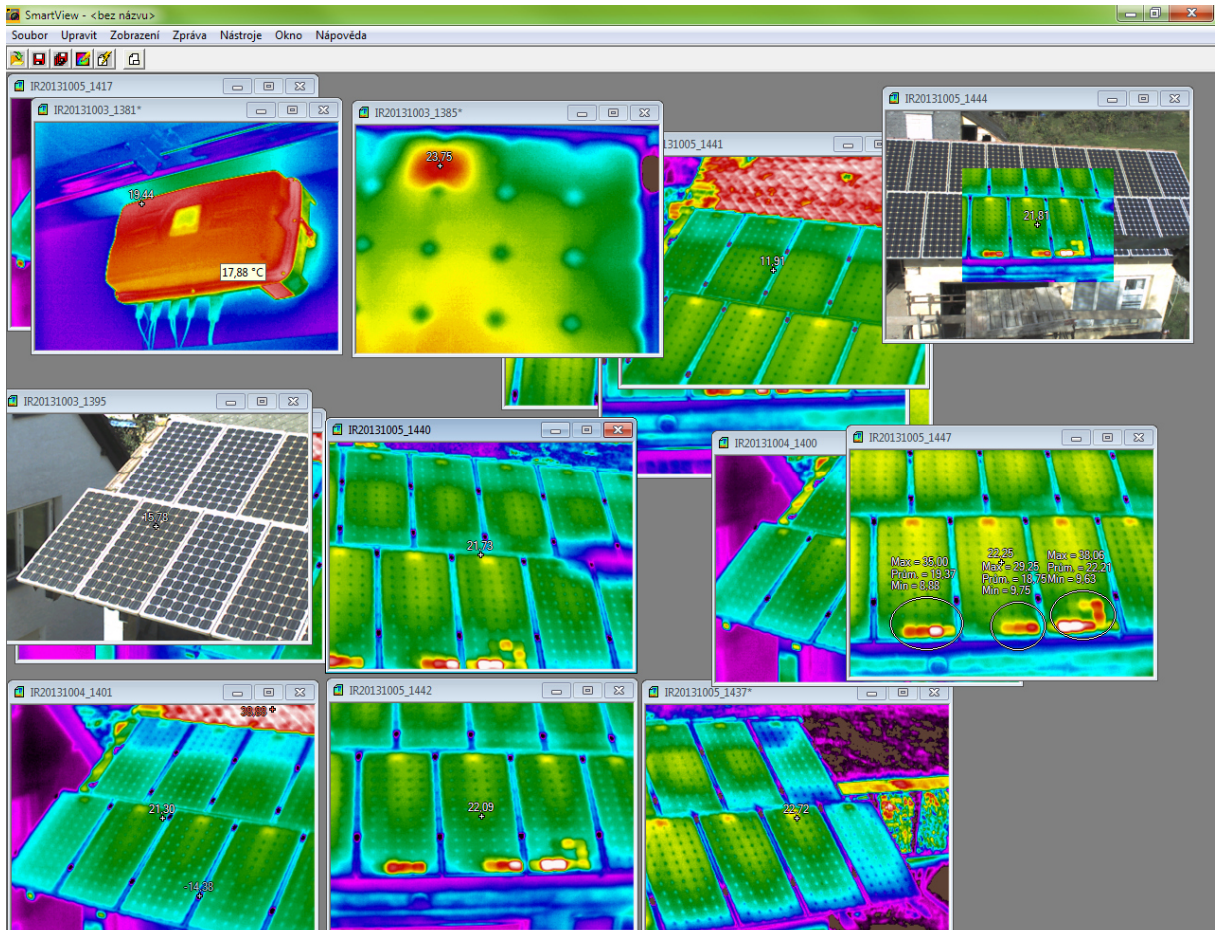
Obrázek 18: Termokamera Fluke Ti-55FT[5]

Obrázek č 18 zobrazuje termokameru Fluke Ti-55FT. Technické specifikace této termokamery jsou v příloze C.

3.3 Zhodnocení fotografických výsledků z termokamery

Měření bylo prováděno ve dnech, kdy venkovní teplota byla vyšší (25°C) a intenzita slunečního záření dosahovala k 900 W/m². To nám umožnilo přesnější vyhodnocení IČ snímku. Termovizní snímky (termogramy) jsme následně zpracovali v přiloženém programu Fluke SmartView 3.4.113.0 (obr. č. 19). Korekce termogramů spočívala v zadání palety barvy (vysoký kontrast) a sytosti (standartní) tak, aby výstupní obrázky byly lépe identifikovatelné a

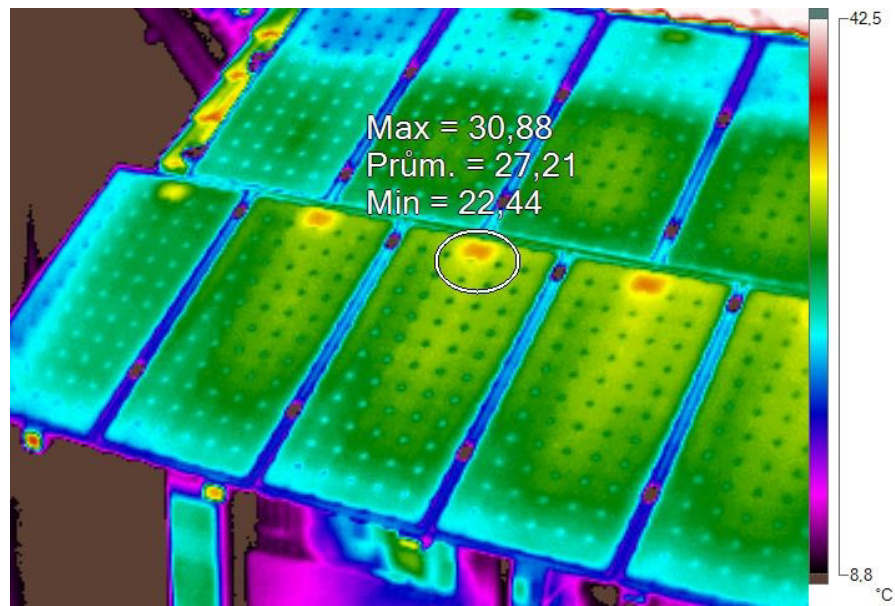
přehledné. Dalším důležitým parametrem bylo zadání konkrétní emisivity (pro sklo, které tvoří horní krycí vrstvu FVP je tato hodnota 0,92) a korekce přenosu (100%). Ukázka z upravování termogramů je v příloze G.



Obrázek 19: Úprava termogramů v programu Fluke SmartView

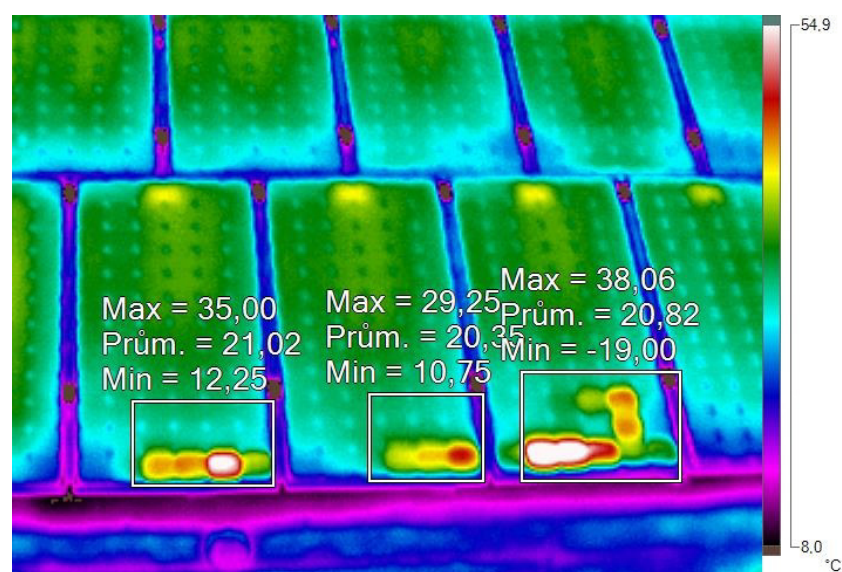
V obrázku č. 19 je na několika termogramech znázorněno korigování nafocených snímků tak, aby byly lépe čitelné. Tři snímky (počítáno od leva) ve spodní části obrázku č. 19 obsahují celou plochu FV generátoru. Z nich jsou zřetelné přehřáté plošky na 3 FVP. To ukazuje na poškození jednotlivých FVČ těchto FVP. Popisem těchto vad se budeme věnovat dále.

V následujících termogramech (obr. č. 20 a obr. č. 21) si můžete všimnout rozdílu mezi poškozenými a plně funkčními moduly. Výsledné termogramy nám ukázaly problémy na některých modulech. Tyto vady nám způsobují snížení výkonu fotovoltaického generátoru.



Obrázek 20: Správně pracující solární moduly

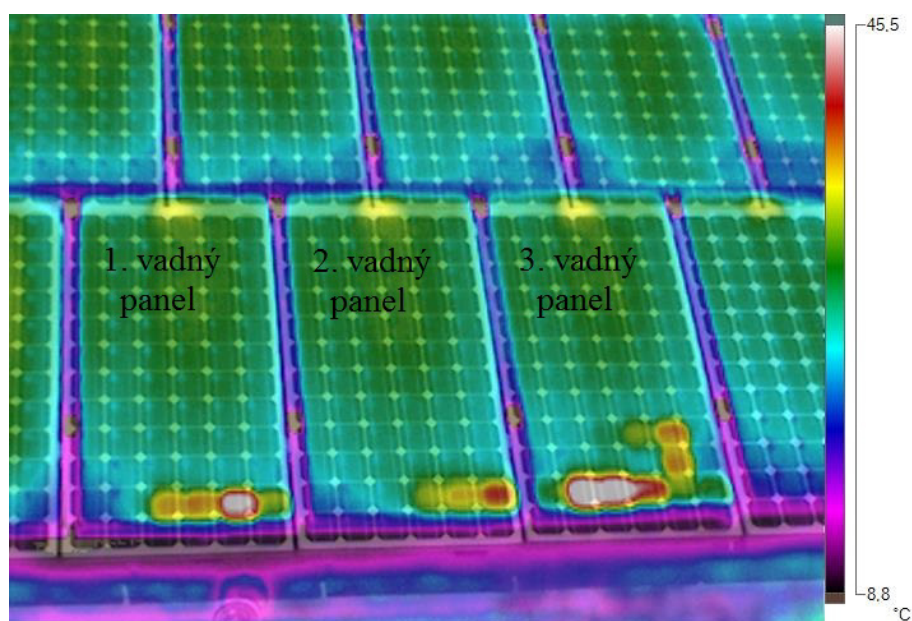
Na obrázku č. 20 můžeme postřehnout přehřátá místa – červené plošky v horních partiích modulů. V těchto místech je nalepena svorkovnice FVP, která zabraňuje lepšímu odvodu tepla z FVČ ležících v blízkosti svorkovnice. To nepovažujeme za vadu FVP. U horních modulů v horní části obrázku je v těchto místech vidět zelená barva. To znamená lepší odvod tepla z tohoto místa FVP. Důvodem v tomto případě je odkrytí střešní krytiny při měření V-A charakteristik analyzátozem a tím lepší chlazení svorkovnic proudícím vzduchem. Světle modrá barva na okrajích celého FV generátoru ukazuje, že přesahy FVP přes okraje střechy mohou být také lépe chlazeny prouděním okolního vzduchu.



Obrázek 21: Vadné články na FVP

Na obrázku č. 21 jsou znázorněny FV moduly s výskytem nepravidelné tepelné anomálie. Červená barva přecházející až do bílé (zvýšená teplota) může představovat výrobní vady či znečištění modulů. Po důkladném omytí vadných modulů se termogramy nelišily, z čehož vyplývá, že FV články mají nejspíše výrobní vady. Tyto vadné články, které nevyrábějí elektrickou energii, se mění z generátoru na spotřebič v důsledku nabývání opačné polarizace. Pokud uvedený problém není v následné době odstraněn, jsou pak ohroženy i sousední články modulu. Jestliže teplota vadného článku vzroste oproti okolnímu průměru o 10°C , pak nastává riziko snížení jak životnosti, tak i výkonnosti modulů. [6]

Po důkladném prozkoumání všech termogramů jsme zjistili, že solární systém naší FVE má tři vadné FV panely (obr. č. 22). První a druhý vadný panel jsou součástí stringu č. 2 a třetí vadný panel je součástí stringu č. 3. Rozložení FVP do jednotlivých stringů znázorňuje již obrázek č. 5 v podkapitole 1.2.



Obrázek 22: Detailní snímek vadných FVP

Na obrázku č. 22 vidíme detailní rozbor vadných FV panelů. První vadný panel má poškozeny jeden FVČ. Druhý vadný panel má poškozeny také jeden FVČ a nejvíce poškozený je třetí panel, který má tři poškozené FVČ a dva, u kterých se začíná poškození projevovat. Tyto vadné FVP budou nadále kontrolovány pomocí I-V analyzátoru.

V následující kapitole se budeme zabývat měřením V-A charakteristik pomocí I-V analyzátoru, které nám potvrdí závady na modulech.

4 Měření V-A charakteristik FVP

V následující kapitole popisujeme měření Volt-Ampérových charakteristik FVP. Měření V-A charakteristik je základním způsobem pro zjištění elektrického výkonu FV panelu včetně jeho případných odchylek. Toto měření může sloužit jako jedno z mnoha kritérií při reklamaci FV panelu. Pro měření V-A charakteristik používáme analyzátor I-V. [16]

Pomocí tohoto měření můžeme určit následující parametry FV panelu:

- Napětí naprázdno (U_{OC})
- Proud nakrátko (I_{SC})
- Napětí maximálního výkonu (U_{MPP})
- Proud maximálního výkonu (I_{MPP})
- Maximální výkon (P_{MPP})
- Účinnost článku
- Činitel plnění (Fill Factor)

Analýzu jednotlivých parametrů FVP uvádíme v podkapitole 4.2.

