

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra Elektroenergetiky a Ekologie

Diplomová práce

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

Jméno a příjmení: **Bc. Bohumír VOCHOT**
Osobní číslo: **E14N0144P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Zhodnocení stavu 20 kWp fotovoltaické elektrárny**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**


1. Vysvětlíte obecnou problematiku provozování fotovoltaických systémů s ohledem na připojení do sítě.
2. Popište jednotlivé části 20 kWp fotovoltaické elektrárny na ZČU FEL.
3. Proveďte kontrolu stavu fotovoltaických panelů a stejnosměrných rozvodů.
4. Vyhodnoťte činnost střídačů s ohledem na kvalitu dodávané energie.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


1. přednášky z předmětu KEE/SOES

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

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2016**


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




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

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se věnuje zhodnocení stavu 20 kWp fotovoltaické elektrárny. První část práce se zabývá základními vlastnostmi provozování fotovoltaických systémů s ohledem na připojení do sítě. Druhá část popisuje jednotlivé části 20 kWp FV elektrárny na ZČU FEL. Třetí část se týká praktické části a tj. kontroly stavu FV panelů a stejnosměrných rozvodů. Posledním bodem diplomové práce je vyhodnocení činnosti střídačů s ohledem na kvalitu dodávané energie.

Klíčová slova

Sluneční záření, fotovoltaický panel, voltampérová charakteristika FV článku, výkon FV panelu

Abstract

This thesis deals with condition of 20 kWp photovoltaic power plants. The first part deals with the basic characteristics of operation of photovoltaic systems to the network connection. The second part describes the individual parts of a 20 kWp solar power plant on ZČU FEL. The third part relates to the practical and ie. check the status of the PV modules and DC systems. The last point of the thesis is to evaluate the activities of inverters with regard to the quality of supplied energy.

Key words

Solar radiation, photovoltaic panel, current-voltage characteristics of a solar cell, PV module performance

Prohlášení

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

.....
podpis

V Plzni dne 16.5.2016

Bohumír Vochot

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Milanu Bělikovi.Ph,D za cenné profesionální rady a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	1
ÚVOD.....	2
1 SYSTÉMY PŘIPOJENÉ K SÍTI.....	3
1.1 SYSTÉMY PŘIPOJENÉ K SÍTI PŘÍMO (GRID –ON)	3
1.2 PŘIPOJENÍ PRO VLASTNÍ SPOTŘEBU ENERGIE A PRODEJ PŘEBYTKŮ DO SÍTĚ	5
1.3 SYSTÉMY BEZ PŘIPOJENÍ K ELEKTRICKÉ ROZVODNÉ SÍTI (GRID-OFF)	6
1.4 VLIV FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU NA SÍŤ	7
1.5 NÁKLADY FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ	9
2 FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM 20 KWP.....	12
2.1 PRINCIP FUNKCE FV ELEKTRÁRNY	12
2.2 FOTOVOLTAICKÉ PANELE	13
2.2.1 <i>Technické řešení FV panelů.....</i>	<i>13</i>
2.3 STŘÍDAČE FV SYSTÉMU	14
2.3.1 <i>Problémy snižování výkonu FV střídačů.....</i>	<i>15</i>
2.3.2 <i>Nevýhody střídačů FV systémů</i>	<i>16</i>
2.3.3 <i>Mikrostrídače.....</i>	<i>17</i>
2.4 TRACKER – EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	18
2.5 KABELOVÉ ROZVODY A UZEMNĚNÍ.....	19
2.6 ROZVADĚČ.....	20
2.7 SNÍMAČE OSVITU.....	21
2.8 OCHRANA PROTI PŘEPĚTÍ	22
2.9 ZOBRAZOVACÍ JEDNOTKA	23
2.10 DATALOGGER DL002.....	23
3 MĚŘENÍ KONTROLY STAVU FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY	25
3.1 POSTUP MĚŘENÍ FV PANELOŮ	25
3.2 VÝSLEDKY MĚŘENÍ V-A CHARAKTERISTIK	28
3.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ TERMOKAMEROU	30
3.4 ZHODNOCENÍ STAVU FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY.....	33
4 VYHODNOCENÍ ČINNOSTI STŘÍDAČŮ.....	34
4.1 POSTUP MĚŘENÍ.....	34
4.2 PRŮBĚHY HARMONICKÝCH CHARAKTERISTIK JEDNOTLIVÝCH STŘÍDAČŮ.....	37
5 ZÁVĚR.....	39
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	40
PŘÍLOHY	42

Seznam symbolů a zkratek

FV	fotovoltaický
FVE.....	fotovoltaická elektrárna
FEL.....	Fakulta elektrotechnická
Wp.....	watt peak
HDO.....	hromadné dálkové ovládání
V-A.....	volt- ampérová
nn	nízké napětí
MPP	maximum power point
ZČU.....	Západočeská univerzita

Úvod

V současné době se nacházíme v oblasti rozvoje fotovoltaiky. Elektrická energie vyrobena pomocí FVE stále se vyvíjí po celém světě. Tento druh obnovitelné energie je charakteristický velkým množstvím sluneční energie, který dopadá na zemský povrch. Na rozdíl od jaderných nebo tepelných elektráren se FVE může označit jako ekologicky čistá energie bez emisí apod. Také dochází v současnosti k rozvoji moderních technologií, tedy k usnadnění možností pro člověka. Každý obnovitelný systém má své výhody a nevýhody, avšak FV systémy se mi jeví jako nejlepší způsob zásobování energií.

V této Diplomové práci se hlavně zaměřím podrobně na funkčnost jednotlivých FV panelů, které se nachází na střeše naší fakulty elektrotechnické. Tato FV elektrárna byla proměřena před 2 lety, a proto jsem uznal za vhodné prozkoumat současný stav elektrárny. Dle mého názoru se během 2 let mohl poškodit jakýkoliv panel. Z tohoto důvodu se mi zdá měření jako velice zajímavé.

Další měření se týkalo střídačů, u kterých bylo cílem zhodnotit funkčnost všech osmi střídačů pomocí harmonických signálů a poté zjistit jejich účinnost. Výsledkem bude srovnání účinnosti naměřených hodnot s teoretickými předpoklady popsané v dokumentaci FV panelů.

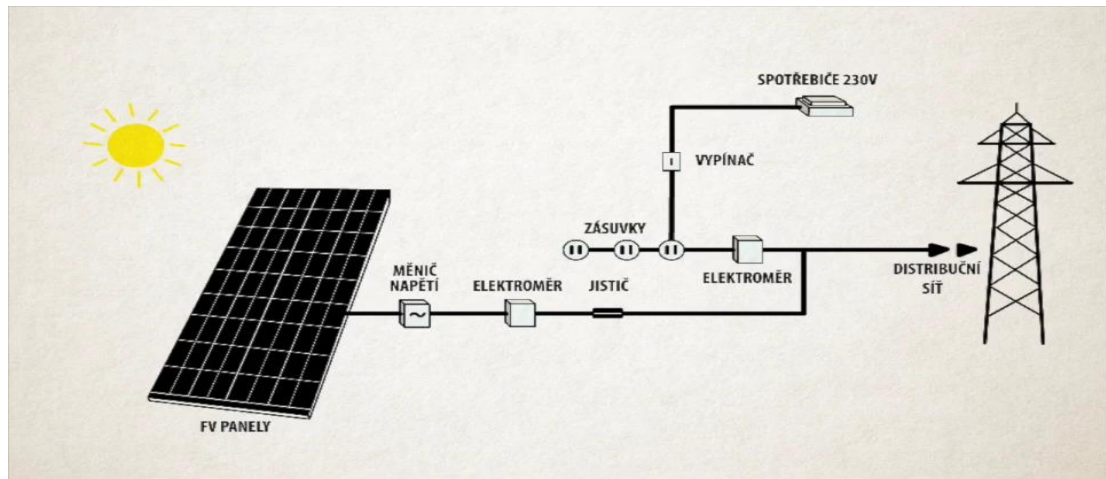
1 Systémy připojené k síti

V současné době máme k dispozici několik způsobů, jak provozovat fotovoltaické systémy s připojením do sítě. V minulosti takové možnosti s připojováním FV systémů nebylo.

1.1 Systémy připojené k síti přímo (Grid –on)

Fotovoltaické systémy připojené k distribuční síti nemají instalaci z důvodu nedostatku elektrické energie. Vysoká kvalita sítě a stálost dodávek elektřiny jsou důvodem, proč se nepoužívá instalace. Ostrovní systém také nevyužívá instalaci. Tento způsob připojení na síť se využívá převážně u rodinných domů, ale také v průmyslových objektech. Vyrobená energie FV systémem se spotřebuje 2 způsoby a tj. přímo v daném objektu nebo můžou být přebytky prodány do distribuční sítě.

Můžeme realizovat režim vlastní spotřeby a prodeje přebytků, ve kterém je systém připojen na napěťový režim. Princip napěťového režimu spočívá v přeměně stejnosměrného proudu na proud střídavý. Dále tento režim obsahuje zvláštní elektroměr pro odpočet vyrobené energie fotovoltaikou . Solární systém se připojí za hlavní elektroměr, který je z pohledu distribuční společnosti. Výhodou tohoto režimu je dodávat energii spotřebičům v objektech, tudíž můžeme ušetřit náklady na odebranou energii. Můžeme se rozhodnout pro vlastní spotřebu s poskytnutím prodeje přebytků. Tato varianta je nejvýhodnější instalací fotovoltaické elektrárny. Díky vlastní spotřebě nekupujeme elektřinu ze sítě a dostaneme úsporu. Úspory řadíme do hlavních výhod investic do FVE. [15]



Obr.1.1 Schéma zapojení systému připojeného přímo do sítě [15]

Připojení k síti musí vždy schválit distributor elektřiny (ČEZ, E.ON, PRE). Životnost střídače bývá obvykle kratší, než u zbývajících systémů. Je potřeba počítat s reinvesticí. Všechny systémy připojené k síti pracují automaticky pomocí mikroprocesorového řízení. Podle velikosti systému se liší investiční náklady, například u velkých systémů se pohybují kolem 120 – 180 Kč/ Wp. Rozmezí těchto hodnot závisí podle toho, jestli jsou instalovány systémy pevné nebo polohovací. U menších systémů investiční náklady stoupají a tj. i nad 200 Kč/ Wp.

Domácí solární elektrárny s výkonem do 30 kW mají navíc možnost podpory tzv. zelených bonusů. Při vysoké spotřebě elektřiny se ekonomicky zvýhodňuje podpora zelených bonusů. Princip zelených bonusů je následující. Vyrobená energie se spotřebuje v příslušném domě a zbytek dodáme zpět do sítě. Je-li domácí spotřeba minimální, je výhodnější využít zvýhodněné výkupní ceny. V tab.1 je jednoznačné, jak cena postupně klesá níže s přibývajícím rokem. V současnosti se situace mění jen nepatrně a cena je srovnatelná s rokem 2012.

Tab.1 Fotovoltaická elektrárna do výkonu 30 kW [2]

Roky	Výkupní cena v Kč/ Wh	Zelené bonusy v Kč/ kWh
2012	6,16	5,08
2011	7,5	6,5
2010	12,25	11,28
2009	12,89	11,91

1.2 Připojení pro vlastní spotřebu energie a prodej přebytků do sítě

Tento systém je závislý na napěťovém měniči, který přeměňuje stejnosměrný proud na proud střídavý a cejchovaný elektroměr pro získání odpočtu energie vyrobenou fotovoltaickým systémem. Solární systém se připojuje kompletně za hlavní elektroměr. Díky tomu jsou možné dodávky energie spotřebičům v objektu. Dále je možné díky přebytku energie přes čtyřkvadrantní elektroměr předávat do sítě. Okruh tohoto systému poskytuje síťovou ochranu do rozvaděče a připojuje se na samostatný jistič. Za vyrobenou elektřinu je možné získat tzv. zelený bonus, pomocí prodeje přebytků do sítě výrobce získá rozdíl mezi výkupní cenou a zeleným bonusem.

Fotovoltaické systémy s pomocí odběru spotřebiči s variantou prodeje přebytků jsou charakteristické nejvýhodnější variantou, jelikož při vlastní spotřebě nenakupujeme elektřinu ze sítě. Provozovatel distribuční poskytne navíc zelený bonus za výrobu elektřiny čistým způsobem. Pro splnění veškerých podmínek dle metodiky distributora je potřeba uvést výrobní zdroj do provozu a také připojit zdroj paralelně s distribuční soustavou. Provozování výrobního zařízení v energetických odvětví se uskuteční pouze na základě vydané Licence na výrobu elektrické energie Energetickým regulačním úřadem. [2]



Obr.2 Elektrárna pro vlastní spotřebu a prodej přebytků do sítě [2]

1.3 Systémy bez připojení k elektrické rozvodné síti (grid-off)

Ve většině případů máme možnost odebírat elektrickou energii přímo z distribuční sítě. Jsou to lokality, kde je příliš technicky i finančně náročné vybudovat elektrickou přípojku. Využití je převážně nalezeno v rozvojových zemích. Jednou z nevýhod ostrovních systémů je nestálá produkce elektrické energie, jelikož ne vždy odpovídá aktuální potřebě. Při stále dodávce elektrické energie se systém doplňuje akumulacím členem. Dále je možnost do systému zahrnout elektrocentrálu. Při realizaci ostrovního systému na výrobu elektrické energie je možné volit odpovídající spotřebiče pracující na stejnosměrný proud nebo lze stejnosměrný proud změnit na proud střídavý pomocí napěťového měniče.

Systém grid- off dělíme do třech podskupin. První podskupina je realizována s přímým vytápěním. Tato varianta je zcela jednoduchá. Zahrnuje propojení solárního modulu se spotřebičem přes regulátor napětí. Tento systém provozující elektrické zařízení je provozuschopný jen po dobu dostatečné sluneční intenzity slunečního záření.

Další podskupinou jsou systémy s akumulací energie používané převážně v aplikacích, kde je potřeba stálá dodávka elektrické energie, tedy i v době s nepříznivým osvětlením. Součástí těchto systémů jsou speciální akumulátorové baterie. Možnost vybití a nabíjení akumulátoru se provádí pomocí regulátoru nabíjení. K systému se připojují spotřebiče napájené stejnosměrným proudem nebo také síťové spotřebiče 230 V / 50 Hz pomocí napěťového střídače.

Třetí podskupina se týká hybridních ostrovních systémů. Používají se hlavně při celoročním provozu a také v místech, kde je nutné požadovat elektrické zařízení o vyšším příkonu, než je instalovaný výkon elektrárny. Hlavním problémem získání energie je roční období. V zimních měsících získáme podstatně méně energie, než v letních měsících. Z tohoto důvodu pro realizaci celoročního provozu musíme dimenzovat systémy pro zimní provoz. Zvýší se pořizovací náklady a také instalace vyššího výkonu. Pro systém je výhodnější doplnit doplňkovým zdrojem elektrické energie, například dieselový záložní zdroj nebo jiný alternativní zdroj elektrické energie.

1.4 Vliv Fotovoltaického systému na síť

Fotovoltaická elektrárna připojená do distribuční sítě o nějakém výkonu , jenž neovlivní ani nepřesáhne povolené elektrické parametry podle norem distribuční soustavy. Tímto způsobem můžeme označit stav za bezproblémový provoz. V České republice došlo k výraznému převratu, kdy vlivem dotační politiky se dosáhlo k větší podpoře výkupních cen z FV elektráren. Výrazně vzrostl nárůst instalace FV elektráren a také některých projektů, které se budou dokonce brzy realizovat.

