



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

VYHODNOCENÍ DAT Z DLOUHODOBÉHO MĚŘENÍ KVALITY NAPĚTÍ V SÍTI 22KV

EVALUATION OF DATA FROM LONG-TERM VOLTAGE QUALITY MEASUREMENTS IN THE 22KV NETWORK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Aleš Umlauf

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. David Topolánek, Ph.D.

BRNO 2023



Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Aleš Umlauf

ID: 230443

Ročník: 3

Akademický rok: 2022/23

NÁZEV TÉMATU:

Vyhodnocení dat z dlouhodobého měření kvality napětí v síti 22kV

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Úvod do problematiky kvality elektrické energie – popis charakteristických parametrů
2. Ověření kompletnosti pořízených záznamů kvalitoměrů a charakteristika uložených parametrů
3. Analýza vlivu provozu soustavy na vybrané charakteristické parametry napětí (nesymetrie, flickr apod.)
4. Souhrnné vyhodnocení charakteristických parametrů P, Q, U a I
5. Analýza případných nestandardních provozních stavů na daném vývodu

DOPORUČENÁ LITERATURA:

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 6.2.2023

Termín odevzdání: 29.5.2023

Vedoucí práce: doc. Ing. David Topolánek, Ph.D.

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Tato bakalářská práce pracuje s daty, které byly naměřeny čtrnácti analyzátory kvality elektrické energie v analyzované oblasti po dobu přibližně sedmi měsíců. Na počátku je stanoven způsob agregace společně s limity pro charakteristické parametry elektrické energie, dle platných norem ČSN. Hlavním přínosem této práce je souhrnné vyhodnocení charakteristických parametrů elektrické energie. V závěru je soustředěna pozornost na podrobnou analýzu vlivu provozu soustavy na flickr s cílem odhadnout oblast příčiny nekvality elektrické energie. Je zdůrazněn vliv výpadků napětí a nekonzistence dat na vyhodnocení kvality elektrické energie.

Klíčová slova

charakteristické parametry elektrické energie; analyzátory kvality elektrické energie třídy A; vyhodnocení kvality elektrické energie

Abstract

This bachelor's thesis works with data that were measured by fourteen power quality analyzers in the analyzed area for a period of approximately 7 months. At the beginning of the work, the method of aggregation together with the limits for characteristic parameters of electrical energy is determined, according to the applicable ČSN standards. The main contribution of this work is the summary evaluation of the characteristic parameters of electric energies. In the end, the work focuses on a detailed analysis of the effect of system operation on Flicker with the aim of estimating the area of the cause of the poor quality of electricity. The influence of voltage outages and data inconsistency on the evaluation of the quality of electricity is emphasized.

Keywords

characteristic parameters of electrical energy; class A power quality analyzers; evaluation of the quality of electricity

Bibliografická citace

UMLAUF, Aleš. *Vyhodnocení dat z dlouhodobého měření kvality napětí v síti 22kV* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-28]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/151361>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce David Topolánek.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	<i>Aleš Umlauf</i>
VUT ID studenta:	230443
Typ práce:	<i>Bakalářská práce</i>
Akademický rok:	2022/23
Téma závěrečné práce:	<i>Vyhodnocení dat z dlouhodobého měření kvality napětí v síti 22kV</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 27. května 2023

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Davidu Topolánkovi, Ph.D za odborné vedení, konzultace a cenné rady.

V Brně dne: 27. květen 2023

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM TABULEK.....	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
DEFINICE.....	11
ÚVOD	13
1. CHARAKTERISTICKÉ PARAMETRY V OBLASTI NN	14
1.1 PARAMETRY S DEFINOVANÝMI LIMITY	15
1.1.1 <i>Kmitočet sítě.....</i>	15
1.1.2 <i>Velikost napájecího napětí</i>	15
1.1.3 <i>Flikr</i>	16
1.1.4 <i>Nesymetrie napájecího napětí.....</i>	16
1.1.5 <i>Harmonická napětí.....</i>	17
1.1.6 <i>Napětí síťových signálů.....</i>	18
1.2 PARAMETRY SLEDOVANÉ	19
1.2.1 <i>Poklesy/Dočasná zvýšení napájecího napětí.....</i>	19
1.2.2 <i>Přerušeni napájecího napětí</i>	20
1.2.3 <i>Meziharmonické napětí.....</i>	21
1.2.4 <i>Rychlá změna napětí (RVC)</i>	21
1.2.5 <i>Proud a emise šířené vedením.....</i>	22
1.3 SHRNUTÍ CHARAKTERISTICKÝCH PARAMETRŮ V OBLASTI NN	25
2. ANALYZÁTORY KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE	26
2.1 TRÍDY ANALYZÁTORŮ ELEKTRICKÉ ENERGIE	26
2.1 POŽADAVKY TRÍDY A.....	26
2.1.1 <i>Metoda agregace</i>	27
3. SOUHRNNÉ VYHODNOCENÍ KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	28
3.1 VYHODNOCENÍ NEKVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE PRO JEDNOTLIVÉ CHARAKTERISTICKÉ PARAMETRY	30
3.1.1 <i>Vyhodnocení napětí.....</i>	30
3.1.2 <i>Vyhodnocení flikru</i>	31
3.1.3 <i>Vyhodnocení frekvence</i>	32
3.2 VYHODNOCENÍ NAPĚŤOVÝCH UDÁLOSTÍ.....	32
3.3 SOUHRNNÉ VYHODNOCENÍ VÝKONOVÝCH TOKŮ.....	33
4. ANALÝZA VLIVU PROVOZU SOUSTAVY NA VYBRANÝ CHARAKTERISTICKÝ PARAMETR	36
4.1 ANALÝZA FLIKRU.....	36
4.1.1 <i>Základní zhodnocení problému</i>	36
4.1.2 <i>Detailní analýza flikru</i>	38
4.1.3 <i>Detailní analýza flikru ošetřená od výpadků</i>	41
4.1.4 <i>Detail vlivu výpadku, či poklesu napětí na velikost flikru</i>	44
4.2 KOREKCE SLEDU FÁZÍ V MONITOROVANÝCH UZLECH	47

5. SHRNUTÍ.....	48
5.1 KONTROLA VYHODNOCENÍ FREKVENCE	48
5.2 CHYBNÁ AGREGACE P_{LT}	48
5.1 NÁVRH NA NAVAZUJÍCÍ PRÁCI.....	49
6. ZÁVĚR.....	50
LITERATURA.....	51
SEZNAM PŘÍLOH.....	53

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1 Grafické znázornění vlivu nekvality proudu na napětové události	23
3.1 Rozmístění analyzátorů kvality elektrické energie v analyzované anonymní síti	28
3.2 Znázornění místa s nejvyšší četností překročení limitu U_{int10m}	31
3.3 Histogram činného výkonu pro uzel č. 1	34
3.4 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 1	34
4.1 Časový průběh flikru P_{st} pro 14 uzlů v daném intervalu, ovlivněný nekonzistencí dat a poruchami	39
4.2 Časový průběh flikru P_{st} pro 14 uzlů v daném intervalu, ošetřený od nekonzistence dat a poruch	41
4.3 Detail události č. 10, označení oblasti, kde došlo pravděpodobně k poruše	43
4.4 Detail vlivu výpadku napětí na velikost flikru P_{st}	45
4.5 Detail vlivu poklesu napětí U_{RMS} na velikost flikru P_{ST} pro 10 událost	46
4.6 Detail vlivu poklesu napětí U_{RMS} na velikost flikru P_{st} pro 8 událost	46
5.1 Detailní zobrazení chybného odečtu P_{lt}	49
6.1 Histogram činného výkonu pro uzel č. 2	60
6.2 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 2	60
6.3 Histogram činného výkonu pro uzel č. 3	61
6.4 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 3	61
6.5 Histogram činného výkonu pro uzel č. 4	62
6.6 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 4	62
6.7 Histogram činného výkonu pro uzel č. 5	63
6.8 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 5	63
6.9 Histogram činného výkonu pro uzel č. 6	64
6.10 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 6	64
6.11 Histogram činného výkonu pro uzel č. 7	65
6.12 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 7	65
6.13 Histogram činného výkonu pro uzel č. 8	66
6.14 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 8	66
6.15 Histogram činného výkonu pro uzel č. 9	67
6.16 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 9	67
6.17 Histogram činného výkonu pro uzel č. 10	68
6.18 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 10	68
6.19 Histogram činného výkonu pro uzel č. 11	69
6.20 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 11	69
6.21 Histogram činného výkonu pro uzel č. 12	70
6.22 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 12	70
6.23 Histogram činného výkonu pro uzel č. 13	71
6.24 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 13	71

