

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky**

**Vyhodnocení kvalitativních parametrů elektrické energie pro
průmyslovou budovu provozovanou v ostrovním režimu**

**Analysis of power quality of industrial building operated in off-
grid**

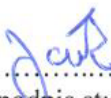
2018

David Janík

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 24. dubna 2018


.....
podpis studenta

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **David Janík**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika

Téma: **Vyhodnocení kvalitativních parametrů elektrické energie pro
průmyslovou budovu provozovanou v ostrovním režimu
Analysis of power quality of industrial building operated in off-grid**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický úvod (kvalita elektrické energie, legislativa)
2. Popis analyzované budovy (popis budovy, popis způsobu napájení)
3. Měření kvality elektrické energie (příprava a realizace dlouhodobého měření)
4. Vyhodnocení dat (export dat, zpracování, statistická analýza)
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] ČSN EN 50160
- [2] Vantuch, T., Misak, S., Jezowicz, T., Burianek, T., Snasel, V. The Power Quality Forecasting Model for Off-Grid System Supported by Multiobjective Optimization (2017) IEEE Transactions on Industrial Electronics, 64 (12), art. no. 7938383, pp. 9507-9516.
- [3] Kosmak, J., Misak, S. A power quality parameters setup for power quality management model as an integrate part of active demand side management (2017) Proceedings of the 9th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering, ELEKTROENERGETIKA 2017, pp. 523-528.
- [4] Maleki, A., Pourfayaz, F., Hafeznia, H., Rosen, M.A. A novel framework for optimal photovoltaic size and location in remote areas using a hybrid method: A case study of eastern Iran (2017) Energy Conversion and Management, 153, pp. 129-143.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Prokop, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá kvalitou elektrické energie, a to zvláště jejím měřením. Na měření jsou kladeny požadavky dle národní normy, a právě tato norma je v úvodu popsána. Dále jsou zde rozebrány intervaly měření pro správné vyhodnocení kvality elektrické energie. V této práci jsou popsány analyzátory kvality elektrické energie, na které norma klade vysoké nároky. Hodnoty pro samotné vyhodnocení vychází z měření budovy v ostrovním režimu napájené z fotovoltaické elektrárny na její střeše.

Klíčová slova

Měření kvality elektrické energie; kvalita elektrické energie; kvalita napětí, flickr; analyzátory kvality elektrické energie; analyzátory Elcom; měřící přístroje Fluke

Abstract

This work deals with the quality of electric energy, especially by its measurement. The requirements are met for the measurement according to the national standard, and it is by this standard that the work is dealt with in the introduction. In addition, measurement intervals for proper evaluation of the power quality are analyzed here. In this work are described the analyzers of the quality of electrical energy, to which the standard puts high demands. Values for the evaluation itself are based on building measurements in island mode fed from a photovoltaic power plant on its roof.

Key words

Measurement of electricity quality; the quality of electricity; voltage quality, flicker; power quality analyzers; Elcom analyzers; Fluke meters

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
U	V	Napětí
I	A	Proud
F	Hz	Frekvence
P	W	Výkon
T	S	Perioda
Plt	-	Dlouhodobá míra vjemu flikru
THD	-	Celkové napěťové zkreslení

Obsah

Seznam tabulek.....	8
Seznam obrázků	9
Úvod.....	10
1 Základní pojmy kvality elektrické energie.....	11
1.1 Normální provozní podmínky	11
1.2 Napětí sítě.....	11
1.3 Nesymetrie napájecího napětí	11
1.4 Kmitočet sítě	12
1.5 Flikr.....	12
1.6 Harmonická napětí	12
1.7 Meziharmonická napětí	13
1.8 Úrovně napětí signálu v napájecím napětí	14
2 Vlastnosti měření kvality elektrické energie.....	15
2.1 Požadavky na měřicí přístroje	15
2.2 Metody měření	15
2.2.1 Síťový kmitočet.....	15
2.2.2 Velikost napětí.....	15
3 Ukázky analyzátorů kvality napětí.....	17
3.1 Analyzátor od firmy ELCOM	17
3.1.1 Implementované moduly.....	17
3.1.2 Hardwarové provedení	18
3.2 Analyzátor ARTIQ 144 od KMB systems	20
3.3 Třífázový analyzátor FLUKE 43x-II.....	21
4 Popis měřeného objektu	22
5 Vyhodnocení měření	25
5.1 Týden od 19.6. 2017.....	26
5.2 Týden od 27.2 2017.....	32
6 Závěr	37
Bibliografie.....	38

Seznam tabulek

TABULKA 4-1 PARAMETRY FOTOVOLTAICKÉHO PANELU	22
TABULKA 4-2 PARAMETRY STŘÍDAČE XW+6848 NA.....	23
TABULKA 5-1 95 % HODNOTY FLIKRU	28
TABULKA 5-2 PŘEHLED VLIVU LICHÝCH HARMONICKÝCH PRO TÝDEN OD 19.6. 217	30
TABULKA 5-3 PŘEHLED VLIVU SUDÝCH HARMONICKÝCH NA NAPĚTÍ PRO TÝDEN OD 19.6. 2017	31
TABULKA 5-4 HODNOTY DLOUHODOBÉ MÍRY VJEMU FLIKRU	34
TABULKA 5-5 PŘEHLED VLIVU LICHÝCH HARMONICKÝCH NA NAPĚTÍ PRO TÝDEN OD 27.2. 2017	35
TABULKA 5-6 PŘEHLED PROCENTNÍHO VLIVU SUDÝCH HARMONICKÝCH NA NAPĚTÍ PRO TÝDEN OD 27.2 2017	36
TABULKA 6-1 STŘEDNÍ HODNOTY NAMĚŘENÝCH VELIČIN	37

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1.1 ÚROVNĚ NAPĚTÍ NA KMITOČTECH SIGNÁLŮ V PROCENTECH UN VE VEŘEJNÝCH DISTRIBUČNÍCH SÍTÍCH NN.....	14
OBRÁZEK 3.1 PROVEDENÍ ANALYZÁTORU KVALITY V PROVEDENÍ ENA330 [4].....	18
OBRÁZEK 3.2 ANALYZÁTOR KVALITY V PROVEDENÍ ENA 440 [4]	18
OBRÁZEK 3.3 ANALYZÁTOR NAPĚTÍ V V PROVEDENÍ ENA450 [4]	19
OBRÁZEK 3.4 ANALYZÁTOR V PROVEDENÍ ENA 500.12 [4]	19
OBRÁZEK 3.5 ANALYZÁTOR KVALITY NAPĚTÍ V PROVEDENÍ PNA560 [4]	20
OBRÁZEK 3.6 ANALYZÁTOR KVALITY ARTIQ 144 [5].....	21
OBRÁZEK 4.1 BUDOVA APS, KDE JE REALIZOVÁNO MĚŘENÍ	22
OBRÁZEK 3.31-4.2 SCHÉMA S MĚŘÍCÍMI BODY BUDOVY APS	23
OBRÁZEK 4.3 ANALYZÁTORY KVALITY NAPĚTÍ SMD	24
OBRÁZEK 5.1 MÍRA SLUNEČNÍ ENERGIE V TÝDNU OD 19.6. 2017.....	25
OBRÁZEK 5.2 MÍRA SLUNEČNÍ ENERGIE PRO TÝDEN OD 27.2. 2017.....	25
OBRÁZEK 5.3 DETAIL PRŮBĚHU NAPĚTÍ V ZÁVISLOSTI NA ČASE ZA TÝDEN OD 19.6. 2017	26
OBRÁZEK 5.4 NAPÁJECÍ NAPĚTÍ S HRANICEMI VYMEZENÝMI NORMOU	26
OBRÁZEK 5.5 ČASOVÝ PRŮBĚH PROCENTNÍ NESYMETRIE NAPĚTÍ ZA TÝDEN OD 19.6. 2017	27
OBRÁZEK 5.6 ČASOVÝ PRŮBĚH NESYMETRIE NAPĚTÍ S VYZNAČENÝMI HRANICEMI DANÝMI NORMOU	27
OBRÁZEK 5.7 ČASOVÝ PRŮBĚH DLOUHODOBÉ MÍRY VJEMU FLIKRU ZA TÝDEN OD 19.6. 2017.....	28
OBRÁZEK 5.8 HISTOGRAM DLOUHODOBÉ MÍRY VJEMU FLIKRU PRO FÁZI 1.....	28
OBRÁZEK 5.9 ČASOVÝ PRŮBĚH FREKVENCE ZA TÝDEN OD 19.6. 2017	29
OBRÁZEK 5.10 ČASOVÝ PRŮBĚH CELKOVÉHO NAPĚŤOVÉHO ZKRESLENÍ ZA TÝDEN OD 19.6. 2017	29
OBRÁZEK 5.11 HISTOGRAM 5. HARMONICKÉHO NAPĚTÍ FÁZE L2	30
OBRÁZEK 5.12 ČASOVÝ PRŮBĚH 5. HARMONICKÉ NAPĚTÍ ZA TÝDEN OD 19.6. 2017	31
OBRÁZEK 5.13 DETAIL ČASOVÉHO PRŮBĚHU NAPĚTÍ PRO TÝDEN OD 27.2. 2017.....	32
OBRÁZEK 5.14 ČASOVÝ PRŮBĚH NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ S VYZNAČENÝMI HRANICEMI DANÝMI NORMOU	32
OBRÁZEK 5.15 ČASOVÝ PRŮBĚH NESYMETRIE NAPĚTÍ PRO TÝDEN OD 27.2. 2017	33
OBRÁZEK 5.16 ČASOVÝ PRŮBĚH PROCENTNÍ NESYMETRIE NAPĚTÍ S HRANICEMI DANÝMI NORMOU.....	33
OBRÁZEK 5.17 ČASOVÝ PRŮBĚH FREKVENCE PRO TÝDEN OD 7.2. 2017.....	34
OBRÁZEK 5.18 ČASOVÝ PRŮBĚH DLOUHODOBĚ MÍRY VJEMU FLIKRU PRO TÝDEN OD 27.2. 2017.....	34
OBRÁZEK 5.19 HISTOGRAM PLT PRO FÁZI L2	35
OBRÁZEK 5.20 ČASOVÝ PRŮBĚH CELKOVÉHO NAPĚŤOVÉHO ZKRESLENÍ RO TÝDEN OD 27.2. 2017	35
OBRÁZEK 5.21 ČASOVÝ PRŮBĚH PROCENTNÍHO VLIVU 5. HARMONICKÉ NA NAPĚTÍ PRO TÝDEN OD 27.2. 2017	36

Úvod

Lidský život je závislý na využívání energie. Nejdůležitější z těchto energií je energie elektrická. V dnešním světě, by se mnoho lidí bez dodávky elektrické energie neobešlo. Elektrická energie se stala pro člověka důležitou hlavně díky své snadné transformovatelnosti na energii jinou, především mechanickou, ale také na tepelnou nebo světelnou.

Elektrická energie, která je v elektrárnách vyrobena, se k odběratelům dostává prostřednictvím přenosových a distribučních sítí. V této bakalářské práci jsou popsány základní pojmy kvality elektrické energie dle normy ČSN EN 50160 ed. 3, která udává charakteristické meze hodnot napětí v místech odběru.

Ve své úvodní části se tato práce zabývá ukázkou analyzátorů kvality elektrické energie od různých výrobců, které se mohou pro její vyhodnocení využít. V praktické části probíhá vyhodnocení měření elektrické sítě v ostrovním režimu, kde se jako napájení využívá fotovoltaická elektrárna.