Problém nastává ve chvíli, kdy fotovoltaické elektrárny potřebují ke své funkci dostatek slunečního záření. S touto problematikou se dělí dodávka a opačná tzv. nedodávka elektrické energie do příslušné elektrizační sítě. Ideálně za slunečného dne můžeme dosáhnout u FV systému pracující na vysoký výkon. Při zataženém počasí pracuje FV elektrárna na velmi malý, až zanedbatelný výkon. Zde je vidět zásadní rozdíl v počasí, který se nedá ovlivnit. FV systémy nedovedou dodávat do distribuční sítě konstantní výkon, dokonce je ani nelze srovnávat např. s akumuláčními elektrárnami, které zvládnou zdroj špičkový. Důvod je zcela jednoznačný. Pokud by byl dán požadavek na dodání elektrické energie z FV elektrárny, právě v tuto dobu by nemusely být vhodné sluneční podmínky. V noci FV elektrárny vůbec nepracují.

V současnosti je v příslušných oblastech přebytek FV elektráren a díky tomu došlo v roce 2010 k zastavení činnosti povolování o připojení FV a větrných elektráren do distribuční sítě. K tomuto rozhodnutí vedla skutečnost, že distribuční sítě nebyly dimenzovány na tak velké přenášené výkony. Po zjištění byla kapacita distribučních sítí v některých oblastech naplněná. Dalším vodítkem k této razantní změně vedl provozovatel naší přenosové sítě, který se obával následků vlivem FV elektráren, jenž můžou v elektrizační síti způsobit. V distribuční síti se naskytla velká výroba elektrické energie, avšak nebyla spotřebována. Díky tomu dochází k přebytku energie přes distribuční transformátory o hodnotách 110/22 kV do distribuční soustavy 110 kV. Poté přes transformátory 400/ 110 kV nebo 230/ 110 kV. Elektrizační síť se vzájemně propojuje, a proto výroba z FV elektráren propojených do distribuční soustavy mění hodnoty toků výkonů v přenosové soustavě .

Provozovatel přenosových sítí bude povinen v blízké době některé FV elektrárny odpojit kvůli udržení stability elektrizační soustavy, jelikož po dokončení instalace a připojení úplně všech povolených FV elektráren nastanou v letních slunečních dnech potíže s regulováním přenášeného výkonu. K nejzávažnějším vlastnostem přenosových vedení vvn patří velké odchylky, které dochází v okamžité výrobě a spotřebě elektrické energie. Následně tyto odchylky jsou bohužel komplikovaně realizovány provozovatelem přenosové soustavy. Můžeme postupně snižovat vyráběný výkon v přenosové soustavě o regulační výkon a díky tomu nemusí provozovatel přenosových sítí odpojovat FV elektrárny. Regulační výkon snižuje konvenční zdroje elektrické energie. Může ale nastat situace, kdy nepomůže ani snížený vyráběný výkon v přenosové soustavě. Pro udržitelný rozvoj stability se uvádí, neboli odhaduje maximální možný připojitelný výkon. [13]



Obr.1.4 Instalované panely na střeše ZČU [vlastní zdroj]

1.5 Náklady fotovoltaických systémů

Díky vysoké ceně fotovoltaických modulů je realizace FV systému poměrně nákladná. Počítáme-li životnost systému cca 20 let, poté náklady na 1 kWh vyrobenou FV systémem se pohybují v současné době cenově mezi 8 až 20 Kč. Fotovoltaické systémy přímo propojené na rozvodnou síť v současnosti nemůže konkurovat cenově energii klasických zdrojů. Konkrétně u autonomních systémů je považován provoz FV systémů v několika ohledech za ekonomicky výhodný. Připočteme-li náklady na rozšíření sítě, rozdíl ceny energie dodávané z rozvodné sítě v některých případech nemusí být nižší, než cena energie vyrobená pomocí FV systému. Pokud použijeme malé FV systémy se spotřebou přibližně 150 Wh/ den, označíme je za efektivní při jakékoliv vzdálenosti od sítě, naopak u větších systémů musíme provést podrobnější analýzu.

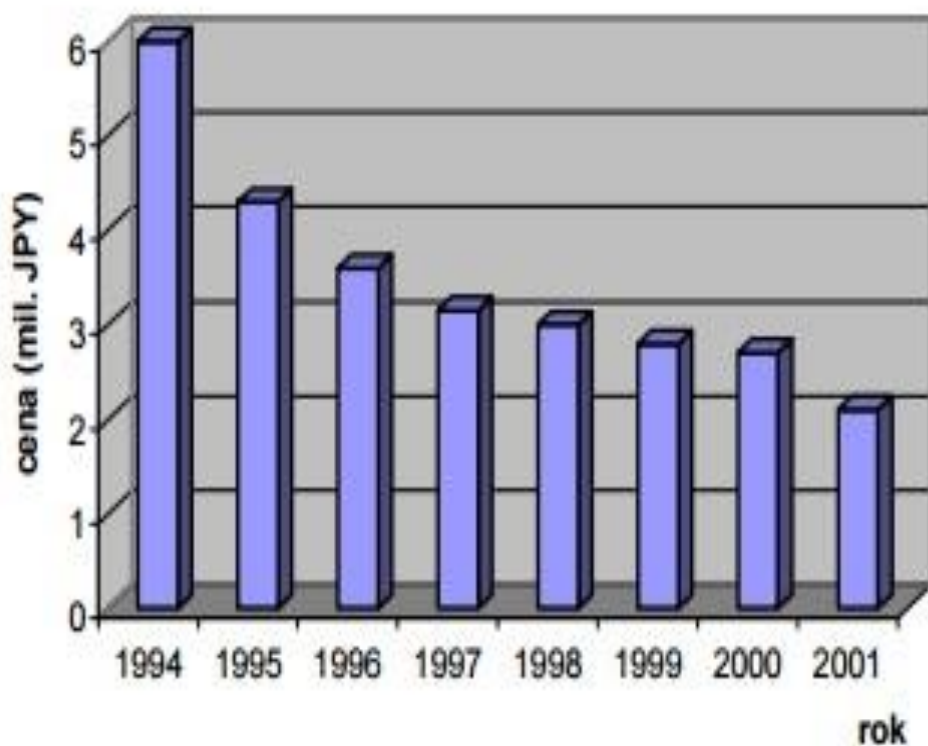
Rozdíly nákladů na elektřinu vyrábějící FV systémy a ostatními lokálními zdroji záleží na denní spotřebě elektrické energie. Provoz elektrocentrály ukazuje skutečnost, že je fotovoltaika velice výhodná při spotřebě energie menší než 5 kWh za den při celoročním provozu. Výhodou elektrocentrál se jeví poměrně nízké pořizovací náklady. Elektrocentrálu ovlivňuje negativně hluk, zplodina a vysoké pořizovací náklady. V následujících případech se tyto vlastnosti fotovoltaiky jeví jako levnější :

- Je-li počet uživatelů malý
- Je-li instalace na odlehlém místě
- Pokud je celková spotřeba v odlehlém místě nízká
- Spotřeba kryta z drahého zdroje (dieselagregát)

Převážná část realizovaných systémů je přímo připojená na síť, avšak cena FV systémů rychle klesá. Energie z fotovoltaických zdrojů je stále poměrně drahá oproti konvenčním zdrojům dodávající energii do sítě.

Z ekonomického hlediska jsou na tom nejlépe systémy připojené na rozvodnou síť, tedy v současnosti je dána cena za instalovaný výkon 1 Wp přibližně 3 až 5 EUR. Rozdíl v ceně nastává u autonomních systémů pohybujících se mezi 5 až 9 EUR. Výrazně dotovanou výrobu elektrické energie mají FV systémy připojeny na rozvodnou síť v rozvinutých zemích. Jedná se o EU, USA, Japonsko. Ve všech obnovitelných zdrojích elektrické energie probíhá intenzivní vývoj a výzkum s úkolem vytvořit nejlevnější moduly (u fotovoltaiky FV moduly). Konkrétně jsou to moduly tenkovrstvé na bázi amorfního a také mikrokrytalického křemíku. Nesmím opomenout systémy s koncentrátory slunečního záření. Při náhledu perspektivy roku 2015 lze získat z cenové úrovně 0,5 EUR/ Wp. u systému připojenými s rozvodnou sítí. V takové situaci se budou blíže rovnat ceny energie vyráběné FV systémy spojenými s rozvodnou sítí s cenami energie z tradičních zdrojů. U autonomních systémů se najdou vždy výhody.

Na instalaci FV systémů (mimo jiné začleňují i FV články) s vysokými pořizovacími náklady jsou ovlivněny ceny energie získané z těchto systémů. Na obrázku č.4 je zobrazen graf vývoje ceny 3 kWp systému, který je připojen k rozvodné síti v Japonsku. S poklesem cen článku rovněž klesá FV systémů.



Obr.1.5 Graf znázorňující cenu FV panelů během několik let

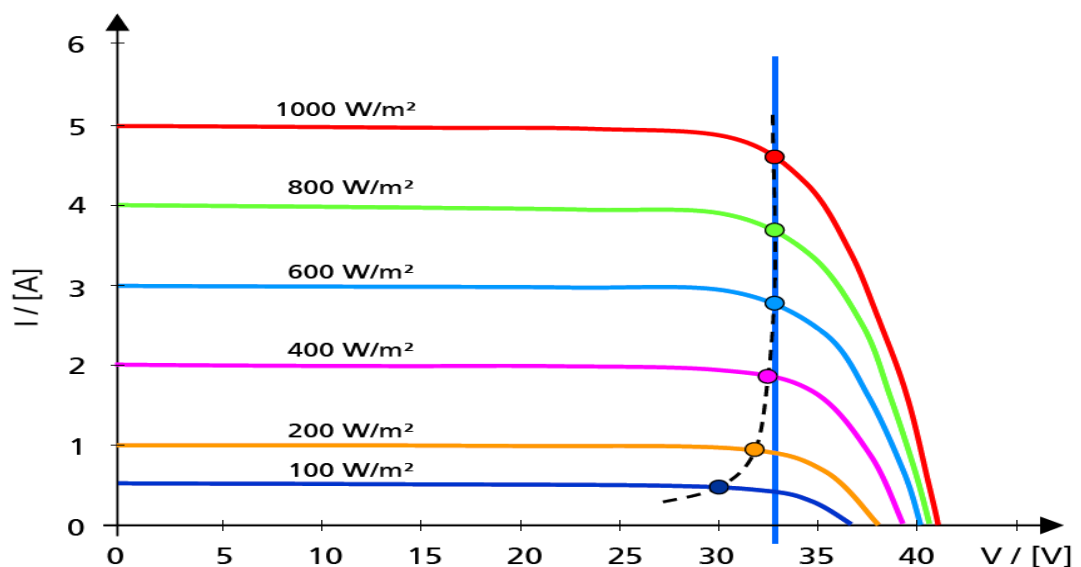
2 Fotovoltaický systém 20 kWp

Fotovoltaický systém se nachází na střeše budovy FEL a je postupně rozdělen do několika objektů. Jednotlivé FV panely jsou rozděleny pro přehlednost do bloků E1-E8. Ocelová nosná konstrukce je nejčastější metodou pro realizaci stavby.

2.1 Princip funkce FV elektrárny

Fotovoltaický panel vzniká z jednotlivých fotovoltaických článků. Důležitým faktorem těchto článků je polovodičová dioda, která v sobě ukrývá dvě vrstvy příměsových polovodičů. Polovodič typu P se nazývá anoda a opačně polovodič typu N katoda. Podstatou této funkce je P-N přechod, jenž v ideálním případě se snaží propouštět proud pouze jedním směrem. Vrstva typu N je zaplněna přebytkem elektronů, naopak inverzně vrstva P nedostatkem právě zmíněných elektronů. Potenciální bariéra se snaží zabránit volnému přechodu elektronů, a proto není možné dojít ke spojení elektronu s dírami. Přechod elektronů v opačném směru je možný a nazývá se propustný směr.

Při zvýšených intenzitách slunečního záření se zvyšuje i elektrický proud, jak je vidět na Obr. 2.1. Čím vyšší je úhel náklonu solárních panelů, tím více jsou ztráty způsobené nesouladem osvitu. [4]



Obr.2.1 V–A charakteristika krystalického panelu při různém osvitu [4]

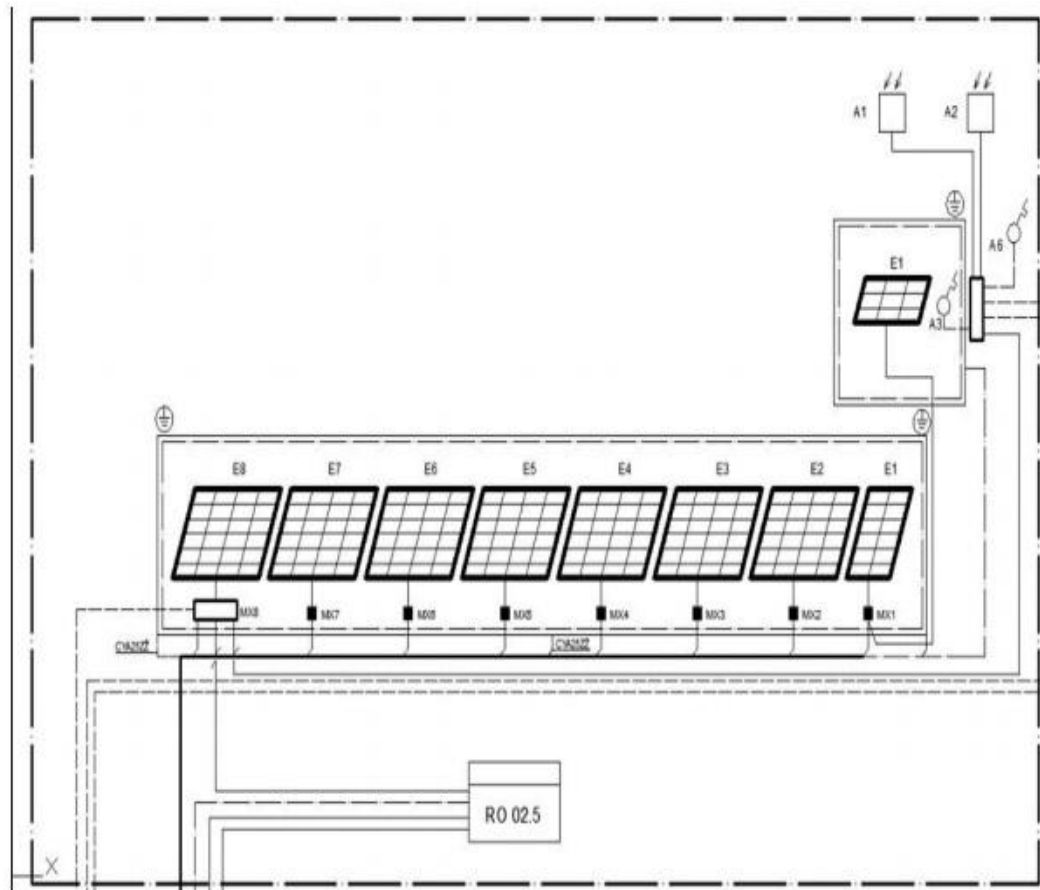
2.2 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely řadíme do kategorie obnovitelných zdrojů energie. Jsou charakteristické nevyčerpatelným zdrojem energie v podobě slunečního záření. Velkou výhodou této energie je skutečnost, že neprodukuje žádné emise. FV elektrárny nachází využití i v malém v měřítku, například instalace na střeších obytných domů, obchodů, nebo továren pro vlastní spotřebu. Také ve větším měřítku energetických soustav. Jednou z největších energetických velmocí je Německo, které se podílí ze 7 % na výrobě elektřiny. [3]

2.2.1 Technické řešení FV panelů

FV panely jsou vyrobeny z monokrystalického křemíku od firmy IZOFOTON s.r.o. Tento křemík umožňuje vysokou účinnost a dlouhou životnost. Barva článku je modrá kvůli zvýhodnění ceny. Výkonová část umístěná na střeše disponuje 192 FV panely o celkovém výkonu 20 kWp, které je rozděleno do 8 polí. Celá soustava je připojena na střídače poskytující vyrobenou energii do sítě nn v budovách. FV panely jsou přístupné z obou stran k údržbě. Experimentální část trackeru poskytuje 2 FV panely, jež jsou umístěny na natáčecím zařízení.