4.1 Analyzátor I-V 400

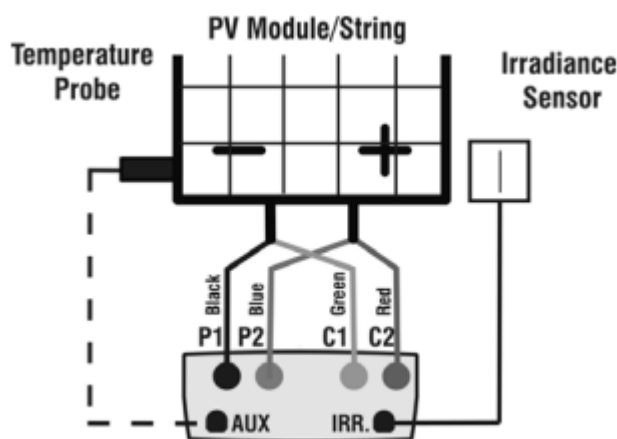
Multifunkční přístroj I-V 400 (obr. č. 23) je ideálním řešením pro běžnou i plánovanou údržbu FVS. S tímto přístrojem můžeme objevit poruchy či problémy v systémech FVS velice rychle, efektivně a intuitivně. Měření V-A charakteristiky a parametrů základních vlastností jednotlivých modulů či stringů se provádí v terénu. Zařízení pro svou správnou funkci musí pomocí připojitelných senzorů měřit také teplotu na modulech a dopadající sluneční záření (obr. č. 25 a 26). Z naměřených hodnot se poté odvodí V-A charakteristiky za standardních testovacích podmínek (STC). Výsledné charakteristiky se porovnávají s nominálními údaji, které uvádí výrobce fotovoltaických modulů. Přístroj okamžitě určí, zda testovaný modul či řetězec odpovídá charakteristikám uváženým výrobcem. Výstupní napětí nebo proud z modulu či stringu se měří pomocí čtyřdrátového zapojení (obr. č. 24). Toto čtyřdrátové zapojení nám zaručuje přesné a správné měření. Kromě měření V-A charakteristiky a odvození vlastností za STC porovnává přístroj získané hodnoty s nominálními a okamžitě uvádí, jestli je modul či string v toleranci (OK/KO). Tudíž obsluha nemusí provádět žádné složité výpočty. [21]



Obrázek 23: I-V 400[8]

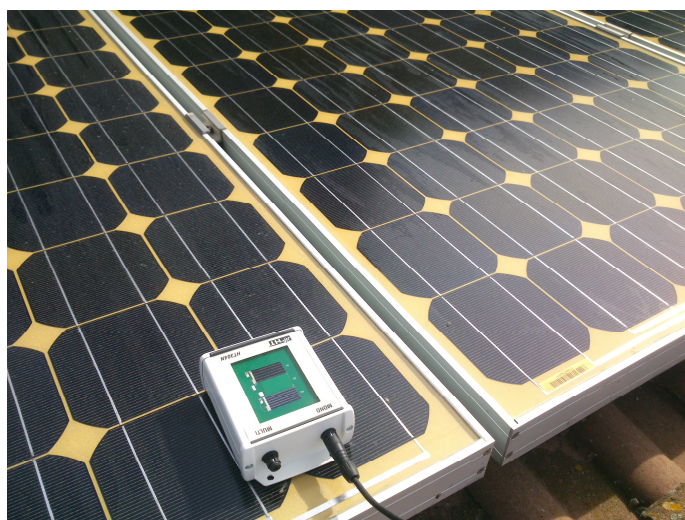
Na obrázku č. 23 je zobrazen čelní pohled na analyzátor I-V 400. Technické parametry a funkce analyzátoru I-V 400 HT jsou k dispozici v příloze D.

Na následujících obrázcích č. 24, 25 a 26 znázorňujeme vlastní zapojení a příslušenství analyzátoru.



Obrázek 24: Schéma zapojení analyzátoru k panelu či stringu[12]

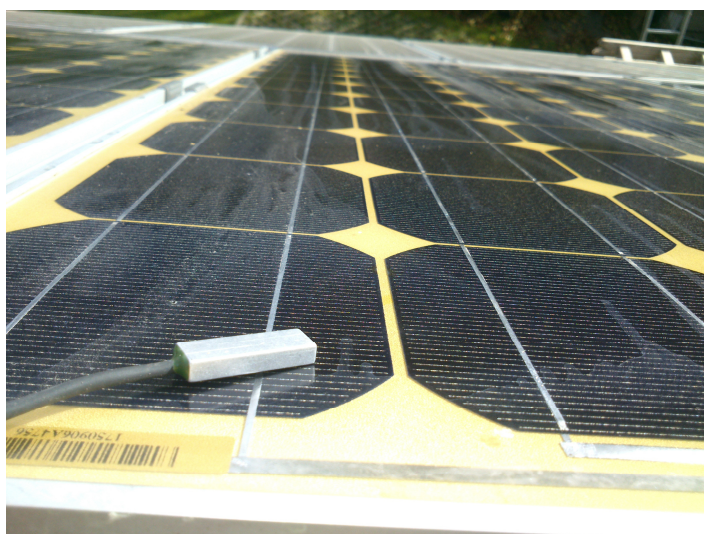
Obrázek č. 24 znázorňuje schéma připojení analyzátoru k FV panelu či stringu. Přívodní kabely a zdířky do analyzátoru jsou barevně označeny, kvůli správnosti zapojení. Snímač teploty (Temperature Probe) byl zapojen do konektoru (AUX) a položen na FVČ obrázek č. 26. Referenční článek (Irradiance Sensor), který měří intenzitu záření, byl zapojen do konektoru (IRR) a přiložen na FVP obrázek č. 25.



Obrázek 25: Referenční článek pro měření intenzity

Na obrázku č 25 je ukázáno správné nainstalování referenčního článku pro měření intenzity slunečního záření. Aby referenční článek dosáhl správných výsledků, musí kopírovat FVP (sklon i orientaci). Při měření jednoho FVP mohl měřicí senzor slunečního záření ležet na sousedním FVP, aniž by znehodnotil výsledek měření, protože nijak měřený panel nezastiňuje a je v jeho bezprostřední blízkosti.

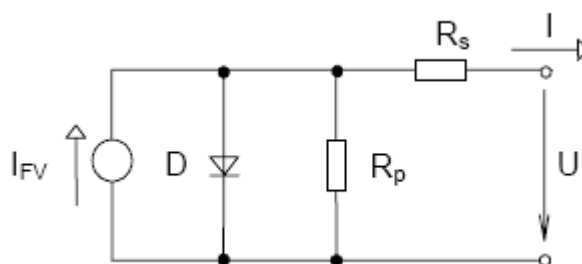
Na následujícím obrázku č. 26 vidíme snímač teploty solárních panelů. Po přiložení snímače se teplota neustále zvyšovala. Měření charakteristik bylo provedeno až po ustálení měřené hodnoty teploty vlastního FVP.



Obrázek 26: Snímač teploty solárních modulů

4.2 Základní parametry FV článku ovlivňující průběh V-A charakteristiky

Schéma FV článku je znázorněno na obrázku č. 27. Z tohoto schéma je jasné, že pro dosažení maximálního výkonu FV článku musí FV článek vygenerovat maximální proud (I_{FV}), (tzn. zajištění maximální generaci nosičů v objemu článku, jejich sběr přechodem PN a minimalizovat rekombinaci jak v objemu FV článku, tak i na jeho povrchu), minimalizovat sériový odpor (R_S) a dosáhnout velký svodový odpor (R_P). Na výrobu FV článku se stále vyvíjejí nové technologie, které se snaží o nejnižší výrobní cenu, vysokou účinnost a vysokou spolehlivost FV článku. [22]



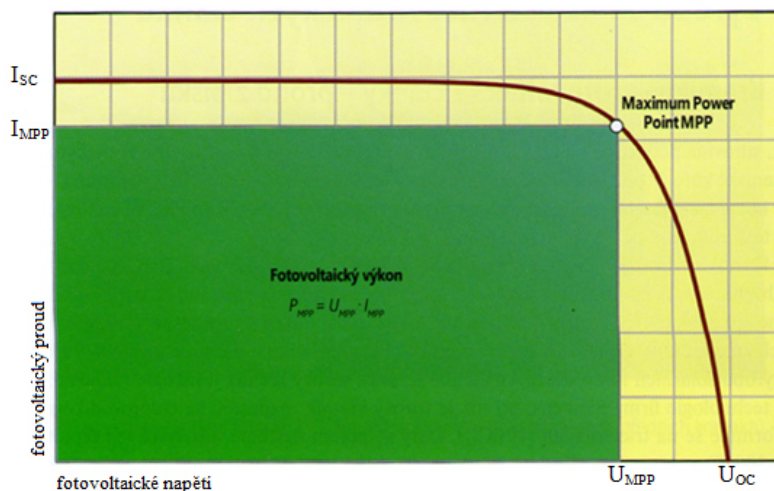
Obrázek 27: Náhradní schéma FV článku [22]

Poznámka:

I_{FV}	[A]	generovaný proud
R_S	[Ω]	sériový odpor článku
R_P	[Ω]	paralelní svod článku
D		fotodioda

Elektrické vlastnosti FV článku se popisují v závislosti proudu na napětí. Elektrické parametry FV článku můžeme změřit pomocí analyzátoru nebo je vyhledat z příslušných katalogových prospektů. Každý článek po dokončení výroby musí být změřen, protože články, z nichž se skládají jednotlivé panely, by měly mít velmi podobné vlastnosti. Při měření článků se postupuje podle standartních testovacích podmínek (STC- Standart Test Condition). Standartní testovací podmínky jsou dosažitelné laboratorně a znamenají, že každý článek pracuje při teplotě 25°C a je ozářen světlem, které odpovídá slunečnímu záření o intenzitě 1000 W/m² při slunečnímu spektru AM 1,5. [3]

Následující graf č. 4 představuje základní V-A charakteristiku FV článku.



Graf 4: V-A charakteristika FV článku [2]

Nyní se budeme zabývat popisem jednotlivých parametrů z grafu č. 4.

Proud nakrátko - I_{SC}

Proud nakrátko je charakteristickou hodnotou V-A charakteristiky, která bývá většinou uváděna v dokumentaci nebo na štítku daného zařízení, v našem případě FVP, nebo ji můžeme pohodlně odečíst z V-A charakteristiky. Proud nakrátko je v podstatě maximální proud, který může fotovoltaický článek při daném slunečním osvětlení dodávat. Velikost tohoto proudu je závislá na:

- intenzitě osvětlení FVČ
- spektrální citlivosti FVČ
- ploše FVČ
- teplotě

Velikost proudu nakrátko se může pohybovat v desítkách mA až jednotek A. U největších běžně dostupných FVČ může být při plném ozáření proud nakrátko vyšší než 6 A. [19]

Napětí naprázdno - U_{OC}

Další charakteristickou veličinou V-A charakteristiky je napětí naprázdno.

Toto napětí je v podstatě maximální napětí při dané teplotě a intenzitě záření, které naměříme

na svorkách FVČ bez připojené zátěže. U monokrystalických FVČ článků se napětí naprázdno pohybuje kolem 0,6 V. [4]

Maximální výkon FVČ – MPP (Maximum Power Point)

Optimální pracovní bod fotočlánku, který dodává maximální výkon. Tento bod leží na V-A charakteristice ve vrcholu vepsaného obdélníka s maximální plochou. [16]

P_{MPP} - maximální výkon solárního článku, $P_{MPP} = U_{MPP} \times I_{MPP}$

U_{MPP} - napětí při maximálním výkonu solárního článku

I_{MPP} - proud při maximálním výkonu solárního článku

R_m – vnitřní odpor při maximálním výkonu solárního článku $R_m = U_{MPP} / I_{MPP}$

Proud I_{450}

Tento proud se měří kvůli lepšímu určení polohy MPP, který protéká článkem při napětí 450 mV. [16]

Činitel naplnění (FF-Fill Factor)

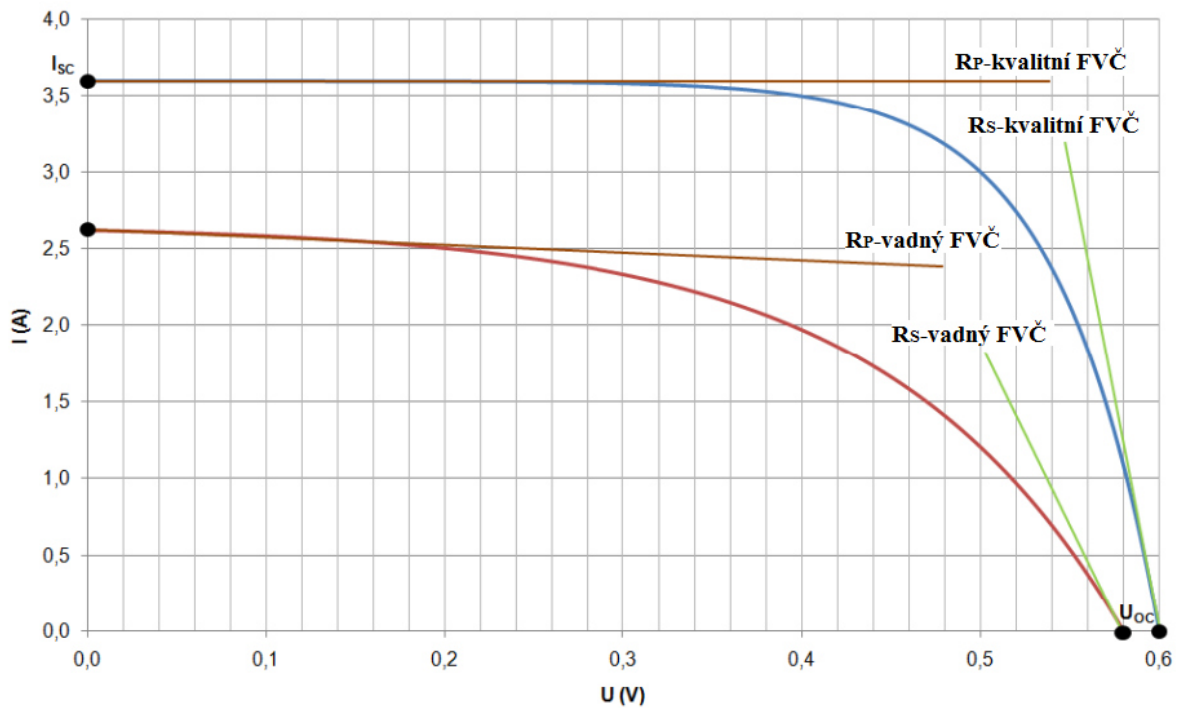
Faktor plnění (činitel naplnění), je dán matematickým vztahem:

$$FF = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{U_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (1.2)$$

Činitel naplnění představuje elektrickou účinnost FV panelu. FF je nejvíce závislý na morfologii materiálu, kvalitě kontaktů či odporu aktivní plochy. Z tohoto vztahu získáme tak přibližnou představu o kvalitě proměřovaného fotovoltaického panelu či článku. [16]

Sériový a paralelní odpor FVČ

Hodnota velikosti sériového a paralelního odporu určuje kvalitu FVČ. Čím je vyšší hodnota sériového odporu, tím nižší bude svorkové napětí FVČ a tím větší bude úbytek napětí na sériovém odporu. Naopak nízká hodnota paralelního odporu signalizuje, že FVČ je vadný. (graf č. 5). [15]



Graf 5: V-A charakteristika kvalitního a vadného FV článku [15]

V grafu č. 5 je znázorněn rozdíl mezi kvalitním a vadným FVČ. Plocha obdélníku (výkon FVČ) vepsaného pod jednotlivé křivky V-A charakteristik kvalitního a vadného FVČ je u vadného FVČ zřetelně menší než u kvalitního. Průběh křivek V-A charakteristik je dán strmostí přímeček vyjadřujících paralelní a sériový odpor.