Úseky měření byly dva různé týdny, jeden letní a jeden zimní. Sledovanými parametry při těchto měřeních byly:

- Kmitočet sítě
- Harmonická napětí
- Meziharmonická napětí
- Flikr
- Nesymetrie napětí

1 Základní pojmy kvality elektrické energie

1.1 Normální provozní podmínky

Všechny parametry kvality elektrické energie jsou vyhodnocovány za tzv. normálních provozních podmínek definovaných normou jako stav sítě, která splňuje požadavky na zatížení, spínání v soustavě a odstraňování poruch automatickými ochrannými systémy bez výskytu mimořádných stavů zahrnující následující [1]:

- Dočasné uspořádání napájení
- V případě, že nevyhovuje instalace uživatele sítě, nebo zařízení příslušným normám, nebo technickým podmínkám pro připojení
- Výjimečné situace, jako jsou:
 - Mimořádné povětrnostní podmínky a další přírodní katastrofy
 - Cizí zavinění
 - Nařízení úřadů
 - Průmyslovou činnost (stávky v rámci zákona)
 - Vyšší moc
 - Nedostatek výkonu zaviněný vnějšími okolnostmi

1.2 Napětí sítě

Jmenovité napětí sítě je hodnota napětí, na kterou je síť navržena. Odchylka napětí od jeho jmenovité hodnoty za normálních provozních podmínek, kromě období s přerušením nemá přesáhnout dle normy [1] $\pm 10\%$. U sítí, které nejsou připojeny k přenosovým sítím nebo pro dálkově ovládané uživatele, nemají odchylky napájecího napětí přesáhnout $(+10\%/-15\%)U_n$.

Normalizované jmenovité napětí U_n pro veřejnou síť nízkého napětí je $U_n = 230V$, buď mezi fází a uzlem nebo mezi fázemi.

Při měření musí za normálních provozních podmínek¹:

- Musí být během každého týdne 95 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut v rozsahu $U_n \pm 10\%$
- Všechny průměrné efektivní hodnoty napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut musí být v rozsahu $U_n + 10\%/-15\%$

1.3 Nesymetrie napájecího napětí

Nesymetrie napětí znamená, že fázové posuvy mezi jednotlivými fázemi napětí nejsou stejné, to je způsobeno nesymetrickým odběrem proudů velkými jednofázovými zatíženími např. svařovacími stroji

Za normálních provozních podmínek dle normy musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky (základní) napájecího napětí v rozsahu 0 až 2 % sousledné složky.

¹ Převzato z ČSN EN 50160 ed.3

1.4 Kmitočet sítě

Kmitočet (frekvence) sítě je definována jako perioda opakování řady okamžitých hodnot napájecího napětí. Jmenovitý kmitočet sítě je 50 Hz.

Za normálních provozních podmínek musí být střední hodnota kmitočtu základní harmonické měřena v intervalu 10 s v následujících mezích

- U systémů se synchronním připojením k propojenému systému²:

50 Hz ± 1 %	(tj. 49,5 Hz ... 50,5 Hz)	během 99,5 % roku;
50 Hz + 4%/-6 %	(tj. 47 Hz ... 52 Hz)	po 100 % času;
- U systémů bez synchronního připojení k propojenému systému (tj. ostrovní napájecí systémy)

50 Hz ± 2 %	(tj. 49 Hz ... 51 Hz)	během 95 % týdne;
50 Hz ± 15 %	(tj. 42,5 Hz ... 57,5 Hz)	po 100 % času;

1.5 Flikr

Flikr je vjem nestálosti zrakového vnímání, které je vyvoláno světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase. Tento jev je způsoben kolísáním napětí v síti, a to je příčinou změny jasu svítidel. Nad určitou hodnotu může být flikr pro člověka nepříjemný, nepříjemnost se zvedá s amplitudou kolísání. Od určitého kmitočtu může být flikr nepříjemný i při malých amplitudách.

Kolísání napětí může být vyvoláno sepnutím větších zátěží v síti jako např. motorů nebo transformátorů, přerušovanou zátěží nebo obloukovými pecemi.

Intenzita nepříjemnosti flikru je definována krátkodobou mírou vjemu flikru P_{st} a dlouhodobou mírou vjemu flikru P_{lt} . Krátkodobá míra je měřena po dobu deseti minut, dlouhodobá míra se vypočítává z dvanácti hodnot P_{st} ve dvouhodinovém intervalu pomocí vztahu:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st}^3}{12}} \quad (1.1)$$

Dlouhodobá míra vjemu flikru dle normy [1] musí být za normálních provozních podmínek po 95 % času v libovolném časovém období $P_{lt} \leq 1$.

1.6 Harmonická napětí

Vlivem spínání polovodičových měničů kmitočtů a nelineárními zatíženími v síti dochází k deformaci sinusového průběhu napájecího napětí sítě. To je vlivem harmonických napětí, což jsou sinusová napětí s kmitočtem, jenž je násobkem základního kmitočtu napájecího napětí (50 Hz).

² Převzato z ČSN EN 50160 ed. 3

Harmonická napětí můžeme vyhodnocovat jednotlivě jejich relativní amplitudou, která se ve svém řádu liší od jmenovité hodnoty napětí, nebo můžeme harmonické souhrnně vyhodnotit pomocí činitele celkového napěťového zkreslení THD, který je vypočítáván pomocí vztahu, kde h je řád harmonické:

$$THD = \sqrt[3]{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2} \quad (1.2)$$

Za normálních provozních podmínek musí být dle normy v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě uvedené v tabulce. U jednotlivých harmonických mohou rezonance způsobit napětí vyšší.

Mimoto celkový činitel harmonického zkreslení THD napájecího napětí (zahrnující všechny harmonické až do řádu 40) musí být menší nebo roven 8 %.

tab. 1-1 Úrovně jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě v procentech pro řady harmonických až do 25⁴-

Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3			
Řád harmonické h	Harmonické napětí U_n	Řád harmonické h	Harmonické napětí U_n	Řád harmonické H	Harmonické napětí U_n
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

POZNÁMKA: Úrovně pro harmonické vyšších řádů než 25 se neuvádějí, jelikož jsou obvykle malé, avšak vlivem rezonančních jevů obtížně předvídatelné

1.7 Meziharmonická napětí

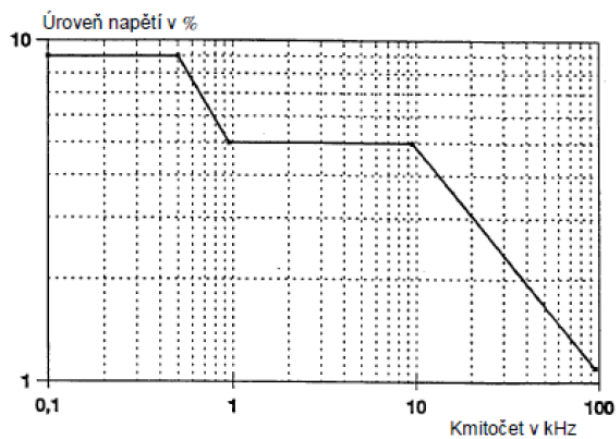
Vlivem rozvoje měničů kmitočtů roste také vliv meziharmonických napětí, tedy sinusového průběhu napětí s kmitočtem, který se nerovná celistvému násobku kmitočtu napájecího napětí. Hodnoty meziharmonických se momentálně studují.

Meziharmonické napětí je nutné brát vážně, neboť mohou mít stejnou frekvenci jako signál HDO, na některých určitých úrovních mohou způsobovat flickr.

⁴ Převzato z ČSN EN 50160 ed. 3

1.8 Úrovně napětí signálu v napájecím napětí

Veřejná distribuční síť může být využita k přenosu informací. Norma [1] stanovuje, že střední hodnota napětí signálu měřeného po dobu tří sekund musí být v 99 % dne rovna hodnotám daným v obrázku 1



Obrázek 1.1 Úrovně napětí na kmitočtech signálů v procentech UN ve veřejných distribučních sítích nn

2 Vlastnosti měření kvality elektrické energie

2.1 Požadavky na měřicí přístroje

Podle [3] jsou na analyzátory kvality napětí kladeny vysoké požadavky. Tyto analyzátory musí být Třídy A, současně musí analyzátory měřit tyto parametry [2]:

- Kmitočet sítě
- Velikost a odchylky napájecího napětí
- Rychlé změny napětí
- Flikr
- Poklesy a zvýšení napájecího napětí
- Nesymetrie napětí
- Harmonické napětí
- Meziharmonické napětí
- Signály v napájecím napětí

Analyzátory musí dále měřit proud a z něj další odvozené veličiny:

- Činný výkon
- Zdánlivý výkon
- Jalový výkon
- Zpětnou složku proudu a jejich úhlový vztah k referenčnímu napětí (nebo výkon)
- Harmonické proudy a jejich úhlový vztah k referenčnímu napětí (nebo výkon)

2.2 Metody měření

2.2.1 Síťový kmitočet

Síťový kmitočet se odečítá po dobu každých 10 s. Výsledný výstup základního kmitočtu je vyhodnocen poměrem počtu celých cyklů za dobu 10 s a doby trvání cyklů. Toto vyhodnocení se provádí, protože celkový počet cyklů za dobu 10 s nemusí být celočíselný, neboť síťový kmitočet nemusí být přesně 50 Hz.

Při vyhodnocení měření musíme dávat pozor na přerušení, pokles nebo zvýšení napětí. Data z měřicího intervalu, kde dojde k těmto jevům, musíme označit příznakem. Měřicí interval po poklesu, přerušení nebo zvýšení napětí musí začít prvním kladným průchodem nulou po tom co reálný čas dosáhne hranice 10 s. [3]

2.2.2 Velikost napětí

Efektivní hodnota napětí je definována rovnicí:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (2.1)$$

Měření efektivní hodnoty probíhá na měřících intervalech: 200 ms, 3 s, 10 minut a 2 hodiny. Při měření jednofázových systémů se vyhodnocuje jedna měřená hodnota pro každý měřící interval. U třífázových systémů jsou to 3 hodnoty pro třívodičové a 6 hodnot pro čtyřvodičové provedení. [2]

3 Ukázky analyzátorů kvality napětí

3.1 Analyzátor od firmy ELCOM

3.1.1 Implementované moduly

V analyzátorech BK–ELCOM je integrovaná řada souběžně na sobě paralelně pracujících vyhodnocovacích modulů:

Monitor napětí

Tento přístroj měří napětí přímo v odběrném místě v normálních provozních podmínkách podle normy [1]. Cyklus měření dle této normy je 1 týden. Přístroj vyhodnocuje následující veličiny:

- Frekvence – Přístroj vyhodnocuje odchylky maximální, minimální a střední hodnoty desetisekundových hodnot frekvence.
- Střední desetiminutové RMS hodnoty napětí v jednotlivých fázích – Vyhodnocuje se maximální a minimální střední hodnota RMS napětí v desetiminutových intervalech.
- Flikr –
- Harmonické napětí – Napětí jednotlivých fází se posuzují do 25. harmonické,
- Nesymetrie – Měří se střední hodnota nesymetrie v desetiminutových intervalech. Posuzuje se maximální hodnota nesymetrie za dobu měření.
- Odchylky napětí – Vyhodnocují se odchylky napětí od jmenovité hodnoty ve dvaceti milisekundových krocích.

Měřič blikání – Flikrmetr

Během 10 minut flikrmetr zpracovává statistickou hodnotu krátkodobého vjemu blikání P_{st} , nebo dlouhodobého vjemu blikání Plt za 120minutový interval.

Monitor rychlých dějů (transient recorder)

Monitor rychlých dějů využijeme, pokud chceme zachytit měřenou veličinu v různém zajímavém okamžiku, který si nastavíme pomocí spouštěcí podmínky, která pokud je splněna, tak se naměřený úsek uloží na disk pro další zpracování offline.

Různým zapojením modulu (jednofázově, nebo třífázově) můžeme měnit vzorkovací frekvenci analyzátoru. Frekvenci vzorků můžeme také změnit v nastavení transient recorderu.