6.25	Histogram činného výkonu pro uzel č. 14	72
6.26	Histogram jalového výkonu pro uzel č. 14	72

SEZNAM TABULEK

1.1	Hodnoty jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě v procentech pro řády harmonických až do 25	17
1.2	Klasifikace poklesů napětí podle zbytkového napětí a doby trvání.	20
1.3	Klasifikace zvýšení napětí podle maximální hodnoty zvýšeného napětí a doby trvání.	20
1.4	Celkový přehled charakteristických parametrů elektrické energie	25
3.1	Souhrnný přehled splnění limitů stanovenými normou pro charakteristické parametry pro uzel 1-729	
3.2	Souhrnný přehled splnění limitů stanovenými normou pro charakteristické parametry pro uzel 8-1429	
3.3	Souhrnný přehled nadlimitních událostí pro charakteristický parametr U_{int10m}	30
3.4	Souhrnný přehled nadlimitních událostí pro charakteristický parametr P_{It}	32
3.5	Souhrnný přehled nadlimitních událostí pro charakteristický parametr frekvence	32
3.6	Souhrnný přehled napětových událostí	33
3.7	Rozložení výkonových toků v jednotlivých uzlech	35
4.1	Vyhodnocení flikru na základě integrálu a počtu událostí pro limit 1 a 5 pro jednotlivé uzly	37
4.2	Vyhodnocení flikru na základě integrálu a počtu událostí pro limit 10 a 15 pro jednotlivé uzly	38
4.3	Analýza flikru (P_{st}) v určitém okamžiku ovlivněná výpadky sítě a nekonzistencí dat	40
4.4	Analýza flikru (P_{st}) v určitém okamžiku ovlivněná výpadky sítě a nekonzistencí dat, kubický průměr předchozího a následujícího vzorku	40
4.5	Analýza flikru (P_{st}) v určitém okamžiku ošetřená od výpadků sítě a nekonzistence dat	42
4.6	Analýza flikru (P_{st}) v určitém okamžiku ošetřená od výpadků sítě a nekonzistence dat, kubický průměr předchozího a následujícího vzorku	42
4.7	Zobrazení největší velikosti flikru (P_{It}) ze 3 fází v daném okamžiku v určitém uzlu	44
4.8	Znázornění pravotočivého sledu fází v analyzované oblasti	47
6.1	Přehled postupů měření a nejistot kvalitoměrů třídy A/S	54
6.2	Tabulka 4.5 bez korekce sledu fází	55
6.3	Souhrnná tabulka napětových událostí pro uzel 1	56
6.4	Souhrnná tabulka napětových událostí pro uzel 2	56
6.5	Souhrnná tabulka napětových událostí pro uzel 3	56
6.6	Souhrnná tabulka napětových událostí pro uzel 4	57
6.7	Souhrnná tabulka napětových událostí pro uzel 5	57
6.8	Souhrnná tabulka napětových událostí pro uzel 6	57
6.9	Souhrnná tabulka napětových událostí pro uzel 7	57
6.10	Souhrnná tabulka napětových událostí pro uzel 8	58
6.11	Souhrnná tabulka napětových událostí pro uzel 9	58
6.12	Souhrnná tabulka napětových událostí pro uzel 10	58
6.13	Souhrnná tabulka napětových událostí pro uzel 11	59
6.14	Souhrnná tabulka napětových událostí pro uzel 12	59
6.15	Souhrnná tabulka napětových událostí pro uzel 13	59
6.16	Souhrnná tabulka napětových událostí pro uzel 14	59
6.17	Charakteristika uložených parametrů, včetně ověření kompletnosti pořizovaných záznamů v intervalech v tab. č. 6.19	73
6.18	Intervaly pořizovaných záznamů pro jednotlivé uzly	73
6.19	Finální průnik pořizovaných záznamů, dle kterých byla provedena analýza	73

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
THD	Zkreslení sinusového signálu (total harmonic distortion)
RVC	Rychlá změna napětí
UTC	Koordinovaný světový čas (coordinated universal time)

Symbole:

U_n	Jmenovité napětí n-té fáze	(V)
U_f	Fázové napětí	(V)
P_n	Činný výkon n-té fáze	(W)
P_{rm}	Efektivní hodnota činného výkonu	(W)
P_{max3f}	Maximální třífázový činný výkon	(W)
P_{min3f}	Minimální třífázový činný výkon	(W)
$P_{80\%3f}$	Kumulativní četnost třífázový činného výkonu do 80 % agregantů	(W)
Q_n	Jalový výkon n-té fáze	(var)
Q_{rm}	Efektivní hodnota jalového výkonu	(var)
Q_{max3f}	Maximální třífázový jalový výkon	(var)
Q_{min3f}	Minimální třífázový jalový výkon	(var)
$Q_{80\%3f}$	Kumulativní četnost třífázový jalového výkonu do 80 % agregantů	(var)
U_s	Sdružené napětí	(V)
ΔU	Úbytek napětí	(V)
U_E	Napětí síťového napaječe (elektromotorické)	(V)
P_{st}	Vyhodnocení krátkodobé míry vjemu flikru	(-)
P_{lt}	Vyhodnocení dlouhodobé míry vjemu flikru	(-)
U_{RMS}	Efektivní hodnota fázového napětí	(V)
$U_{RMS(1)}$	U_{RMS} s posunem okna po periodě	(V)
$U_{RMS(1/2)}$	U_{RMS} s posunem okna po půlperiodě	(V)
U_{RMS10p}	U_{RMS} s posunem okna po 10 periodách	(V)
U_{DIN}	Dohodnuté vstupní fázové napětí	(V)
$U_{int150p}$	U_{RMS10p} s agregací do intervalu 150 period	(V)
U_{int10m}	U_{RMS10p} s agregací do intervalu 10 minut	(V)
U_{int1m}	U_{RMS10p} s agregací do intervalu 1 minuty	(V)
U_{int2h}	U_{RMS10p} s agregací do intervalu 2 hodin	(V)

U_{zb}	Zbytkové napětí	(V)
U_{zv}	Maximální hodnota zvýšeného napětí	(V)
t_t	Doba trvání	(ms)
ΔU_{\max}	Počáteční napěťový rozdíl RVC viz 1.2.4	(V)
ΔU_{ss}	Konečný napěťový rozdíl RVC viz 1.2.4	(V)
U_{SR}	Klouzavé referenční napětí	(V)
U_{hRMS}	Efektivní hodnota harmonického napětí	(V)
$U_{hRMS10p}$	U_{hRMS} s posunem okna po 10 periodách	(V)
$U_{hint10m}$	$U_{hRMS10p}$ s agregací do intervalu 10 minut	(V)
U_{ih}	Meziharmonická napětí	(V)
U_{sig}	Napětí síťových signálů	(V)
$U_{(2)}$	Zpětná složka napětí	(V)
$U_{(1)}$	Sousledná složka napětí	(V)
THD	Celkové harmonické zkreslení	(%)

DEFINICE

Níže uvedené definice jsou převzaty z referencí [1], [2], [3]. Některé byly případně modifikovány s ohledem na zvýšení přehlednosti textu.

průběžné jevy: spojitý jev, jako jsou odchylky od jmenovitých hodnot, které se vyskytují v průběhu času; takový jev je hlavně způsoben zatížením, změnami zatížení nebo nelineárním zatížením

napěťové jevy: napěťové události, náhlé a závažné odchylky od normálního nebo požadovaného tvaru vlny; napěťové události jsou typicky způsobeny neočekávanými událostmi (například poruchy) nebo vnějšími vlivy (například počasí, cizí zavinění)

charakteristické parametry s definovanými limity: jedná se o parametry, které jsou normalizované; mají tedy normou striktně dané prahové hodnoty, ve kterých se musí při běžném provozu pohybovat

charakteristické parametry sledované: nemají normou striktně dané prahové hodnoty; jedná se o parametry, které se pouze sledují a studují, aby bylo možné v budoucnu stanovit korektní prahové limity

flikr: pocit nestálého zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase

míra vjemu flikru: intenzita nepříjemnosti flikru definovaná krátkodobou mírou vjemu flikru a dlouhodobou mírou vjemu flikru

krátkodobá míra vjemu flikru P_{st} : (short term flicker severity P_{st}) je měřená po dobu deset minut

dlouhodobá míra vjemu flikru: (long term flicker severity P_{lt}) je vypočítaná z posloupnosti dvanácti hodnot P_{st} po dobu dvouhodinového intervalu použitím vztahu viz vztah (1.1).

rychlá změna napětí RVC: rychlý přechod efektivní hodnoty napětí vyskytující se mezi dvěma ustálenými stavy, během kterého efektivní hodnota napětí nepřekročí prahy krátkodobého poklesu/krátkodobého zvýšení napětí

harmonická napětí: sinusové napětí s kmitočtem rovným celistvému násobku základního kmitočtu napájecího napětí

harmonická složka: jakákoliv složka, která má harmonický kmitočet

meziharmonická složka: složka spektra s kmitočtem mezi dvěma po sobě následujícími harmonickými kmitočty

hystereze: rozdíl velikosti mezi počáteční prahovou hodnotou a koncovou prahovou hodnotou; prahová hodnota hystereze se taktéž udává například u poklesů/zvýšení napětí, aby nedocházelo k tzv. kolísání na rozhraní prahových hodnot daných charakteristických parametry

dlouhá přerušeni napájecího napětí: jedná se o přerušeni napětí, které trvá déle, než 3 minuty

krátká přerušeni napájecího napětí: jedná se o přerušeni napětí, které trvá méně, než 3 minuty

pokles napětí: dočasný pokles napájecího napětí v napájecím bodě distribuční soustavy pod prahovou hodnotu U_n ; pro potřeby normy [1] je počáteční prahová hodnota rovna 90 % U_n

doba trvání poklesu napětí: doba mezi okamžikem, v kterém napětí v určitém bodu soustavy elektrického napájení klesne pod práh počátku poklesu a okamžikem, kdy vzroste na prahovou hodnotu konce počátku.

zbytkové napětí: minimální hodnota $U_{RMS(1/2)}$ zaznamenaná během krátkodobého poklesu nebo při přerušeni napětí; zbytkové napětí lze vyjádřit ve voltech nebo jako procentní, či poměrná hodnota vůči U_n

změna napětí: nárůst nebo pokles napětí (efektivní hodnota) obvykle způsobený změnou celkového napětí;

sousledná složka $U_{(1)}$: symetrický vektor, který se otáčí stejným směrem jako vektor napětí (nebo proudu) síťového kmitočtu

zpětná složka $U_{(2)}$: symetrický vektor, který se otáčí opačným směrem než vektor napětí (nebo proudu) síťového kmitočtu

činitel nesymetrie napětí u_2 : poměr zpětné složky a sousledné složky napětí základního kmitočtu

ÚVOD

Analýza kvality elektrické energie je důležitým nástrojem pro monitorování a optimalizaci energetických systémů. Elektrická energie je klíčovou složkou moderního života a využívá se v širokém spektru oblastí, od průmyslu až po domácnosti.