Účinnost FV článku

Účinnost přeměny slunečního záření FV článku (η) je dána poměrem mezi výkonem dodávaného FV článkem a výkonem ozářením slunce. [1]

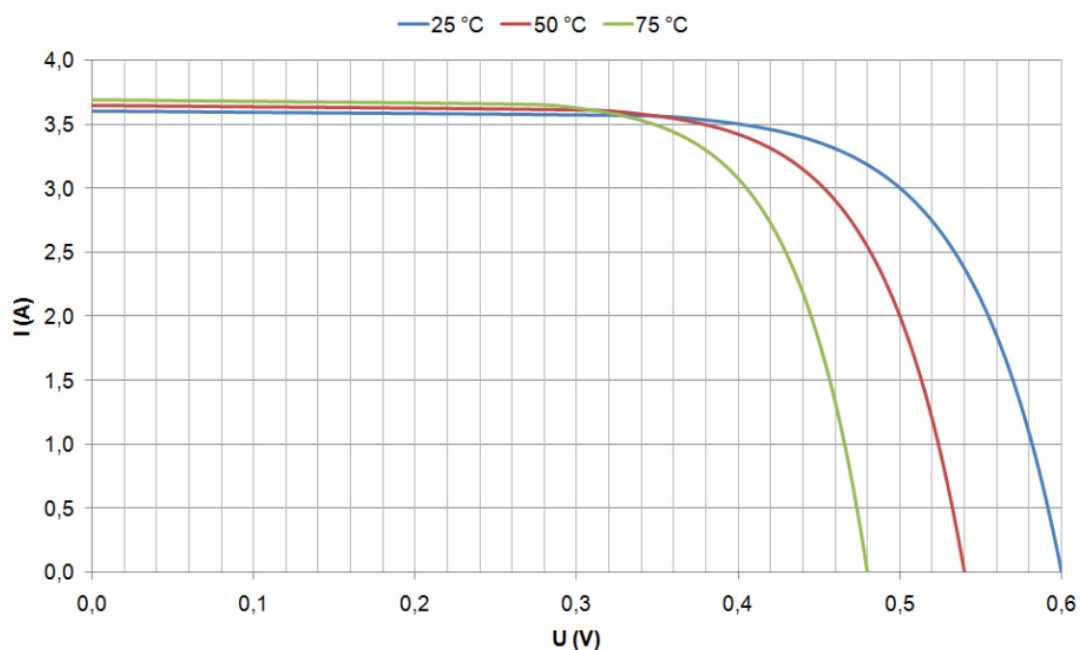
$$\eta = \frac{P_{MPP}}{A \cdot e} \quad (1.3)$$

P_{MPP}	[W]	bod maximálního výkonu FV článku
A	[m ²]	plocha FV článku
e	[W/m ²]	slunečné ozáření

Vliv počasí na FV články

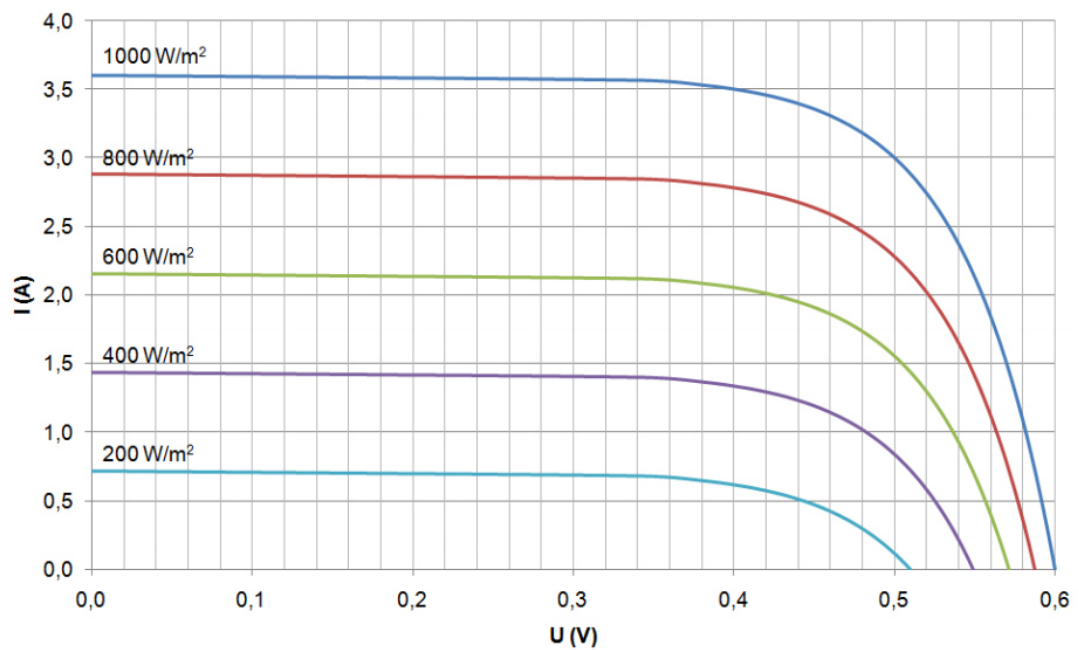
FV zařízení pracují jen zřídka ve jmenovitém provozním režimu. To znamená, že podmínky nedosahují laboratorních (STC) hodnot. Výkon FVP se v průběhu dne neustále mění v závislosti na teplotě a intenzitě ozáření FVP.

Napětí FV modulu je ovlivňováno hlavně teplotou FV modulu, což znázorňuje následující graf č. 6. V zimním období kdy je teplota FV modulu nižší se nám může napětí zvýšit nad jmenovitou hodnotu a naopak v letních měsících, kdy je FV modul více zahřátý se napětí od jmenovité hodnoty snižuje. [1]



Graf 6: Charakteristika solárních článků při rozdílných teplotách [17]

Na následujícím grafu č. 7 vidíme, že intenzita ozáření se přímo projevuje na proudu FV modulu. Když se intenzita slunečního záření sníží na polovinu, dává FV modul jen poloviční proud. [1]



Graf 7: Charakteristika FV článků při rozdílných intenzitách ozáření [18]

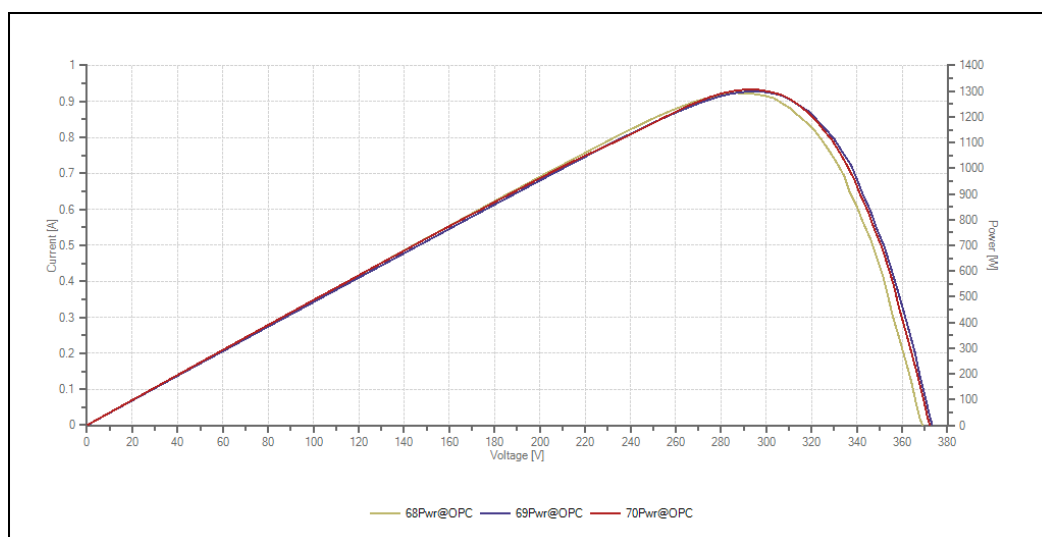
4.3 Měření V-A charakteristik

V první řadě jsme proměřovali V-A charakteristiky jednotlivých stringů. Poté, co jsme zjistili rozdíly ve druhém a třetím stringu, jsme se zaměřili především na tyto části FVS. Připojení I-V analyzátoru ke třetímu stringu při měření V-A charakteristik ukazuje obrázek č. 28.



Obrázek 28: Měření V-A charakteristiky jednoho stringu z FVE

Naměřené výkonové charakteristiky jednotlivých stringů jsou zobrazeny v grafu č. 8 a v tabulce č. 5.



Graf 8: Měření výkonových charakteristik tří stringů

Long Energy 175 W	P_{MPP} [W]	V_{OC} [V]	V_{MPP} [V]	I_{MPP} [A]	I_{SC} [A]	Irradiance [W/m ²]	Module Temp. [°C]	FF [-]
Meas. 68	Not Ok (-3.53%) třetí string							
Measures@OPC	1285,14	368,60	284,32	4,52	4,89	897,00	39,20	70,00
Meas Avg@OPC	136,68	40,96	31,82	4,52	4,89	897,00	39,20	70,00
STC	163,57	43,52	34,25	4,98	5,39	1000,00	25,00	70,00
Meas. 69	Ok* (-2.01%) druhý string							
Measures@OPC	1299,75	373,30	294,06	4,42	4,82	890,00	38,30	71,00
Meas Avg@OPC	140,45	41,48	32,67	4,42	4,82	890,00	38,30	71,00
STC	168,34	44,07	35,14	4,88	5,32	1000,00	25,00	72,00
Meas. 70	Ok* (-1.52%) první string							
Measures@OPC	1308,27	371,70	294,06	4,45	4,91	885,00	37,90	72,00
Meas Avg@OPC	145,36	41,30	32,67	4,45	4,91	885,00	37,90	72,00
STC	172,35	43,88	35,13	4,91	5,41	1000,00	25,00	73,00
Nominal	175,00	44,20	35,80	4,89	5,25	1000,00	25,00	75,00

Tabulka 5: Naměřené hodnoty z tří stringů

Další měření probíhala přímo na FV panelech stringů, které se nám jako vadné ukázaly i na termogramech (obr. č. 22), a pro srovnání i na dobrých FVP

Připojení I-V analyzátoru k jednotlivým FV panelům při měření V-A charakteristik ukazuje obrázek č. 29.



Obrázek 29: Měření V-A a výkonových charakteristik modulu

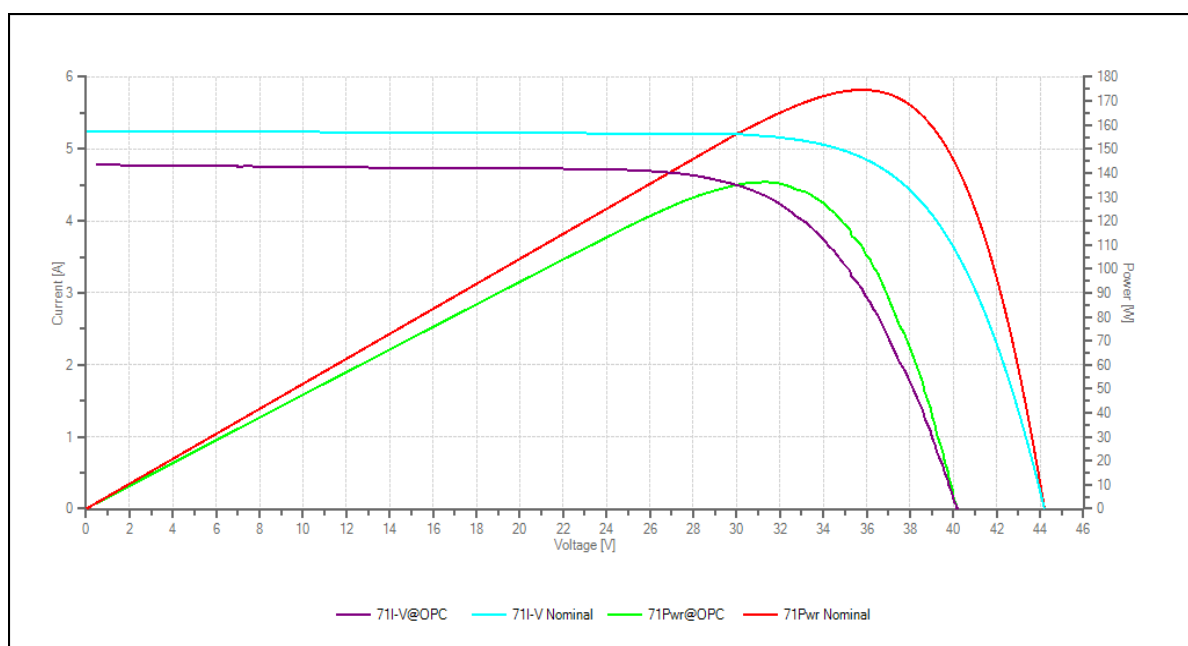
Schématické znázornění zapojení I-V analyzátoru s FVP uvedeno v příloze E.