Ke každé nastavené spouštěcí podmínce je v systému naprogramovaná hystereze. Působení hystereze je buď při překročení nastavené hodnoty, nebo podkročení. Překročení znamená, že monitor snímá měřenou veličinu po dobu, dokud se hodnota pohybuje nad nastavenou hodnotou minus hystereze. Podmínka je opět nesplněna, jestli se měřená hodnota dostane pod úroveň hystereze. Podkročení funguje opačně, kdy podmínka není splněna při překročení hystereze. [4]

3.1.2 Hardwarové provedení

Analyzátor v provedení ENA330 se čtyřmi napěťovými a proudovými vstupy. Měření proudu probíhá použitím proudových kleští s železným jádrem nebo s pomocí Rogowského cívek. Vyhodnocení měření probíhá pomocí externího PC, se kterým analyzátor komunikuje pomocí USB nebo Ethernet rozhraní. Podle zvolené externí paměti může přístroj vyhodnocovat data po dobu až několika měsíců. Vstupní rozsahy napětí lze nastavit na 65, 11, 250 a 450 V střídavých. Proudové rozsahy jsou dány použitými proudovými kleštěmi s napěťovým výstupem. Šířka měřeného frekvenčního pásma je od 50 Hz až do 2,5 kHz.



Obrázek 3.1 Provedení analyzátoru kvality v provedení ENA330 [4]

Analyzátor v provedení ENA440 obsahuje pasivně chlazený průmyslový PC volitelně bez točivého harddisku a z externí jednotky úpravy signálu BK-SCM-01 A. S touto externí jednotkou je určen pro přímou montáž na DIN lištu. Tento analyzátor je vhodný pro trvalou instalaci v rozvodnách. Modul BK-SCM-01 A obsluhuje až 16 analogových signálů a volitelný počet digitálních vstupů. Vstupní rozsahy jsou navrženy pro měření z měřicího transformátoru proudu (57 V a 100V) a z měřicích transformátorů proudů (1A a 5A). Přesnost měření je lepší než $\pm 0,1 \%$.



Obrázek 3.2 Analyzátor kvality v provedení ENA 440 [4]

Provedení ENA450 je mnohem kompaktnější skládající se z procesoru a z měřících modulů. Toto je umístěno v šasi určeném k montáži na 35 mm DIN lištu. Konfigurovat můžeme na dálku prostřednictvím Ethernetu nebo GPRS modemu. ENA450 obsahuje 3 vzájemně galvanicky oddělené napěťové vstupy, 3 nepřímé proudové vstupy a 8 galvanicky oddělené digitální vstupy. Pro zvýšení spolehlivosti tento analyzátor neobsahuje točivé části. Analyzátor je extrémně přesný díky 24bitovému A/D převodníku, dále se vyznačuje vysokým rozsahem pracovních teplot od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, jeho spotřeba je 10 VA.



Obrázek 3.3 Analyzátor napětí v provedení ENA450 [4]

Analyzátor v provedení ENA500 se skládá z výkonného PC zabudovaného do přenosné velmi dobře mechanicky odolné skříně. PC je možné rozšířit pomocí rozhraní Ethernet, dvěma rozhraními COM nebo dvěma USB kanály. Podle provedení je pomocí tohoto analyzátoru sledovat až pět třífázových systémů v různých kombinacích (např. provedení ENA500.50 může sledovat až 5 napěťových systémů, každý o třech měřených kanálech). Vstupní rozsahy napěťových kanálů jsou 65, 110, 250 a 450 V střídavých, analyzátor dokáže měřit až do efektivní hodnoty 600 V. Pomocí proudových kleští je možno měnit vstupní rozsahy proudových kanálů. Šířka měřeného pásma je od 50 Hz až do 2,5 kHz.



Obrázek 3.4 Analyzátor v provedení ENA 500.12 [4]

V provedení PNA560 analyzátor obsahuje PC v odolném plastovém kufříku, díky rozhraní USB je systém možno rozšířit o další periferie. Pro ovládání a zobrazení výsledků měření přímo na přístroji je systém vybaven dotykovým displejem. Vstupní rozsahy napěťových kanálů je 5, 10, 50 a 100 V střídavých. Vstupní rozsahy proudových kanálů jsou 1 a 5 A při přímém připojení proudových vstupů, dále je možno použít proudové kleště [4]



Obrázek 3.5 Analyzátor kvality napětí v provedení PNA560 [4]

3.2 Analyzátor ARTIQ 144 od KMB systems

Analyzátor ARTIQ 144 je určen pro vzdálené sledování kvality napětí. Instaluje se přímo na lištu. Díky vzdálenému monitoringu je vhodný pro aplikace automatizace budov. Přístroj obsahuje 4 napěťové a 4 proudové vstupy pro externí průvlekové či naklapávací měřicí transformátory. Proud se měří přímo až do hodnoty 2400 A. Pro komunikaci využívá rozhraní RS – 485 (volitelně USB, Wi-Fi, či Ethernet)

ARTIQ 144 měří kontinuálně napětí a proud, počet vzorků na periodu 288 a dokáže vypočítat 127 složek harmonických proudů a napětí. Záznam dat v reálném čase zajišťuje integrovaný obvod reálného času, data se ukládají na paměť s kapacitou 512 MB.

K vyhodnocení kvality energie použijeme firmwarový modul Power Quality (PQ), který rozšíří základní vlastnosti analyzátoru o měření nových veličin jako flickr, meziprocentová napětí a selektivní voltmetr. Dále dojde k archivaci kvality elektrické energie dle normy [1].

Měření probíhá třemi nepřetržitými procesy, a to vyhodnocování frekvence, nepřetržitě vzorkování napěťových a proudových signálů a vyhodnocování navzorkovaných dat.

Frekvence je vyhodnocována z fázového napětí, modifikovaného filtrem dolní propusti. Měření probíhá nepřetržitě a vyhodnocuje se každých 10 sekund jako procento celých cyklů v síti započatých každých 10 s a celkového trvání celých cyklů.

Vyhodnocení napětí a proudů probíhá spojitě. Pro síťový kmitočet 50 Hz je vyhodnocovací interval 10 period, tedy 200 ms. Počet vzorků za periodu je 128. Vzorkování je ovládáno frekvencí z kanálu napětí, hodnota vzorkování se v měřitelném rozsahu dokáže přizpůsobit změnám frekvence. [5]



Obrázek 3.6 Analyzátor kvality ARTIQ 144 [5]

3.3 Třífázový analyzátor FLUKE 43x-II

Tyto analyzátory poskytují sadu měření pro kontrolu distribučních systémů. Řada se pohybuje od analyzátorů pro obecný přehled až po analyzátory ke zkoumání konkrétních podobností. Přístroje Fluke 435-II a 437-II mají ve své výbavě i dodatečné funkce jako měření flickeru, přechodných jevů, výkonové křivky, signálů v rozvodné síti, události křivky, události Rms% a přesnosti vstupního napětí 0,1 %. Navíc Fluke 437-II je dále vybaven měřením napětí, proudu a frekvence v lodních instalacích. Tento analyzátor navíc umožňuje měření v systémech 400 Hz. Přístroj 434-II může mít volitelně přidané funkce přístroje 435-II.

Pro měření kvality elektrické energie se využívá funkce Power Quality Monitoring (Sledování kvality elektrické energie) nebo System Monitoring (Sledování systému). Tyto funkce na obrazovce zobrazují sloupcový graf. Podle velikosti sloupce poznáme, jak se hodnota liší od její jmenovité. Parametry se zobrazují na obrazovce, jmenovitě: napětí rms, harmonické napětí, flicker, poklesy, přerušení, rychlé změny napětí, překmity (DIRS), nesymetrie, frekvence a signály v rozvodné síti. [6]

4 Popis měřeného objektu

Měření parametrů kvality elektrické energie probíhá v elektrické síti, která slouží k ovládní parkovacího centra a je provozovaná v ostrovním režimu. Zdrojem elektrické energie je fotovoltaická elektrárna o celkovém výkonu 10 kWp rozděleného do dvou stringů o špičkovém výkonu 5 kWp, která napájí automatické dopravní centrum firmy KOMA Industry s.r.o. nacházející se v areálu kampusu VŠB – TUO v Ostravě Porubě.

Tento automatický parkovací systém má na svých 4 podlažích 37 parkovacích míst pro osobní vozidla. Celkem zde může zaparkovat maximálně 36 osobních automobilů, 1 parkovací paleta slouží k umístění technologie pro ostrovní provoz budovy.



Obrázek 4.1 Budova APS, kde je realizováno měření

Napájení objektu zajišťuje fotovoltaická elektrárna umístěná na střeše budovy. Parametry panelů jsou uvedeny v tabulce:

Tabulka 4-1 Parametry fotovoltaického panelu

Elektrická data		WST – 250P6
Jmenovitý výkon	P_{MAX}	250 Wp
Napětí při maximálním výkonu	U_{MP}	30,7 V
Proud při maximálním výkonu	I_{MP}	8,15 A
Napětí naprázdno	V_{OC}	37,5 V
Proud nakrátko	I_{SC}	8,53 A

Výkon elektrárny je sveden před MPPT regulátor 80600 na DC přípojnicí o jmenovité hodnotě napětí 48 V stejnosměrných. K této přípojnicí jsou také připojeny 4 akumulátorové baterie. Každá baterie se skládá z 12 článků o kapacitě 30 A·h, celková kapacita 1 akumulátorové baterie 360 A·h. Jednotlivé články jsou vybaveny balancérem, který slouží k udržování stejného napětí na každém článku dané sady. Celý bateriový systém je vybaven aktivním battery managementem pro kontrolu napětí,

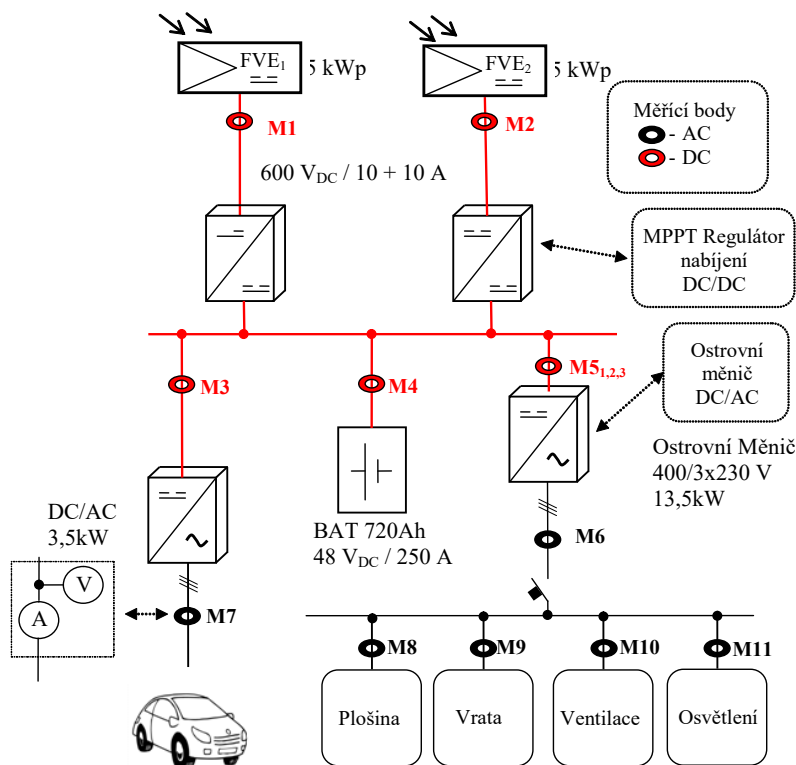
proudu a teploty každého článku. Při překročení limitní hodnoty jednoho z parametrů je schopný vyslat povel k odpojení baterií.

K vytvoření trojfázového sinusového průběhu napětí jsou k DC přípojnici připojeny 3 ostrovní střídače XANTREX XW+. Tyto střídače mohou být připojeny přímo k distribuční síti. Ta slouží jako záloha pro případy nedostatečné dodávky z fotovoltaických panelů. Parametry střídače XW+ 6848 NA jsou uvedeny v tabulce.