Uzemnění se provádí přes FeZn 8 mm kabely na jímací soustavu hromovosvody. Objekt SO 02 je tedy umístěn na střeše, kde jsou umístěny vedle sebe FV panely. Rozvaděč FV systému se nachází v Objektu SO 03 a tj. místnost v 5. patře, který je propojen střešou objektu So 02. K rozvaděči musí být připojeno 8 střídačů umožňující přeměnu střídavého napětí na stejnosměrný a naopak podle potřeby. Objekt SO 0 se nachází ve vstupním vestibulu. Zobrazovací jednotka umístěná ve vstupním vestibulu je napojena kabelem CYKY, tedy nejběžnějším způsobem.



Obr. 2.1.2 Blokové schéma fotovoltaického systému [6]

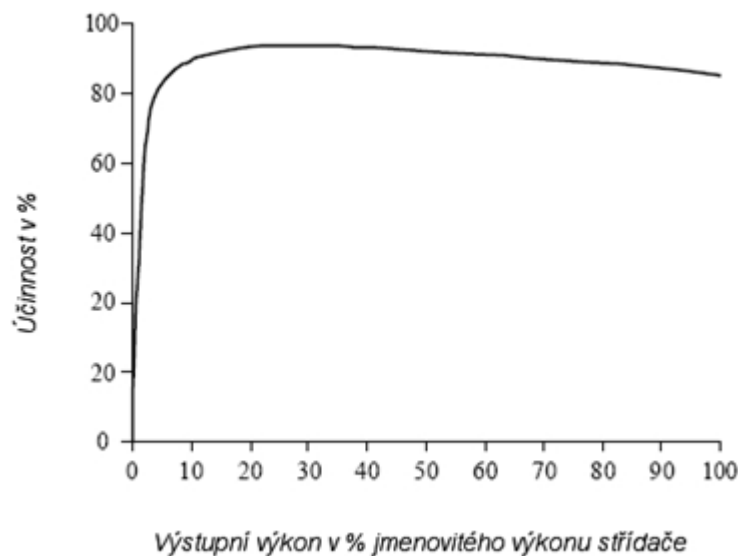
Legenda zařízení na obr. 3.2: A1 snímač osvitů FV 45 % – Solartec SG2460, A2 snímač globálního osvitů – Pyranometr typ CM21, A3 snímač teploty panelů – Typ F1020, A6 snímač venkovní teploty, E(1-8) fotovoltaické soustavy – 192 panelů Izofoton PE 72-106, MX(1-7) skříně převodníků, MX8 svorková skříně FV sestavy, z této skříně vychází i datové vedení, R0 02.5 rozvaděč.[6]

2.3 Střídače FV systému

Střídače jsou důležitou součástí fotovoltaické elektrárny. Hlavním parametrem střídačů je bezesporu účinnost z hlediska využití energie. Účinnost u FV systému znamená, kolik energie ze stejnosměrného vstupu se přemístí na střídavý výstup. Rozeznáváme dvě účinnosti a tj. maximální účinnost a tzv. evropská účinnost. Druhá jmenovaná účinnost se vypočítá jako vážený průměr účinnosti v definovaných výkonových úrovních. Další parametr se zabývá sledováním účinnosti maximálního výkonu. Tento parametr udává, jak se střídači daří sledovat

optimální pracovní bod právě připojených panelů. Ostatní parametry jsou zcela zanedbatelné z hlediska využití energie.

S vývojem lidstva a s rozvojem populace se nahradily klasické střídače novými technologiemi. FV střídače jsou pořád ve světě velice populární, kvalitní, technická podpora výborná, jenže také přináší i svoje nevýhody a tj. přináší ztráty vyrobené energie. Lépe řečeno se nedokážou vyrovnat s některými problémy. [5]



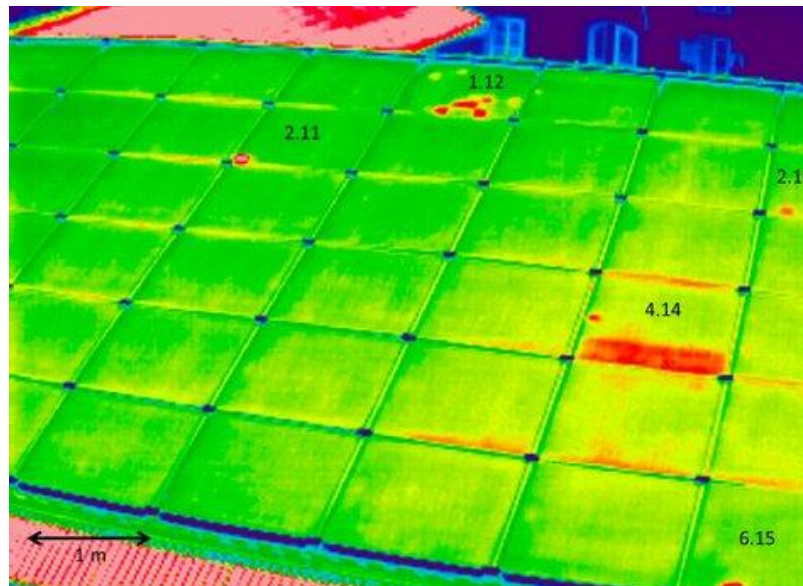
Obr.2.3 Závislost účinnosti na výstupním výkonu střídače [5]

2.3.1 Problémy snižování výkonu FV střídačů

Základním problémem příčiny sníženého výkonu je nesoulad výkonu. Tento jev se ovlivňuje už od výroby, kdy se jednotlivé výkony jednotlivých panelů podstatně liší. Výkonová tolerance se pohybuje kolem úzkých hodnot ($\pm 3\%$). Nejslabší panel je určen výkonem v řetězci panelů v sérii. Všechny panely mají obrovskou výhodu za stanovených testovacích podmínek. Dodávají maximální výkon při jiné hodnotě elektrického proudu a napětí. Nesmím opomenout rozdílnou závislost výkonu na intenzitě a na teplotě, jenž se jeví jako další problém nesouladu výkonů. Dále se tyto závislosti prohlubují v čase s postupem degradujících panelů. S odstupem času se můžou dokonce projevit různé defekty vznikající při výrobě.

S částečným zastíněním se setkáváme poměrně všude, avšak je to nežádoucí jev. Druhů částečného zastínění je mnoho, například komín, sloup, dráty elektrického vedení. Tyhle překážky způsobují rozdílný výstupní výkon panelů v řetězci. FV panely jsou vybaveny bypass diodami právě pro potřebu snížení výkonu o 30 % až 100 % a znázornění ztrát. Částečné zastínění může postihnout majitele o roční snížení výnosů o cca 1,5 % až 25 %

Teplotní rozdíly se dají snímat termokamerou. Na různých místech působí různá teplota. Při vyšší teplotě se výkon FV panelů snižuje. Provětrávaná FV fasáda zaznamenává vyšší teplotu horních panelů, takže v dolních řadách je zákonitě teplota menší.



Obr.2.2.1 Rozložení teplot termokamerou [5]

2.3.2 Nevýhody střídačů FV systémů

Pokud si musíme vystačit s klasickým střídačem s určitým omezením, projektant si musí vystačit s typem a počtem panelů ve stringu. Nevyužitá střecha je první zásadní nevýhodou, jenž nemůže rozložit celý potenciál střechy. Pokud se rozhodneme pro výměnu panelů, musí investor použít panel, který má shodné původní parametry. Není-li tomu tak, ovlivní se výkon celého stringu. Nalezení vadného panelu bez pomocných přístrojů je velmi

obtížné. Fotovoltaika představuje z hlediska požáru velmi vysoké riziko, jelikož se jedná o zařízení pod napětím 1000 V. Také se muselo na střeše FEL udělat potřebné požární zabezpečení.

2.3.3 Mikrostrídače

Mikrostrídače neboli mikroinventory řadíme mezi samostatné malé jednotky, které se používají ke konverzi stejnosměrného proudu na proud střídavý. Způsob umístění je realizován přímo na panelech FE elektrárny. Díky lepší konstrukci odstraňují nedostatky klasických systémů. Jsou zcela nezávislé na počtu, typu a orientaci panelů ve stringu.. Cena mikrostrídačů se pohybuje řádově kolem 5000 Kč a jsou dražší než klasické strídače. Nevýhodou těchto strídačů je poměrně úzké spektrum panelů a účinnost ve srovnání s ostatními strídači. [5]



Obr. 2.2.3 Mikrostrídač systému SMA [5]

2.4 Tracker – experimentální část

Tento naváděcí systém funguje na principu natáčení fotovoltaických panelů v průběhu dne směrem ke slunci. Výnosy FV systému se relativně zvyšují, lépe řečeno při jednoosém navádění je možné až 20 % vyšší roční výnos proudu. Při dvouosém navádění se logicky zvýší výnos proudu a tj. 30 %. Ovšem ve středoevropském klimatu ve velkých případech nemá navádění žádný větší význam z ekonomických důvodů. Tracker jednoduše hledá optimální rovnováhu mezi napětím a proudem, jenž teče do střídače z fotovoltaických panelů.

Konkrétně sestava Trackeru se značí E9 a je umístěna na střeše. Výbava Trackeru se skládá ze dvou kusů fotovoltaických panelů, avšak každý panel je zvlášť připevněn na střídač. Střídač se nachází na spodní straně FV panelu. Solární FV panely poskytují díky Trackeru natáčení v horizontální snímání polohy panelů a snímač intenzity slunečního záření v rozmezí 0-90 stupňů. Natáčení panelů se řídí pomocí pohonu. A je tedy poté možné ovládat signálem z pc. Jelikož se jedná o experimentální určení, nepředpokládá se nepřetržitá dodávka energie. Dalším vybavením Trackeru je rozvaděč RSP. Energie této části se dodává do sítě nn. [6]



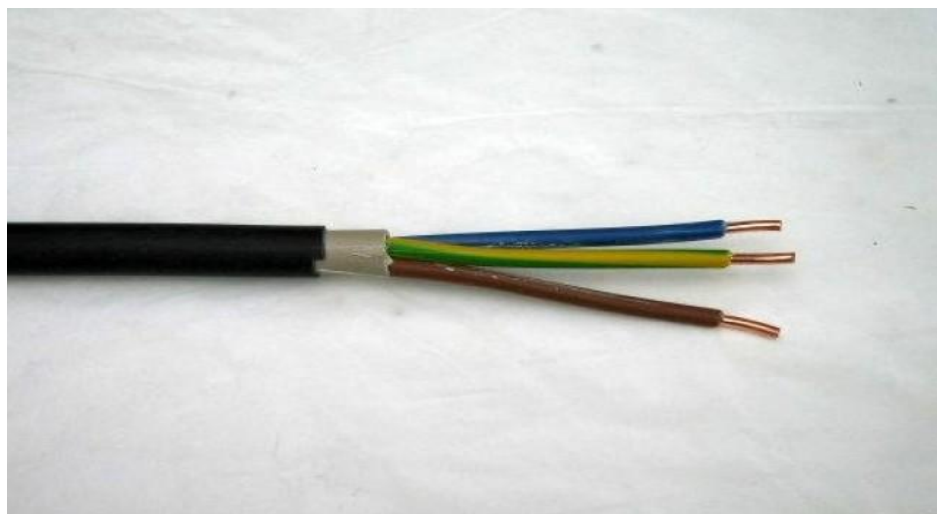
Obr. 2.3 konstrukce FV panelu [12]

2.5 Kabelové rozvody a uzemnění

Zásadní myšlenka kabelových rozvodů musí být provedena takovým způsobem, aby nezatěžovala údržbu a také například obnovy jednotlivých dílů technologických zařízení FV systému, i stávajících elektrických rozvodů. Silnoproudé připojení je realizováno pomocí Cu kabelu typu CYKY. Naopak pro slaboproudé a datové připojení jsou navrženy kabely FTP 4x 2x 0,5. Venkovní kabely se klasicky vedou na kovové upevňovací konstrukce FV panelů a jsou uloženy v oceloplechových kabelových žlabech nazvaných MARS. Zbývá provést vedení ve vnitřních prostorech, které je umístěno v mezistropech, pod omítkou nebo na povrchu v PVC vkládacích lištách.

Celkové provedení kabel. rozvodů musí odpovídat zejména ČSN 33 2000-5-52 a barevném značení vodičů ČSN 33 0165. Jednotlivé kabely musí být na obou koncích a v určených místech v trase označeny štítky (číslo označení, typ kabelu, délka, odkud- kam), taktéž veškeré uzemňovací body musí být označeny příslušnými značkami pro uzemnění. Samozřejmě je také nutné provést protipožární opatření, například utěsnit protipožární hmotu s velkou požární odolností, jak je už zmíněno v požární zprávě.

U kovových částí nosné a upevňovací konstrukce příslušných sestav a solárních panelů, přípojnic PE kompletních rozvaděčů a skříní se propojují vodiči CYA. Střídače disponují bezpečnostní ochranou umožňující automatické odpojení solárního generátoru od sítě při poklesu napětí v síti. Také je bezpečnostní ochrana zabezpečena datovým komunikačním výstupem RS485. [6]



Obr. 2.4 Jednotlivé druhy vodičů [7]

2.6 Rozvaděč

Před instalací rozvaděče je nutné připravit odběrné místo dle kritérií pro připojení k distribuční soustavě. Nutné je také, aby byl rozvaděč veřejně přístupný. Nezbytnou nutností zařízení se jeví komunikační cesta pro HDO mezi elektroměrovým rozvaděčem a rozvaděčem RDAC. Druhý zmiňovaný rozvaděč můžeme charakterizovat jako výstupní prvek fotovoltaické elektrárny. Obvykle se nachází vedle měničů napětí. Hlavní funkcí RDAC je ochrana jednotlivých částí systému, avšak i případná možnost odpojení nebo ochrana sítě. [8]

Funkce rozvaděče RDAC

- Jističe a přepětíové ochrany na DC straně pro jednotlivá FV pole (tzn. před měniči napětí)
- Jističe a přepětíové ochrany na AC straně pro jednotlivá FV pole (tzn. za měniči napětí)
- Elektroměr pro 1, či 3 fázové měření vyráběné a dodávané elektrické energie
- Účinky FV zdroje (nadfrekvenční a podfrekvenční ochrana)
- Podplová ochrana, hlídání sledu fází, ochrana proti napětíové nesymetrii



Obr.2.5 Rozvaděč systému pro síť nn [vlastní zdroj]

2.7 Snímače osvitů

Fotovoltaický systém 20 kWp obsahuje kromě už zmíněných komponentů také dva snímače osvitů. Pro znázornění jsou vidět ve schématu na obr. 2.12, tedy A1 snímač osvitů FV 45 % – Solartec SG2460 a A2 snímač globálního osvitů – Pyranometr typ CM21. Pyranometr je přístroj pro měření slunečního záření. Patří mezi nejpřesnější měřicí přístroje, a proto se také používá pro meteorologická měření. Stejně vlastnosti vykazuje referenční článek až na pár výjimek. Snímač osvitů měří dopadající záření každého směru jen do určitého úhlu, který odpovídá totálnímu lomu použitých krycích vrstev. Na rozdíl od pyranometru nedokáže zachytit šikmé dopadající záření. Dá se tedy charakterizovat jako běžný solární článek. [6]

Hodnota osvitů může nabývat v určitých částech vyšších hodnot, než je příslušná hodnota sluneční konstanty (1367 W/m^2). Pyranometr umožňuje zachytit i šikmo dopadající záření. Chceme jednoznačně docílit toho, aby měřidlo bylo přesné a stanovily se přesné hodnoty Performance ratio. Tento parametr patří do kategorie základních kvalitativních parametrů FVE. Pro získání výpočtů podělíme výrobu elektrické energie s hodnotou osvitů.