Analyzování elektrické energie může přinést mnoho výhod. Díky zavedeným normám ČSN je možné kvalitu elektrické energie porovnávat napříč státy. Je možné identifikovat a podrobně analyzovat anomálie. Od událostí, které jsou způsobeny klimatickými jevy, až po události zapříčiněné různými spotřebiči, které mohou způsobovat nekvalitu elektrické energie. Ta se může šířit napříč distribuční sítí.

V současné době se analyzuje kvalita elektrické energie standardně pouze individuálně. Například na základě stížnosti od spotřebovatele. Globální měření kvality elektrické energie je však budoucností, neboť přináší spoustu výhod. Na druhou stranu s sebou přináší řadu komplikací, při vyhodnocování kvality elektrické energie.

Tato práce pracuje s anonymizovanými daty pořízenými analyzátory kvality elektrické energie třídy A v reálné distribuční síti. Pro zajištění anonymity byla zdrojová data modifikována.

Tato bakalářská práce je rozdělena do čtyř základních částí. V první kapitole se popisují jednotlivé charakteristické parametry elektrické energie, které jsou rozděleny na parametry s definovanými limity a parametry sledované. Důraz je kladen na způsob agregace, který je klíčový pro jejich správné vyhodnocení a interpretaci. Základní informace o analyzátoch kvality elektrické energie, společně s principem agregace, jsou uvedeny v kapitole č. 2. Souhrnné vyhodnocení kvality elektrické energie pro jednotlivé charakteristické parametry, včetně rozdělení napěťových událostí, jsou předmětem kapitoly č. 3. Čtvrtá kapitola se zabývá analýzou vlivu provozu na vybraný charakteristický parametr. Cílem je zjistit co nejvíce doplňujících informací pro daný charakteristický parametr a určit oblast, kde se nachází zdroj nekvality elektrické energie. Poslední, pátá kapitola, obsahuje doporučení a návrhy autora s ohledem na další postupy prací.

1. CHARAKTERISTICKÉ PARAMETRY V OBLASTI NN

Pro analýzu kvality elektrické energie je důležité mít informace, na základě kterých můžeme kvalitu posuzovat. Tyto informace nesou charakteristické parametry, které jsou měřeny analyzátory kvality elektrické energie.

V pozdější fázi této práce se analyzují reálné hodnoty, které byly naměřeny v oblasti nízkého napětí. Proto je nezbytně nutné, aby byly jednotlivé charakteristické parametry definovány a jednoznačně vysvětleny, právě v oblasti NN.

Charakteristické parametry se dají obecně, dle normy [1], rozdělit na dvě základní kategorie. Průběžné jevy, které se objevují jako rozdíly hodnot charakteristických parametrů od hodnot jmenovitých v průběhu času. Většinou tyto jevy vznikají vlivem různorodosti druhů zatížení. Napětíové události, které se vyznačují značným vychýlením od normálního nebo požadovaného tvaru vlny. Tyto události způsobují vnější vlivy, jako například poruchy nebo klimatické jevy.

V této práci jsou parametry rozděleny na charakteristické parametry s definovanými limity a charakteristické parametry sledované. Informace pro tuto kapitolu byly převzaty z norem ČSN [1], [2]. Charakteristické parametry sledované nemají dosud direktivně stanovené limity, nicméně jsou za účelem budoucího stanovení limitů sledovány a studovány.

Dílčí kapitoly jsou zaměřeny na vysvětlení principu agregace, včetně limitů, které musí být u charakteristických parametrů elektrické energie splněny dle norem ČSN [1], [2].

1.1 Parametry s definovanými limity

1.1.1 Kmitočet sítě

Kmitočet je míra opakování základní vlny v určitém intervalu. V Evropě je hodnota jmenovitého kmitočtu napájecího napětí zvolena jako 50 Hz. V USA, či Japonsku je to 60 Hz.

Požadavky

Měřicí interval je stanoven na 10 vteřin. Počet period v intervalu 10 vteřin není a nemusí být celočíselný, neboť síťový kmitočet ve skutečnosti není konstantně přesně 50 nebo 60 Hz.

Normou jsou stanoveny prahové hodnoty pro systémy se synchronním připojením k propojenému systému, kde je dovolená odchylka $\pm 1\%$ od kmitočtu 50 Hz během 99,5 % roku. Tzn., že se kmitočet může pohybovat v rozsahu 49,5 Hz až 50,5 Hz. Pakliže hodnota kmitočtu bude mimo tento interval, tak je dle normy tolerováno pouze v 0,5 % roku. Po 100 % času se musí kmitočet pohybovat v rozsahu $+4\%/-6\%$ tzn. 47 Hz až 52 Hz.

Dále jsou normou definovány prahové hranice pro systémy bez synchronního připojení k propojenému systému (tzv. ostrovní napájecí systémy). Zde je povolena vyšší odchylka od základního kmitočtu 50 Hz. Během 95 % týdne je maximální odchylka od 50 Hz rovna $\pm 2\%$. Tzn., 49 Hz až 51 Hz. Po veškerou dobu je nezbytné, aby odchylka nebyla vyšší jak $\pm 15\%$. Hodnota kmitočtu se tedy musí pohybovat v rozsahu 42,5 Hz až 57,5 Hz.

1.1.2 Velikost napájecího napětí

Tato práce se zaměřuje na napěťovou oblast nízkého napětí (NN). Jmenovité fázové napětí $U_f = 230\text{ V}$, které je mezi fázovým a středním vodičem. Jmenovité napětí sdružené $U_s = 400\text{ V}$, které je možné změřit mezi dvěma fázovým vodiči.

Požadavky

Měřicí okno je 10 periodové (U_{RMS10p}) s tím, že se tyto hodnoty agregují standartně do agregacího intervalu 10 minut (U_{int10m}).

Analýzátor vypočítá kvadratický průměr efektivní hodnoty napájecího napětí každých 10 minut za pomoci hodnot odečtených každých 10 period. U_{int10m} se agregují po dobu týdne a dle normy je požadováno, aby 95 % z U_{int10m} bylo v rozsahu $\pm 10\%$ jmenovitého napětí U_n . Taktéž je stanoveno, aby byly veškeré (tedy 100 % z U_{int10m}) v rozsahu $U_n +10\%/-15\%$.

1.1.3 Flickr

Pakliže dochází ke kolísání napětí v distribuční soustavě, tak vzniká jev zvaný flickr. Historicky je známo, že vlivem tohoto jevu dochází ke změně jasu svítidel. Při zvýšení, či snížení amplitudy kolísání se jas svítidel stával nepříjemný pro lidského pozorovatele, proto se snažíme tomuto jevu vyvarovat. Tento charakteristický parametr se společně s RVC událostmi řadí mezi rychlé změny napětí. Existují dvě základní veličiny, které tento jev popisují.

- Krátkodobá míra vjemu P_{st} je měřena po dobu 10 minut.
- Dlouhodobá míra vjemu P_{lt} je vypočítána z posloupnosti dvanácti hodnot P_{st} po dobu dvouhodinového intervalu [2].

Dlouhodobá míra vjemu P_{lt} lze vypočítat dle následujícího vztahu (1.1):

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

Požadavky

Měřící okno je u tohoto charakteristického parametru stanoveno na 10 minut. Hodnoty změřené v tomto měřicím oknu jsou kubicky průměrovány do agregáčního intervalu dvou hodin viz vztah (1.1). V libovolném týdenním období a za normálních provozních podmínek musí být po 95 % času, dlouhodobá míra vjemu flickru $P_{lt} \leq 1$.

1.1.4 Nesymetrie napájecího napětí

Jednotlivé fáze musí mít mezi sebou stejný fázový posun a stejnou amplitudu. Nesymetrie napětí vzniká vlivem nerovnoměrného zatížení fází, k čemuž dochází například při jednofázové spotřebě/výrobě. V důsledku těchto faktů se od sebe mohou jednotlivá fázová napětí lišit amplitudou, fázovým posunem (tzn. pakliže se od sebe jednotlivé fáze liší o méně, či více než 120°) nebo obojím. Platí, že pakliže je součet fázorů různý od nuly, tak je soustava nevyvážená. V opačném případě, kdy je součet roven nule se soustava považuje za vyváženou [4], [3].

V praxi se nesymetrie napětí určuje, podle součinitele nesymetrie. Součinitel nesymetrie je dán poměrem zpětné složky napětí $U_{(2)}$ vůči sousledné složce napětí $U_{(1)}$ viz vztah (1.2).

$$u_2 = \frac{U_{(2)}}{U_{(1)}} \cdot 100 \% \quad (1.2)$$

Požadavky

V libovolném týdenním období a za normálních provozních podmínek platí, že 95 % U_{int10m} zpětné složky napájecího napětí se musí nacházet v rozsahu 0 – 2 % sousledné složky. Měřící okno je stanoveno na 10 period a agregáční interval na 10 minut.