Tabulka 4-2 Parametry střídače XW+6848 NA

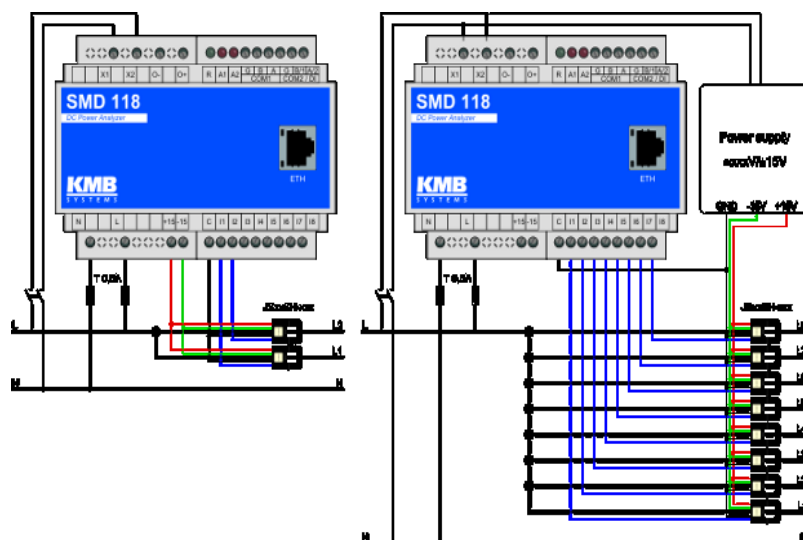
Parametry invertoru	XW+ 6848 NA
Střídavé vstupy	6800 W
Výstupní výkon při 25 °C	8500 W / 12000 W
Přetížení 30 min/ 60 sec při 25 °C	102 A (120 V); 52 A (240 V)
Výstupní napětí	L-N: 120 V +/- 3 %; L-L: 240 V +/- 3 %
Vstupní DC rozsah napětí	42 to 60 V (48 V jmenovitých)
Maximální vstupní DC proud	180 A
Nabíjecí DC výstup	
Maximální výstupní nabíjecí proud	140 A
Výstupní rozsah napětí	40 -64 V (48 V jmenovitých)

Jedná se tak o hybridní formu ostrovního režimu. Plný ostrovní režim je využíván při dostatečné dodávce fotovoltaické elektrárny, období jaro až podzim. V zimním období je pro dobíjení systému akumulace elektrické energie využita distribuční soustava.



Obrázek 4.2 Schéma s měřicími body budovy APS

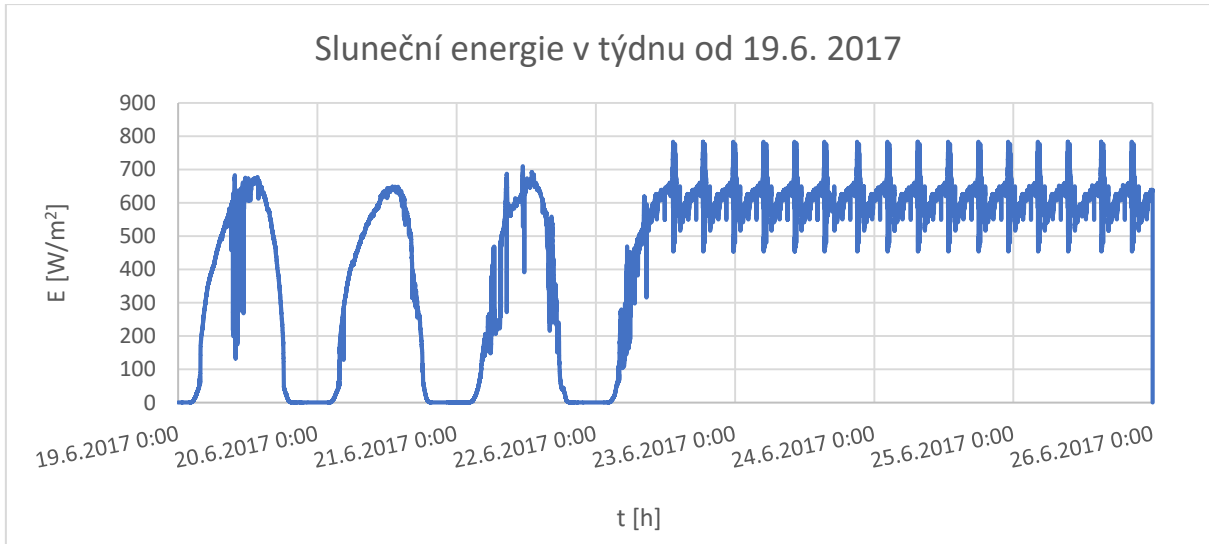
Celý ostrovní systém je doplněn o monitorovací systém sledující výkony v rámci celého napájecího systému. Je tvořen řadou AC a DC analyzátorů. DC veličiny sledují analyzátoři SMD a to minimální, střední a maximální hodnoty daných veličin. Pro sledování AC veličin slouží analyzátoři SMC. Tyto analyzátoři sledují fázová a sdružená napětí, proudy i kvalitativní parametry jako např. THD, harmonické atd. Všechny tyto analyzátoři jsou připojeny k síti LAN. Tyto veličiny jsou dále zpracovatelné prostřednictvím softwaru a webového rozhraní.



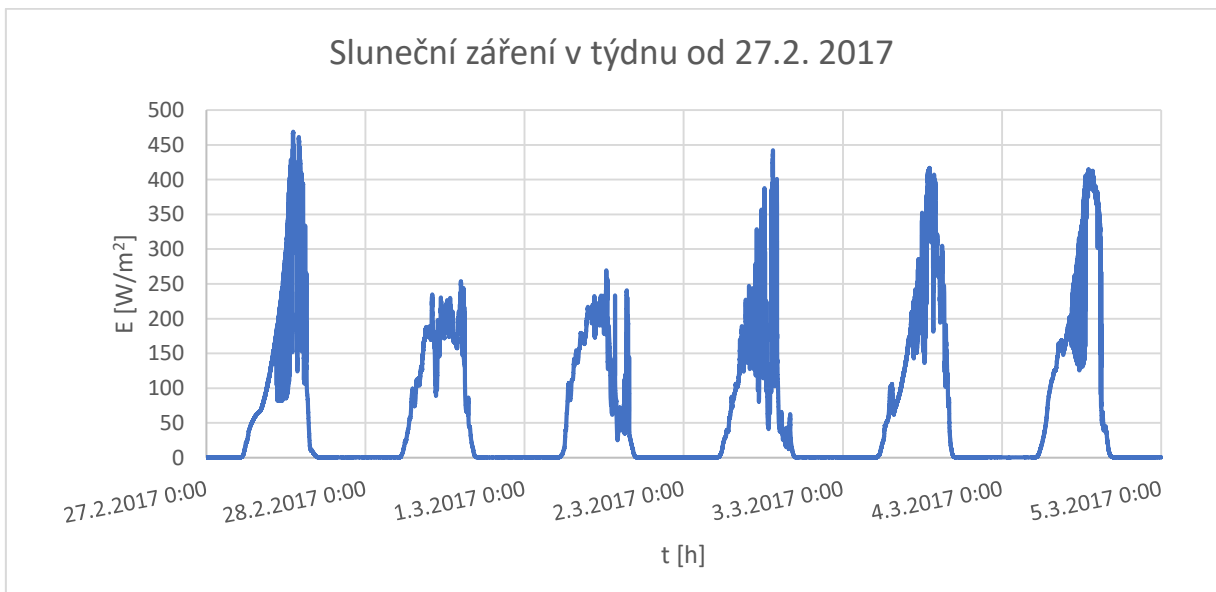
Obrázek 4.3 Analyzátoři kvality napětí SMD

5 Vyhodnocení měření

Kvalita elektrické energie se vyhodnocuje jako 10minutové intervaly za období 1 týdne. Vyhodnocení kvality dodávky elektrické energie probíhá pro dvě různá týdenní období. Jako zdroj se používají panely fotovoltaické elektrárny, a tak pro porovnání je jedno měřené časové období pro týden, kdy bylo převážně slunečné počasí a pro týden, který byl z větší části zatažený.



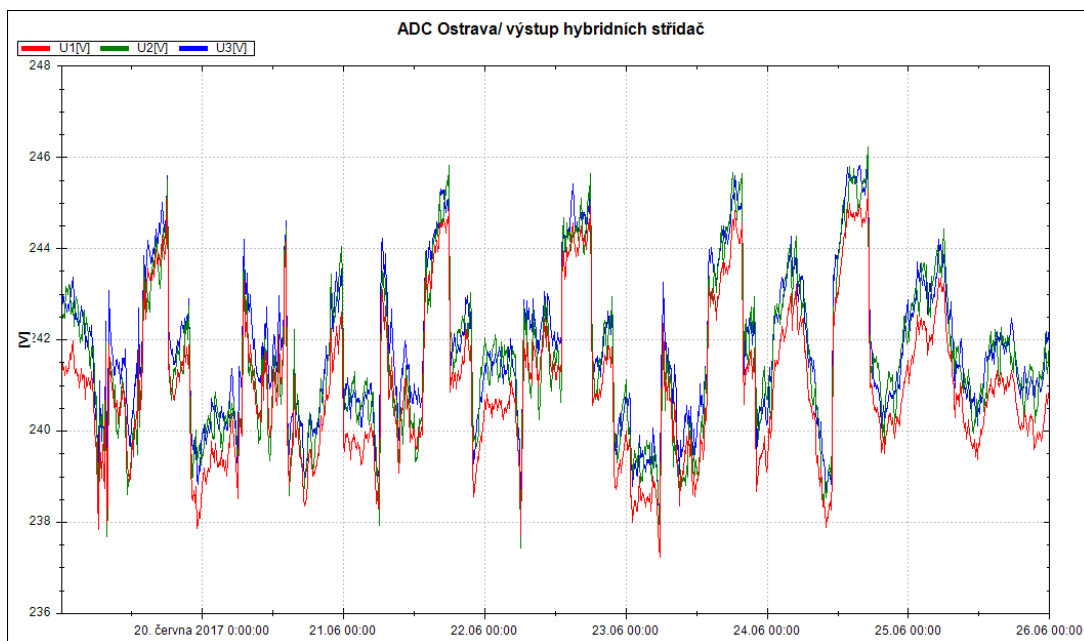
Obrázek 5.1 Míra sluneční energie v týdnu od 19.6. 2017



Obrázek 5.2 Míra sluneční energie pro týden od 27.2. 2017

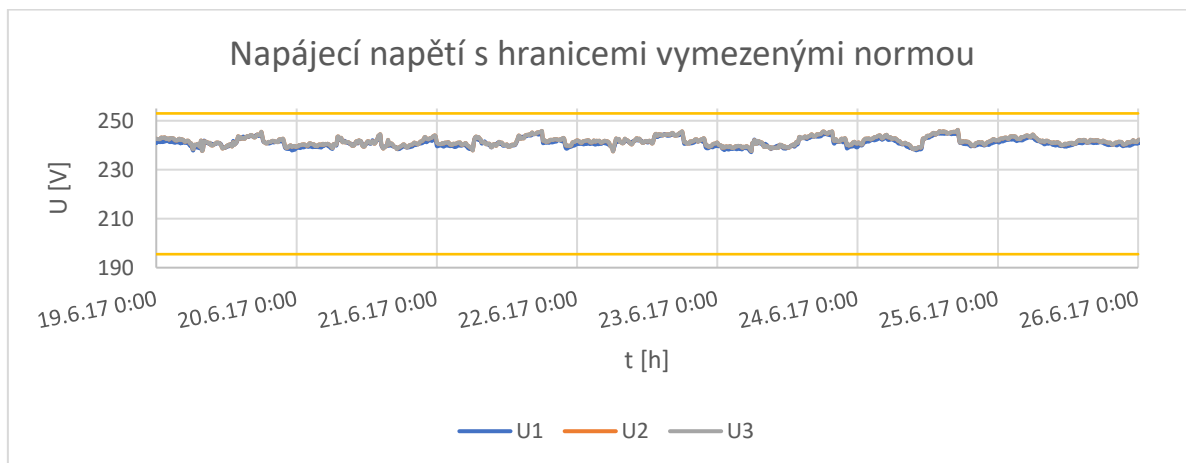
Jako první měřený týden byl vybrán týden od 19.6. 2017, kde hodnota sluneční energie dosahuje maximální hodnoty až téměř $800 W/m^2$ a v konci týdne nekolísá až k nulové hodnotě. Z grafu pro druhý měřený týden je vidět, že sluneční energie dosahuje poloviční maximální hodnoty proti předešlému úseku a více kolísá její hodnota.