V další podkapitole se budeme věnovat detailnímu porovnání měření V-A a výkonových charakteristik jednoho FVP vadného a jednoho bez závad.

4.4 Porovnání naměřených V-A charakteristik

Měření č. 71 bylo provedeno na panelu bez závad, výsledky jsou uvedeny v grafu č. 9 a tabulce č. 6.

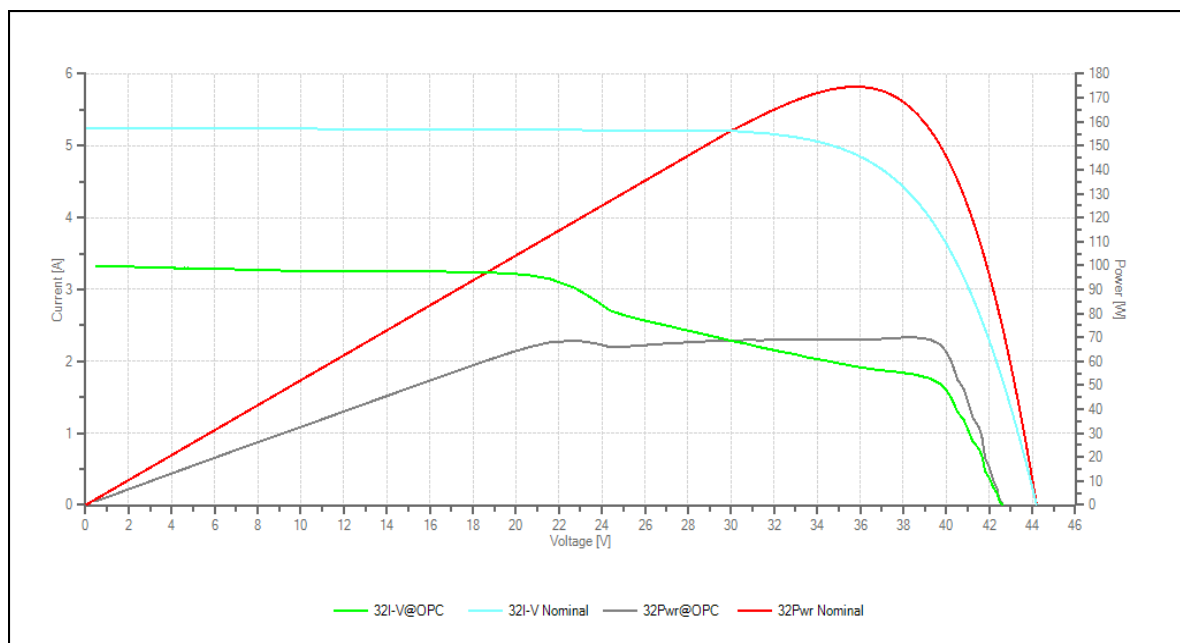
Měření č. 30 bylo provedeno na panelu poškozeném. Výsledky jsou uvedeny v grafu č. 10 a tabulce č. 7.



Graf 9: V-A a výkonová charakteristika FVP bez závad

Long Energy 175 W	P_{MPP} [W]	V_{OC} [V]	V_{MPP} [V]	I_{MPP} [A]	I_{SC} [A]	Irradiance [W/m ²]	Module Temp. [°C]	FF [-]
Meas. 71	Ok* (-0,32%)							
Measures@OPC	136,19	40,19	31,30	4,35	4,78	825,00	38,70	71,00
STC	174,44	42,59	33,36	5,23	5,75	1000,00	25,00	71,00
Nominal	175,00	44,20	35,79	4,88	5,25	1000,00	25,00	75,00

Tabulka 6: Naměřené hodnoty pro FVP bez závad



Graf 10: V-A a výkonová charakteristika vadného FVP

Long Energy 175 W	P_{MPP} [W]	V_{OC} [V]	V_{MPP} [V]	I_{MPP} [A]	I_{SC} [A]	Irradiance [W/m ²]	Module Temp. [°C]	FF [-]
Meas. 30	Not Ok (-45.28%)							
Measures@OPC	69,99	42,60	38,52	1,82	3,33	842,00	38,00	48,00
STC	95,76	42,60	38,52	1,82	3,33	1000,00	25,00	49,00
Nominal	175,00	44,20	35,79	4,88	5,25	1000,00	25,00	75,00

Tabulka 7: Naměřené hodnoty pro vadný FVP

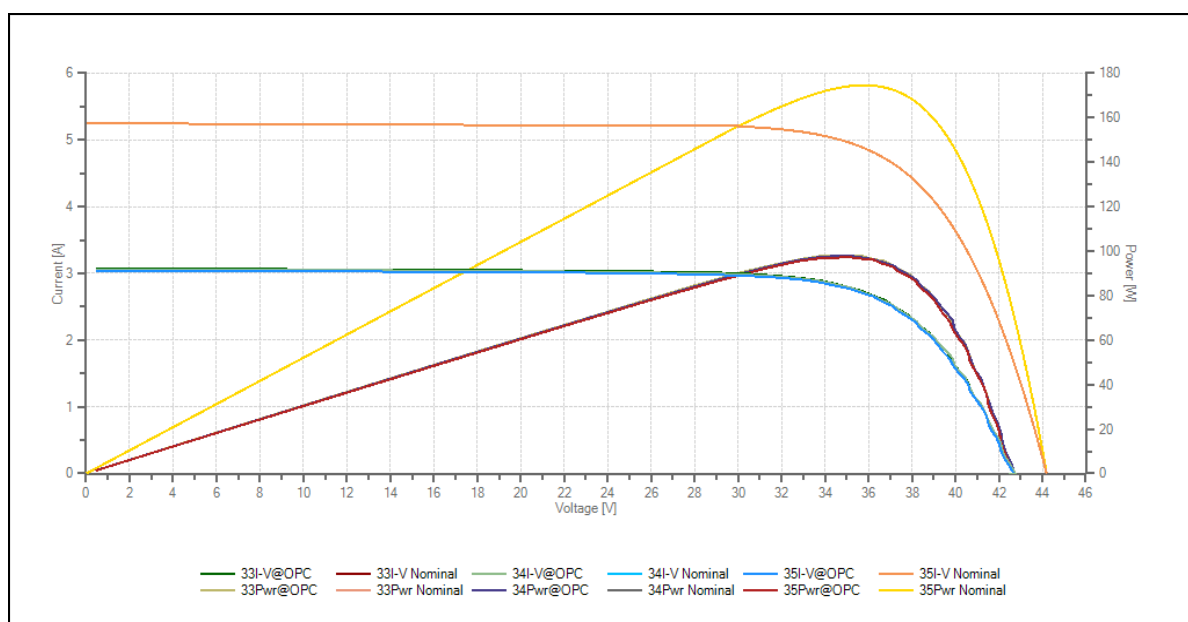
Z grafu č. 9 a tabulky č. 6 můžeme odečíst, že maximální výkon FVP je 136,19 W při daných podmínkách. Průběh křivek odpovídá tvarem správnému průběhu křivky V-A a výkonové charakteristiky. Dané podmínky při měření se lišily od křivek znázorňující nominální hodnoty pro STC a z toho vyplývá nižší průběh křivek.

Z grafu č. 10 a tabulky č. 7 můžeme odečíst výkon 69,99 W a velké deformace křivek V-A a výkonové charakteristiky způsobené vadou některého z FVČ. Pro srovnání je v obou grafech (č. 9 a 10) vykreslena i křivka V-A a výkonové charakteristiky nominálních hodnot pro STC. Hodnoty v grafu č. 10 a v tabulce č. 7 jsou naměřeny na prvním vadném FVP druhého stringu.

4.5 Naměřené V-A charakteristiky za různých provozních podmínek

V dalším jsme se věnovali srovnání výkonů bezchybných FVP pro různé provozní podmínky: Měření V-A a výkonových charakteristik bezvadných FVP probíhalo ve dvou ročních obdobích. První měření bylo uskutečněno ve dnech 2. 10. až 4. 10. 2013 při intenzitě slunečního záření okolo 550 W/m^2 a teplota FV článků se pohybovala okolo $17 \text{ }^\circ\text{C}$ (graf č. 11 a tabulka č. 8). Při druhém měření, které se uskutečnilo 1. 4. 2014, se hodnoty výrazně změnilly (intenzita se pohybovala okolo 850 W/m^2 a teplota FVČ okolo 39°C) a to se projevilo ve zvýšeném celkovém výkonu (graf č. 12 a tabulka č. 9).

Měření ve dnech 2. 10. až 4. 10. 2013



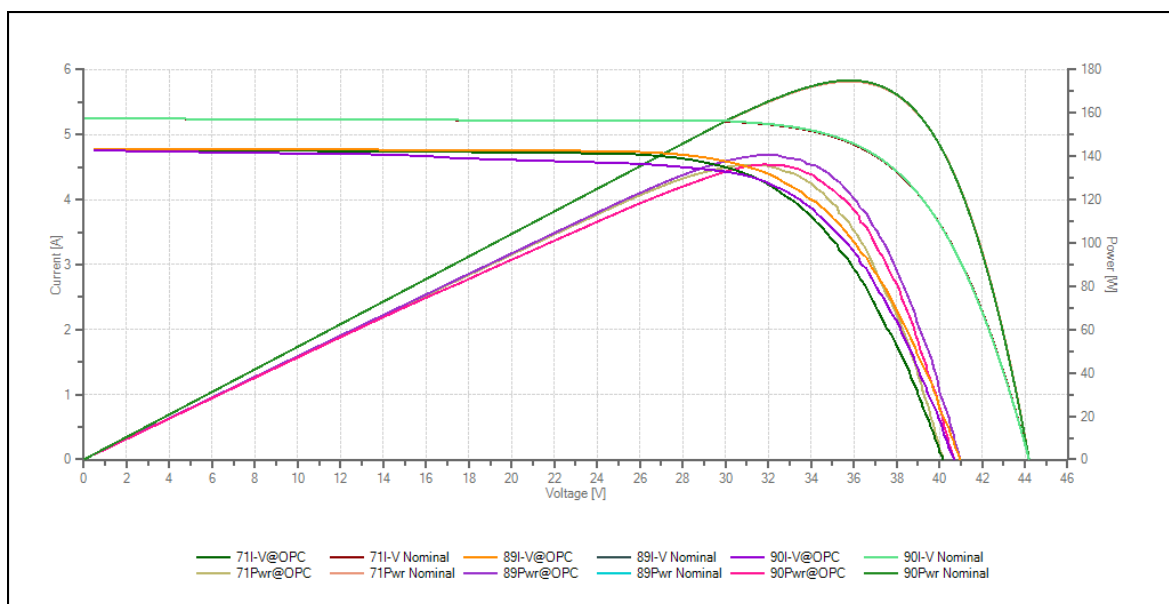
Graf 11: V-A a výkonové charakteristiky FVP při nepříznivých klimatických podmínkách

V následující tabulce č. 8 jsou uvedeny naměřené hodnoty z října 2013.

Long Energy 175 W	P _{MPP} [W]	V _{OC} [V]	V _{MPP} [V]	I _{MPP} [A]	I _{SC} [A]	Irradiance [W/m ²]	Module Temp. [°C]	FF [-]
Meas. 33	Not Ok* (-4.29%)							
Measures@OPC	98,09	42,73	34,45	2,85	3,07	550,00	17,00	75,00
STC	167,48	43,10	33,15	5,05	5,55	1000,00	25,00	70,00
Meas. 34	Not Ok* (-4.28%)							
Measures@OPC	97,98	42,69	35,16	2,79	3,06	556,00	17,30	75,00
STC	167,50	43,06	33,23	5,04	5,53	1000,00	25,00	70,00
Meas. 35	Not Ok* (-4.88%)							
Measures@OPC	97,36	42,66	35,09	2,77	3,04	549,00	16,90	75,00
STC	166,46	43,03	33,16	5,02	5,51	1000,00	25,00	70,00
Nominal	175,00	44,20	35,79	4,88	5,25	1000,00	25,00	75,00

Tabulka 8: Naměřené hodnoty v říjnu 2013

Graf č. 11 a tabulka č. 8 nám zobrazuje 3 různá měření V-A a výkonových charakteristik při intenzitě záření okolo 550 W/m² a o teplotě FV článků okolo 17 °C. Pro lepší představu porovnááme V-A a výkonové charakteristiky s nominální hodnotou FV panelu, aby bylo zřetelné o kolik je výkon FVP nižší. Stejný průběh charakteristik svědčí podobné a dobré funkci měřených FVP. Nižší hodnoty jsou způsobeny klimatickými podmínkami při měření.