Vytvořený podíl se vztahuje k instalovanému výkonu. Performance ratio je výhodné monitorovat dlouhodobě, jelikož zhruba udává představu o stárnutí FVE. Dále také o vlivu špíny nebo různých degradací.



Obr.2.6 Pyranometr [9]

2.8 Ochrana proti přepětí

Elektroinstalace v objektech obsahuje vícestupňovou ochranu proti přepětí v několika stupních. Přesněji řečeno připojená zařízení FV systému v části silnoproudu i ve slaboproudu a také měřící zařízení a regulace disponují ochranami pro přepětí typu 2. a 3. stupně. U objektu s popisem S0 02 byl přidělen 1. stupeň v hlavním rozvaděči objektu RO 02, který je dále doplněn 2. stupněm ochrany.

Silové vývody a datové vazby poskládané jednotlivě jsou využité pro silové napájení a datové napájení řídicího PC, dataggerů, střídačů, zobrazovací jednotky i dalších el. zařízení. Stávající elektroinstalace se musí vybavit vhodnými vícestupňovými přepětovými ochranami. Pokud chceme cokoliv instalovat nebo namontovat, musíme se řídit normou podle ustanovení. Také instalace přepětových ochran dodržuje normu ČSN 33 2000-4-443, ale i montážní předpisy výrobce. Je nutné upozornit dodavatele na možná finanční rizika, které vedou v případě zničení elektrických silových a slaboproudých zařízení. Toto upozornění se týká jen tehdy, pokud nejsou opatřeny vícestupňové přepětové ochrany.[6]

2.9 Zobrazovací jednotka

Základní vybavení FV systému obsahuje také zobrazovací jednotku, jenž se nachází ve vestibulu vstupní haly naší školy FEL. Jednotka zobrazuje nejdůležitější veličiny FV systému a tj. okamžitý výkon, vyrobená energie, teplota apod. Musí se zajistit volná datová zásuvka vnitřní počítačové sítě pro datové napojení, který vede řídicí PC v místnosti. [6]

2.10 Datalogger DL002

Přístroj vyhodnocuje sběr následujících veličin pomocí připojeného trackeru s instalovaným výkonem 200 Wp

- Okamžitý výkon
- Celková vyrobená energie
- Okamžitá hodnota stejnosměrného napětí

Pomocný program spuštěný na pc je připojen přes sériovou standardní linku, který ovládá polohu trackeru a zobrazí okamžité hodnoty FV systému. Mezi ně patří (náklon panelů

, intenzita slunečního záření, okamžitý střídavý výkon, střídavé výstupní napětí, střídavý výstupní proud, stejnosměrné napětí a celková vyrobená energie)



Obr.2.10 Datalogger DL- 1 [11]

3 Měření kontroly stavu Fotovoltaické elektrárny

3.1 Postup měření FV panelů

Měření bylo provedeno na střeše budovy Fakulty elektrotechnické ZČU pro více účelů. Tato elektrárna byla uvedena do provozu 12.3.2004. Odhadovaný elektrický výkon do sítě činí 17 000 kWh/ rok. Podrobné údaje jsou vidět v tab. 3.1

Tab.3.1 Základní parametry Fotovoltaické elektrárny FEL ZČU

Počet panelů	192
Celková plocha	163,2 m ²
Sklon panelů	45°
Orientace	Jih
Předpokládaný výkon	20 kWp
Počet střídačů	8

Pro srovnání jsem nahlédl do sešitu, ve kterém se zapisují odečty elektroměru během roku. V roce 2015 činil elektrický výkon 21 922 kW/ h, zatímco v roce 2013 pouze 19 868 kW /h. Nicméně skutečný elektrický výkon v avizovaném období do sítě činil více, než odhadovaný. V roce 2013 bylo výrazně špatné počasí, a proto avizovaný výkon značně klesnul, než v roce 2015.

Tab.3.2 Srovnání elektrického výkonu do sítě

Datum roku 2013	Odečet elektroměru [kW/h]	Datum roku 2015	Odečet elektroměru [kW/h]
2.1	194 994	5.1	234 610
31.1	195 248	18.3	237 061
1.3	195 278	4.5	241 052
29.4	197 631	26.6	245 503
30.5	199 746	10.8	249 557
29.11	214 161	1.10	253 335
2.1	214 862	20.1	256 532
Roční el. výkon do sítě [kW/ h]	19 868	Roční el. výkon do sítě [kW/h]	21 922

Následující postup měření se musel provést za standardních podmínek a postupoval jsem jednotlivé panel po panelu. Samostatné panely jsou zapojeny v sérii po osmi kusech. Každý panel obsahuje zezadu tzv. krabičku, ve které ji přísluší pomocné bypass diody. Po uvolnění šroubků následovalo měření prvního panelu a postupně podle navržené tab. 3.2 se prostřídalo všech 24 panelů v určitých stringech. Níže uvedená tabulka znázorňuje všechny panely v prvním stringu.

Tab. 3.1.1 Číselné označení částí FV systému podle vlastního návrhu

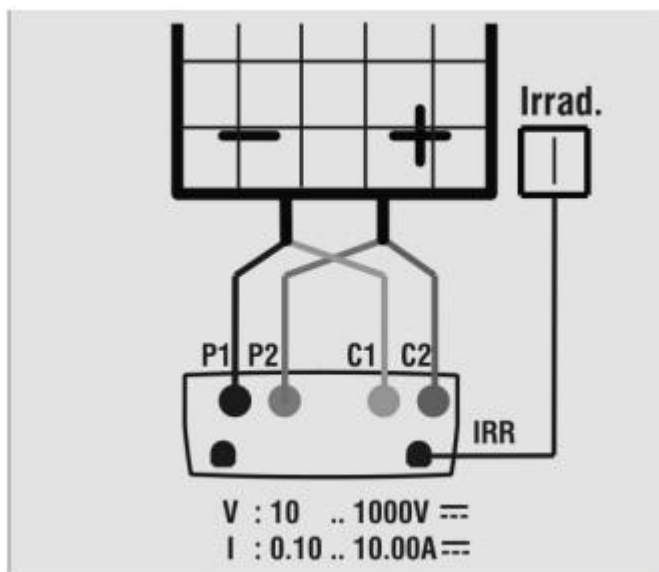
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
17	18	19	20
21	22	23	24

K měření mi byl zapůjčen velice šikovný přístroj Solar I-V 400 s pomocnou sondou pro zjištění teploty a intenzity slunečního záření s referenčním článkem. Jelikož bylo velice obtížné stále měřit intenzitu záření z důvodu dodržení úhlu 45° a správného zachycení, rozhodl jsem se změřit tenhle parametr jen u prvních pár měření. Bohužel se mi nepovedlo změřit všechny panely v jeden den, jelikož měření bylo časově náročné a s přibývajícím hodinou ukazoval měřič menší proud. Horní panely označené od čísla 18-24 jsou umístěné ve výšce, a tak jsem si zapůjčil z katedry štafle pro snadnější práci.



Obr .3.1.1 Solar I-V 400 s uvedenými hodnotami

Naměřené hodnoty zjištěny za standardních testovacích podmínek se ve velmi krátkém čase porovnají s hodnotami uvedenými výrobcem. Poté se vyhodnotí výsledek testu. Na obr.3.1.2 můžeme vidět konkrétní zapojení přístroje Solar I-V 400 v půdorysu k panelu. Pokud bych se spletl v zapojení a například spletl polaritu vývodů, přístroj by nic nezměřil. Vyhodnotil by pouze záporné napětí. Zkratka IRR měří intenzitu slunečního záření.



Obr.3.1.2 Zapojení přístroje Solar I-V k panelu

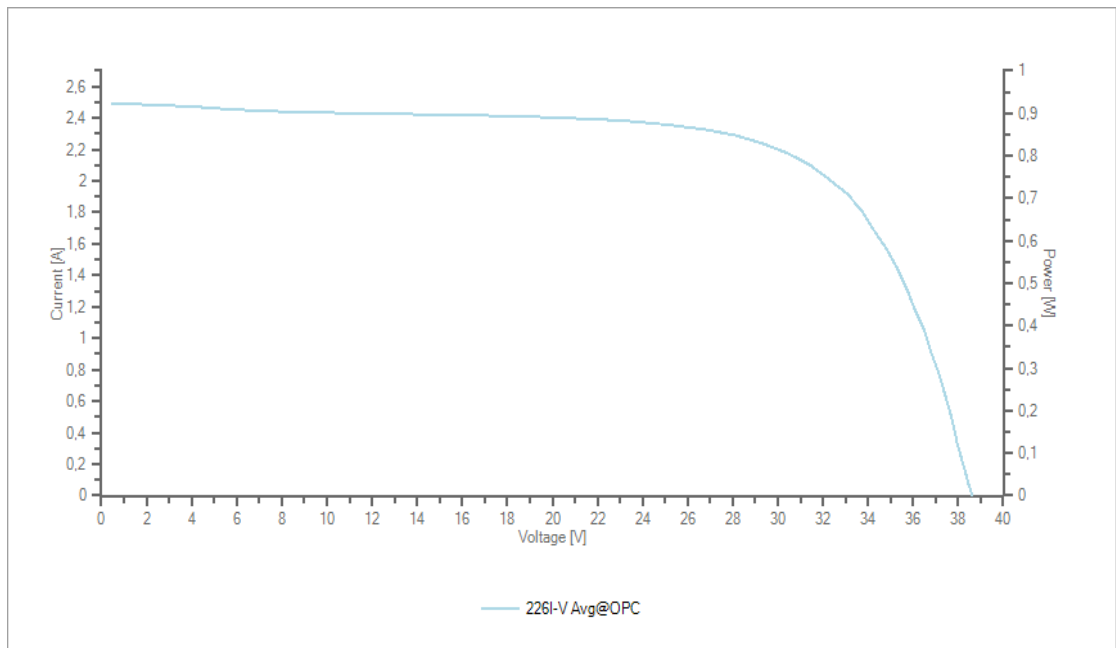
3.2 Výsledky měření V-A charakteristik

Výsledné V- A charakteristiky na doporučení jsme převedli do programu Topview, ve kterém se následně upravovaly. Zmíněný program je schopen snadné analýzy dat. Na začátku měření jsme získali největší intenzitu slunečního záření a tedy i proud na krátko se vyšplhal na 3,32 A. Hodnoty I_{mpp} a V_{mpp} označují maximální obdélník, jenž plocha odpovídá maximálnímu výkonu. Druhá hodnota V_{oc} představuje maximální napětí při nulovém dodávání výkonem do sítě. Ostatní hodnoty jsou uvedeny níže v Tab.3.2 druhého panelu začínajícího stringu.

Tab.3.2 Odpovídající hodnoty druhého panelu v prvním stringu

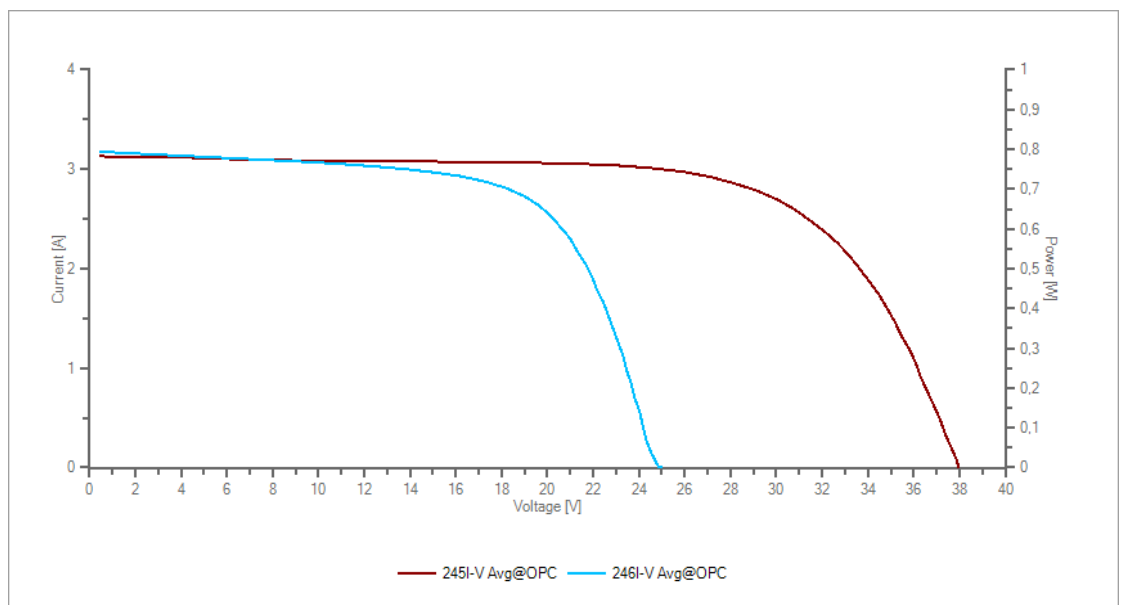
P_{max} [W]	V_{oc} [V]	V_{mpp} [V]	I_{mpp} [A]	I_{sc} [A]	I_{rr} [A / m ²]
84,81	38,56	29,66	2,86	3,32	801

Prvních 24 panelů vykazuje zcela přijatelné charakteristiky. Do přílohy jsem rozdělil panely od 1 do 3 a dále vybral jen pro znázornění panely od 13 do 18. Příslušné hodnoty proudu přístroje jsou o polovinu větší, jelikož jsme měřili nejvyšší intenzitu slunečního záření při 801 W/m² a nominální hodnota záření přístroje je 1000 W.m². Níže uvedená V-A charakteristika je identická s ostatními a odpovídá prvnímu panelu v prvním stringu.



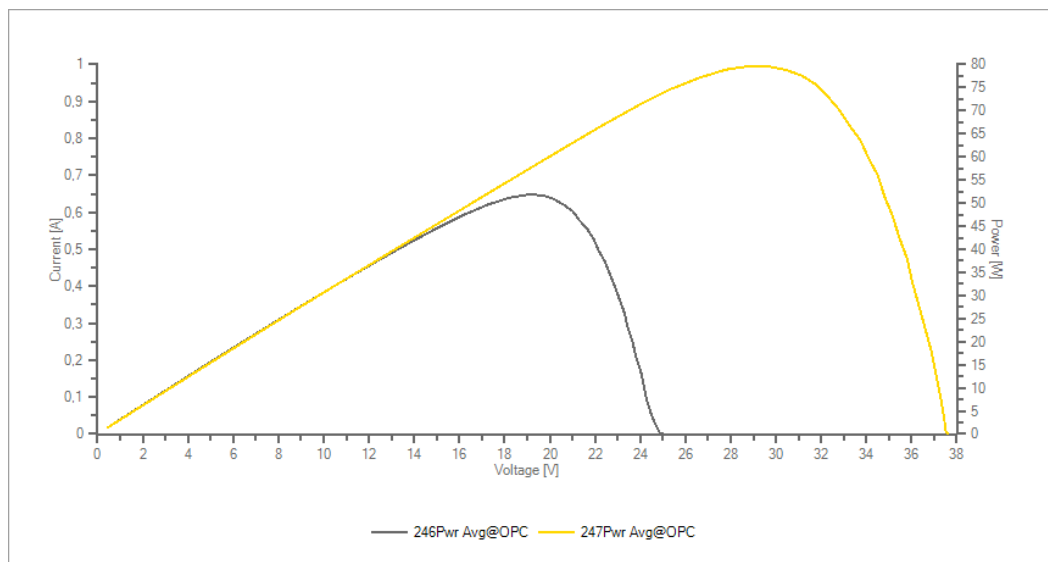
Graf 3.2.1 V-A charakteristika prvního panelu

Následující skupina panelů 9-18 uvedená v Příloze 2 je totožná s předchozími až na jeden panel č. 15, který ukazuje skoro o polovinu napětí méně, než všechny ostatní panely ve stringu. Tento panel jsem zkoušel změřit znova a stále se hodnota nezměnila. Několik vykreslených charakteristik je umístěno v přílohách a zbytek grafů jsem se rozhodl po domluvě umístit na CD.