5.1 Týden od 19.6. 2017

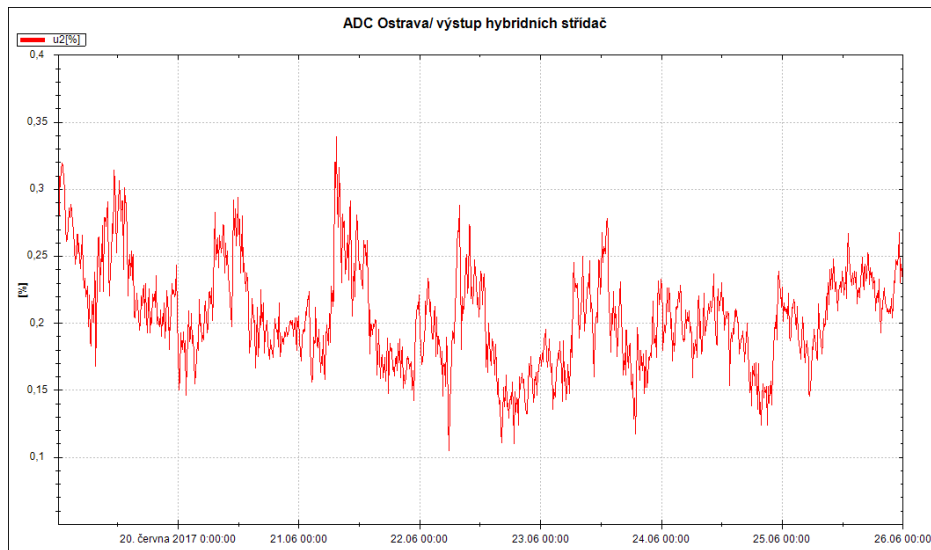


Obrázek 5.3 Detail průběhu napětí v závislosti na čase za týden od 19.6. 2017

Odchytky napájecího napětí v sítích, které nejsou připojeny k přenosovým sítím nesmí přesáhnout hodnoty +10 % - 15 % jmenovité hodnoty napětí, tedy 230 V. Horní mez je na hodnotě 253 V, spodní 195,5 V. V grafu naměřených hodnot vidíme, že za sledované období byla největší hodnota efektivní hodnoty 246,2 V a nejnižší 237,3 V.

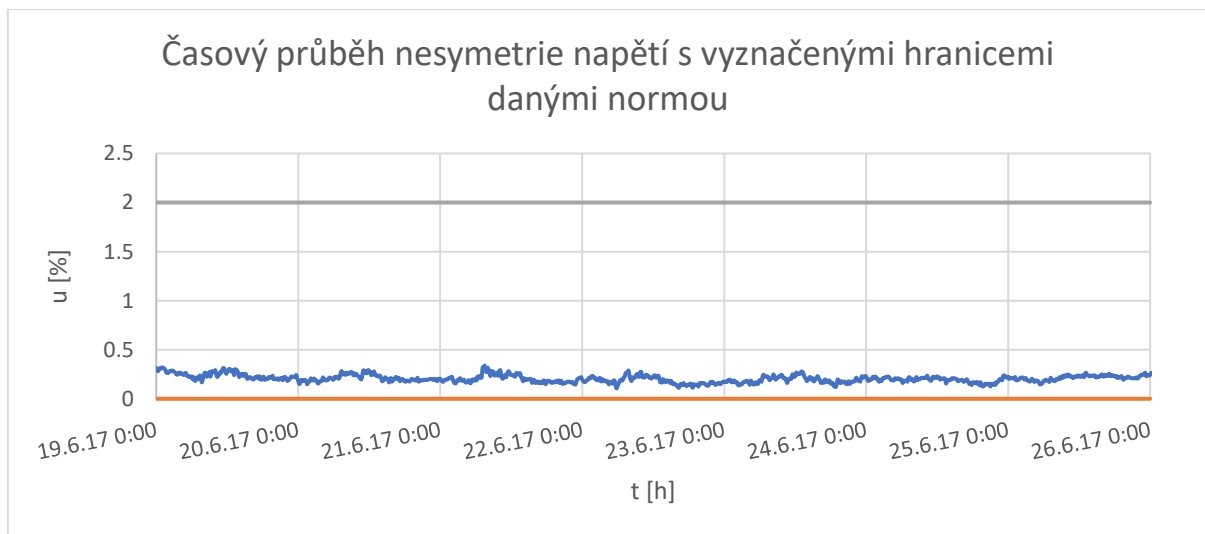


Obrázek 5.4 Napájecí napětí s hranicemi vymezenými normou

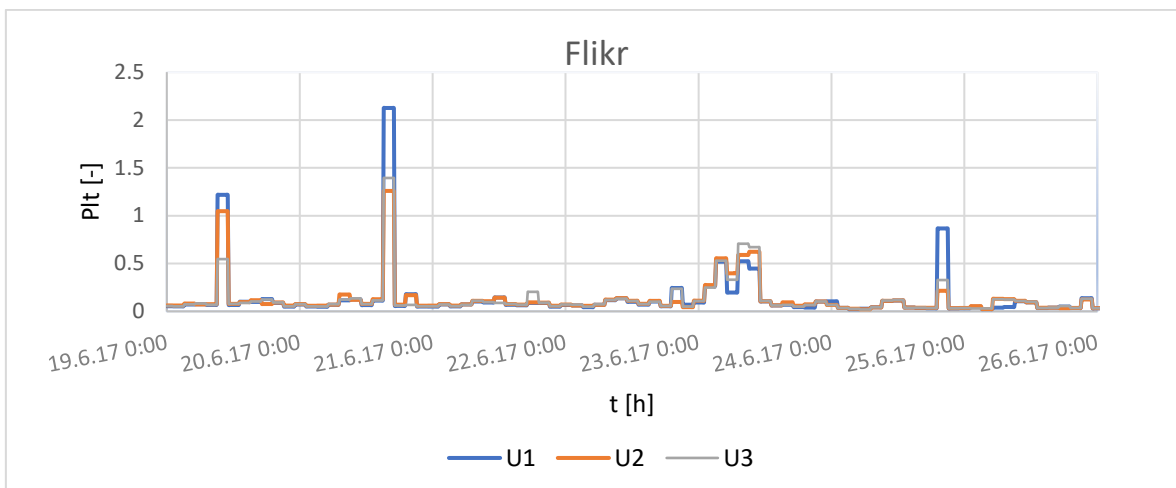


Obrázek 5.5 Časový průběh procentní nesymetrie napětí za týden od 19.6. 2017

Nesymetrie napětí dle normy [1] je vyhodnocováno tak, že odchylka středních efektivních hodnot základní složky napájecího napětí proti sousledné složce musí být v rozsahu 0 až 2 %. Z grafu je vidět maximum této odchylky 0,34 %. Norma je tedy splněna.



Obrázek 5.6 Časový průběh nesymetrie napětí s vyznačenými hranicemi danými normou

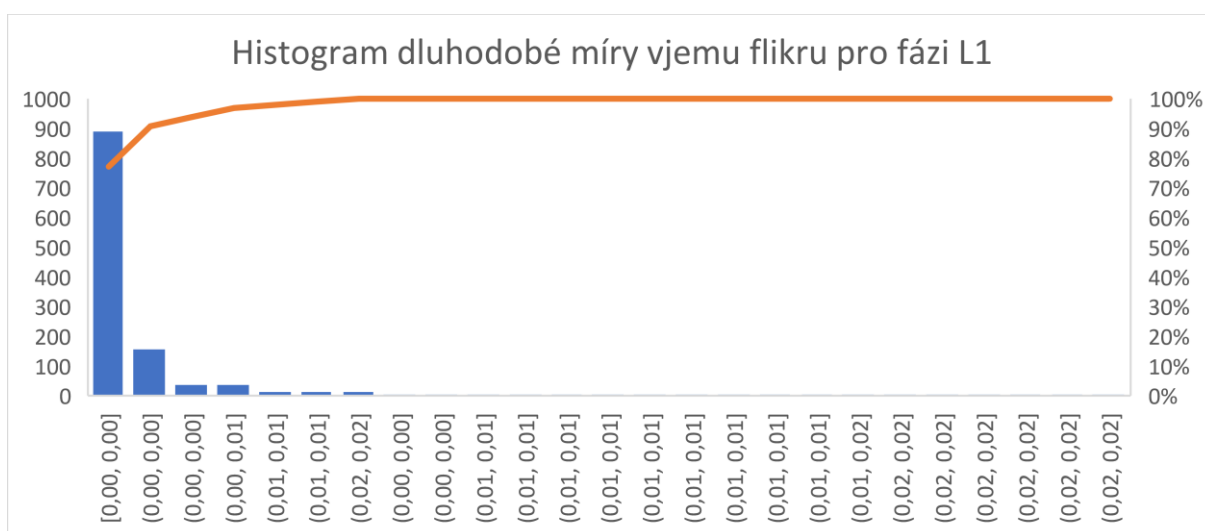


Obrázek 5.7 Časový průběh dlouhodobé míry vjemu flikru za týden od 19.6. 2017

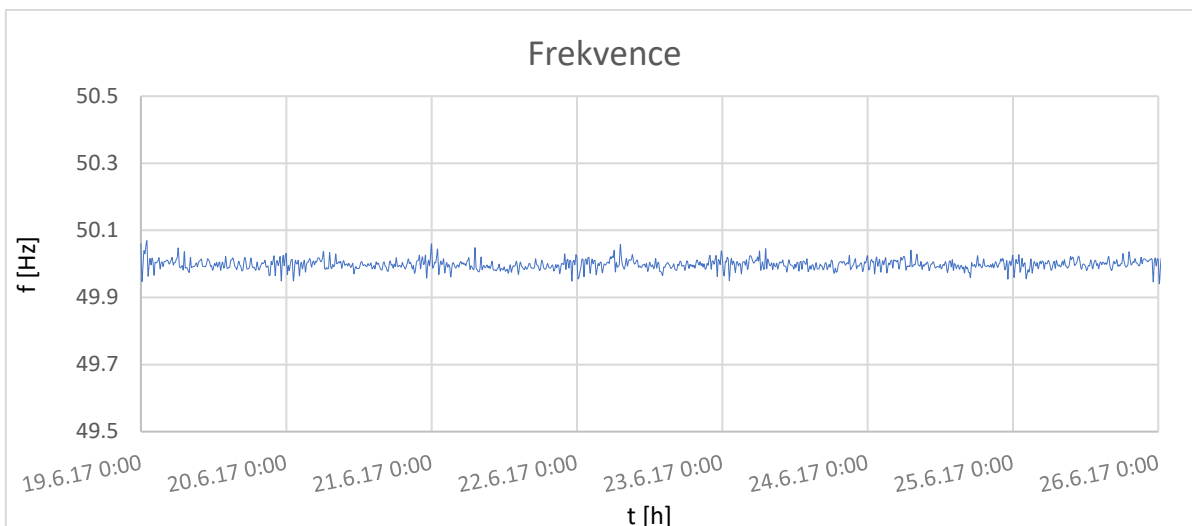
Pro týdenní období dlouhodobá míra vjemu flikru dle normy [1] nesmí být 95 % hodnot větší nebo rovna hodnotě 1. V tomto kritériu se za měřený úsek vyskytuje 97,6 %. Hodnota flikru tedy odpovídá stanovené normě. 95 % hodnoty flikru, jsou uvedeny v tabulce:

Tabulka 5-1 95 % hodnoty flikru

Flikr		
Fáze	95 % hodnoty	ČSN EN 50160
L1	0,44	vyhovuje
L2	0,27	vyhovuje
L3	0,31	vyhovuje