Měření dne 1. 4. 2014**Graf 12: V-A a výkonové charakteristiky FVP při příznivých klimatických podmínkách**

Long Energy 175 W	P_{MPP} [W]	V_{OC} [V]	V_{MPP} [V]	I_{MPP} [A]	I_{SC} [A]	Irradiance [W/m ²]	Module Temp. [°C]	FF [-]
Meas. 71	Not Ok* (-3.24%)							
Measures@OPC	136,19	40,19	31,30	4,35	4,78	855,00	38,30	71,00
STC	169,32	42,53	33,37	5,07	5,58	1000,00	25,00	71,00
Meas. 89	Ok* (-0.20%)							
Measures@OPC	140,75	40,99	32,01	4,40	4,79	876,00	39,80	72,00
STC	174,65	43,38	34,06	5,13	5,58	1000,00	25,00	72,00
Meas. 90	Not Ok* (-3.38%)							
Measures@OPC	136,25	40,73	31,87	4,28	4,76	861,00	38,80	70,00
STC	169,08	43,11	33,91	4,99	5,55	1000,00	25,00	71,00
Nominal	175,00	44,20	35,80	4,89	5,25	1000,00	25,00	75,00

Tabulka 9: Naměřené hodnoty z dubna 2014

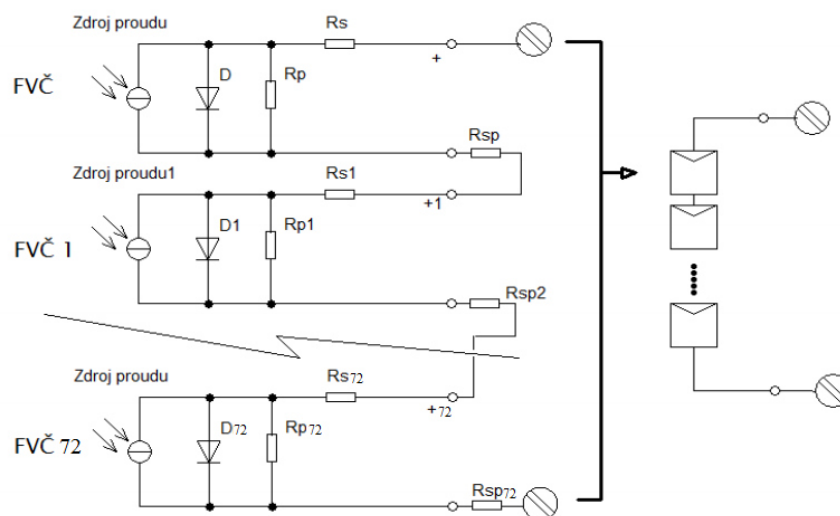
Z naměřených hodnot uvedených v grafu č. 12 a tabulce č. 9 je zřetelný nárůst naměřených hodnot výkonu, který je způsobený příznivějšími klimatickými podmínkami v průběhu tohoto měření.

V další podkapitole se budeme věnovat vlivu částečného zastínění FVČ v plně funkčních FV,

abychom zjistili jakým způsobem se na výkonu FVP projeví zastínění například i jednoho FVČ (listí, sněh, ptačí trus apod.).

4.6 Vliv částečného zastínění FVP

Ve FV panelu typu Long Energy 175 W je zapojeno 72 FV článků do série (obr. č. 30 a 31). Kvůli sériovému zapojení jsou moduly velmi citlivé na částečné zastínění. Pokud jsou jednotlivé FVČ v sérii rozdílně ozářeny, dává celá větev FV článků takový proud jako nejméně osvětlený FVČ. Kdyby byl jeden FVČ zastíněn listem či ptačím trusem tak by nevyráběl žádný proud. Ostatní FV články v sérii, které jsou plně osvětlené, vyrábějí proud, který prochází neosvětleným FVČ a může dojít k destrukci zastíněného článku. Aby k tomu nedocházelo, používají se obtokové (bypass) diody. Tyto diody přemostí zastíněný článek a proud jde mimo něj. FV panel typu Long Energy 175 W obsahuje 3 bypass diody (obr. č. 31). [1]



Obrázek 30: Sériově zapojené FV články [13]

Na následujícím obrázku č. 31 je schematicky znázorněno uspořádání FV modulu s třemi bypass diodami. Každá bypass dioda přemostí 24 FV článků při zastínění některého z příslušných článků.



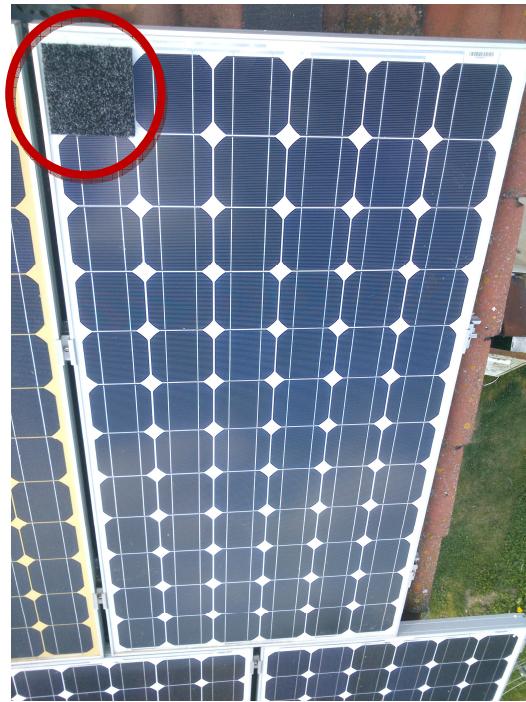
Obrázek 31: Vliv stínění FV panelů [14]

Pro demonstraci funkce bypass diod jsme provedli měření se zastíněním:

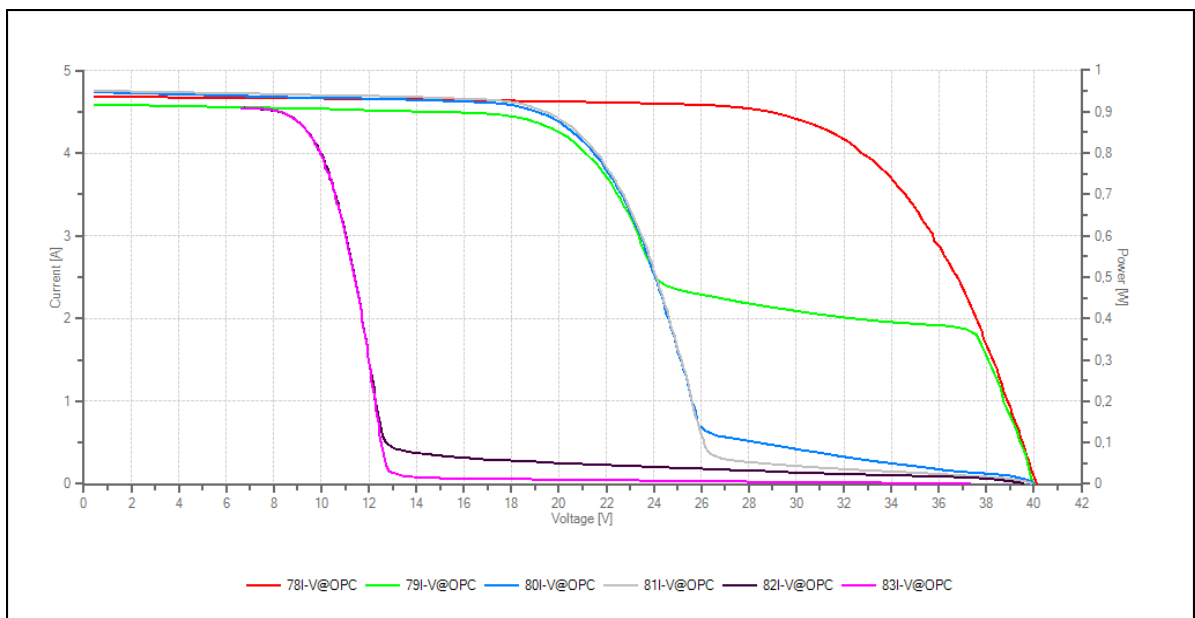
- 1) jeden FV článek (obr. č. 32) – měření č. 79
- 2) dva FV články vedle sebe – měření č. 80
- 3) dvě svislé řady (24 FV článků) – měření č. 81
- 4) tři FV články vedle sebe – měření č. 82
- 5) čtyři svislé řady (48 FV článků) měření č. 83

Výsledky měření V-A charakteristik jsou uvedeny v grafech č. 11 a tabulce č. 8 a měření výkonnostních charakteristik v grafu č. 12 a v tabulce č. 8.

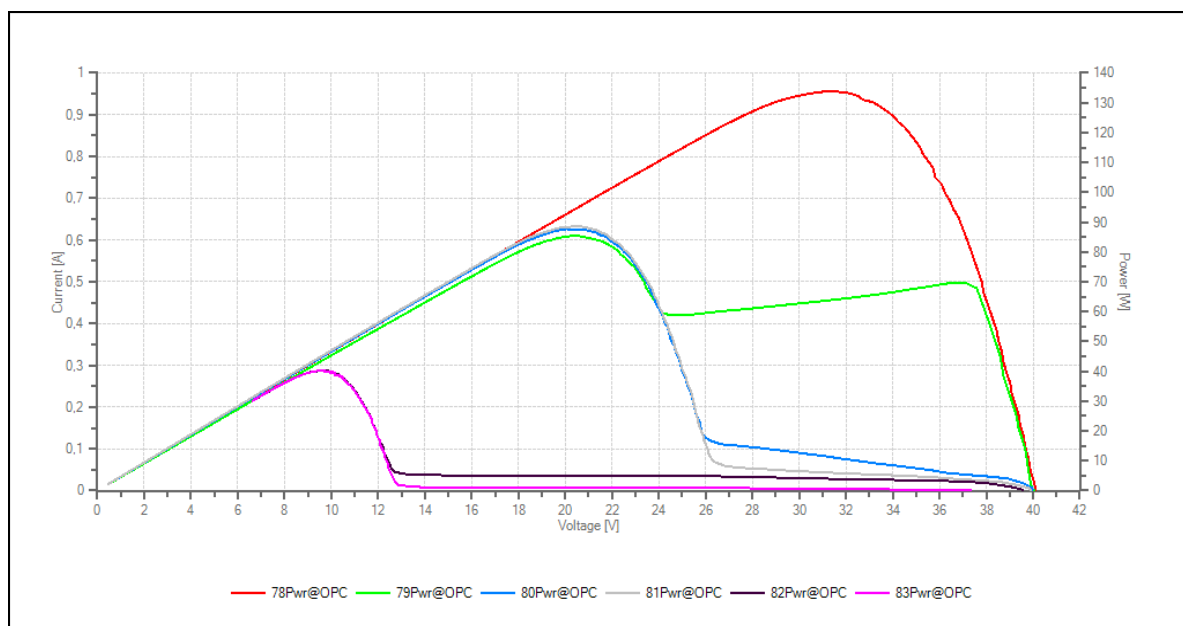
Měření číslo 78 ukazuje hodnoty naměřené bez zastínění.



Obrázek 32: Ukázka zastíněného FV panelu (zastíněn jeden FVČ)



Graf 13: V-A charakteristika rozdílně zastíněného FV panelu



Graf 14: Výkonová charakteristika rozdílně zastíněného FV panelu

V grafech č. 11 a č. 12 jsou znázorněny V-A a výkonové charakteristiky postupně zastíněného FV panelu. Charakteristiky označené červenou barvou jsou uvedeny k porovnání, jak pracuje plně funkční FV článek (měření č. 78 je bez stínění).

Tabulka č. 8 obsahuje naměřené hodnoty rozdílně zastíněného FV panelu.

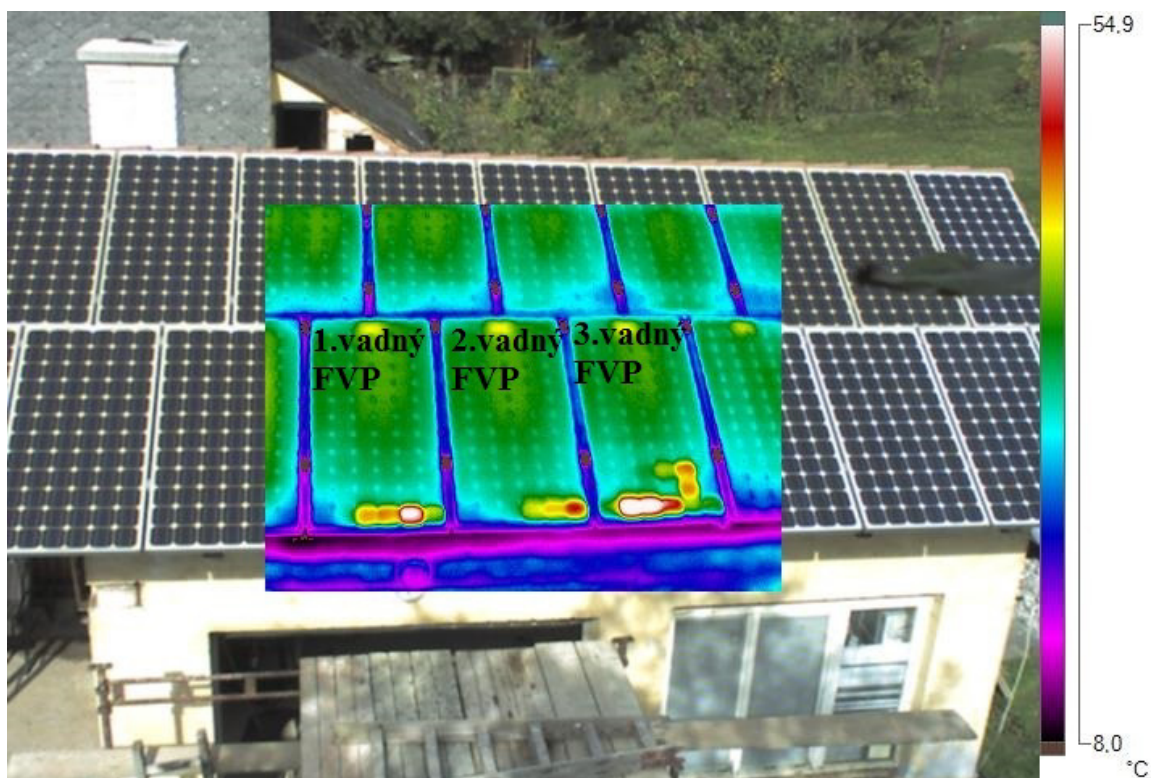
Long Energy 175 W	P _{MPP} [W]	V _{OC} [V]	V _{MPP} [V]	I _{MPP} [A]	I _{SC} [A]	Irradiance [W/m ²]	Module Temp. [°C]	FF [-]
Meas. 78	Ok* (-2,29%) bez stínění							
Measures@OPC	133,81	40,13	31,30	4,28	4,68	805,00	36,20	71,00
STC	170,99	42,23	32,93	5,19	5,69	1000,00	25,00	71,00
Meas. 79	Not Ok (-35,93%) zastíněn 1 FV článek							
Measures@OPC	85,46	40,03	20,37	4,20	4,59	811,00	36,30	47,00
STC	112,12	42,13	22,00	5,10	5,57	1000,00	25,00	48,00
Meas. 80	Not Ok (-33,93%) zastíněné 2 FV články vedle sebe							
Measures@OPC	87,69	40,01	20,08	4,37	4,74	817,00	36,40	46,00
STC	115,56	42,10	22,32	5,16	5,63	1000,00	25,00	48,00
Meas. 81	Not Ok (-32,20%) zastíněné 2 svislé řady FV článků (24 FVČ)							
Measures@OPC	88,75	39,94	20,58	4,31	4,75	813,00	36,40	47,00
STC	118,66	42,03	22,66	5,24	5,77	1000,00	25,00	49,00
Meas. 82	Not Ok (-65,95%) zastíněné 3 FV články vedle sebe							
Measures@OPC	40,39	39,59	9,58	4,22	4,54	822,00	36,40	22,00
STC	59,59	41,66	11,63	5,12	5,51	1000,00	25,00	26,00
Meas. 83	Not Ok (-66,44%) zastíněné 4 svislé řady FV článků (48 FVČ)							
Measures@OPC	40,23	37,34	9,72	4,14	4,54	801,00	36,50	24,00
STC	58,72	39,30	11,30	5,20	5,51	1000,00	25,00	27,00
Nominal	175,00	44,20	35,80	4,89	5,25	1000,00	25,00	75,00

Tabulka 10: Naměřené hodnoty různě zastíněného FV panelu

Z grafů č. 11 a č. 12 a tabulky č. 8 vyplývá, že stínění jednoho FV článku má na výkon FVP stejný vliv jako stínění dvou svislých řad. Stínění tří FV článků vedle sebe má vliv na výkon FVP jako stínění čtyř svislých řad.