1.1.5 Harmonická napětí

Časový průběh napětí, které se nachází v síti není nikdy dokonale harmonický. Je deformovaný a to může způsobovat řadu problémů. Nemá pouze jednu složku základní harmonické. To je důvod, proč je třeba toto napětí analyzovat z pohledu harmonického zkreslení. V praxi se tato analýza zpravidla provádí využitím Fourierovy transformace, která nahradí okamžité napětí sumou stejnosměrné složky, základní harmonické složky a řadou sinusových složek vyšších řádů.

Tuto řadu lze rozepsat do frekvenční a amplitudové charakteristiky, ze kterých je zřetelné k jaké deformaci signálu dochází. Je zde vidět základní harmonická složka a její velikost, neboli amplituda, společně s ostatními parazitními harmonickými složkami [5].

Požadavky

Platí, že na základě $U_{hRMS10p}$ jsou ukládány hodnoty $U_{hint10m}$, které musí splňovat meze stanovené normou v tab. 1.1. Měřicí okno je tedy 10 period a agregační interval 10 minut.

Tabulka 1.1 Hodnoty jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě v procentech pro řády harmonických až do 25

Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3			
Řád harmonické h	harmonické napětí u_h	Řád harmonické h	harmonické napětí u_h	Řád harmonické h	harmonické napětí u_h
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%				

Dále je stanoveno, že celkový činitel harmonického zkreslení (*THD* neboli Total harmonic distortion) napájecího napětí, který zahrnuje všechny harmonické $U_{hint10m}$ až do řádu 40, musí být $\leq 8\%$. Tímto způsobem se měří emise do 2 kHz [1].

Prototyp analyzátoru třídy A s názvem ARTIQ 235, jehož data byly poskytnuty pro tuto práci, dokáže měřit až do řádu $h = 127$.

Celkové harmonické zkreslení *THD* vyjadřuje poměr efektivní hodnoty součtu všech harmonických složek U_h až do stanoveného řádu „ h “ vůči efektivní hodnotě základní složky U_1 [6].

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=40} U_{hint10m}^2}}{U_{1int10m}} \cdot 100 \quad (1.3)$$

1.1.6 Napětí síťových signálů

V některých zemích provozovatelé distribučních sítí využívají distribuční síť k přenosu informací. Síťové signály se v praxi využívají například ve formě hromadného dálkového ovládání (HDO), které umožňuje například vysílat signály za účelem zapínání nebo vypínání spotřebičů, či přepínání tarifů.

Požadavky

Je normalizováno, že třísekundová střední hodnota signálu musí být v 99 % dne menší nebo rovna hodnotám $U_{\text{sig}} [\%U_n]$, které jsou uvedeny na obr. viz [7] v kapitole 4.4.2.

Například pro frekvenční rozsah 100 až 500 Hz je dáno, že musí být napětí U_{sig} rovno maximálně 9 % U_n , což odpovídá 20,7 V a 146,3 dB μ V. Dále je dán limit, že v rozsahu 1000 až 10 000 Hz musí být U_{sig} rovno 5 % U_n , což je opět ekvivalentní hodnotám 11,5 V a 141,2 dB μ V.

V ČR se se setkáme se signály HDO o frekvenci nejčastěji 183.33, 283.33 nebo 216.66 Hz. V jiných zemích mohou být kmitočty výrazně vyšší, například mohou dosahovat až 2000 Hz. Další signály, které se nachází v distribučních sítích jsou například nosné signály po vedeních, jejichž kmitočet je nejčastěji v rozsahu 3 – 148,5 kHz nebo signály síťových značek [8].

1.2 Parametry sledované

1.2.1 Poklesy/Dočasná zvýšení napájecího napětí

Dle normy [1] je známo, že pakliže se v uživatelských instalacích nebo v distribuční síti vyskytne porucha, může to vést k poklesu napájecího napětí v síti. Při provozním spínání nebo při odpojování zátěže naopak dochází k dočasnému zvýšení napájecího napětí. Oba jevy jsou velmi nepředvídatelné a nepravidelné, navzdory tomu se tyto jevy analyzují a dle zbytkového napětí a doby trvání se kategorizují do tabulek. Z těch je následně viditelné s jakou četností a v jaké podobě se tyto jevy nejčastěji vyskytují.

Tento parametr se někdy mylně plete s parametrem „rychlá změna napětí“ viz 1.2.4. neboť se taktéž vyznačuje rychlým přechodem mezi dvěma efektivními hodnotami. V tomto případě se ovšem nejedná o rychlou změnu napětí, neboť překročí prahy krátkodobého poklesu nebo krátkodobého zvýšení napětí.

Charakteristické hodnoty, které vypovídají o dočasném poklesu nebo zvýšení napětí jsou dle normy [1] zbytková napětí U_{zb} a doba trvání t_t . Prahová hodnota poklesu napětí je 90 % referenčního napětí a u zvýšení napětí je prahová hodnota rovna 110 % jmenovitého napětí. Hystereze je typicky rovna 2 % U_n .

Detekce krátkodobého poklesu/zvýšení napájecího napětí

Analyzátoři elektrické energie musí být schopny krátkodobé poklesy a zvýšení napájecího napětí detekovat. Norma [2] popisuje jakým způsobem detekce a měření probíhá. Analyzátor sleduje prahovou hodnotu poklesu napětí, což je procentní hodnota U_n (jmenovité napětí) nebo procentní hodnota U_{SR} . Klouzavé referenční napětí U_{SR} se ovšem v oblasti NN nepoužívá, proto dále nebude rozvedeno.

Platí, že v jednofázové síti krátkodobý pokles nastal, když U_{RMS} klesne pod prahovou hodnotu krátkodobého poklesu napětí a končí když se napětí U_{RMS} rovná nebo je větší než prahová hodnota krátkodobého poklesu plus hystereze napětí.

Ve vícefázových soustavách je princip podobný, akorát vztažen pro více fází. Aby byl detekován krátkodobý pokles napětí, tak musí opět dojít k snížení U_{RMS} pod prahovou hodnotu krátkodobého poklesu napětí minimálně u jedné fáze. Je definováno, že krátkodobý pokles napětí skončil, pakliže je U_{RMS} na všech měřicích kanálech roven nebo je větší než prahová hodnota plus hystereze.

Pro krátkodobé zvýšení napájecího napětí je princip detekce totožný, jen naopak. Tzn., že k detekci zvýšení napájecího napětí dochází, pakliže v jednofázové síti efektivní hodnota U_{RMS} překročila prahovou hodnotu zvýšení napájecího napětí a končí, pakliže je efektivní hodnota U_{RMS} rovna nebo je nižší než prahová hodnota zvýšení napájecího napětí atd..

Vyhodnocení krátkodobého poklesu/zvýšení napájecího napětí

Krátkodobý pokles napětí se nejčastěji určuje pomocí dvou charakteristických parametrů. Zbytkového napětí U_{zb} , které představuje minimální hodnotu $U_{RMS(1/2)}$, která

se vyskytla během daného poklesu napájecího napětí. Tuto hodnotu lze zaznamenat procentuálně jako poměrnou hodnotu vůči jmenovitému napětí, tedy u_{zb} . Další důležitý parametr je doba trvání t_t , který je dle normy [2] definován jako časová diference mezi začátkem a koncem krátkodobého poklesu napájecího napětí. Pomocí těchto parametrů je možné rozdělit napěťové události, které mají charakter poklesu do tabulky viz tab. č. 1.2, ze které lze analyzovat požadovaná fakta.

Krátkodobé zvýšené napětí se obdobně určuje pomocí dvou charakteristických parametrů. Jedná se opět o dobu trvání t_t a maximální velikost zvýšeného napětí U_{zv} , která je definována jako nejvyšší hodnota na libovolném měřicím kanálu během doby trvání krátkodobého zvýšení napájecího napětí. Pomocí těchto parametrů se tento napěťový jev opět kategorizuje do tabulky níže viz tab. č. 1.3. Tabulky 1.2 a 1.3 jsou převzaty z normy [1].

Tabulka 1.2 Klasifikace poklesů napětí podle zbytkového napětí a doby trvání.

Zbytkové napětí u_{zb} [%]	Doba trvání t_t [ms]				
	$10 \leq t_t \leq 200$	$200 \leq t_t \leq 500$	$500 \leq t_t \leq 1000$	$1000 \leq t_t \leq 5000$	$5000 \leq t_t \leq 60000$
$90 > u_{zb} \geq 80$	CELL A1	CELL A2	CELL A3	CELL A4	CELL A5
$80 > u_{zb} \geq 70$	CELL B1	CELL B2	CELL B3	CELL B4	CELL B5
$70 > u_{zb} \geq 40$	CELL C1	CELL C2	CELL C3	CELL C4	CELL C5
$40 > u_{zb} \geq 5$	CELL D1	CELL D2	CELL D3	CELL D4	CELL D5
$5 > u_{zb}$	CELL X1	CELL X2	CELL X3	CELL X4	CELL X5

Tabulka 1.3 Klasifikace zvýšení napětí podle maximální hodnoty zvýšeného napětí a doby trvání.