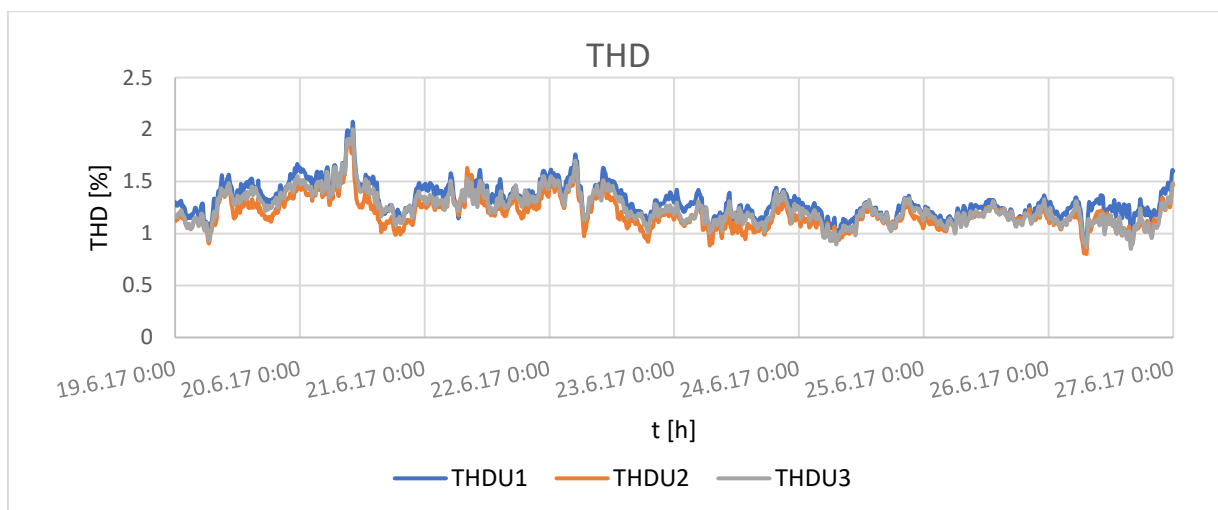


Obrázek 5.8 Histogram dlouhodobé míry vjemu flikru pro fázi 1



Obrázek 5.9 Časový průběh frekvence za týden od 19.6. 2017

Norma [1] pro ostrovní režim udává, že maximální odchylka frekvence se musí pohybovat během 95 % týdne v rozmezí hodnot od 49 Hz do 51 Hz. Z grafu naměřených hodnot je patrné, že frekvence se po dobu měřeného týdne téměř vůbec nemění.

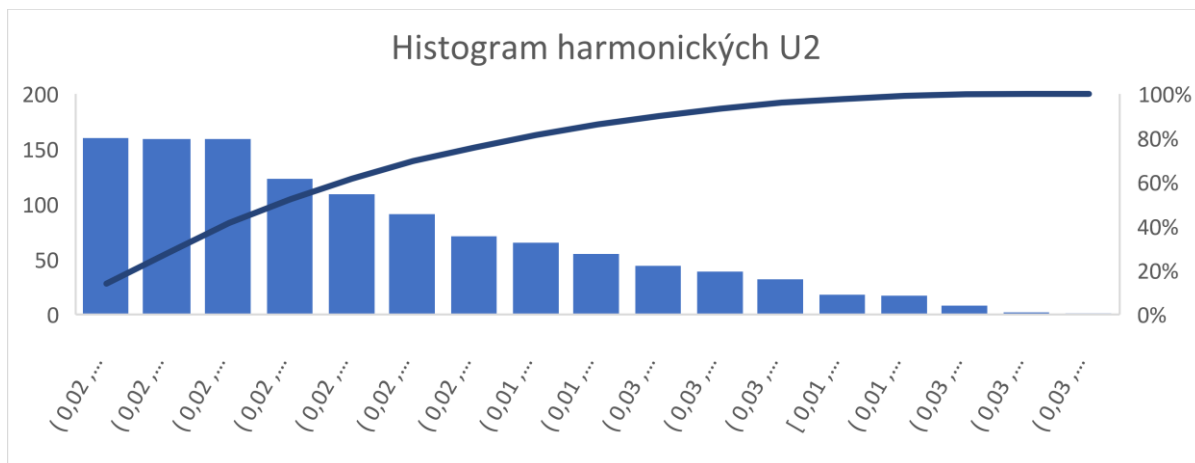


Obrázek 5.10 Časový průběh celkového napětového zkreslení za týden od 19.6. 2017

Celkový činitel napětového zkreslení THD, který zahrnuje všechny harmonické složky až do řádu 40 obsahující napájecí napětí, musí být menší nebo roven 8 %. Největšího THD dosahuje fáze U1, naopak nejmenšího fáze U3. Z grafu je dále patrné, že hodnota THD za týdenní měřené období dosáhla maximálně hodnoty 2,07 %, a tedy normě vyhovuje.

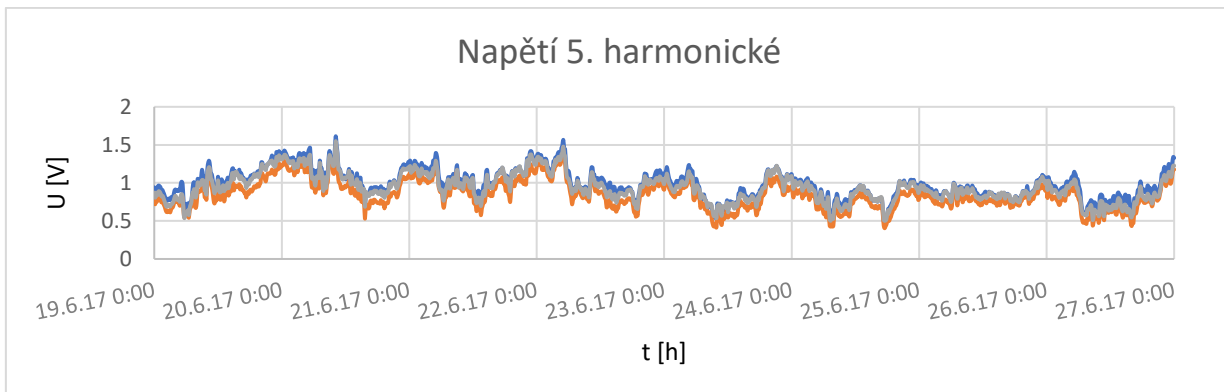
Tabulka 5-2 Přehled vlivu lichých harmonických pro týden od 19.6. 217

Harmonické napětí									
Řád	U_h	Fáze	95 % hodnoty	ČSN EN 50160	Řád	U_h	Fáze	95 % hodnoty	ČSN EN 50160
3	5 %	L1	0,13	vyhovuje	15	0,5 %	L1	0,03	vyhovuje
		L2	0,22	vyhovuje			L2	0,04	vyhovuje
		L3	0,22	vyhovuje			L3	0,03	vyhovuje
5	6 %	L1	1,40	vyhovuje	17	2 %	L1	0,21	vyhovuje
		L2	0,60	vyhovuje			L2	0,20	vyhovuje
		L3	0,59	vyhovuje			L3	0,20	vyhovuje
7	5 %	L1	0,47	vyhovuje	19	1,5 %	L1	0,22	vyhovuje
		L2	0,57	vyhovuje			L2	0,16	vyhovuje
		L3	0,57	vyhovuje			L3	0,16	vyhovuje
9	1,5 %	L1	0,52	vyhovuje	21	0,5 %	L1	0,11	vyhovuje
		L2	0,65	vyhovuje			L2	0,13	vyhovuje
		L3	0,60	vyhovuje			L3	0,13	vyhovuje
11	3,5 %	L1	0,15	vyhovuje	23	1,5 %	L1	0,08	vyhovuje
		L2	0,14	vyhovuje			L2	0,07	vyhovuje
		L3	0,14	vyhovuje			L3	0,08	vyhovuje
13	3 %	L1	0,13	vyhovuje	25	1,5 %	L1	0,07	vyhovuje
		L2	0,06	vyhovuje			L2	0,06	vyhovuje
		L3	0,06	vyhovuje			L3	0,07	vyhovuje



Obrázek 5.11 Histogram 5. harmonického napětí fáze L2

V tabulce jsou uvedeny jednotlivá procentní harmonická napětí s uvedenou hodnotou normy. Z tabulky lze vidět, že všechna harmonická napětí normě vyhovují. Na dalším obrázku je zobrazen průběh procentního napětí 5. harmonické, která se na výsledném napájecím napětí podílí nejvíc.



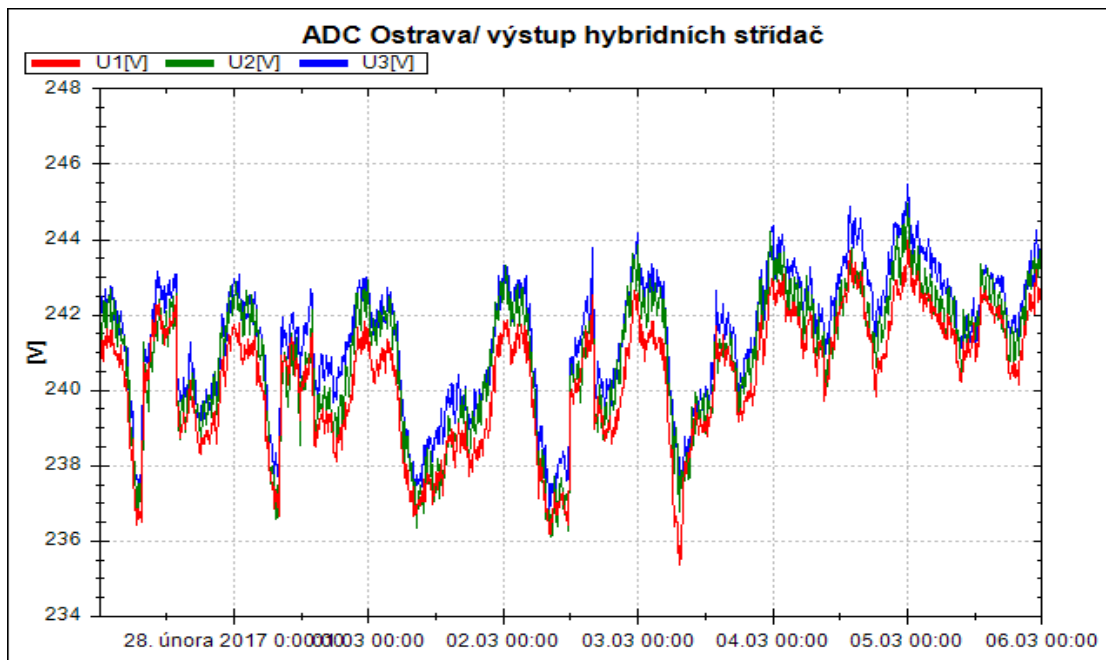
Obrázek 5.12 Časový průběh 5. harmonické napětí za týden od 19.6. 217

Tabulka 5-3 Přehled vlivu sudých harmonických na napětí pro týden od 19.6. 2017

Harmonická napětí				
Řád	U_h	Fáze	95 % hodnoty	ČSN EN 50160
2	2 %	L1	0,02	vyhovuje
		L2	0,01	vyhovuje
		L3	0,02	vyhovuje
4	1 %	L1	0,08	vyhovuje
		L2	0,08	vyhovuje
		L3	0,07	vyhovuje
6	0,5 %	L1	0,10	vyhovuje
		L2	0,08	vyhovuje
		L3	0,08	vyhovuje

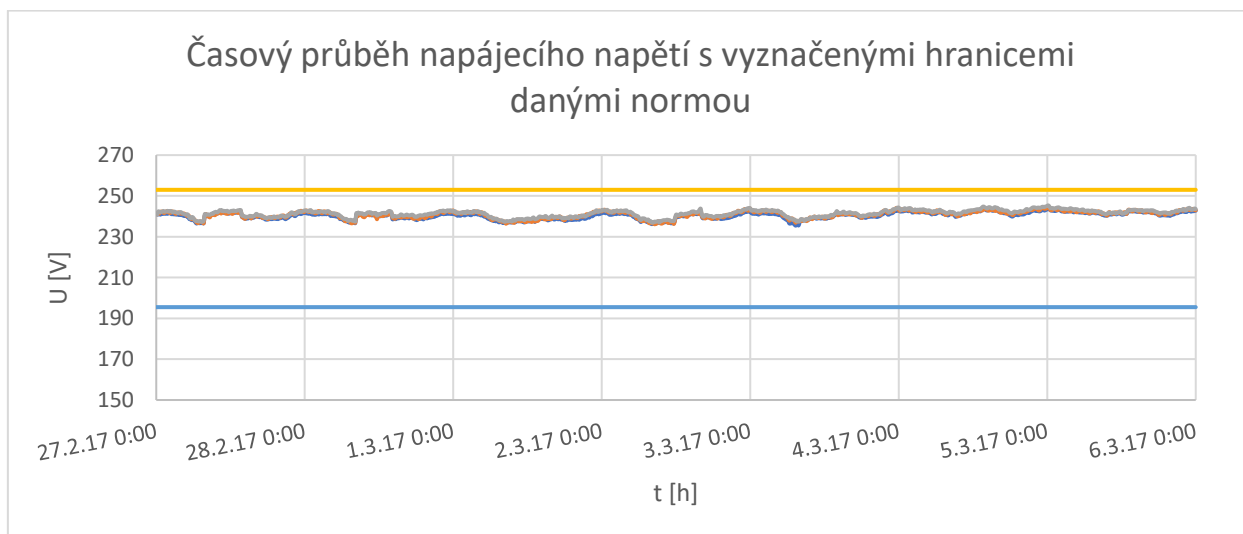
Vliv sudých harmonických na napájecí napětí je zanedbatelný (viz. Tabulka).