5 Zhodnocení naměřených hodnot FVE

Termokamerou jsme zjistili, a následným měřením ověřili, že z dvaceti sedmi FVP jsou tři FVP poškozené, event. byly dodány s nějakou výrobní vadou. Vyplývá to z termogramu na obrázku č. 33.



Obrázek 33: Výsledné zobrazení vadných FVP

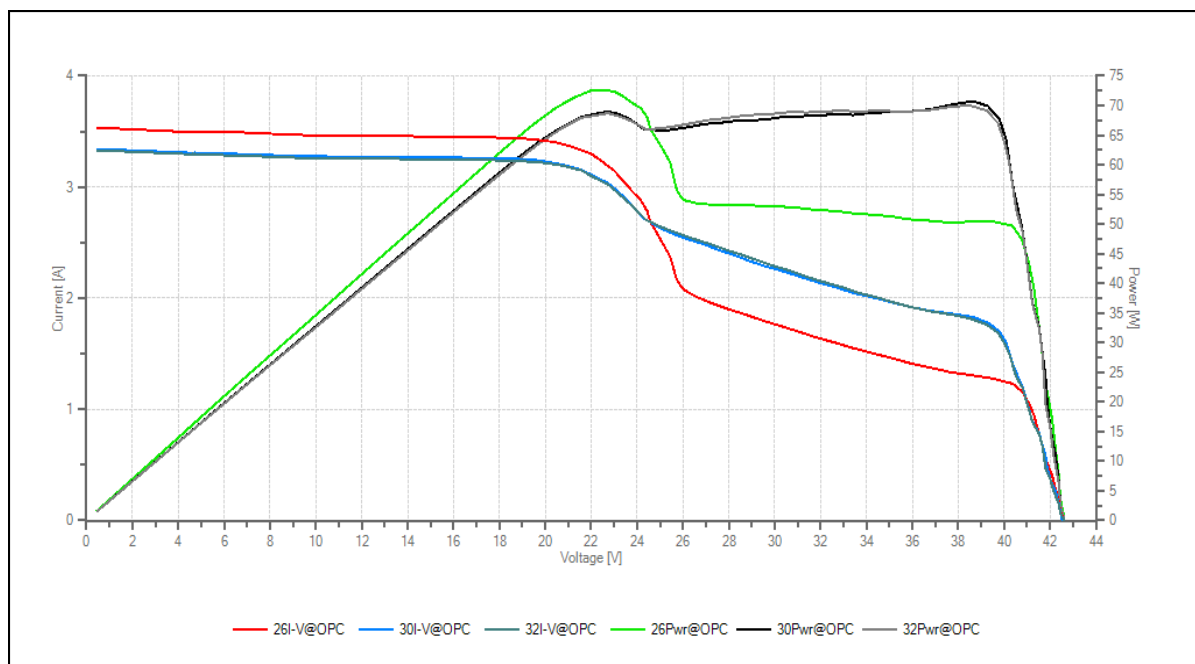
Následující graf č. 15 zobrazuje naměřené V-A a výkonové charakteristiky těchto třech poškozených FVP:

FVP 1 jeden poškozený FVČ měření č. 32

FVP 2 jeden poškozený FVČ měření č. 26

FVP 3 tři poškozené FVČ a dva měření s projevy počínajícího poškození měření č. 30

Z obrázku č. 33 je patrné, že FVČ v okolí poškozených FVČ vykazují zvýšenou teplotu od vyloženě přehřátých poškozených FVČ, to však nemusí znamenat, že by tyto články byly momentálně poškozené.



Graf 15: V-A a výkonové charakteristiky vadných FVP

Long Energy 175 W	P_{MPP} [W]	V_{OC} [V]	V_{MPP} [V]	I_{MPP} [A]	I_{SC} [A]	Irradiance [W/m ²]	Module Temp. [°C]	FF [-]
Meas. 26	Not Ok (-45,22%) 2.vadný FVP							
Measures@OPC	72,57	42,63	22,51	3,22	3,54	853,00	34,60	48,00
STC	95,86	42,83	21,44	4,47	4,90	1000,00	25,00	46,00
Meas. 30	Not Ok (-50,38%) 3.vadný panel							
Measures@OPC	70,71	42,60	38,66	1,83	3,35	867,00	35,20	50,00
STC	86,83	45,31	25,08	3,46	3,82	1000,00	25,00	50,00
Meas. 32	Not Ok (-45,28%) 1.vadný panel							
Measures@OPC	69,99	42,60	38,52	1,82	3,33	862,00	34,40	49,00
STC	95,76	42,80	38,00	2,52	4,62	1000,00	25,00	48,00
Nominal	175,00	44,20	35,79	4,88	5,25	1000,00	25,00	75,00

Tabulka 11: Naměřené hodnoty pro vadné FVP

Z deformací křivek V-A a výkonové charakteristiky v grafu č. 15 a z hodnot v tabulce č. 11 vyplývá, že poškozené FVC se projevují snížením výkonu FVP.

5.1 Návrh k odstranění negativních vlivů na FVE

V průběhu všech měření a z jejich výsledků, docházíme k závěru, že pro lepší výkon FVE je nezbytné eliminovat určité negativní vlivy.

Již před stavbou vlastní FVE se snažit optimálně orientovat vlastní solární generátor. V průběhu činnosti FVE lze výkon FVE optimalizovat s vyššími či menšími finančními a dalšími náklady.

Mezi faktory, které nelze bez větších vynaložených nákladů ovlivnit, patří:

- 1) Intenzita slunečního záření – snažíme se odstranit slunečnímu záření jakékoliv překážky (pokud to je možné a dovolí nám to legislativa), abychom co nejvíce omezili zastínění ozařované plochy.
- 2) Ochlazování FVP – FVP lze event. ochlazovat vodní sprchou, což nese rizika vyšších finančních nákladů (instalace vodního systému a jeho údržba).
- 3) Natáčení vlastních FVP „za sluncem“ tak, aby vždy byly orientovány optimálním směrem – tento způsob je velice finančně nákladný a pro malé domácí FVP není použitelný.

Dále se nabízí finančně přijatelnější způsoby optimalizování výkonu FVE:

- 1) V případě malých domácích FVP se snažit udržovat panely v čistotě během celého roku (popř. dodržování zásad bezpečnosti práce ve výškách).
- 2) Zjišťování vadných FVČ např. měřením termokamerou nebo V-A a výkonových charakteristik FVP. V případě zjištění závady FVP včas vyměnit.

Pro ideální zlepšení výkonu naší FVE musíme uvažovat o výměně tří vadných FVP.

Vzhledem k tomu, že je FVE ještě v záruční době, poněvadž byla zrealizována dodavatelskou firmou, která na FVP poskytuje záruku pět let, mohli bychom se snažit vadné panely vyměnit v rámci reklamace.

V případě, že reklamace FVP nebude uznána, bude nutné, stejně jako v případě, že se závady na FVP projeví až po uplynutí záruční doby, výměnu chybných panelů řešit na vlastní náklady. Pak je nutné posouzení výhodnosti tohoto řešení z pohledu návratnosti nákladů do opravy vložených.

K posouzení ekonomické výhodnosti opravy FVE je nutné provést podrobnější analýzu, ve které bychom se zabývali jednotlivými vlivy ovlivňující výkon FVE podrobněji. Museli

bychom podrobné měření V-A a výkonových charakteristik provádět na celém FVS, zaměřit se na porovnání ještě bezchybně fungujícího prvního stringu s nyní již narušenými stringy dva a tři a to za obdobných klimatických podmínek. Naměřené hodnoty ztrát na chybných stringech bychom museli porovnat se ztrátami výkonu FVE způsobenými ostatními vlivy, ovlivňujícími výkon FVE, tj. především vlivem klimatických podmínek a vlastní čistoty FV panelů.

Pro první předběžné určení rozsahu opravy FVE s minimálními náklady bychom mohli využít hodnot měření uvedených v grafu č. 8. V tomto grafu jsou zobrazeny výkonové charakteristiky všech tří stringů. Výkonové charakteristiky prvního stringu, který neobsahuje žádný poškozený FVP a druhého stringu, který obsahuje dva poškozené FVP, jsou obdobné. Nejvíce se liší charakteristika třetího stringu, který sice obsahuje pouze jeden poškozený FVP, ale jsou v něm celkem tři vadné FVČ. Z tohoto zjištění bychom mohli předběžně usoudit, že nejvíce by mohl výkon FVE ovlivnit nesprávně fungující string č. 3. Výměnou jednoho poškozeného panelu v tomto třetím stringu bychom mohli výkonové charakteristiky všech tří panelů sjednotit a vlastní finanční náklady na opravu FVE bychom mohli snížit na třetinu.

Při eventuální výměně poškozených dílů FVE se však ještě musíme držet legislativy spojené s likvidací těchto dílů vzhledem k ochraně životního prostředí.

Závěr

Pravidelnými odečty vyrobené elektrické energie v průběhu doby od připojení naší FVE v Libkově čp. 40 do distribuční sítě jsem zjistil určité výkyvy ve výrobě energie. Tyto výkyvy mohou být způsobeny především nestejnými klimatickými podmínkami v průběhu doby činnosti FVE od roku 2010 až do dnešní doby. Projevuje se i postupné snižování účinnosti vlastních FVČ v závislosti na jejich stáří. Toto snížení může však dle vyjádření výrobce být přibližně 1 % za rok. V neposlední řadě může být výkon naší FVE negativně ovlivněn chybnými FVČ a právě na jejich kontrolu jsem se zaměřil v mé práci.

Za použití termokamery a měření V-A a výkonových charakteristik jsem dokázal lokalizovat chybné FVČ ve třech FVP. Konkrétně na dvou panelech druhého stringu a na jednom panelu třetího stringu. Z tabulky č. 11, docházím k závěru, že první a druhý poškozený panel druhého stringu fungují s účinností přibližně 55 % a třetí poškozený panel ve třetím stringu s účinností přibližně 50 % ve srovnání s nominálními hodnotami při standardních podmínkách. Možné návrhy pro zoptimalizování funkce naší FVE jsou uvedeny v závěru podkapitoly 5.1.

V mé práci jsem si dal za cíl zjištění eventuálních problémů spojených s funkcí naší FVE v obci Libkov, čp. 40. Podařilo se mi určit vadné komponenty naší FVE. Dospěl jsem i k prvnímu kroku při odstranění hlavních závad tj.: v případě, že bude uznána reklamáce, vyměnit všechny tři poškozené FV panely, v případě, že nebude uznána reklamáce, na vlastní náklady vyměnit pouze jeden FVP. K dalšímu přesnějšimu rozhodování, jak vlastní zjištěné nedostatky řešit optimálně, by bylo zapotřebí zjistit více informací o vlivu například klimatických podmínek, které ve svém součtu nejspíše výkon FVE ovlivňují nejvíce.