Zbytkové napětí u_{zv} [%]	Doba trvání t_t [ms]		
	$10 \leq t_t \leq 500$	$500 \leq t_t \leq 5000$	$5000 \leq t_t \leq 60000$
$u_{zv} \geq 120$	CELL S1	CELL S2	CELL S3
$120 > u_{zv} > 110$	CELL T1	CELL T2	CELL T3

1.2.2 Přerušení napájecího napětí

Přerušení napájecího napětí je jev, kdy poklesne napětí pod prahovou procentní hodnotu U_n , která je nejčastěji nastavena na 5 % nebo 10 %. Tuto prahovou hodnotu přerušení napětí a hystereze stanoví uživatel, dle aplikace.

Tento jev je velice nepředvídatelný. Může se vyskytovat na jakémkoli místě i v jakýkoliv čas. Cílem je správně nakládat s budoucími daty a analyzovat je tak, aby se umožnilo budoucí porovnávání těchto dat napříč různými systémy pro celou Evropu.

Norma [1] zde zavádí dva pojmy a to dlouhá přerušení napájecího napětí, které se charakterizuje tím, že může být delší než 3 minuty. Dále pak krátká přerušení napájecího vedení, která se vyznačují tím, že trvají do 3 minut.

Vyhodnocení přerušení napájecího napětí

Rozhodující parametr, dle kterého analyzátor kvality elektrické energie zaznamená, zdali došlo k přerušení napájecího napětí je prahová procentní hodnota přerušení U_n . Pakliže v jednofázové síti klesne efektivní hodnota $U_{RMS(1/2)}$ pod zmíněnou procentní prahovou hodnotou přerušení U_n , tak systém zaznamená fakt, že došlo k přerušení napájecího napětí. Nejnižší hodnota $U_{RMS(1/2)}$ během tohoto jevu je pak označována jako zbytkové napětí U_{zb} . Pokud se efektivní hodnota $U_{RMS(1/2)}$ bude rovna nebo bude vyšší než prahová hodnota přerušení plus hystereze, systém zaznamená konec tohoto jevu. Taktéž je nutné, aby byl zapsán čas a konec tohoto jevu.

Obdobně tento předpis platí pro vícefázové systémy, kde je kladen důraz na všechny měřicí kanály. Systém vyhodnotí, že došlo k přerušení, pakliže na všech měřicích kanálech je efektivní hodnota $U_{RMS(1/2)}$ nižší než prahová procentní hodnota přerušení a končí, když na jakémkoli kanálu se efektivní hodnota $U_{RMS(1/2)}$ rovná nebo je vyšší, než prahová hodnota přerušení plus hystereze. Když $U_{RMS(1/2)}$ není nižší než prahová procentní hodnota přerušení na všech měřicích kanálech, ale například pouze na jednom, tak se nejedná o přerušení napájecího napětí, ale o pokles.

1.2.3 Meziharmonické napětí

Je pozorováno, že čím více je nelineárních zdrojů a spotřebičů jako například měniče, střídače, tím více hladina meziharmonických narůstá. Meziharmonické napětí se v současnosti pouze měří pro přehled a studuje. Je prokázáno, že meziharmonické napětí může způsobovat flickr nebo rušení v systémech hromadného dálkového ovládání. [1]

Příčina a důsledky meziharmonických

Dle normy [9] je známo, že vznik meziharmonických složek je zapříčiněn nejčastěji při používání pohonů se střídači. Tyto střídače totiž způsobují změnu amplitudy nebo fázového úhlu u základní složky nebo u harmonických složek. Dalším zdrojem meziharmonických jsou obvody výkonové elektroniky, které mají spínací kmitočty jiné než je kmitočet sítě. Například se jedná o kompenzační zařízení.

Důsledky meziharmonických mohou negativně ovlivňovat elektrickou síť. Nejčastěji se meziharmonické projevují jako šum v nízkofrekvenčních zesilovačích. Může docházet k přídavným točivým momentům v motorech a generátorech. Detektory, které mají za úkol detekovat průchody nulou mohou být rušeny. Taktéž může docházet k blokování nebo k nežádoucím funkcím přijímačům hromadného dálkového ovládání a v indukčních cívkách může docházet k magnetostrickci, tedy k šumu. Převzato z [9], příloha A.

1.2.4 Rychlá změna napětí (RVC)

Rychlá změna napětí se vyznačuje jako jev, kdy přechází efektivní hodnota napětí mezi dvěma ustálenými stavy. Tato událost je většinou důsledkem spínáním v síti, poruchami

nebo změnou zátěže v instalacích uživatelů.

Efektivní hodnota však nepřekročí prahy krátkodobého poklesu/krátkodobého zvýšení napětí. Kdyby napětí překročilo pokles napětí nebo práh přepětí, tak je událost vyhodnocena jako krátkodobý pokles napájecího napětí nebo krátkodobé zvýšení napájecího napětí.

Detekce RVC události

Je nezbytné, aby analyzátor kvality elektrické energie dokázal rozpoznat, zdali se jedná o ustálené stavy, mezi kterými dochází ke změně efektivní hodnoty napětí. Proto se považuje, že je stav ustálený, pakliže bezprostředně 100 předcházejících hodnot $U_{RMS(1/2)}$ se nachází v rozmezí prahové hodnoty RVC od aritmetického středu $U_{RMS(1/2)}$.

Prahové hodnoty RVC stanovuje uživatel, dle dané aplikace jako procentní hodnoty napětí U_n .

Vyhodnocení RVC události

Analyzátor musí zapsat čas, kdy zaznamenal, že stav již není ustálený a dochází k potenciální události RVC. Následně se tato událost vyhodnocuje na základě dvou parametrů. Konkrétně tedy ΔU_{max} , což je parametr, který udává maximální absolutní rozdíl mezi libovolnou hodnotou $U_{RMS(1/2)}$ v průběhu děje RVC, vůči konečnému aritmetickému průměru 100 hodnot $U_{RMS(1/2)}$ před okamžikem RVC. Další klíčový parametr je ΔU_{ss} , který nese informaci o absolutním rozdílu mezi aritmetickým průměrem 100 $U_{RMS(1/2)}$ před událostí RVC a hodnotou prvního aritmetického průměru 100 $U_{RMS(1/2)}$ po události RVC. Kdyby byl analyzována vícefázová soustava, tak ΔU_{ss} je ten kanál, kde je nejvyšší právě ΔU_{ss} .

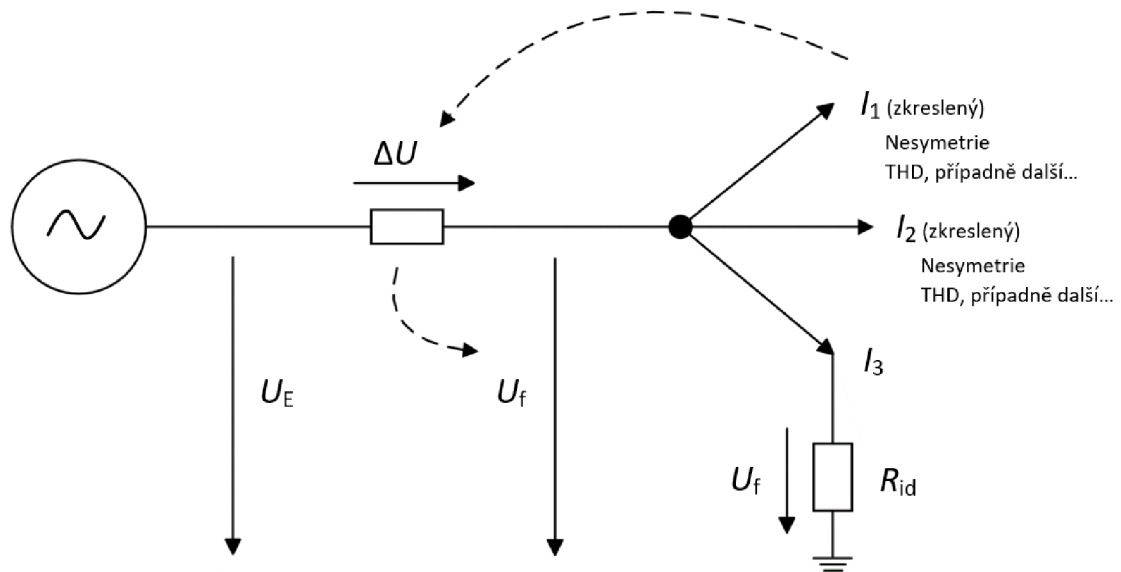
1.2.5 Proud a emise šířené vedením

O tom jak se zaznamenává proud a proč pojednává norma [2]. Proud se analyzuje zejména, aby bylo možné dohledávat příčiny abnormálních jevů. Tvar vlny proudu nese informaci o konkrétním zařízení jak například spouštění motoru, zapnutí transformátoru, či kondenzátoru. Dále harmonické a neharmonické proudy mohou být užitečné pro zjištění druhu zátěže.

Detailní rozbor charakteristického parametru

Časový interval je zde stanoven jako 10 period pro síť 50 Hz. Za tento časový interval analyzátor vyhodnotí efektivní velikost proudu. Intervaly agregace jsou popsány v kapitole 2.1.1. Zaznamenávání proudu funguje na principu, že pokaždé když je zaznamenána napěťová událost a analyzátor zaznamená čas události na napěťovém kanálu, tak rovněž zaznamená čas události pro proudový kanál. Díky tomu je následně možné analyzovat proud a z něho lépe pochopit napěťovou událost.