Graf 3.2.2 Porovnání funkčního panelu s vadným panelem č.15

Důvodů rozdílného napětí vadného panelu může být několik. Například mohlo dojít během funkčnosti FV elektrárny k poškození diod nebo se mohou jevit vadné články. Rozdíl napětí dvou panelů v příslušném Grafu 3.2.2 je 13V.



Graf 3.2.3 Výkonové charakteristiky vadného a funkčního panelu

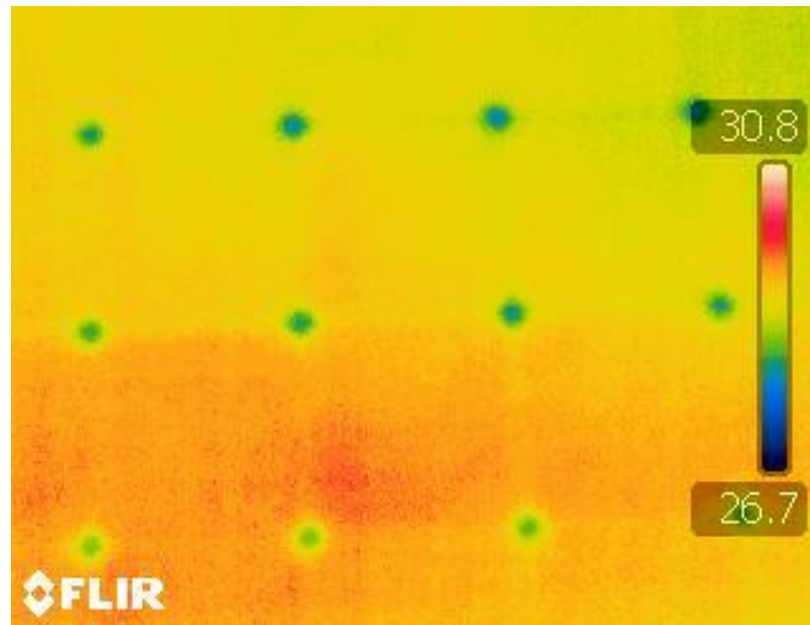
Zajímavé je také srovnání výkonových charakteristik z Grafu 3.2.3, jelikož funkční panel žlutou barvou při maximální špičce dosahuje až 80 W. Vadný panel č.15 černou barvou je schopen vyrobit pouze 50 W.

3.3 Výsledky měření termokamerou

Měřením termokamerou jsem změřil pouze 2 řady v každém stringu a navíc zkoumané 2 vadné panely. Více se mi nepodařilo vyfotit z důvodu nemožných dodržených podmínek potřebné pro měření termokamerou. Pro kompletní vyhodnocení FV systému tímto zařízením by se musel použít dron.

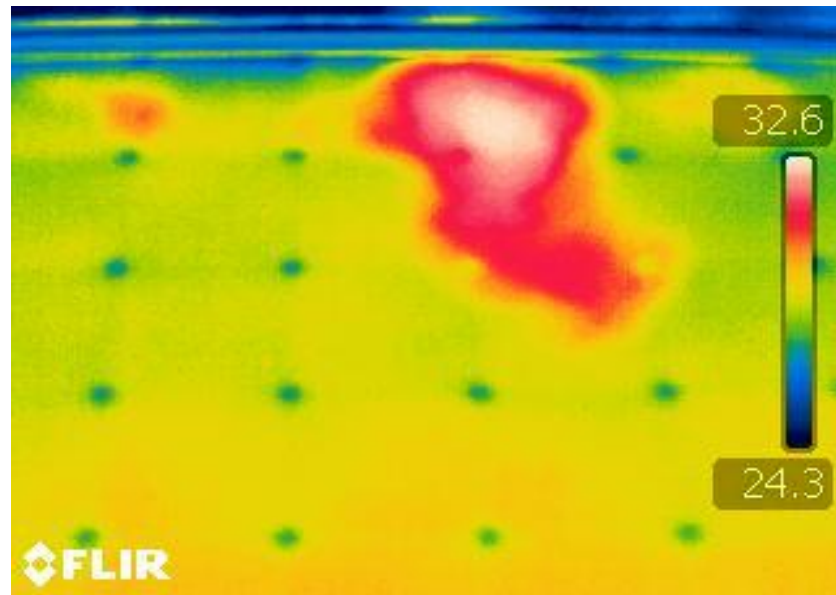
Pokud naměříme zdeformované charakteristiky panelu, můžeme hledat příčiny vady díky termokameře. Pomocná kamera umožňuje detailní přiblížení na článek č.15, jenž vykazuje

menší napětí a V-A charakteristika je tedy posunutá. Konkrétně na Obr. 3.3.1 je znázorněn detailní náhled na tento článek. Teplotní rozložení pole je v pořádku, tudíž se jedná o článek bez vady.



Obr3.3.3.1 Detailní náhled na FV článek termokamerou

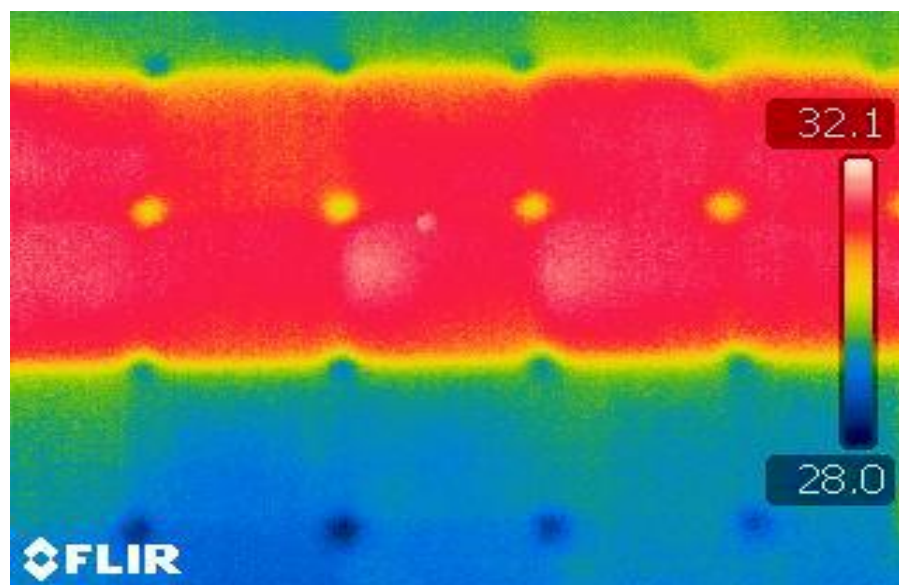
Pokud chceme kvalitně porovnat výsledky, měli by se uplatňovat standardní zkušební podmínky. Hlavně by měla být dodržena intenzita záření na hodnotu 1000 W.m^2 a teplota článku 25 C .



Obr. 3.3.2 Detailní náhled různého rozložení teplot článku

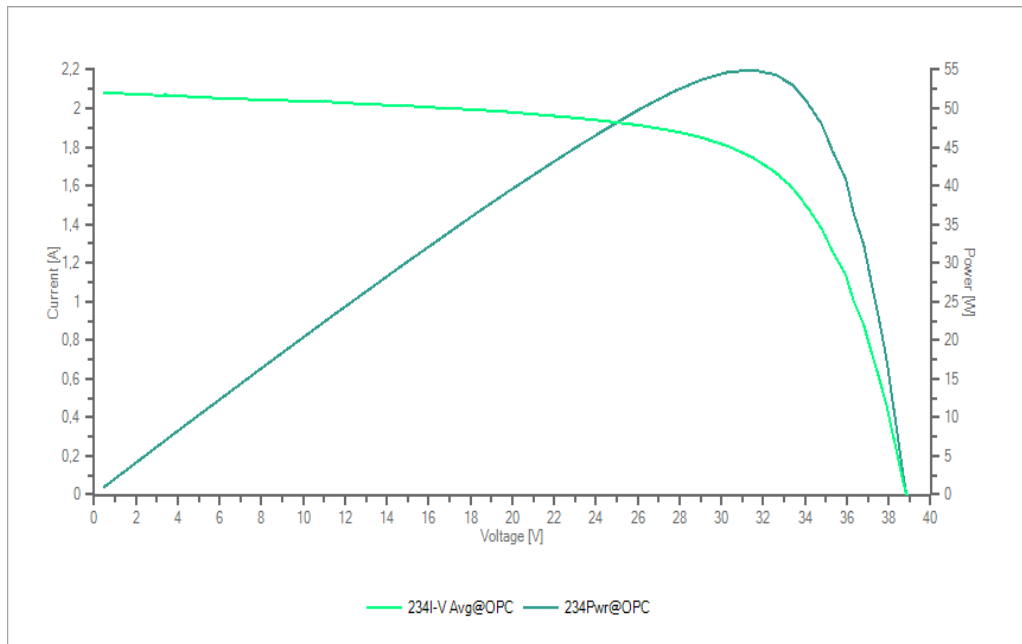
Při nedodržení podmínek STC může nastat tzv. mlhovina jako na Obr.3.3.2. Zde se jedná o odraz paprsků od mraků. Modré okraje (nižší teploty) jsou způsobeny kvalitnějším ochlazováním na okraji článků.

Během měření jsem se ještě setkal s jedním problémem týkající se teplotních pásů, které mohli být způsobeny několika vadami. Jedna z nejreálnějších variant se mi jevily vadné spoje nebo zničené diody. Na Obr. 3.3.3 jsou detailněji vidět rozvrstvení teplotních pásů.



Obr.3.3.2 Rozdělení teplotních pásů termokamerou

Pro kontrolu stavu už zmíněné vady jsem ověřil na naměřené V-A charakteristice příslušného panelu. Po kontrole charakteristiky se zdá být zcela v pořádku konkrétní panel.



Graf 3.3.4 Provozní charakteristiky FV panel

3.4 Zhodnocení stavu fotovoltaické elektrárny

Po pečlivém měření všech 192 FV panelů jsem objevil 2 panely, které způsobují snížené napětí. První vadný panel se nachází v 1.stringu č.15 se sníženou hodnotou napětí o 15 V. Druhý FV panel se nachází v 6.stringu č.20 se sníženou hodnotou napětí o 10 V. Dále jsou vidět na některých grafech zkreslené průběhy, konkrétně panel v 6.stringu č.17. Nicméně bych tento průběh odůvodnil špatným držení svorek přístroje nebo kontaktem spojů.

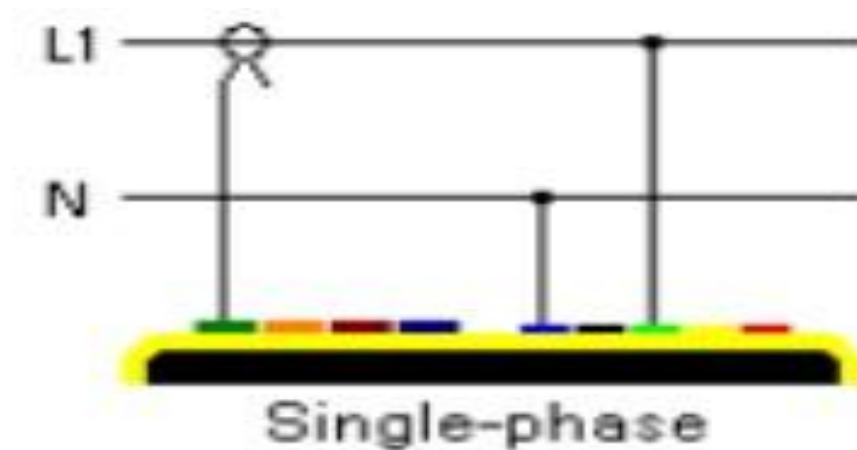
FV panel v 6 stringu č. 20 při otevření krabíčky zezadu byl dokonce rozpojen, tudíž nebyl v provozu. Dále jsem našel v 5 stringu č.17 spájené vývody, tudíž se nedal vypojit panel jednoduše přes šroubek, ale musel jsem rozpojit příslušný panel v sérii pro odpojení ze stringu

Měření probíhalo ve 2 dnech, jenž v prvním dnu se intenzita dopadajícího záření pohybovala kolem 700 W.m^2 a stihl jsem změřit pouze 2 stringy při téhle intenzitě. Druhý den se změřilo 6 ostatních stringů při intenzitě dopadajícího záření 500 W.m^2 . S přibývajícím časem však intenzita ještě postupně klesala. Díky tomu můžeme vidět snížený elektrický proud v řádech 1- 2 A v 7.stringu.

4 Vyhodnocení činnosti střídačů

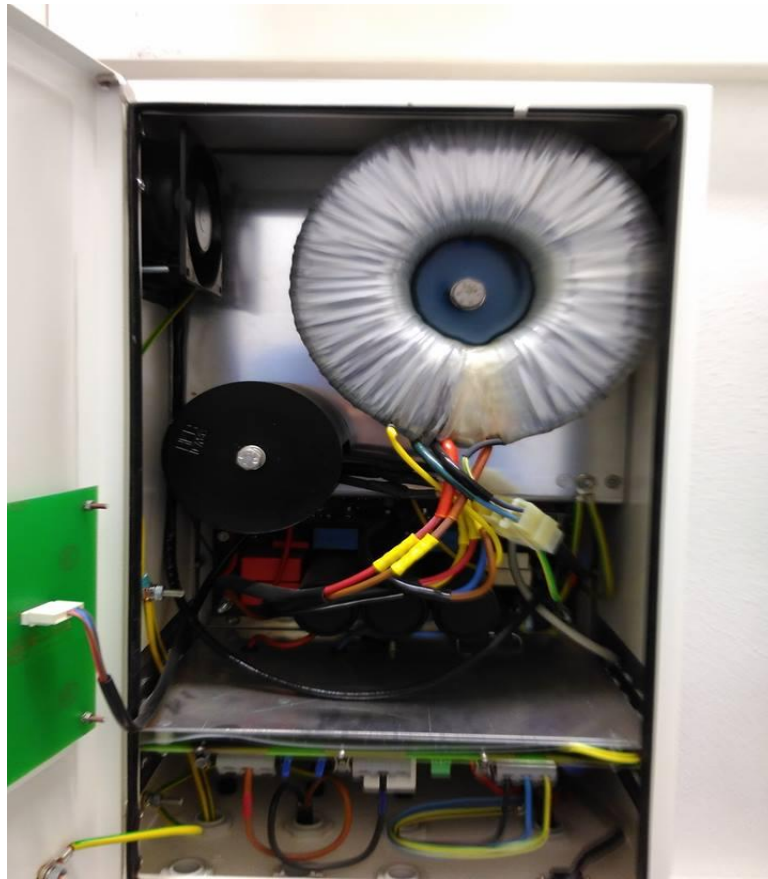
4.1 Postup měření

Fotovoltaická elektrárna na ZČU FEL zahrnuje 8 střídačů, které jsou umístěné v 5. patře v uzavřené místnosti. Každý střídač změřím zvlášť na výstupu a pro určení účinnosti změřím i stejnosměrné napětí před vstupem střídače.. Pro měření jsem si vypůjčil přístroj z katedry elektroenergetiky a ekologie s názvem Qualistar plus C.A 8335. Přístroj je vybaven speciálními konektory zvlášť pro elektrický proud. Podle schématu zapojení z Obr. 4.1.1 jsem změřil v 1 f zapojení příslušné hodnoty.