Pro současné získávání a výrobu energie je nezbytné využívání obnovitelných zdrojů a tím i slunečního záření. Způsob výroby elektrické energie s využitím slunečního záření bude nadále rozvíjen i z pohledu použitých technologií a přinese tak další zvyšování účinnosti vlastního výrobního zařízení.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. 1. české vydání. Václav Losík, Iveta Kubicová, BEN - technická literatura. 725 27 Ostrava-Plesná: HEL, 2010, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [2] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. První vydání. Ing. Václav Bartoš. Praha 7: Grada Publishing, 2010, 296 s. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [3] Henze A., Hillebrand N.: *Elektrický proud ze Slunce*, Ostrava: HEL, 2000, 1. české vydání. ISBN 80-86167-12-7.
- [4] MURTINGER, Karel; TRUXA, Jan. *Solární energie pro Váš dům*. Brno: Computer Press, EkoWATT, 2010. 99 s. ISBN 978-80-251-3241-8.
- [5] Termokamera. *FLUKE TI55FT* [online]. Canada, 2012, 2014 [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.bhdrentals.com/fluke-ti55ft-10-20-54-thermal-imager.html>
- [6] Termoměření. *Měření fotovoltaických panelů* [online]. 2010 [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.tzb-energ.cz/mereni-fotovoltaiky.html>
- [7] Fluke. *Termokamera Fluke Ti55* [online]. Nederland, 1995-2014 [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.fluke.com/fluke/czcs/Termokamery/Fluke-Ti50-Series.htm?PID=56188>
- [8] PV TESTERS. *I-V400* [online]. Italia, 2006 [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: <http://www.ht-instruments.com/en/products-ht/i-v400>
- [9] ELEKTRO časopis pro elektrotechniku. *Měření teploty – bezkontaktní teploměry a termovizní kamery* [online]. Praha: TMV SS spol. s r. o., 2005 [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26549
- [10] SolarMax. *SolarMax S series* [online]. Switzerland: Sputnik Engineering AG, 2014 [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: <http://www.solarmax.com/en/products/string-inverters/s-series/?tab=specifications>
- [11] Fluke. *Termokamery Fluke Ti50 a Ti55 IR FlexCam®* [online]. Fluke Corporation, 1995 - 2014 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.fluke.com/fluke/czcs/Termokamery/Fluke-Ti50-Series.htm?PID=56188>
- [12] I-V400 - SOLAR I-V. *User manual* [online]. ITALIA: Copyright HT, 2012 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: http://www.htinstruments.com/uploads/9a/45/9a451f0a1c5d6736ca75f09dd589626c/man_SOLARI-V-I-V400_EN1-05.pdf
- [13] MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK FOTOVOLTAICKÉHO MODULU. *VLIV ZASTÍNĚNÍ* [online]. 2012 [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: http://www.mlab.cz/WebSVN/filedetails.php?repname=svnkaklik&path=%2Fdokumenty%2Fskolni%2FEZF%2FFotovoltaicke_clanky%2Fmereni4%2Fzadani.pdf&rev=1066&sc=0
- [14] Vliv stínění FV panelů. *FV modul* [online]. 2011 [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://fotovoltaika.fsv.cvut.cz/download/Ostatni/Vliv%20stineni%20FV%20panelu.pdf>
- [15] Ing. Petr Bannert. *Charakteristické odpory fotovoltaických článků* [online]. 2012 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/487/FVS_004_cviceni/004_charakteristicke_odpory_fvc.pdf
- [16] BĚLÍK, Milan. *Přednášky SOES, Plzeň: ZČU FEL*, [2012]

- [17] Ing. Petr Bannert. *Vliv teploty na vlastnosti fotovoltaických článků* [online]. 2012 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/487/FVS_008_cviceni/008_vliv_tepoty_na_fvc.pdf
- [18] Ing. Petr Bannert. *Vliv intenzity osvětlení na vlastnosti fotovoltaických článků* [online]. 2012 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/487/FVS_009_cviceni/009_vliv_osvetleni_na_fvc.pdf
- [19] Ing. Petr Bannert. *PRAKTIKA z FOTOVOLTAIKY* [online]. 2012 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: http://files.katka.biz/solar_energy/Petr%20Bannert%20-%20Praktika%20z%20fotovoltaiky.pdf
- [20] Multifunction instrument for I-V Curve test of photovoltaic strings and modules. *I-V400* [online]. 2013 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: http://www.avrelectronics.com/ht_italia_iv400.php
- [21] Multifunkční přístroj k ověřování V-A charakteristik. *I-V400* [online]. 2013 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: http://www.nobility.cz/files/letak_I_V400_cz.pdf
- [22] Solární články z krystalického křemíku. *KONSTRUKCE A TECHNOLOGIE KŘEMÍKOVÝCH FV ČLÁNKŮ* [online]. Copyright Topinfo s.r.o., 2001-2014 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3553-solarni-clanky-z-krystalickeho-kremiku-zakladni-technologie-soucasne-fotovoltaiky>

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: ORIENTACE A SKLON STŘECHY TECHNICKO-PROVOZNÍ BUDOVY, LIBKOV ČP. 40, OKR. DOMAŽLICE..	10
OBRÁZEK 2: REÁLNÁ FOTOGRAFIE FVE.....	10
OBRÁZEK 3: SCHÉMA ELEKTRICKÉHO ZAPOJENÍ NAVRHOVANÉ FVE	11
OBRÁZEK 4: NAPĚŤOVÝ STŘÍDAČ SOLARMAX 4200S [4].....	12
OBRÁZEK 5: ZAPOJENÍ FVP DO JEDNOTLIVÝCH VĚTVÍ (STRINGŮ).....	13
OBRÁZEK 6: FV-PANELY LONG ENERGY 175 WATT	14
OBRÁZEK 7: ROZVADĚČ A JEDNOTLIVÉ OVLÁDACÍ PRVKY	14
OBRÁZEK 8: STŘEŠNÍ NEREZOVÝ HÁK PRO UCHYCENÍ AL PROFILU.....	15
OBRÁZEK 9: HLINÍKOVÝ PROFIL NOSNÉ KONSTRUKCE MODULŮ.....	15
OBRÁZEK 10: SPOJOVACÍ KABELY FVP.....	16
OBRÁZEK 11: CELKOVÉ OZÁŘENÍ V ČESKÉ REPUBLICE [2].....	17
OBRÁZEK 12: GEOGRAFICKÁ POLOHA FVE Z POČÍTAČOVÉHO PROGRAMU PVSYST.....	18
OBRÁZEK 13: ZADÁNÍ SKLONU A ORIENTACE PANELŮ V PROGRAMU PVSYST.....	19
OBRÁZEK 14: DIAGRAM DRÁHY SLUNCE PRO LOKALITU LIBKOV Z PROGRAMU PVSYST	19
OBRÁZEK 15: KONFIGURACE KONKRÉTNÍ FVE V PROGRAMU PVSYST	20
OBRÁZEK 16: DIAGRAM ROČNÍCH ZTRÁT Z PROGRAMU PVSYST.....	21
OBRÁZEK 17: SCHÉMA TERMOVIZNÍHO SYSTÉMU [9].....	26
OBRÁZEK 18: TERMOKAMERA FLUKE TI-55FT[5]	27
OBRÁZEK 19: ÚPRAVA TERMOGRAMŮ V PROGRAMU FLUKE SMARTVIEW	28
OBRÁZEK 20: SPRÁVNĚ PRACUJÍCÍ SOLÁRNÍ MODULY	29
OBRÁZEK 21: VADNÉ ČLÁNKY NA FVP.....	29
OBRÁZEK 22: DETAILNÍ SNÍMEK VADNÝCH FVP.....	30
OBRÁZEK 23: I-V 400[8]	32
OBRÁZEK 24: SCHÉMA ZAPOJENÍ ANALYZÁTORU K PANELU ČI STRINGU[12]	32
OBRÁZEK 25: REFERENČNÍ ČLÁNEK PRO MĚŘENÍ INTENZITY	33
OBRÁZEK 26: SNÍMAČ TEPLoty SOLÁRNÍCH MODULŮ.....	33
OBRÁZEK 27: NÁHRADNÍ SCHÉMA FV ČLÁNKU [22]	34
OBRÁZEK 28: MĚŘENÍ V-A CHARAKTERISTIKY JEDNOHO STRINGU Z FVE	40
OBRÁZEK 29: MĚŘENÍ V-A A VÝKONOVÝCH CHARAKTERISTIKY MODULU	41
OBRÁZEK 30: SÉRIOVĚ ZAPOJENÉ FV ČLÁNKY [13]	47
OBRÁZEK 31: VLIV STÍNĚNÍ FV PANELŮ [14]	48
OBRÁZEK 32: UKÁZKA ZASTÍNĚNÉHO FV PANELU (ZASTÍNĚN JEDEN FVČ).....	49
OBRÁZEK 33: VÝSLEDNÉ ZOBRAZENÍ VADNÝCH FVP	52

Seznam grafů

TABULKA 1: VÝSTUPNÍ HODNOTY Z PROGRAMU PVSYSY.....	21
TABULKA 2: SKUTEČNÉ HODNOTY FVE Z ROKU 2013.....	22
TABULKA 3: POROVNÁNÍ ODHADU SE SKUTEČNOSTÍ	23
TABULKA 4: SKUTEČNOST A ODHAD VYROBENÉ ENERGIE PRO ROK 2013.....	24
TABULKA 5: NAMĚŘENÉ HODNOTY Z TŘÍ STRINGŮ	41
TABULKA 6: NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO FVP BEZ ZÁVAD	42
TABULKA 7: NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO VADNÝ FVP.....	43
TABULKA 8: NAMĚŘENÉ HODNOTY V ŘÍJNU 2013	45
TABULKA 9: NAMĚŘENÉ HODNOTY Z DUBNA 2014	46
TABULKA 10: NAMĚŘENÉ HODNOTY RŮZNĚ ZASTÍNĚNÉHO FV PANELU.....	51
TABULKA 11: NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO VADNÉ FVP	53

Seznam tabulek

GRAF 1: PŘEHLED SPOTŘEBY, DODÁVKY A VÝROBY EL. ENERGIE ZA ROK 2013	23
GRAF 2: MĚSÍČNÍ POROVNÁNÍ ODHADU SE SKUTEČNOSTÍ.....	24
GRAF 3: POROVNÁNÍ SKUTEČNÉ A ODHADOVANÉ ENERGIE ZA ROK 2013	25
GRAF 4: V-A CHARAKTERISTIKA FV ČLÁNKU [2]	35
GRAF 5: V-A CHARAKTERISTIKA KVALITNÍHO A VADNÉHO FV ČLÁNKU [15]	37
GRAF 6: CHARAKTERISTIKA SOLÁRNÍCH ČLÁNKŮ PŘI ROZDÍLNÝCH TEPLOTÁCH [17]	38
GRAF 7: CHARAKTERISTIKA FV ČLÁNKŮ PŘI ROZDÍLNÝCH INTENZITÁCH OZÁŘENÍ [18]	39
GRAF 8: MĚŘENÍ VÝKONOVÝCH CHARAKTERISTIK TŘÍ STRINGŮ	40
GRAF 9: V-A A VÝKONOVÁ CHARAKTERISTIKA FVP BEZ ZÁVAD	42
GRAF 10: V-A A VÝKONOVÁ CHARAKTERISTIKA VADNÉHO FVP	43
GRAF 11: V-A A VÝKONOVÉ CHARAKTERISTIKY FVP PŘI NEPŘÍZNIVÝCH KLIMATICKÝCH PODMÍNKÁCH	44
GRAF 12: V-A A VÝKONOVÉ CHARAKTERISTIKY FVP PŘI PŘÍZNIVÝCH KLIMATICKÝCH PODMÍNKÁCH	46
GRAF 13: V-A CHARAKTERISTIKA ROZDÍLNĚ ZASTÍNĚNÉHO FV PANELU	49
GRAF 14: VÝKONOVÁ CHARAKTERISTIKA ROZDÍLNĚ ZASTÍNĚNÉHO FV PANELU	50
GRAF 15: V-A A VÝKONOVÉ CHARAKTERISTIKY VADNÝCH FVP	53

Přílohy

Příloha A: Technické údaje SolarMax 4200S[10]

Příloha B: Technické specifikace FV panelů Long Energy 175W

Příloha C: Technické specifikace Termokamery Fluke Ti-55FT [23]

Příloha D: Technické parametry a funkce analyzátoru I-V 400 HT [21]

Příloha E: Schéma připojení I-V analyzátoru k FV panelům

Příloha F: Report z programu PVsyst

Příloha G: Úprava termogramů v programu Fluke SmartView

Příloha H: Souhlas s uvedením údajů o FVE

Příloha CH: CD (protokoly měření, termogramy, fotografie)

Příloha A: Technické údaje SolarMax 4200S[10]

Technické údaje SolarMax 4200S	
Výstup (DC)	
Regulační rozsah	100...550 VDC
Maximální vstupní napětí	600 VDC
Maximální připojený výkon panelů	5000 WSTC
Vstupní proud	0...22 ADC
Výstup (AC)	
Jmenovitý výkon	3800 W
Maximální výkon	4180 VA
Nominální síťové napětí /rozsah	196 - 253 V
Nominální síťový kmitočet	50Hz
Činitel zkreslení při jmenovitém výkonu	< 3%
Systémové údaje	
Maximální účinnost	97 %
Teplota okolí	-20°C...+60°C
Jmenovitý výkon do max. teploty	+ 45°C
Zobrazení	grafický LCD displej 128 x 64 pixelů s podsvícením
Ovládání	Tři tlačítka
Krytí	IP54
Datová komunikace	RS 485/ Ethernet
Záznamník dat	Záznam o vyrobené energii za posledních 31 dnů, 12 měsíců a 10 let
Rozměry (Š x V x H)	545 x 290 x 185 mm
Hmotnost	15 kg

Příloha B: Technické specifikace FV panelů Long Energy 175W

Technické specifikace FV panelů Long Energy 175 W	
Všeobecné parametry	
Rozměry	1582 x 809 x 50 mm
Typ článku	125 x 125 mm, 72 FV článků v sérii
Garantovaná kvalita	záruka na panely 5 let garance poklesu výkonu max. o 20% po 25-ti letech
Elektrické parametry	
Maximální výkon (P_{MPP})	175W
Napětí naprázdno (V_{OC})	44,2V
Proud nakrátko (I_{SC})	5,25A
Optimální napětí (V_{MPP})	35,80V
Optimální proud (I_{MPP})	4,89A
Tolerance max. výkonu	+/- 3%
Max. systémové napětí	1000 V DC
Tepelné parametry	
Koeficient teploty I_{SC} (α)	0,0683%/K
Koeficient teploty V_{OC} (β)	- 0,3468%/K
Koeficient teploty P_{MPP} (γ)	- 0,4690%/K
Rozsah pracovních teplot	- 40 + 85°C

Příloha C: Technické specifikace Termokamery Fluke Ti-55FT [7]

Technické specifikace Termokamery Fluke Ti-55FT	
Typ detektoru	320 x 240 ohniskový rovinný svazek, nechlazený FPA VOX mikrobolometr
Spektrální rozsah	8μm až 14μm
Fotoaparát pro viditelné světlo	1 280 x 1 024 pixelů, barevný, zoom 4x
Laser	Třída II, vypínatelný
Měřicí rozsah	-20°C až +600°C ve 3 rozsazích
Přesnost	±2 °C nebo 2%
Teplotní citlivost	0,05°C při 30°C
Digitální displej	125mm barevný displej s vysokým rozlišením, čitelný i na slunečním světle
Ukládání snímků	Paměťová karta Compact flash, více než 1 000 infračervených snímků (512MB karta)
Podporované formáty souborů	14 – bitový datový formát, ex- port do JPEG, PNG, BMP, PSD,PCX
Software	SmartView, software pro úplnou analýzu a protokolování
Akumulátor	Li-ion akumulátor, nabíjecí, 2 hodiny v provozu
Provozní teplota	-10°C až +50°C
Krytí	IP 54
Hmotnost (včetně baterií)	1,95 kg
Rozměry termokamery (V x Š x H)	162 x 262 x 101 mm