Příčina vzniku nekvality napětí



Obrázek 1.1 Grafické znázornění vlivu nekvality proudu na napětové události

Cílem této kapitoly je vysvětlit, jak může zkreslený proud (dodávkový nebo odběrový proud), který vzniká vlivem přibývajícího počtu spínaných zdrojů a jiných nelineárních polovodičových spotřebičů, způsobovat nekvalitu napětí.

Značka U_E zde znázorňuje ničím neafektované síťové harmonické a symetrické (elektromotorické) napětí, které má ideální charakteristické parametry (symetrické napětí, 50 Hz). Šipkami jsou znázorněny jednotlivé odběry, na kterých jsou proudy I_1 , I_2 a I_3 . Proud I_1 a I_2 jsou zkreslené (tzn. odlišují se od ideálního harmonického průběhu), např. vlivem dané elektroniky viz odstavec výše. To znamená, že proud není dokonale sinusový a má vyšší harmonické a meziharmonické složky nebo je například nesymetrický. Pro příklad I_3 je při ideálním napájecím napětí dokonale symetrický odebíraný proud (případ, kdy jsou proudy I_1 a I_2 nulové), který není žádným způsobem zkreslený, neboť je jeho zátěž ideální odporový spotřebič R_{id} .

Vlivem úbytku napětí ΔU na impedanci, jehož velikost je závislá na proudech I_1 , I_2 a I_3 , je ovlivněno fázové napětí U_f , které se deformuje. Napětí U_f se následně dostane na ideální odporový spotřebič R_{id} , který v důsledku zkresleného U_f také začne odebírat deformovaný proud I_3 . Ze sledu těchto událostí je názorně vidět, jak mohou jednotlivé odběry, které odebírají deformovaný proud afektovat i odběry, které mají například čistě rezistivní charakter.

Tento fakt je velmi důležitý, neboť z něho vyplývá nutnost hledání příčiny nekvality napětí při překročení některého charakteristického parametru napětí. Jak vyplývá z uvedeného, tak je tento způsob velmi komplikovaný. Na základě znalosti impedance a emise (zkreslený proud, který je rozložen na jednotlivé harmonické a meziharmonické

složky) je možné zpětně odhadnout jaký spotřebič tento proud zavinil a způsobil zkreslení napětí. Například, pokudliže vznikne nesymetrie, tak je možné odhadnout, jaký odběr nese největší podíl na jejím zavinění. Důležité je také zmínit, že čím vyšší je impedance, tím vyšší má dopad emise odběrových míst na fázové napětí U_f . Kdyby byla impedance nulová, tak by zdroj rušení, neboli zkreslený proud neovlivňoval fázové napětí U_f vůbec.

Emise šířené vedením v rozsahu od 2 KHz do 150 kHz

Složky v signálech s kmitočtem v rozsahu 2 - 9 kHz jsou obecně způsobovány vysokofrekvenčním spínáním. Například ovládním výkonných napájení pulsně šířkovou modulací (PWM neboli Pulse Width Modulation) na straně připojení sítě.

1.3 Shrnutí charakteristických parametrů v oblasti NN

Pro větší přehlednost práce byla vytvořena tabulka 1.4. shrnující charakteristické parametry elektrické energie v oblasti NN. V ní je možné přehledně a rychle nalézt klíčové informace k jednotlivým charakteristickým parametrům, které jsou uvedeny výše v této práci.

Cílem této práce není řešit způsoby a nejistoty měření kvality elektrické energie. To je důvod, proč tyto informace nejsou uvedeny v tabulce 1.4. Informativně jsou však uvedeny v příloze A viz tab. 6.1.

Tabulka 1.4 Celkový přehled charakteristických parametrů elektrické energie

Parametr		Měřicí okno	Agragační interval	Pozorovací interval	Agragační metoda	Percentil	Limit	
Název	Char. Značka							
Kmitočet	f (Hz)	NP	10 vteřin	1 rok	Aritmetický průměr	99,5%	$f_{n\pm 1} \%$; <49,5;50,50>	
						100%	$f_{n+4/-6} \%$; <47;52>	
Velikost napájení	U_{rms} (V)	10 period	10 minut	1 týden	Kvadratický průměr	95%	$U_{n+10/-10} \%$; <207;253>	
						100%	$U_{n+10/-15} \%$; <195,5;253>	
Flikr	$P_{st} \rightarrow P_{it}$ (-)	10 minut (P_{st})	2 hodiny (P_{it})	1 týden	Kubický průměr	95%	≤ 1 ; <0;1>	
Krátkodobé poklesy a krátkodobá zvýšení napětí	u_{zb} , u_{zv} (%)	$U_{RMS(1/2)}$ (V)	NP	NP	NP	NP	Viz tab. 1.2 a 1.3	
	t_t (ms)							
Přerušení	U_{zb} (V)	$U_{RMS(1/2)}$ (V)	NP	NP	NP	NP	$U_{zb} < X\% U_{DIN}$ (X stanoveno uživatelem)	Dlouhá př. = $t_t > 3$ minuty
	t_t (ms)							Krátká př. = t_t v řádu vteřin
Nesymetrie	u_2 (%)	10 period	10 minut	1 týden	Kvadratický průměr	95%	$\leq 2 \%$; <0;2> %	
Harmonické zkreslení	U_h (V)	10 period	10 minut	1 týden	Kvadratický průměr	95%	$\leq U_h$, dle tab. 1.1	
	THD (%)	10 period	10 minut	1 týden	Kvadratický průměr	95%	$\leq 8 \%$; <0;8> %	
Mezihramonické napětí	U_{ih} (V)	10 period	NP	NP	NP	NP	NP	
Napětí síťových signálů	U_{sig} (% U_n)	NP	3 s	1 den	Kvadratický průměr	99%	$\leq U$ (% U_n) viz (7), 4.4.2	
Rychlá změna napětí	ΔU_{max} (V)	$U_{RMS(1/2)}$	NP	NP	NP	NP	NP	
	ΔU_{SS} (V)							

Pozn.1: NP = není požadováno

Pozn.2: Parametry, které jsou psány malým písmenem jsou poměrné hodnoty vůči nominálním.

2. ANALYZÁTORY KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE

Výpadky výroby, snižování životnosti zařízení, vysoké náklady na údržbu, či zbytečné investice do posilování výkonu, to všechno jsou důsledky špatné kvality eklektické energie. Kvalita elektrické energie je tedy velmi důležitá a distributoři elektrické sítě na ní musí brát velký ohled. Analyzátoři kvality elektrické energie mají za úkol shromážďovat informace o kvalitě dodávky elektrické energie, které se následně porovnávají s referenčními hodnotami. Taktéž se využívají k hledání abnormalit a řešení případných provozních problémů [10].

2.1 Třídy analyzátorů elektrické energie

Analyzátoři kvality elektrické energie se rozdělují na tři základní třídy, se kterými se můžeme setkat. Každá z těchto tříd má jiné nároky a cenovou kategorii. Informace pro tuto kapitolu byly převzaty z norem ČSN 50160 ED.3 [1] a ČNS 61000-4-30 [2].

Třída A (Advanced) se používá při okolnostech, kdy potřebujeme velmi přesné měření. Například když chceme ověřit jestli distribuční síť plní požadavky normy. Jakákoliv měření parametru uskutečňovaná dvěma různými přístroji vyhovujícími požadavkům třídy A, které měří stejné signály, musí vytvářet srovnatelné výsledky v mezích specifikované nejistoty.

Třída S (surveys) se nejčastěji využívá pro přehledy a posuzování kvality sítě v různých aplikacích. Rozdíl této třídy od třídy A je v tom, že nároky třídy S jsou mnohem nižší než u třídy A. Díky tomu jsou přístroje S méně nákladné.

Třída B se u nových zařízení již neaplikuje, neboť je zastaralá. S touto třídou je možné se setkat u starších měřicích přístrojů, kde je tato třída relevantní, neboť jsou díky ní staré měřicí přístroje legální.

2.1 Požadavky třídy A

V pozdější fázi této práce se analyzují skutečné hodnoty, které byly naměřeny analyzátoři třídy A. Z tohoto důvodu je zde tato kapitola, která se soustředí zejména na tuto třídu. Kapitola se soustředí výhradně na charakteristické parametry s pevně definovanými limity. Důležité je objasnit metodu agregace u všech charakteristických parametrů a všechny důležité intervaly.

2.1.1 Metoda agregace

Charakteristické parametry elektrické energie nesou informace o kvalitě elektrické energie. Jsou to spojité, časově proměnné veličiny, které nikdy nekončí. Není tedy možné hodnotit tyto parametry jako celek, ale je třeba je analyzovat průběžně po určitých intervalech. Normy neslouží pouze k tomu, aby zavedly pravidla jak elektrickou energii měřit a analyzovat co nejpřesněji, ale taktéž slouží k tomu, aby se toto měření standardizovalo ideálně celosvětově a měřená data se daly mezi sebou porovnávat.