Obr. 4.1.1 Zapojení přístroje na síť [vlastní zdroj]

Při měření se musí dbát na bezpečnost, jelikož střídače jsou pod napětím a je nutná maximální opatrnost při měření. Analyzátor zprostředkuje záznam naměřených a vypočtených hodnot. Dále je umožněno široké spektrum možností zobrazení a funkcí. Tento analyzátor dokáže měřit i více fází najednou (2f, 3f).



Obr.4.1.2 Střídač Sun profi na škole FEL [vlastní zdroj]

Dále jsem proměřil zvlášť střídače Sun Profi přímo uvnitř zařízení z Obr. 4.1.2 a pomocí multimetru naměřil následující veličiny z Tab.4.1,1 jenž 3.střídač a 6.střídač vykazuje výrazný pokles proudu. Největší střídavý výkon náleží druhému střídači a tj.1802,2 W.

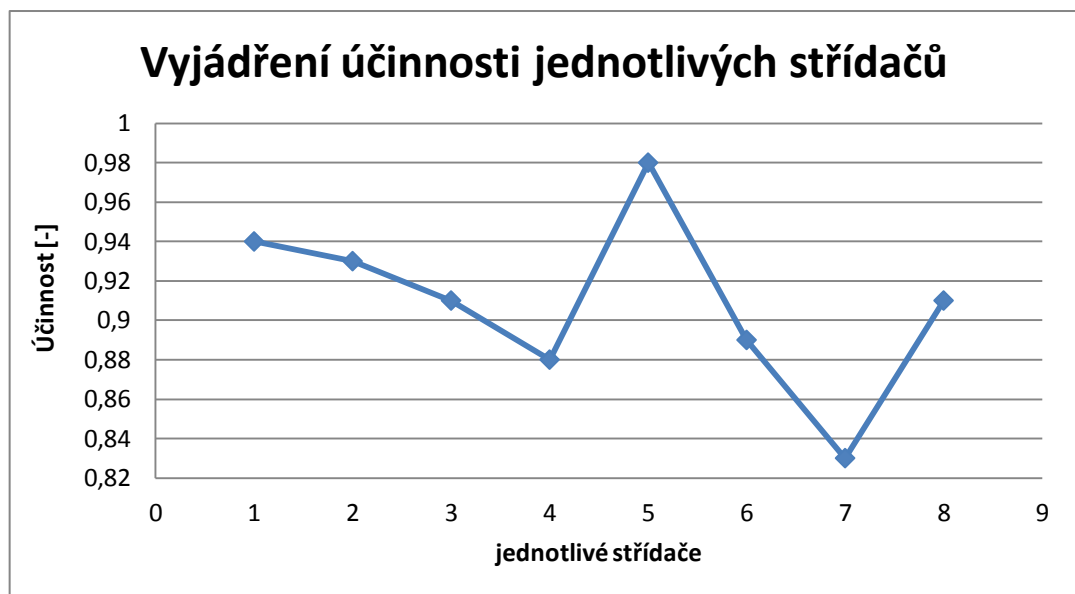
Tab.4.1.1 Naměřené a vypočtené hodnoty multimetrem

Střídač	Ss. napětí [V]	Stř. napětí [v]	Stř. proud [A]	Ss. proud [A]	Stř. výkon [W]	Ss.výkon [W]	Účinnost [-]
1	254	224	5,557	5,2	1244,77	1320,80	0,94
2	259	229	7,87	7,5	1802,23	1942,50	0,93
3	238	227	1,9	2	431,30	476,00	0,91
4	244	225	5,74	6	1291,50	1464,00	0,88
5	244	228	5,286	5	1205,21	1220,00	0,98
6	246	225	1,656	1,7	372,60	418,20	0,89
7	242	225	5,379	6	1210,28	1452,00	0,83
8	247	228	7,772	7,9	1772,02	1951,30	0,91

$$\eta = \frac{P_{stř}}{P_{ss}} = \frac{1224,8}{1320,8} = 0,94 [-]$$

Kde $P_{stř}$ je elektrický výkon na výstupu ze střídače, P_{ss} charakterizuje elektrický výkon na vstupu do střídače. Podle příslušné dokumentace by se měla účinnost teoreticky pohybovat mezi 0,88 – 0,95. Po shlédnutí Tab. 4.1.1 mohu odůvodnit, že všechny střídače naplňují teoretické předpoklady až na šestý střídač. Nicméně rozdíl šestého střídače je nepatrný.

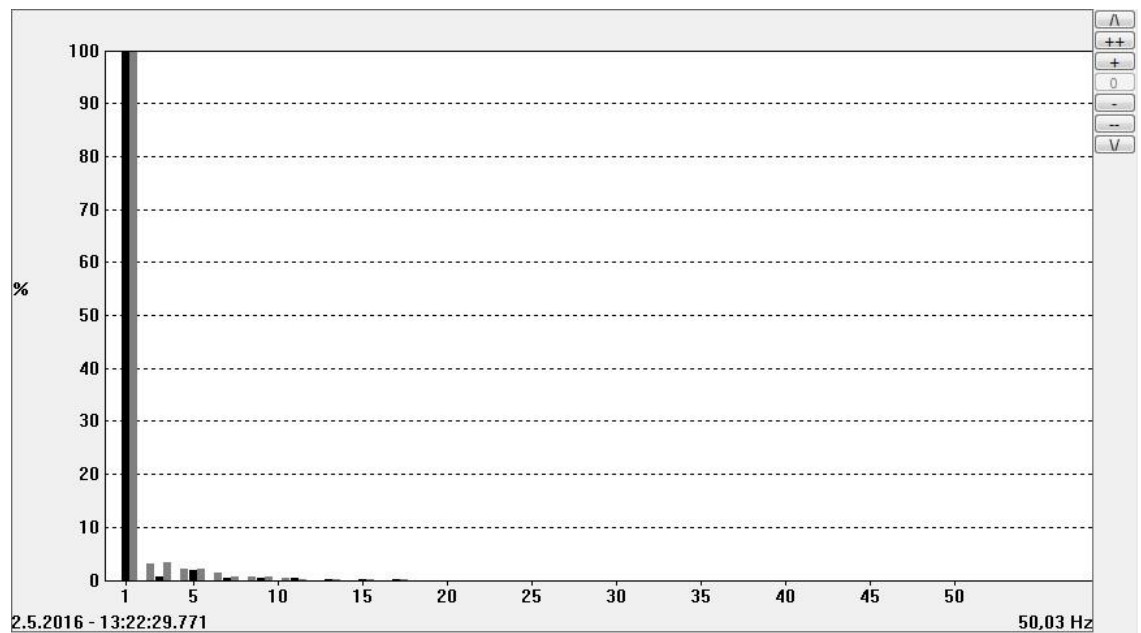
Všechny účinnosti získaných střídačů jsem vynesl do grafu. Z grafu je patrné, že hodnoty střídačů v příslušných stringech mají velký rozptyl. Důvodem jsou kolísavé proudy panelů a následně změna elektrického výkonu.



Graf 4.1.3 Vyjádření účinnosti střídačů

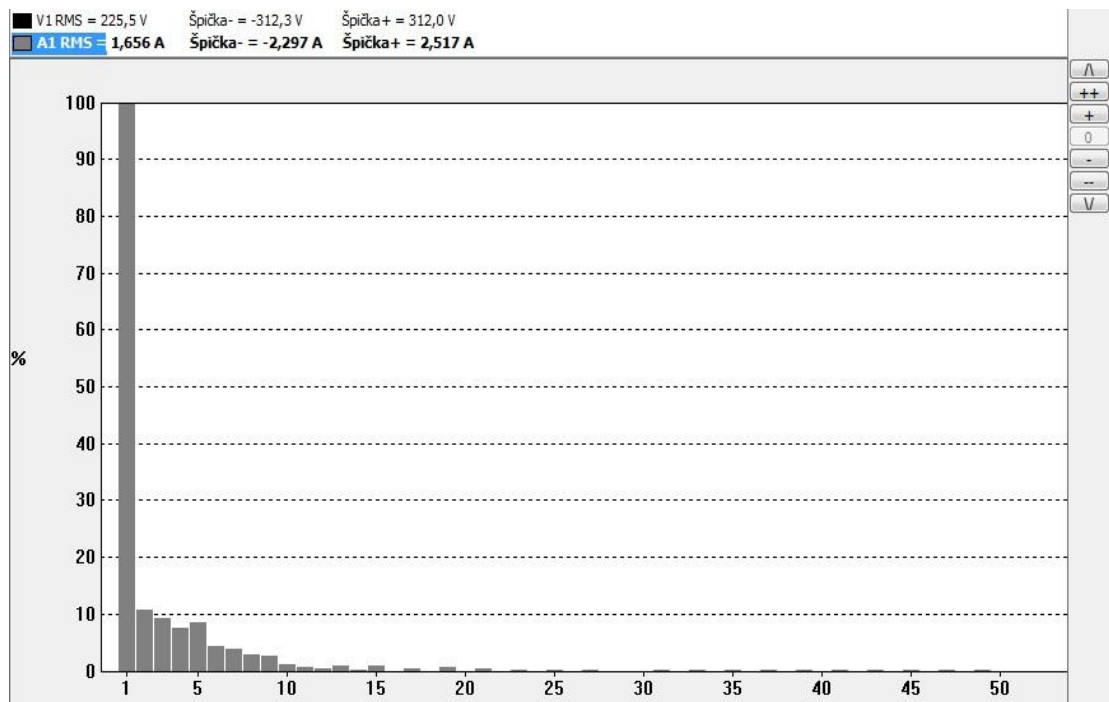
4.2 Průběhy harmonických charakteristik jednotlivých střídačů

V programu Power analyzer transfer jsem použil funkci vykreslení analýzy harmonických napětí a proudu. Černou barvou jsou viděny jednotlivé harmonické impulzy napětí a šedou barvou harmonické impulzy proudu v grafu níže. Harmonické složky proudu jsou podle normy z přílohy 9 přijatelné s naměřenými střídači. Například prvních 10 harmonických složek proudu znázorňují hodnotu do 5 % relativní poměr harmonické k fundamentální hodnotě, jenž souhlasí se zmíněnou normou. Harmonické složky napětí vykazují do cca 2% relativní poměr harmonické k fundamentální hodnotě a tedy opět souhlasí s příslušnou normou, která je dána do 3% s napětím do 69 kV.



Graf 4.2.1 Harmonický rozklad 1.střídače

Vodorovná osa signalizuje pořadí harmonických kmitů. Svislá osa znázorňuje relativní poměr harmonické k fundamentální hodnotě v procentech. Všechny 8 střídačů mají identické harmonické složky, které jsou odfiltrovány. Z grafu je patrné, že pouze první harmonická složka dosahuje maximálního poměru k fundamentální hodnotě a od druhé harmonické složky je fundamentální hodnota v mezích do 5%.



Graf 4.2.2 Rozložení harmonických složek proudu u 6. střídače

Z grafu 4.2.2 vidíme lépe rozložení jednotlivých harmonických složek proudu. Vyšší harmonické složky mohou způsobit rušení a neadekvátní provoz napájeného zařízení. Konkrétně harmonické proudy jsou charakteristické vzrůstající spotřebou elektrické energie, dále také zvýšené ztráty v systému. Zkreslený proud ovlivňuje sinusový průběh napětí, které může vést ke zkreslení napětí v síti.

Harmonické proudové zkreslení a harmonické napěťové zkreslení jsou charakteristické odlišnými účinky na systém napájení, a proto je podstatné, pokud se hovoří o účincích harmonických zkreslení, tato dvě zkreslení od sebe rozlišovat. V příloze 10 nalezneme Normy těchto harmonických zkreslení, které se musí dodržovat.[13]

5 Závěr

Tato diplomová práce se zabývá zhodnocením stavu 20 kWp fotovoltaické elektrárny na ZČU FEL, jenž pomáhá s distribucí elektrické energie po celém areálu FEL. V úvodní části jsem popisoval příslušné systémy zapojení do sítě a podrobněji analyzoval vliv fotovoltaických systémů na síť. Ve druhé části jsem podrobně popsal všechny součásti tohoto systému, včetně experimentální části - trackeru.

Hlavním cílem práce byl zjistit celkový stav FV systému společně se střídači a pomocí příslušných přístrojů změřit potřebné charakteristiky. Nejdříve jsem změřil všech 192 FV panelů od prvního stringu. Poté jsem analyzoval V-A charakteristiky pomocí softwaru Tobview. Všechny zmíněné charakteristiky FV panelů i s harmonickými složkami střídačů jsou k dispozici na CD.. Konkrétně 2 FV panely vykazovaly snížené elektrické napětí, nicméně po kontrole měření termokamerou se závada nepotvrdila. V přílohách jsou uvedeny pouze některé V-A charakteristiky panelů a 8 harmonických složek grafů střídačů.

V posledním bodu zadání jsem měl za úkol zjistit kontrolou stavu osmi střídačů. Stav střídačů se porovnal pomocí harmonických složek, které podle teoretických předpokladů neobsahují vyšší harmonické. Na střídačích nebyla nalezena žádná vada. Po změření všech střídačů jsem vypočítal jednotlivou účinnost, jenž podle náhledu do dokumentace odpovídala dle teoretických předpokladu (0,88- 0,95). Přesněji řečeno první střídač vykazuje účinnost 0,94.

Po pečlivém proměření fotovoltaické elektrárny umístěné na střeše Fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni, jsem toho názoru, že po 12 letech nepřetržitého provozu je elektrárna v dobrém stavu. Dále prozatím žádná část z naměřených skupin FV panelů nepotřebuje výměnu.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Systémy připojené na síť. . [online]. 8.5.2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z http://moodle.hradebni.cz/pluginfile.php/20978/mod_resource/content/0/Soubory/Systemy_pripojene_na_sit.pdf
- [2] České slunce. [online]. 8.5.2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.ceskeslunce.cz/solarni-systemy.html>
- [3] Fotovoltaické panely. [online]. 8.5.2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.obnovitelne-energie.cz/fotovoltaicke-panely.php> 2.1
- [4] Fotovoltaická elektrárna. [online]. 8.5.2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti/>
- [5] Střídač pro fotovoltaickou elektrárnu. [online]. 8.5.2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9555-stridac-pro-fotovoltaickou-elektrarnu-jakou-technologie-zvolite>
- [6] ZČÚ FEL. Projektová dokumentace Firm Solartec. . [online]. 8.5.2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z:
- [7] Kabelový vodič. [online]. 8.5.2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: https://www.google.cz/search?q=tracker+fotovoltaického+systemu&biw=1093&bih=557&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiKqKP-7vLLAhWpCJoKHQaXD_AQ_AUIBigB#imgdii=vmeI4nooux32sM%3A%3BvmeI4nooux32sM%3A%3BkajliqD81OUsOM%3A&imgrc=vmeI4nooux32sM%3A
- [8] Rozvaděč odběrného místa. [online]. 8.5.2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.sunnypower.cz/cs/fve-od-nas/elektro>
- [9] Pyrometr. [online]. 8.5.2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: https://www.google.cz/search?q=snímač+osvitu+FV+45+%25+-+Solartec+SG2460&biw=1093&bih=557&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiIyubzILMAhWBPBOKHfunBiEQ_AUIBygC&dpr=1.25#tbm=isch&q=pyrometr+CM+21&imgrc=pzOMKm9TOfuEtM%3A
- [10] Správné měření osvitu. [online]. 8.5.2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://pid-doctor.eicero.cz/aktuality/spravne-mereni-osvitu>
- [11] Data logger. [online]. 8.5.2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: http://www.techgrow.nl/data-logger-dl-1_de/
- [12] Fotovoltaické systémy . [online]. 8.5.2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9667-fotovoltaicke-systemy-s-vychodo-zapadni-orientaci-a-pouze-jednim-stridacem>
- [13] Harmonické kmitočty. [online]. 8.5.2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/21E1E605-F673-4FAD-B1BC-C8181FB4C86B/0/1webFinal_CS.pdf
- [14] Vliv FV systému na síť. [online]. 8.5.2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://theses.cz/id/0yu4sd/BP.pdf>
- [15] Systém připojený přímo do sítě. [online]. 9.5.2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/04.html>