Příloha D: Technické parametry a funkce analyzátoru I-V 400 HT [21]

Technické parametry analyzátoru I-V 400 HT	
Výstupní napětí modulu / řetězce	0 – 1000V DC
Výstupní proud modulu / řetězce	0 – 10 A DC
Měření intenzity slunečního záření [W/m^2]	Referenční článek
Měření teploty modulu	Čidlo PT1000
Displej	LCD, 128 x 128 pxl s podsvícením
Interní paměť	256kbyte
Křivky, které lze uložit	>200
Rozhraní k PC	Optický/USB port
Stupeň znečištění	2
Hmotnost (včetně baterie)	1,2kg
Rozměry	235 x 165 x 75mm
Funkce	
Měření výstupního stejnosměrného a jmenovitého výkonu modulu/řetězce	
Grafické a numerické znázornění charakteristiky I-V	
Měření odporu soustav fotovoltaických modulů	
Měření pomocí čtyřdrátového zapojení	
Srovnávání se standartními podmínkami (STC 1000 W/m^2 , 25°C)	
Vyhodnocení výsledku testu	
Interní paměť k uložení dat	
Ukázání výsledků na displeji	

Příloha E: Schéma připojení I-V analyzátoru k FV panelům

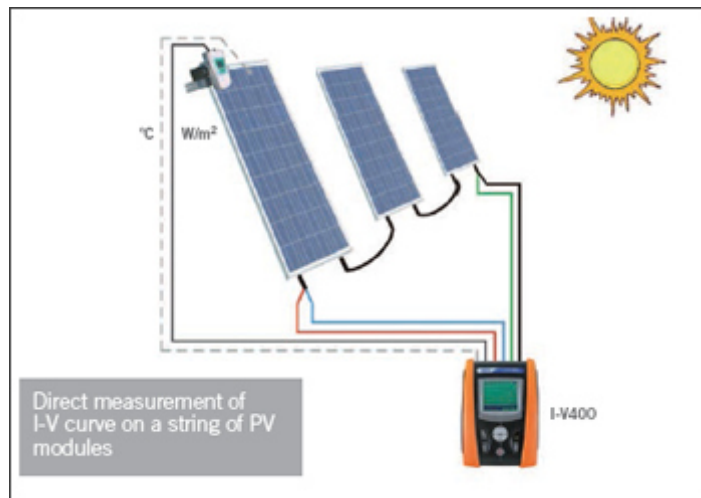


Schéma připojení I-V analyzátoru ke stringu [20]



Schéma připojení I-V analyzátoru k FV panelu [21]

Příloha F: Report z programu PVsyst

PVSYST V6.20		27/03/14	Page 1/4
Grid-Connected System: Simulation parameters			
Project :	Grid-Connected Project at Libkov		
Geographical Site	Churanov	Country	Czech Republic
Situation	Latitude 49.1°N	Longitude	13.6°E
Time defined as	Legal Time	Time zone	UT+1
	Altitude		1113 m
Meteo data:	Albedo 0.20	Synthetic - Meteonorm 6.1	
	Libkov		
Simulation variant :	Libkov 40,345 06 Kdyne		
	Simulation date	27/03/14 20h49	
Simulation parameters			
Collector Plane Orientation	Tilt	35°	Azimuth -20°
Models used	Transposition	Perez	Diffuse Erbs, Meteonorm
Horizon	Free Horizon		
Near Shadings	No Shadings		
PV Array Characteristics			
PV module	Si-mono	Model	P 175M
	Manufacturer	Conergy	
Number of PV modules	In series	9 modules	In parallel 3 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	27	Unit Nom. Power 175 Wp
Array global power	Nominal (STC)	4725 Wp	At operating cond. 4268 Wp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	294 V	I mpp 15 A
Total area	Module area	34.5 m²	
Inverter			
	Model	Solarmax 4200S	
	Manufacturer	SolarMax	
Characteristics	Operating Voltage	100-550 V	Unit Nom. Power 4.18 kW AC
PV Array loss factors			
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	338 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction 1.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1) bo Param. 0.05	
User's needs :	Unlimited load (grid)		

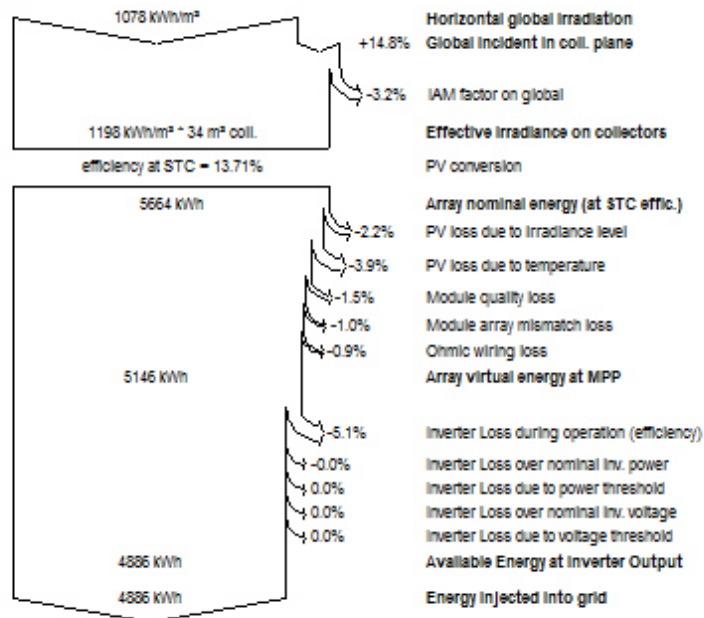
PVSYST V6.20	27/03/14	Page 2/4						
Grid-Connected System: Main results								
Project :	Grid-Connected Project at Libkov							
Simulation variant :	Libkov 40,345 06 Kdyne							
Main system parameters	System type	Grid-Connected						
PV Field Orientation	tilt	35°						
PV modules	Model	P 175M						
PV Array	Nb. of modules	27						
Inverter	Model	Solarmax 4200S						
User's needs	Unlimited load (grid)							
	azimuth	-20°						
	Pnom	175 Wp						
	Pnom total	4725 Wp						
	Pnom	4180 W ac						
Main simulation results								
System Production	Produced Energy	4886 kWh/year						
	Performance Ratio PR	83.6 %						
	Specific prod.	1034 kWh/kWp/year						
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 4725 Wp</p> <p>Legend: Lc: Collection Loss (PV-Array losses) 0.1 kWh/kWp/day Ls: System Loss (Inverter...) 0.2 kWh/kWp/day Yf: Produced useful energy (Inverter output) 2.2 kWh/kWp/day</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Performance Ratio PR</p> <p>PR: Performance Ratio (Yf/Ym) 0.836</p> </div> </div>								
Libkov 40,345 06 Kdyne								
Balances and main results								
	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	%	%
January	28.3	-2.28	49.9	48.2	221.1	209.8	12.86	12.20
February	45.6	-0.48	65.7	63.6	290.9	276.7	12.85	12.23
March	78.7	2.76	99.1	96.2	425.5	404.2	12.46	11.84
April	116.8	7.46	127.3	123.4	536.0	509.4	12.22	11.61
May	154.1	13.02	157.7	152.6	642.4	609.9	11.82	11.22
June	149.5	15.83	144.1	139.0	583.4	553.6	11.75	11.15
July	157.9	16.79	155.9	150.8	625.3	593.4	11.64	11.04
August	142.1	17.61	153.0	148.3	612.4	581.2	11.61	11.02
September	92.1	12.56	107.5	104.3	443.5	421.2	11.97	11.36
October	61.9	7.92	87.8	85.1	372.6	354.1	12.32	11.70
November	30.2	2.33	49.0	47.4	213.4	202.2	12.64	11.98
December	20.9	-1.57	40.6	39.3	179.6	169.9	12.82	12.13
Year	1078.1	7.71	1237.5	1198.2	5146.1	4885.7	12.06	11.45
Legends:	GlobHor	Horizontal global Irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array				
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid				
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area				
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area				

Grid-Connected System: Loss diagram

Project : Grid-Connected Project at Libkov
Simulation variant : Libkov 40,345 06 Kdyne

Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth -20°
PV modules	Model	P 175M	Pnom 175 Wp
PV Array	Nb. of modules	27	Pnom total 4725 Wp
Inverter	Model	Solarmax 4200S	Pnom 4180 W ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Loss diagram over the whole year



Grid-Connected System: P50 - P90 evaluation

Project : **Grid-Connected Project at Libkov**

Simulation variant : **Libkov 40,345 06 Kdyne**

Main system parameters	System type	Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt	35°	azimuth -20°
PV modules	Model	P 175M	Pnom 175 Wp
PV Array	Nb. of modules	27	Pnom total 4725 Wp
Inverter	Model	Solarmax 4200S	Pnom 4180 W ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

Evaluation of the Production probability forecast

The probability distribution of the system production forecast for different years is mainly dependent on the meteo data used for the simulation, and depends on the following choices:

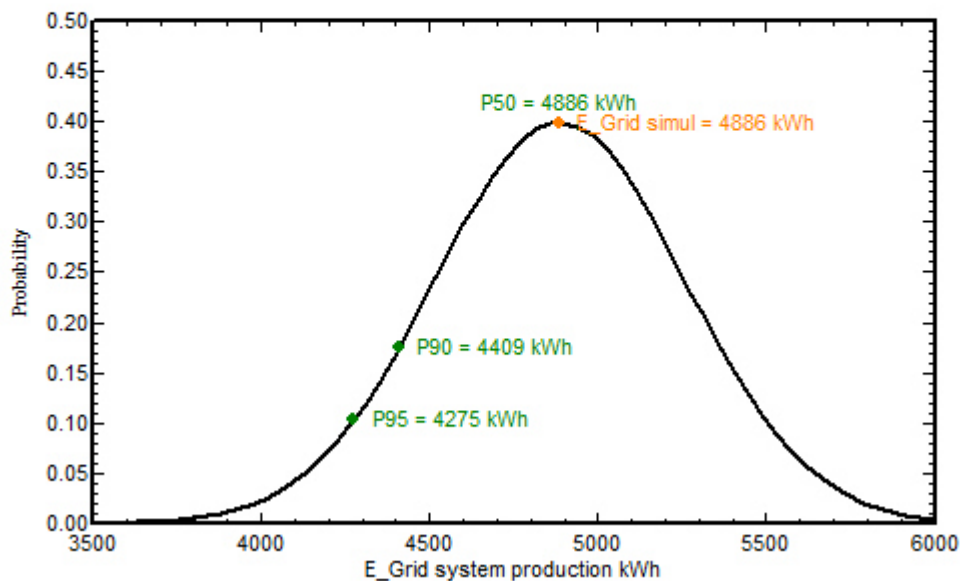
Meteo data source	Meteonorm 6.1		
Meteo data	Kind	Monthly averages	Synthetic Multi-year average
Specified Deviation	Climate change	0.0 %	
Year-to-year variability	Variance	6.8 %	

The probability distribution variance is also depending on some system parameters uncertainties

Specified Deviation	PV module modelling/parameters	3.0 %	
	Inverter efficiency uncertainty	1.0 %	
	Soiling and mismatch uncertainties	1.0 %	
	Degradation uncertainty	1.0 %	
Global variability (meteo + system)	Variance	7.6 %	(quadratic sum)

Annual production probability	Variability	372 kWh
	P50	4886 kWh
	P90	4409 kWh
	P95	4275 kWh

Probability distribution



Příloha G: Úprava termogramů v programu Fluke SmartView

Upravit IR20131005_1440

Analýza Pozvánky Referenční snímky Komentáře

Paleta
Barvy: **Vysoký kontrast**
 UltraContrast™
Sytost: Standardní

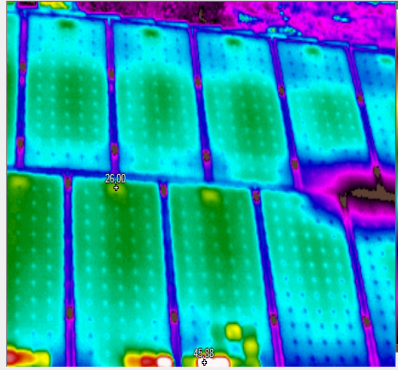
Barvový alarm
Deaktivováno
Rozsah:
Barva izolerny

Zobrazit značky
 Síťový bod
 Síťový rámeček
 Kursor teple
 Kursor studené
Odstranit všechny značky

Emisivita
Emisivita: 0.92
Teplota pozadí: 23.1 °C

Korekce přenosu
Přenos: 100 %
Upravit úroveň a rozsah

Závažnost: Závažné Obraz v obraze



Pouze infračervené záření Úroveň prolínání Pouze viditelné záření

Informace o obrázku | Data značky | Graf | IR-PhotoNotes™

Umístění sou...	C:\Users\kohoutek\Desktop\Diplomová prác...
Čas obrázku	5.10.2013 12:47:17
Emisivita	0.92
Teplota pozadí	23.10 °C
Přenos	100%
Rozsah obráz...	~25.81 °C až 45.88 °C
Průměrná tepl...	19.55 °C
Závažnost	Závažné
Model kamery	T155FT
Velikost IR se...	320 x 240
Výrobce kam...	Fluke Thermography
Rozsah kalibr...	-20.00 °C až 350.00 °C
Sériové číslo	0810013
Popis objektivu	20mm/F0.8
Sériové číslo	40948-9271
Verze DSP	4.5.0
Verze OCA	3.0.1548

OK Storno Použít Nápověda

Příloha H: Souhlas s uvedením údajů o FVE

Souhlasím s využitím údajů o instalaci, provozu a měření FVE v Libkově čp. 40
v diplomové práci Bc. Jana Kohouta.

.....
Josef Kohout
(investor FVE)

V Libkově, dne 7. 5. 2014