5.2 Týden od 27.2 2017

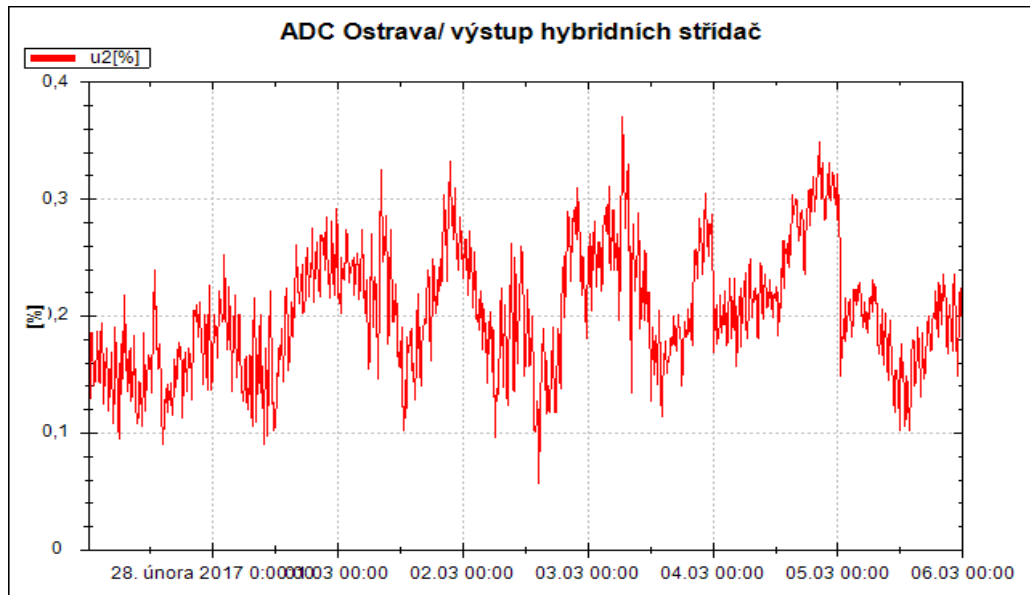


Obrázek 5.13 Detail časového průběhu napětí pro týden od 27.2. 0217

Nejvyšší hodnota napětí za měřený týden byla 245,4 V, nejnižší 235,4 V. Oproti předešlému měření došlo k poklesu nejvyšší hodnoty o 0,8 V a výrazněji ke změně nejnižší hodnoty napětí o 1,9 V.

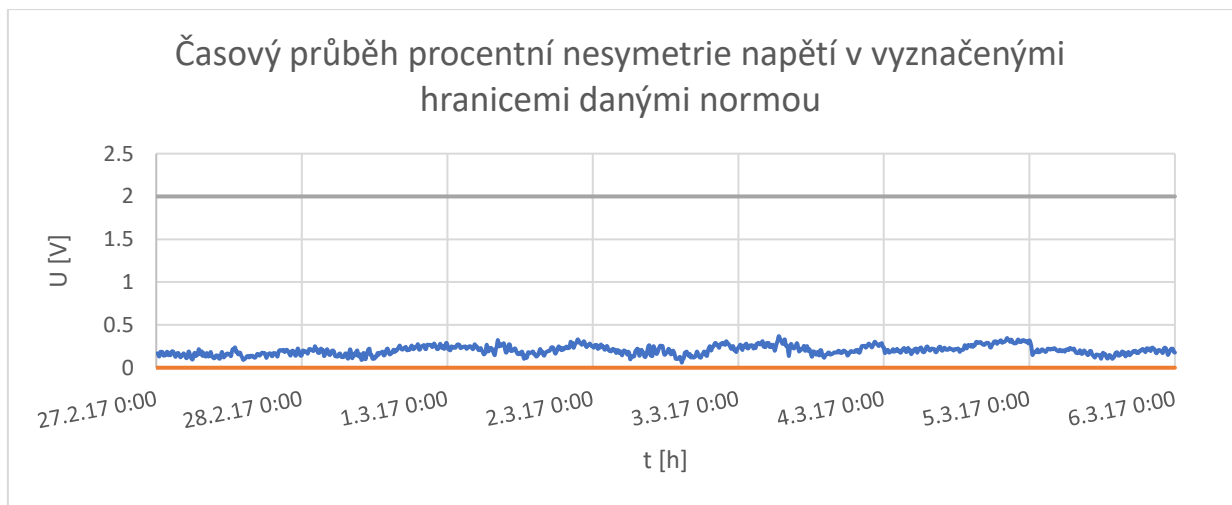


Obrázek 5.14 Časový průběh napájecího napětí s vyznačenými hranicemi danými normou

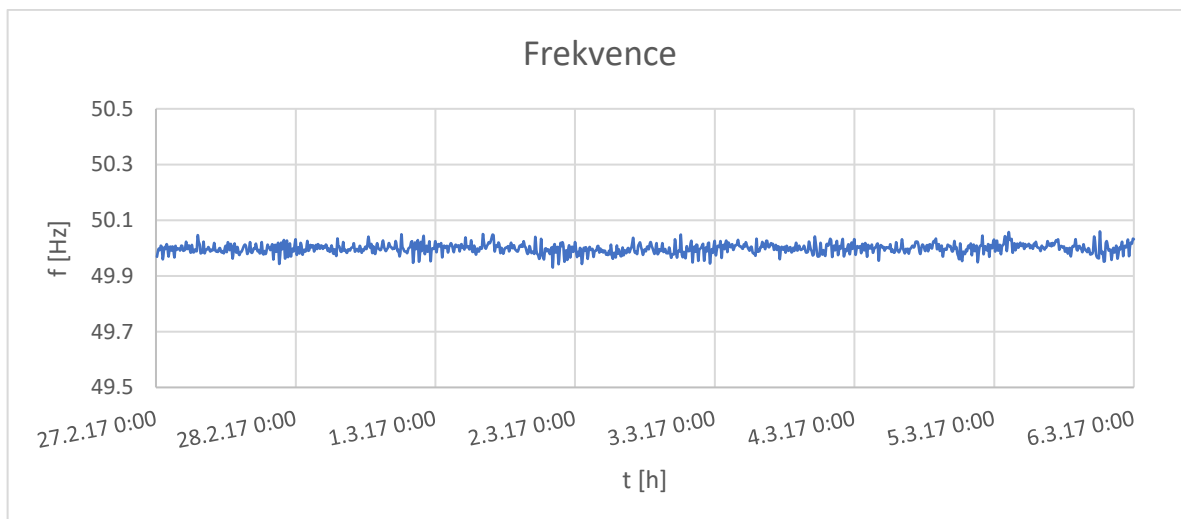


Obrázek 5.15 Časový průběh nesymetrie napětí pro týden od 27.2. 2017

Nesymetrie napájecího napětí za druhé sledované období vzrostla. Její maximální hodnota za toto období mírně vzrostla na 0,37 %.

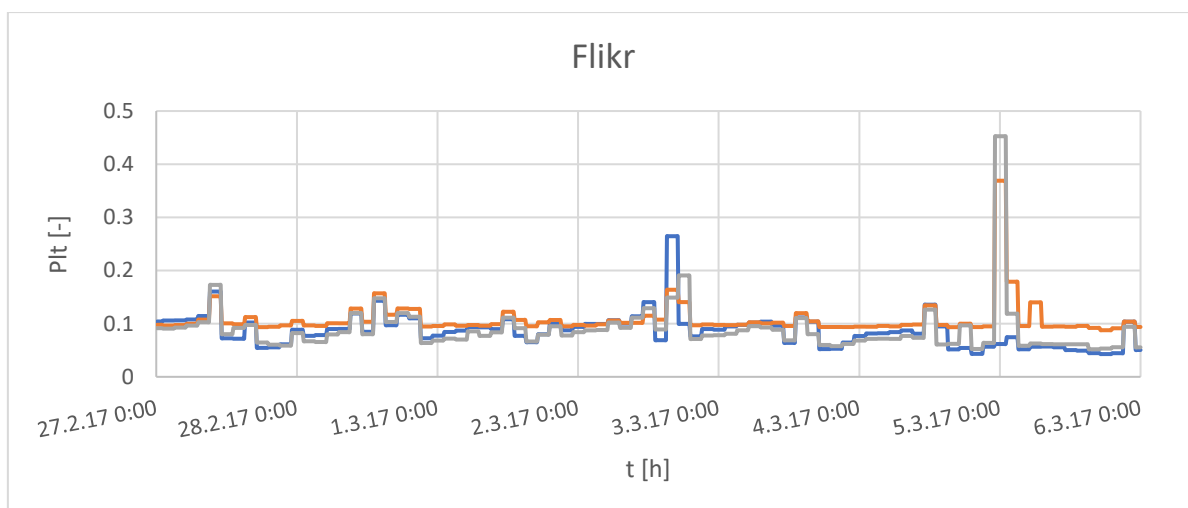


Obrázek 5.16 Časový průběh procentní nesymetrie napětí s hranicemi danými normou



Obrázek 5.17 Časový průběh frekvence pro týden od 7.2. 2017

Z grafu za dobu měření lze vidět, že frekvence napájecí sítě je téměř neměnná.