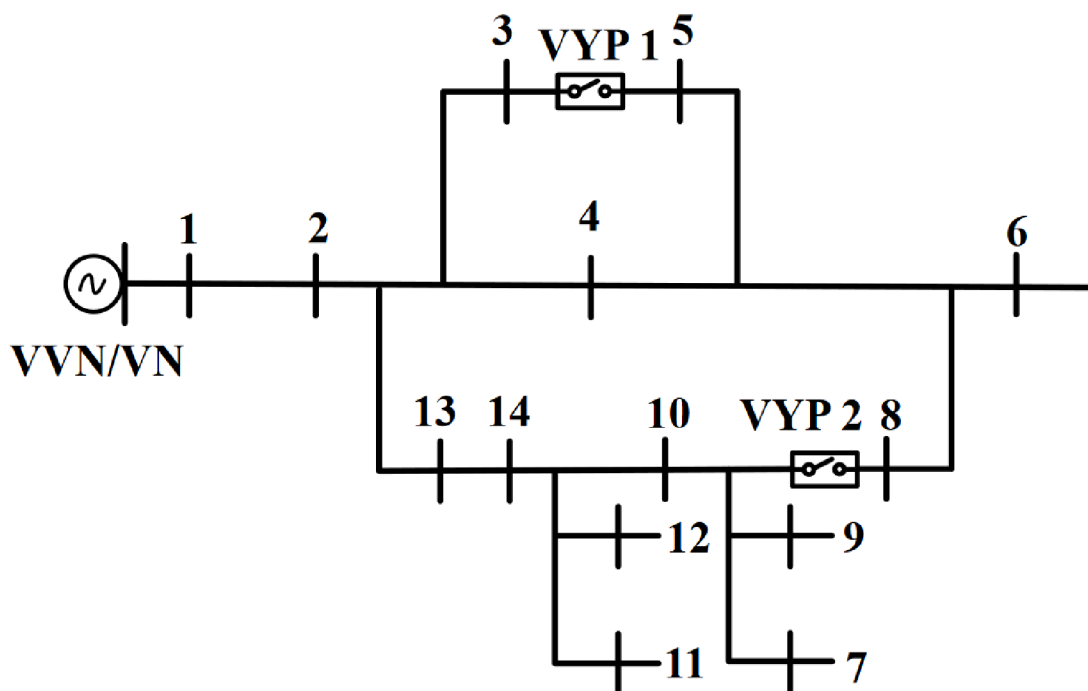
Z normy vychází, že by analyzátory měly data odečítat každých 0,2 vteřiny. Základní interval pro agregaci dat je tedy 10 period pro Evropu, kde kmitočet sítě je 50 Hz. Takto agregované napětí je v této práci označováno jako U_{RMS10p} . Obdobně 12 period pro 60 Hz. 10/12 periodové měření se každých 10 minut musí synchronizovat s UTC (Coordinated Universal Time). Dále bude rozvedeno pouze pro síť 50 Hz.

Tyto 10 periodové hodnoty jsou agregovány po dobu tří přídavných intervalů. Jedná se o 150 periodové intervaly $U_{int150p}$, dále nejčastěji 10 minutový interval U_{int10m} a nakonec dvouhodinový U_{int2h} , který se nejčastěji uplatňuje u měření flikru. V praxi se mohou 10 periodové hodnoty agregovat i do intervalu 1 minuty U_{int1m} . To je například využito v kapitole, která se zabývá analýzou flikru viz 4.1.

3. SOUHRNNÉ VYHODNOCENÍ KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE

Cílem této kapitoly je posoudit souhrnně kvalitu elektrické energie v analyzované oblasti, která je vyobrazena na obr. 3.1. Je třeba zjistit, zdali jednotlivé uzly (1-14 na obr. 3.1) splňují limity charakteristických parametrů elektrické energie stanovené normou, které jsou blíže popsány viz 1.1 a stručně sepsány v tab. č. 1.4. Pakliže dochází k nekvalitě elektrické energie, tak je třeba se na tyto události zaměřit a zjistit další informace, které blíže charakterizují jejich kvantitu a velikost.

V této práci se pracuje s reálnými daty, které jsou pro účely této práce anonymizovány a modifikovány. Data jsou naměřena na nižší straně transformátoru v oblasti NN. Náhradní schéma, které naznačuje rozložení jednotlivých monitorovaných uzlů v analyzované síti je vyobrazeno na obr. 3.1.



Obrázek 3.1 Rozmístění analyzátorů kvality elektrické energie v analyzované anonymní síti

Data byla analyzována v rozsahu od 7.12.2020 do 26.7.2021. Tento interval byl vybrán na základě průniku zaznamenaných dat ze všech dostupných analyzátorů elektrické energie. Tedy tak, aby u žádného uzlu nechyběla naměřená data a bylo možné s daty patřičně pracovat a porovnávat je. Histogramy jsou sestaveny na základě

dostupných dat v intervalu od 10.2.2021 do 26.7.2021. Podrobněji, včetně charakteristiky uložených parametrů viz příloha E.

Kvalita elektrické energie se určuje pro charakteristické parametry v tabulkách 3.1 a 3.2, pokažené jednou za týden (více viz tab. 1.4). To je důvod, proč byl celkový pozorovací interval rozdělen na jednotlivé týdny a následně bylo pro každý týden rozhodnuto, zdali vyhovuje limitům, které jsou dány normou v kapitole 1.1.

Pomocí softwaru, který byl k dispozici společně s daty, byl vytvořen report o kvalitě elektrické energie zvlášť pro každý týden. V softwaru byly nastaveny limity popsané v kapitole 1.1. Tyto týdenní reporty pro všechny uzly byly postupně všechny zanalyzovány a výsledky zapsány do tabulek 3.1 a 3.2. Pokaždé když byl v jednom, či více týdnech, nesplněn nastavený limit, byl do tabulky zapsán křížek "X". Když nebyl žádný limit překročen, byla do tabulky zapsána fajfka „✓“

V této kapitole není souhrnně vyhodnocena frekvence s percentilem 99,5 %. Je to z toho důvodu, neboť frekvence se vyhodnocuje jednou za rok (viz tab. č. 1.4), ale data o takovém intervalu bohužel pro tuto práci nejsou k dispozici.

Frekvence s percentilem 100 % znamená, že nesmí nikdy přesáhnout daný limit. Pakliže je u tohoto percentilu alespoň jednou překročen limit, tak je zřejmé, že porušuje normou stanovený limit. Pro zajímavost byl tento parametr kontrolován po týdnech.

Z tabulek 3.1 a 3.2 vyplývá, že u všech uzlů nebyl splněn limit pro flickr P_{lt} , frekvenci a napětí U_{int10m} s percentilem 100 %.

Tabulka 3.1 Souhrnný přehled splnění limitů stanovenými normou pro charakteristické parametry pro uzel 1-7

Char. par.	Označení	Percentil	Limit	1	2	3	4	5	6	7
Frekvence	f (Hz)	100%	50 Hz +4% -6%	X	X	X	X	X	X	X
		95%	230 V ±10%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Napětí	U_{int10m} (V)	100%	230 V +10% -15%	X	X	X	X	X	X	X
		95%	2%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Nesymetrie	u_2 (%)	95%	2%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Flickr long	P_{lt} (-)	95%	1	X	X	X	X	X	X	X
Harmonické zkreslení	THD (%)	95%	8%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Harmonické (1 -25)	U_h (V)	95%	tab. 1.1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabulka 3.2 Souhrnný přehled splnění limitů stanovenými normou pro charakteristické parametry pro uzel 8-14

Char. par.	Označení	Percentil	Limit	8	9	10	11	12	13	14
Frekvence	f (Hz)	100%	50 Hz +4% -6%	X	X	X	X	X	X	X
		95%	230 V ±10%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Napětí U_{int10m} (V)	U_{int10m} (V)	100%	230 V +10% -15%	X	X	X	X	X	X	X
		95%	2%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
$e u_2$ (%)	u_2 (%)	95%	2%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
-)	P_{lt} (-)	95%	1	X	X	X	X	X	X	X
Harmonické zkreslení	THD (%)	95%	8%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ϵ (1 - 25) U_h (V)	U_h (V)	95%	tab. 1.1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

3.1 Vyhodnocení nekvality elektrické energie pro jednotlivé charakteristické parametry

V úvodní kapitole č. 3 je vyhodnocena souhrnná nekvalita elektrické energie z které vyplývá, že některé charakteristické parametry elektrické energie nevyhovují normě. Tyto charakteristické parametry budou v následujících podkapitolách detailněji prozkoumány. Bude uvedeno, jak často docházelo k těmto událostem a jak moc byly události závažné. Rozepsány budou pouze ty charakteristické parametry, které nevyhovují normě, dle tabulek 3.1 a 3.2. Taktéž budou v tabulkách uvedeny z důvodu přehlednosti práce pouze týdny, kdy došlo k nekvalitě elektrické energie. Pořadí tohoto týdne ze všech analyzovaných týdnů v celkovém intervalu je zapsáno ve sloupci se zkratkou „č.“.

3.1.1 Vyhodnocení napětí

V tab. č. 3.3 jsou zaznamenány týdny, kdy došlo k překročení limitu u charakteristického parametru velikosti napětí v uzlu 1 až 14. Popisek tabulky říká, že červenou barvou jsou zapsány hodnoty, kdy je U_{int10m} větší než limit zapsaný v tabulce 1.4. Konkrétně se jedná o charakteristický parametr velikost napětí a percentil 100 %. Všechny 3 fáze byly pokaždé vyhodnoceny v týdenním reportu stejně, proto je v tabulce zapsána pouze jedna hodnota.