Seznam příloh

Příloha 1 –V- A charakteristika 1 stringu 1-3 FV panelu v 1.stringu

Příloha 2 – V- A charakteristika 1 stringu 13-18 FV panelu v 1.stringu

Příloha 3 – Harmonické složky proudu a napětí střídače třetího stringu

Příloha 4 – Harmonické složky proudu a napětí střídače pro čtvrtý string

Příloha 5 – Harmonické složky proudu a napětí střídače pro pátý string

Příloha 6- Harmonické složky proudu a napětí střídače pro šestý string

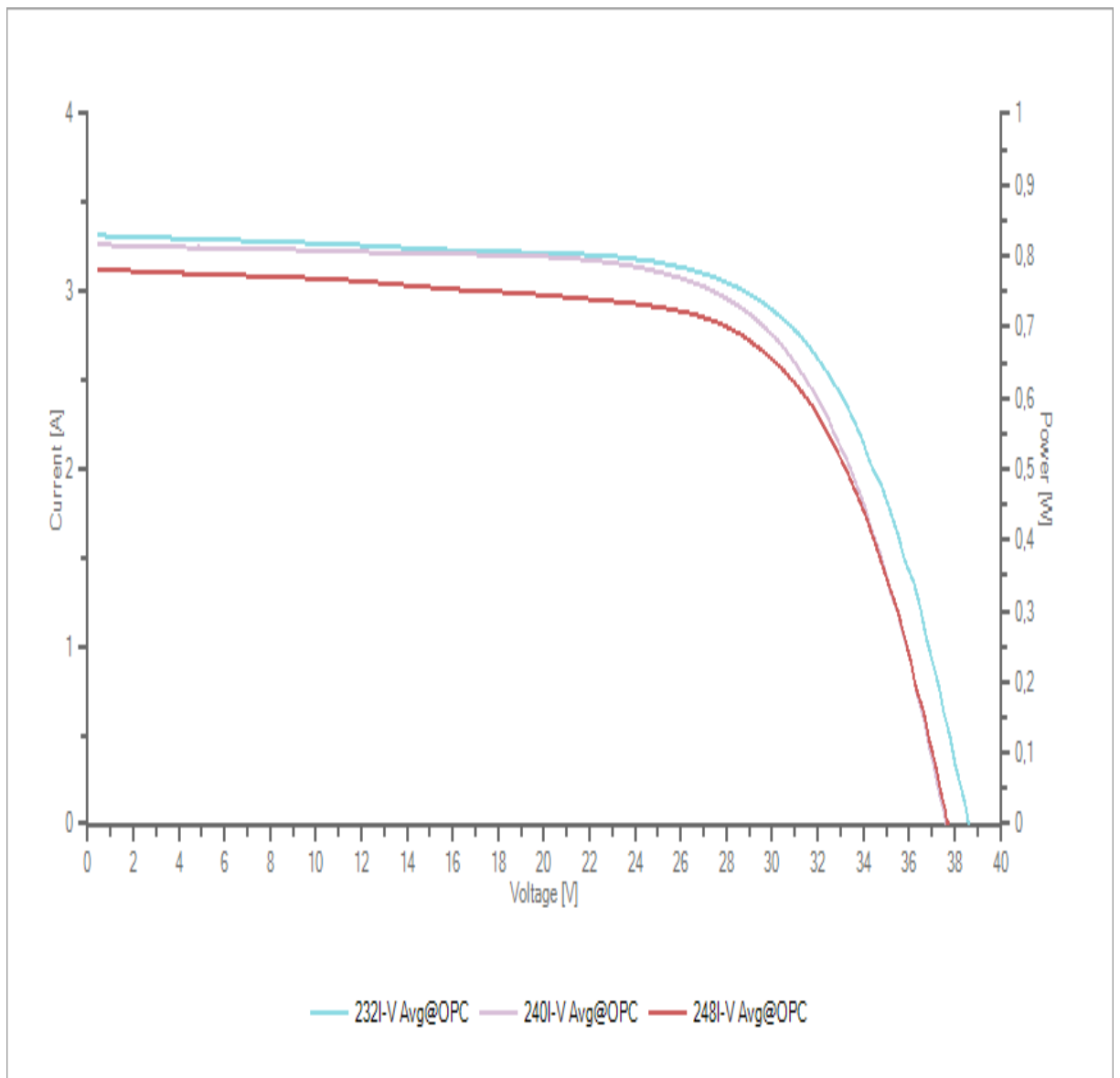
Příloha 7- Harmonické složky proudu střídače pro sedmý string

Příloha 8- Harmonické složky proudu a napětí střídače pro osmý string

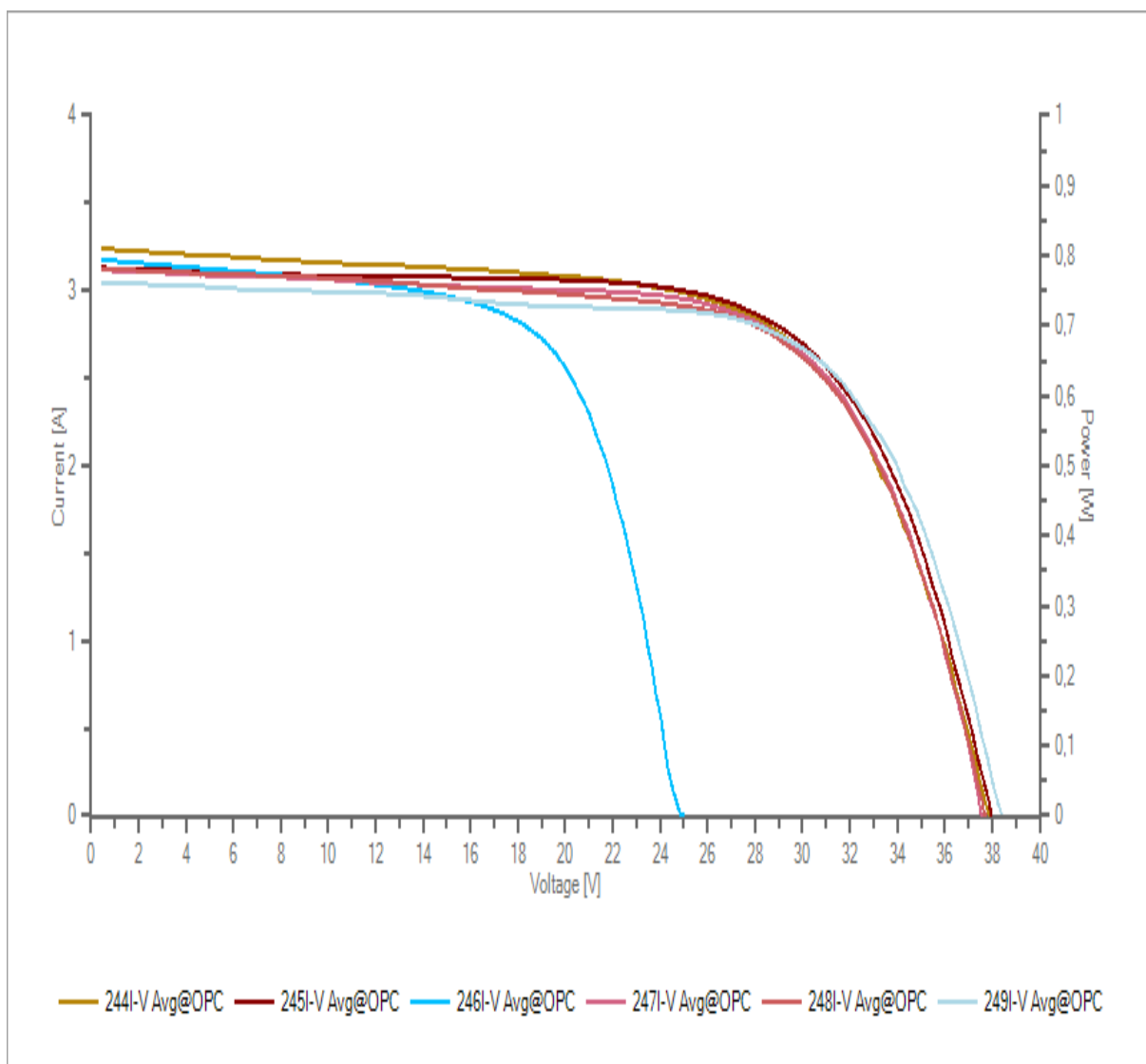
Příloha 9- Příslušné normy pro harmonické proudy a napětí

Přílohy

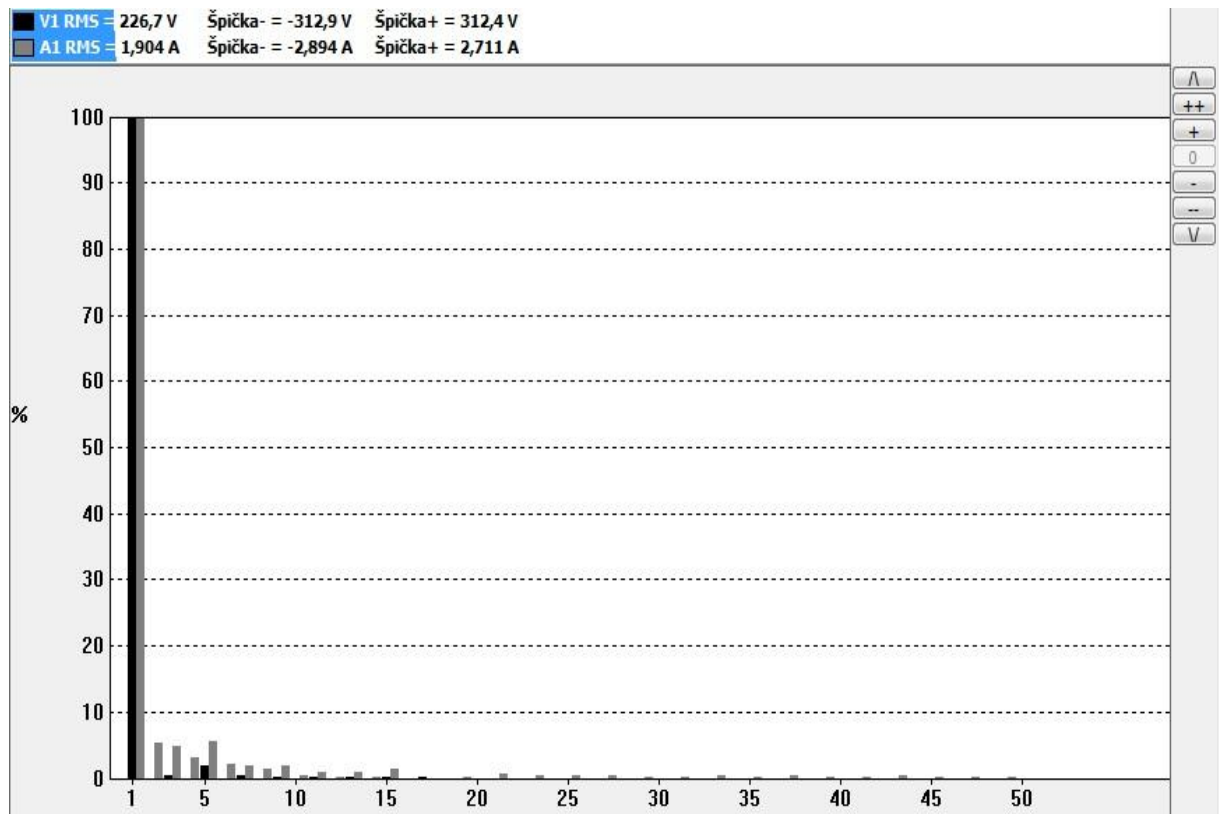
Příloha 1 –V- A charakteristika 1 stringu 1-3 FV panelu v 1.stringu



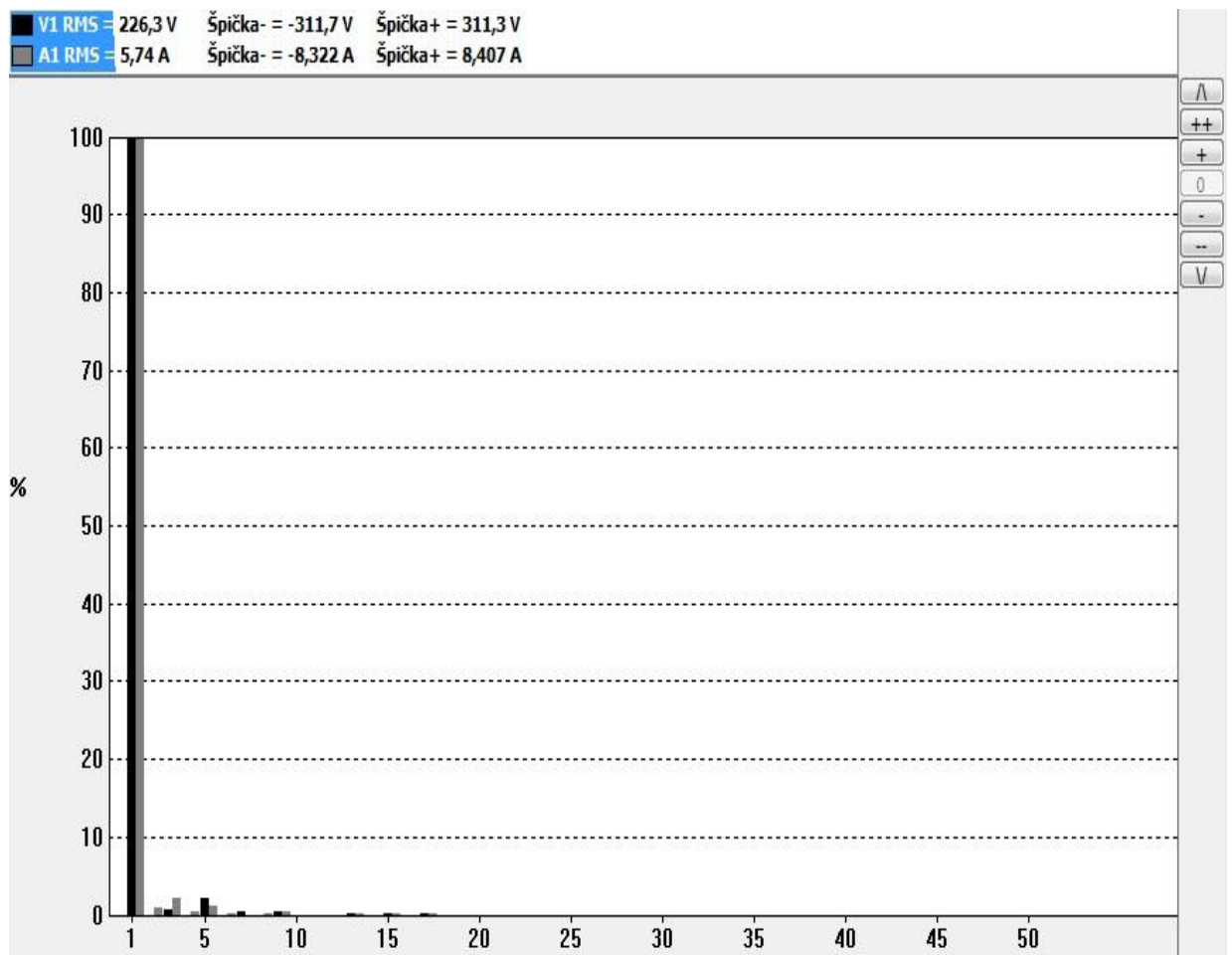
Příloha 2 – V- A charakteristika 1 stringu 13-18 FV panelu v 1.stringu