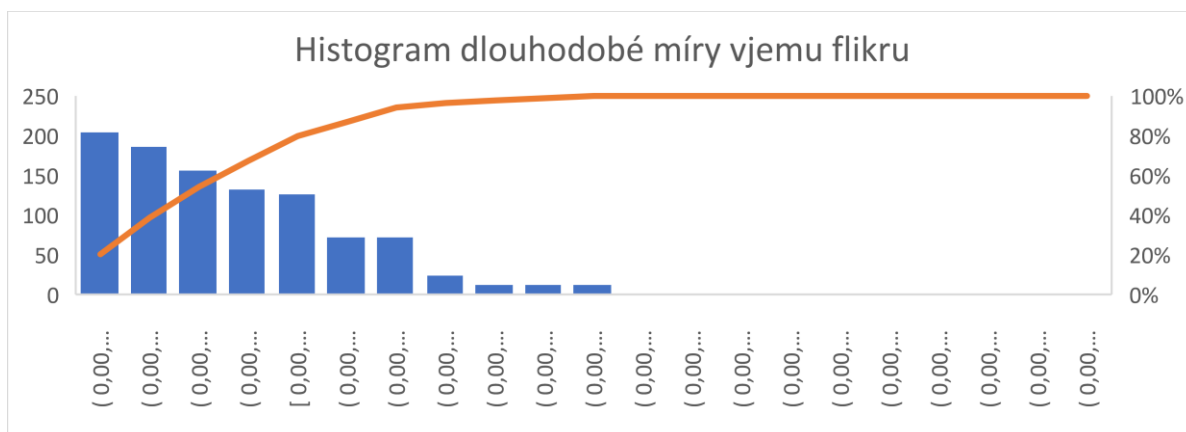


Obrázek 5.18 Časový průběh dlouhodobě míry vjemu flikru pro týden od 27.2. 2017

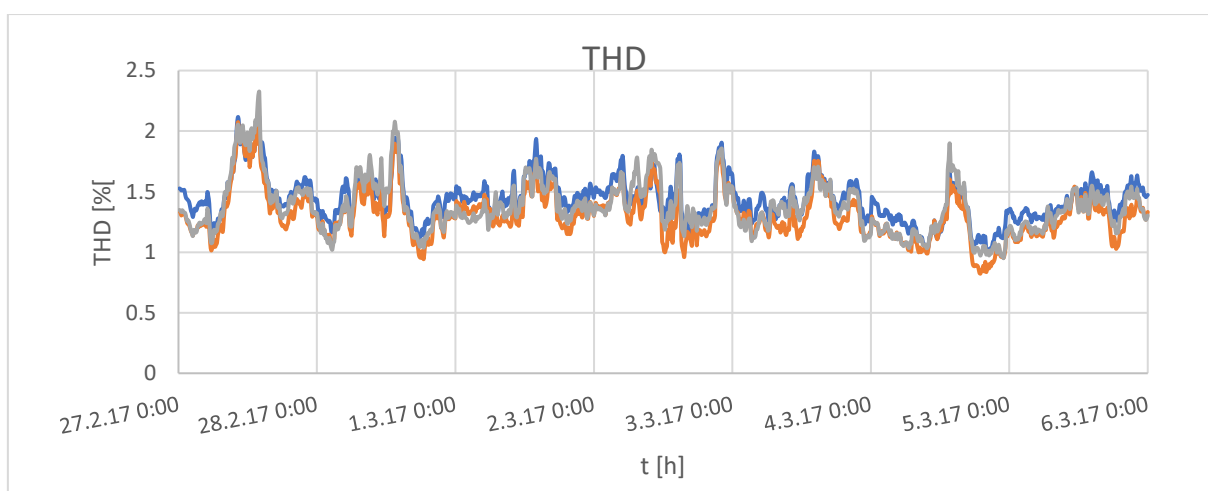
Za sledované období se maximální hodnota míry vjemu flikru vystoupala na hodnotu 0,45. V grafu je vidět, že normě [1] odpovídá 100 % hodnot. V porovnání s předešlým měřeným úsekem je hodnota dlouhodobě míry vjemu flikru menší.

Tabulka 5-4 Hodnoty dlouhodobě míry vjemu flikru

Flikr		
Fáze	95 % hodnoty	ČSN EN 50160
L1	0,16	vyhovuje
L2	0,15	vyhovuje
L3	0,17	vyhovuje



Obrázek 5.19 Histogram Plt pro fázi L2



Obrázek 5.20 Časový průběh celkového napěťového zkreslení ro týden od 27.2. 2017

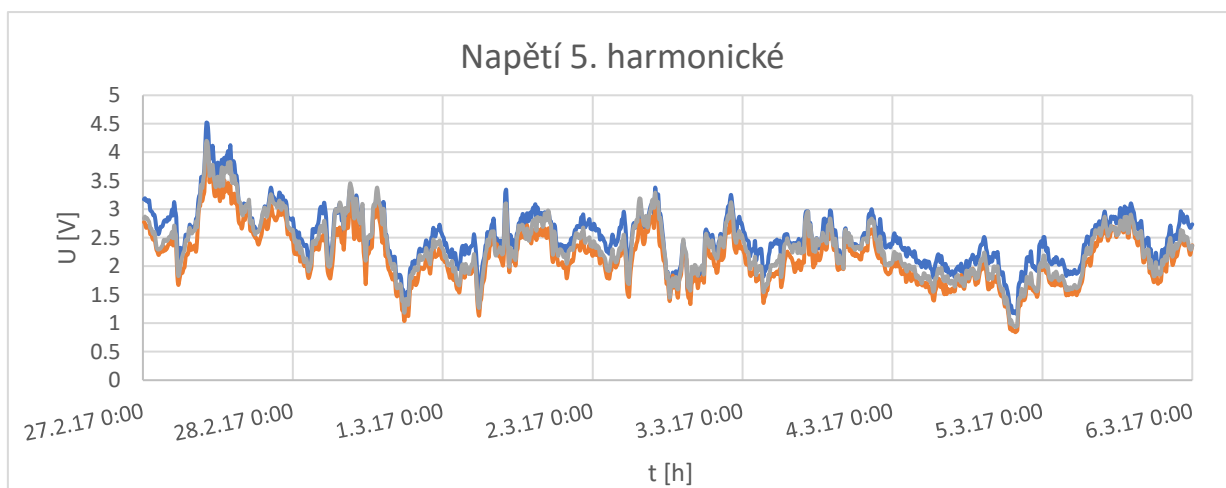
Činitel maximálního napěťového zkreslení THD je maximální ve 3. fázi, nejmenší činitel je ve fázi 2. Maximální hodnota zkreslení je 2,32 %.

Tabulka 5-5 Přehled vlivu lichých harmonických na napětí pro týden od 27.2. 2017

Harmonické napětí									
Řád	U_h	Fáze	95 % hodnoty	ČSN EN 50160	Řád	U_h	Fáze	95 % hodnoty	ČSN EN 50160
3	5 %	L1	0,62	vyhovuje	15	0,5 %	L1	0,07	vyhovuje
		L2	0,55	vyhovuje			L2	0,05	vyhovuje
		L3	0,73	vyhovuje			L3	0,05	vyhovuje
5	6 %	L1	1,69	vyhovuje	17	2 %	L1	0,19	vyhovuje
		L2	1,47	vyhovuje			L2	0,08	vyhovuje
		L3	1,50	vyhovuje			L3	0,14	vyhovuje
7	5 %	L1	1,09	vyhovuje	19	1,5 %	L1	0,11	vyhovuje
		L2	1,12	vyhovuje			L2	0,09	vyhovuje
		L3	1,13	vyhovuje			L3	0,10	vyhovuje

9	1,5 %	L1	0,49	vyhovuje	21	0,5 %	L1	0,12	vyhovuje
		L2	0,52	vyhovuje			L2	0,13	vyhovuje
		L3	0,50	vyhovuje			L3	0,12	vyhovuje
11	3,5 %	L1	0,61	vyhovuje	23	1,5 %	L1	0,15	vyhovuje
		L2	0,58	vyhovuje			L2	0,10	vyhovuje
		L3	0,55	vyhovuje			L3	0,14	vyhovuje
13	3 %	L1	0,42	vyhovuje	25	1,5 %	L1	0,08	vyhovuje
		L2	0,39	vyhovuje			L2	0,09	vyhovuje
		L3	0,37	vyhovuje			L3	0,09	vyhovuje

Vliv harmonických napětí je zobrazen v tabulce. Vliv všech lichých harmonických odpovídá normě. Proti předchozímu měřenému období se vliv zvýšil, a to zejména u 3., 5. a 7. harmonické složky. Na grafu obrázku č. je zobrazen průběh 5. harmonické složky napájecího napětí, která má na něj největší vliv.



Obrázek 5.21 Časový průběh procentního vlivu 5. harmonické na napětí pro týden od 27.2. 2017

Vliv sudých harmonických je stejně jako v předešlém měřeném časovém období zanedbatelný, je však patrný mírný nárůst.

Tabulka 5-6 Přehled procentního vlivu sudých harmonických na napětí pro týden od 27.2 2017

Harmonická napětí				
Řád	U_h	Fáze	95 % hodnoty	ČSN EN 50160
2	2 %	L1	0,04	vyhovuje
		L2	0,06	vyhovuje
		L3	0,05	vyhovuje
4	1 %	L1	0,10	vyhovuje
		L2	0,08	vyhovuje
		L3	0,09	vyhovuje
6	0,5 %	L1	0,10	vyhovuje
		L2	0,10	vyhovuje
		L3	0,08	vyhovuje

6 Závěr

Hlavním úkolem této práce bylo zanalyzovat kvalitu elektrické energie elektrické sítě, která napájí technologii pro parkování budovy APS v ostrovním režimu. K jejímu napájení se využívá fotovoltaická elektrárna, jenž je umístěna na budově sloužící k automatickému parkování vozidel.

Ve svém úvodu se práce zaměřuje na požadavky na kvalitu elektrické energie předepsané normou ČSN EN 50160. Dále jsou v práci rozvedeny požadavky na vyhodnocování kvality s přehledem analyzátorů kvality napětí.

Praktická část se zabývá samotným vyhodnocením měření. Hodnoty měření byly zpracovávány za týdenní období v desetiminutových intervalech. Jako porovnání byla zpracovávána dvě týdenní období, jeden týden letní a jeden týden zimní.

Vyhodnocovanými parametry kvality byly:

- Odchyšky napájecího napětí
- Nesymetrie napětí
- Frekvence sítě
- Dlouhodobá míra vjemu flikru
- Celkové harmonické zkreslení napětí
- Harmonická napětí

Spodní hranice odchyšky napětí byla v obou měřených týdnech byla přibližně shodná. Rozdíl byl v nejvyšší horní odchyšky, která byla větší pro slunečný týden. Nesymetrie napětí byla pro oba týdny shodná, větší byla u týdne s nižší mírou slunečního svitu. Frekvence sítě v ani jednom měřeném týdnu se téměř nelišila od hodnoty 50 Hz.

Dlouhodobá míra vjemu flikru byla větší pro slunečný týden. Činitel maximálního napěťového zkreslení je pro slunečný týden také větší. Míra vlivu harmonických na napětí je daleko menší, než udává norma. Vliv sudých harmonických byl za obě měřené období zanedbatelný. Z lichých harmonických má největší vliv 3., 5. a 7. harmonická.

Naměřené střední hodnoty veličin jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 6-1 Střední hodnoty naměřených veličin

	Týden od 19.6. 2017			Týden od 27.2. 2017		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Napětí	240,86	241,43	241,72	240,73	241,29	241,75
Nesymetrie napětí	0,206			0,199		
Frekvence	49,998			49,999		
Plt	0,44	0,27	0,31	0,16	0,15	0,17
THD	1,43	1,29	1,34	1,43	1,29	1,34

Bibliografie

- [1] ČSN EN 50160 ed. 3: *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [2] Pravidla provozování distribučních soustav: Kvalita elektřiny v distribuční soustavě, způsoby jejího zjišťování a hodnocení. In: *ČEZ Distribuce* [online]. 2017 [cit. 2018-01-14]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds/ppds-2017.html>
- [3] ČSN EN 61000-4-30: *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-30: Zkušební a měřicí technika – Metody měření kvality energie*. 3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [4] BK-Node Firmware analyzátorů. In: *Elcom* [online]. Ostrava: Elcom a.s., 2009 [cit. 2018-01-14]. Dostupné z: <http://www.elcom.cz/cz/ke-stazeni/merici-systemy/merici-systemy/system-monitoringu-a-analyzy-kvality-elektřiny-bk-elcom-clanky/detail>
- [5] Analyzátor a podružný elektroměr ARTIQ 144. In: *KMB systems s.r.o.* [online]. Liberec, 2011 [cit. 2018-01-14]. Dostupné z: <http://www.kmb.cz/index.php/cs/analyzatory-kvality/analyzator-kvality-50160-artiq-144>
- [6] Fluke 434-II/435-II/437-II Třífázový analyzátor kvality elektrické energie: Uživatelská příručka. In: *Fluke* [online]. Fluke, 2009 [cit. 2018-01-14]. Dostupné z: <http://www.fluke.com/Fluke/czcs/Support/Manuals/default.htm?ProductId=73939>