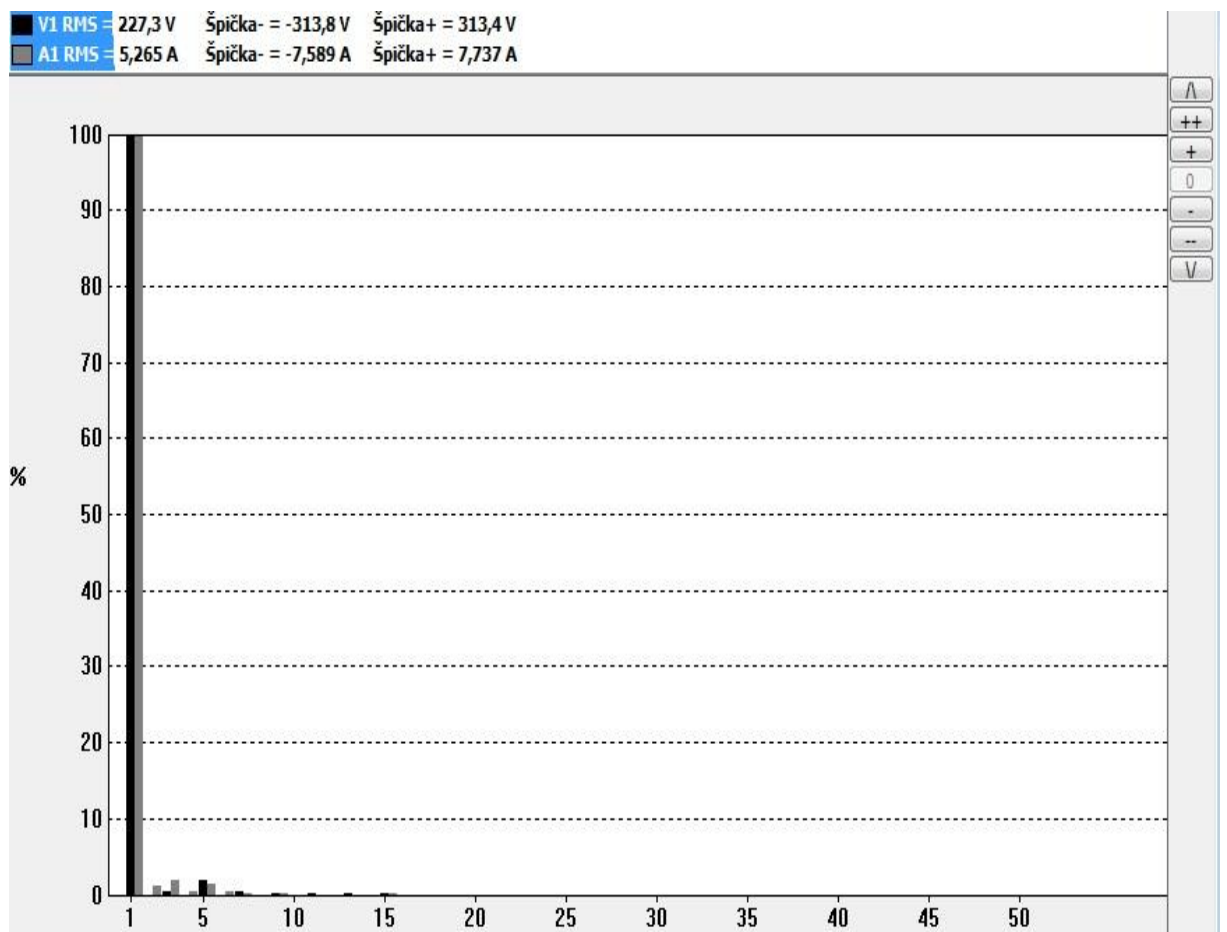
Příloha 3 – Harmonické složky proudu a napětí střídače třetího stringu



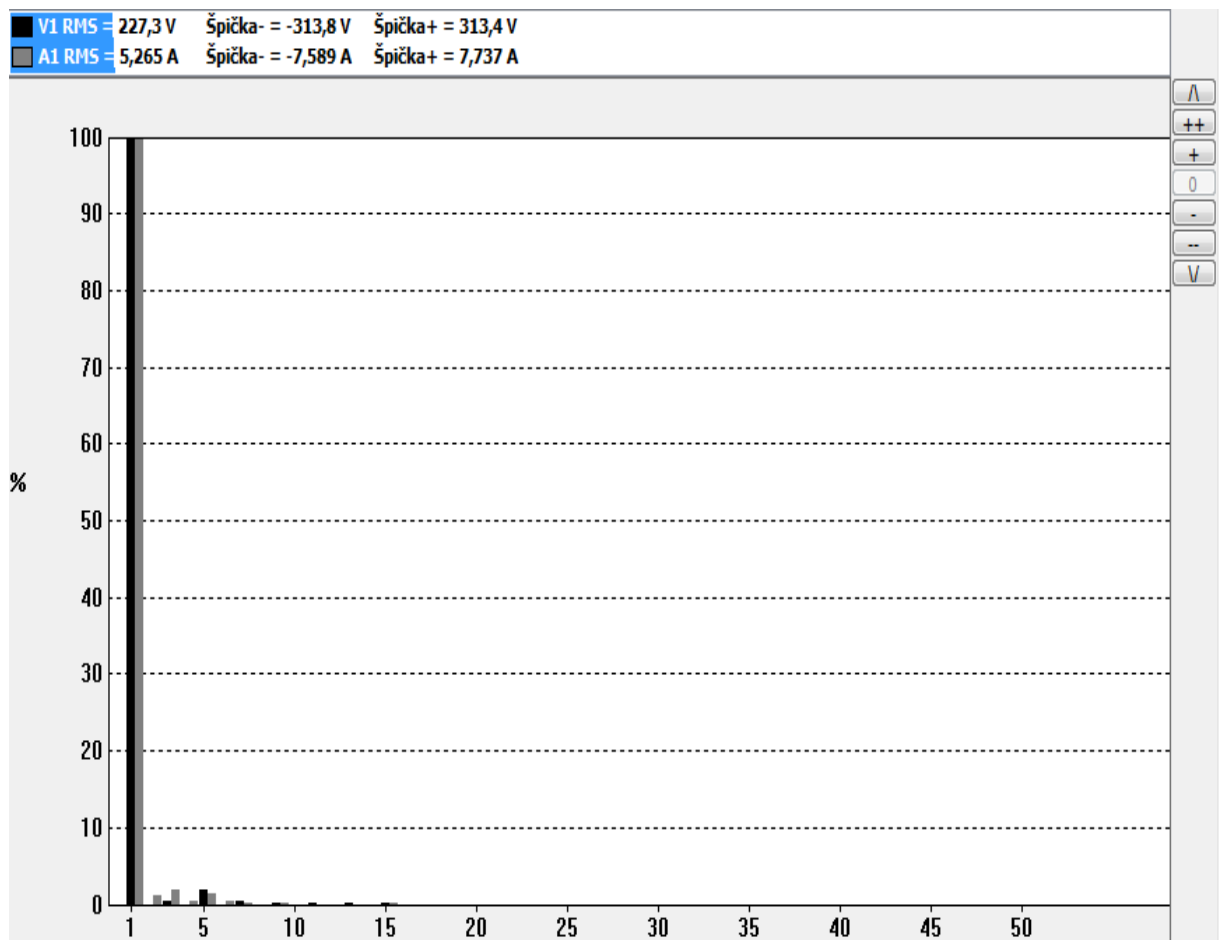
Příloha 4 – Harmonické složky proudu a napětí střídače pro čtvrtý string



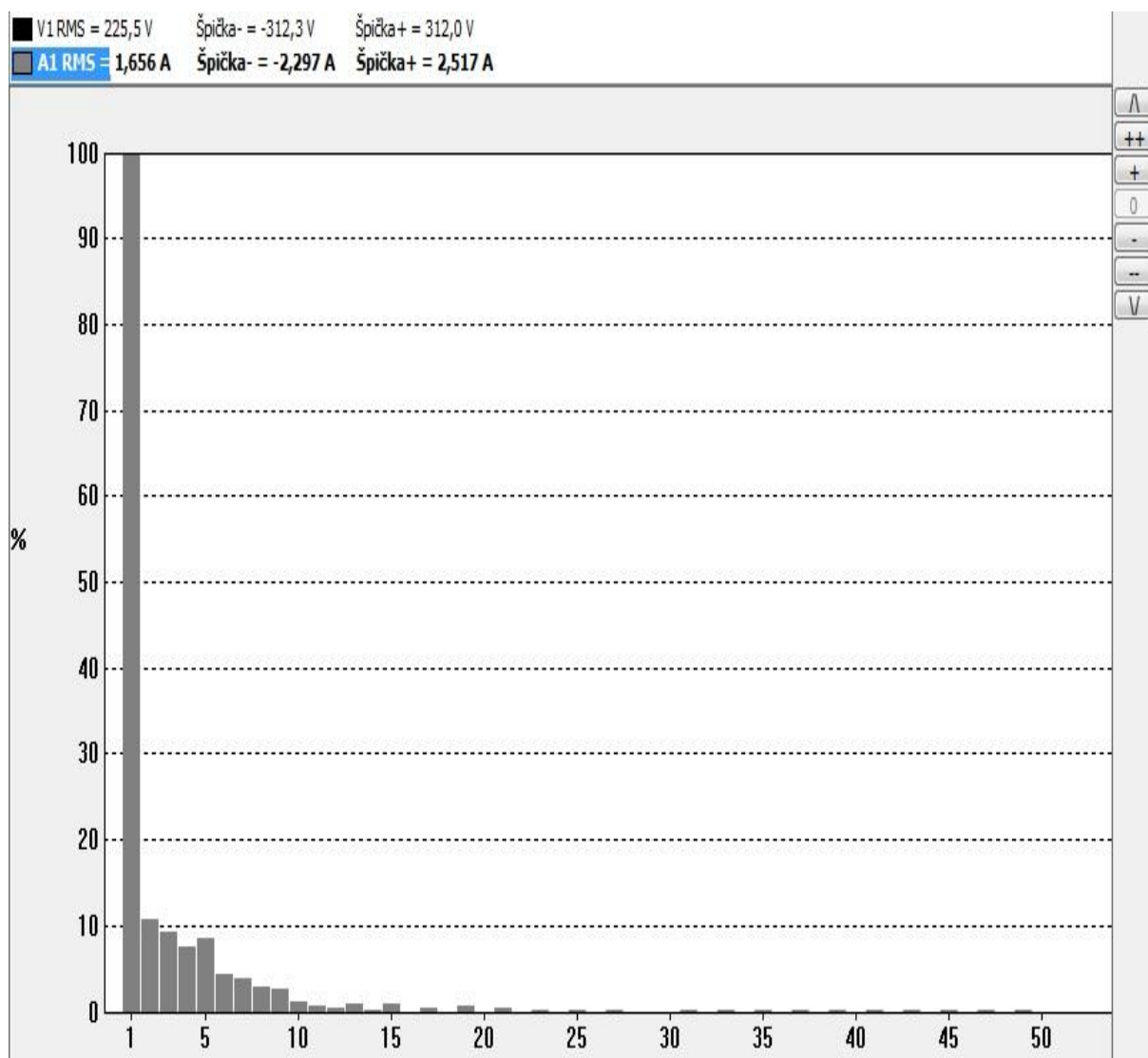
Příloha 5 – Harmonické složky proudu a napětí střídače pro pátý string



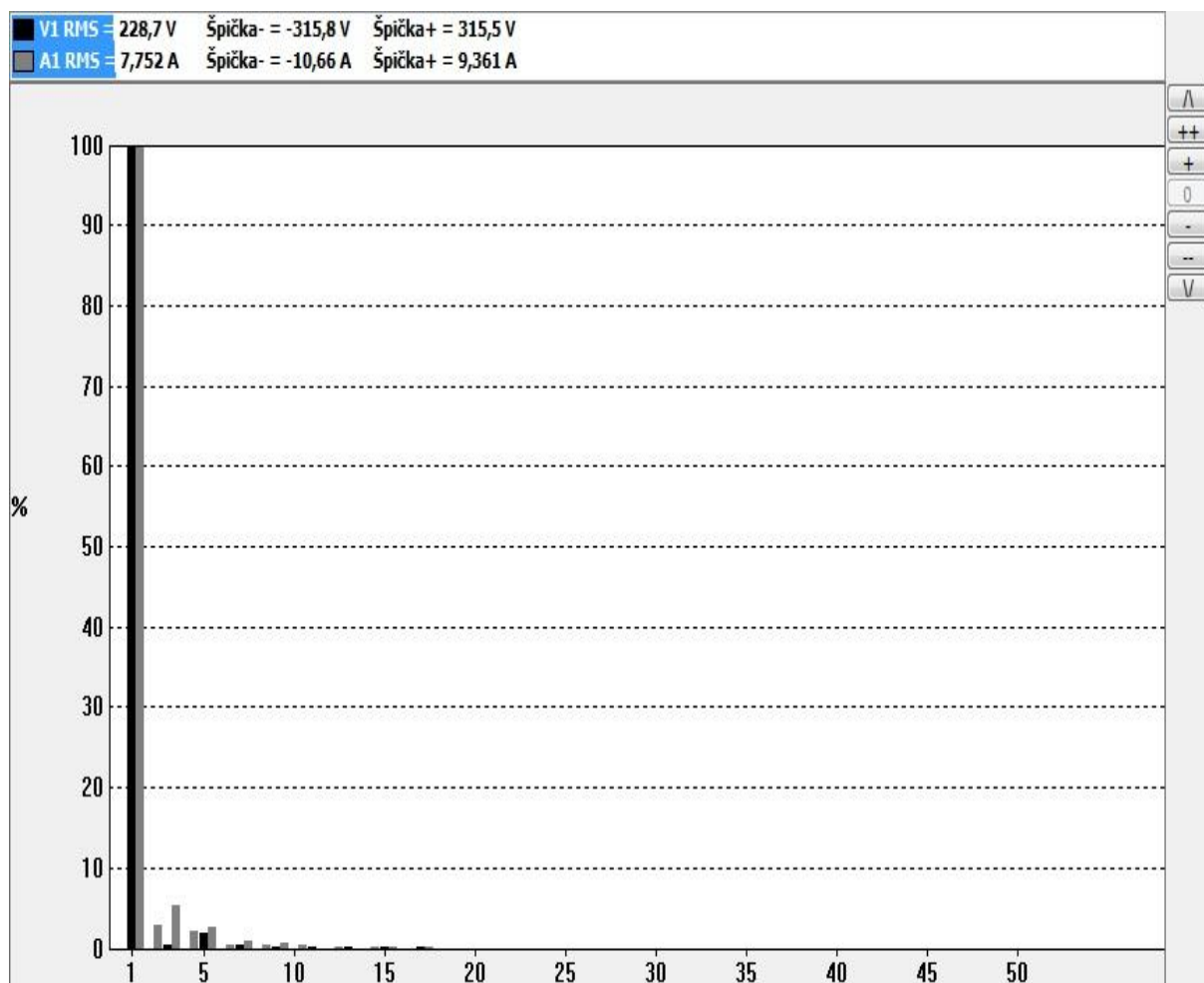
Příloha 6- Harmonické složky proudu a napětí střídače pro šestý string



Příloha 7- Harmonické složky proudu střídače pro sedmý string



Příloha 8- Harmonické složky proudu a napětí střídače pro osmý string



Příloha 9- Příslušné normy pro harmonické proudy a napětí

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

Current distortions that result in a dc offset, e.g. half-wave converters, are not allowed.

* All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L .

Where

- I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC.
- I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.
- TDD = Total demand distortion (RSS), harmonic current distortion in % of maximum demand load current (15 or 30 min demand).
- PCC = Point of common coupling.

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
Below 69 kV	3.0	5.0
69 kV to 161 kV	1.5	2.5
161 kV and above	1.0	1.5

NOTE: High-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal that will attenuate by the time it is tapped for a user.