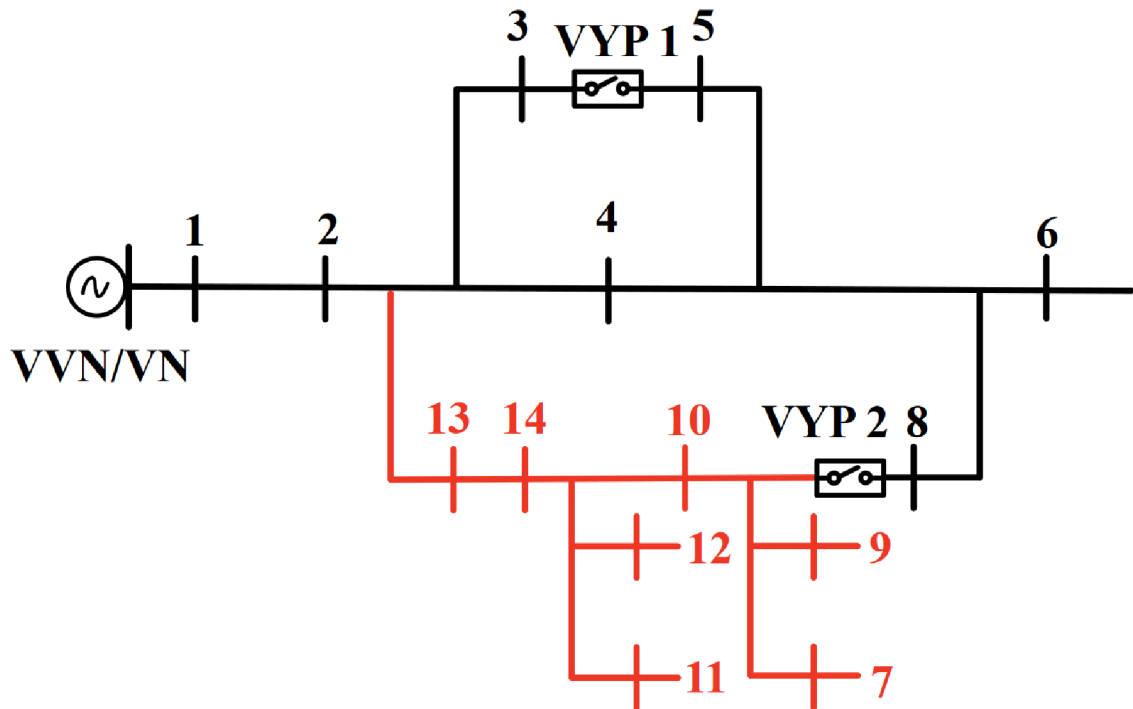
Cílem tohoto souhrnného přehledu je ukázat v jakých uzlech docházelo nejčastěji k překročení limitu. Procentuální hodnota vypovídá o tom, kolik procent z hodnot U_{int10m} po dobu týdne bylo mimo stanovený limit normou.

Na základě tab. č. 3.3 se dá konstatovat, že obecně nejčastěji docházelo k nadlimitním událostem v oblasti, která je znázorněna na obr. č. 3.2. Jedná se o uzly č. 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, které jsou znázorněny červenou barvou. V těchto uzlech v jistých týdnech vznikla nejvyšší procentní hodnota odchylky od normovaných limitů. Například v týdnu č. 1, 9, 26, 30, 31 a 32 se vyskytla v několika výše jmenovaných uzlech procentní odchylka vyšší jak 2 %. Ve zbytku analyzované oblasti nedosáhla procentní hodnota odchylky vyšší velikosti než 1 %.

Tabulka 3.3 Souhrnný přehled nadlimitních událostí pro charakteristický parametr U_{int10m}

č.	Interval týdne		$U_{int10m} > \text{limit tab. 1.4 (100 \% percentil) [\%], L_1=L_2=L_3}$													
	Od	Do	Uzel 1	Uzel 2	Uzel 3	Uzel 4	Uzel 5	Uzel 6	Uzel 7	Uzel 8	Uzel 9	Uzel 10	Uzel 11	Uzel 12	Uzel 13	Uzel 14
1	07.12.2020	13.12.2020	0	0	0	0	0	0	3,3	0	3,3	3,3	0	0	0	0
7	18.01.2021	24.01.2021	0	0	0,9	0	0	0	0	0	0	0	1,1	1,1	0	0
9	01.02.2021	07.02.2021	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0	3,6	3,6	1	1
15	15.03.2021	21.03.2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3	1,3	0	0
26	31.05.2021	06.06.2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,7	0
29	21.06.2021	27.06.2021	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
30	28.06.2021	04.07.2021	0	0	0	0	0	0	2,2	0	2,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
31	05.07.2021	11.07.2021	0	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	2,1	2,1	3	2,1
32	12.07.2021	18.07.2021	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,8	0

Na základě těchto dat se lze domnívat, že v této oblasti je problém s regulací napětí a bylo by vhodné se detailněji zabývat zhodnocením nastavených odboček u distribučních transformátorů v oblasti, kterou naznačuje obr. č. 3.2 (uzly označené červenou barvou).



Obrázek 3.2 Znárodnění místa s nejvyšší četností překročení limitu U_{int10m}

3.1.2 Vyhodnocení flikru

Stejným způsobem jako u tab. č. 3.3 byla vytvořena i tab. č. 3.4, kde je znázorněn týden, kdy došlo k překročení limitu flikru P_{fl} . Hodnoty zde byly na rozdíl od tab. č. 3.3 vyhodnoceny pro každou fázi jinak, proto jsou zde uvedeny jednotlivé fáze P_{fl1} , P_{fl2} a P_{fl3} . Taktéž byla provedena korekce sledu fází. Více viz 4.2.

Z tab. č. 3.4 vyplývá, že byl u fáze P_{fl2} překročen limit ve 29 týdnů u všech uzlů a u fáze P_{fl3} pouze v uzlu č. 7. Nepochybně v tomto týdnu nastalo hodně událostí, kdy dosahoval flikr P_{st} vysokých hodnot. Konkrétně se dá konstatovat, že P_{fl2} měl ve 29 týdnů 6 % dvouhodinových agregovaných P_{fl} hodnot vyšších než 1. To je důvod proč se tímto charakteristickým parametrem bude tato práce dále zabývat v kapitole č. 4 (Analýza vlivu provozu soustavy na vybraný charakteristický parametr).

Tabulka 3.4 Souhrnný přehled nadlimitních událostí pro charakteristický parametr P_{It}

č.	Interval týdne		$P_{It} > \text{limit tab. 1.4} [\%]$															
	Od	Do	Fáze	Uzel 1	Uzel 2	Uzel 3	Uzel 4	Uzel 5	Uzel 6	Uzel 7	Uzel 8	Uzel 9	Uzel 10	Uzel 11	Uzel 12	Uzel 13	Uzel 14	
29	21.06.2021	27.06.2021	Plt1	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	
			Plt2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
			Plt3	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	5	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8

3.1.3 Vyhodnocení frekvence

Kmitočet sítě nebyl předmětem analýzy kvality elektrické energie. Informativně zde ovšem byla přiložena tab. č. 3.5, která se skládá z týdnů, kdy byl překročen limit stanovený normou. Více viz 5.1. Překročení frekvence je pravděpodobně zapříčiněno poruchovými stavy (zkraty/zemní spojení) a jejich vymezováním, které nejsou ze záznamů kvality napětí vyjmuty.

Tabulka 3.5 Souhrnný přehled nadlimitních událostí pro charakteristický parametr frekvence

č.	Interval týdne		$f > \text{limit tab. 1.4 (percentil 100 \%)} [\%]$													
	Od	Do	Uzel 1	Uzel 2	Uzel 3	Uzel 4	Uzel 5	Uzel 6	Uzel 7	Uzel 8	Uzel 9	Uzel 10	Uzel 11	Uzel 12	Uzel 13	Uzel 14
1	07.12.2020	13.12.2020	0	0	0	0	0	0	3,2	0	3,2	3,2	0	0	0	0
7	18.01.2021	24.01.2021	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	1,09	1,07	0	0
9	01.02.2021	07.02.2021	0,02	0,02	0,2	0,02	0,02	0,02	0,05	0,04	0,05	0,04	3,59	3,59	0,95	0,96
15	15.03.2021	21.03.2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,28	1,28	0	0
26	31.05.2021	06.06.2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,63	0
29	21.06.2021	27.06.2021	0	0	0	0	0	0	3,99	0	0	0	0	0	0	0
30	28.06.2021	04.07.2021	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	2,19	0,01	2,19	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
31	05.07.2021	11.07.2021	0	0	0,36	0,36	0,26	0,26	0,35	0,28	0,35	0,35	2,08	2,28	2,93	2,08
32	12.07.2021	18.07.2021	0,83	0,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	1	2,74	0

3.2 Vyhodnocení napěťových událostí

Napěťové události se člení do tabulek, tak jak je vysvětleno v kapitolách 1.2.1. V tab. č. 3.6 je uvedena suma všech napěťových událostí na všech uzlech dohromady. Důvodem je stručnost a přehlednost práce. Na základě této tabulky lze souhrnně vytvořit přehled o těchto událostech v analyzované síti. Souhrnné tabulky pro vyhodnocení napěťových událostí zvlášť pro jednotlivé uzly jsou uvedeny v příloze C.

Z tabulky 3.6 vyplývá, že nejčastěji docházelo k přepětí, kde velikost u_{zV} (poměrná hodnota vůči hodnotě nominální) byla v rozsahu 115 – 120 %, které netrvalo déle než 100 ms. Nastalo nespočet poklesů napětí, kde se velikost u_{zB} pohybovala od 90 % až po 5 %. Tyto jevy však netrvaly déle než 200 ms. Taktéž bylo zaznamenáno mnoho přerušení napětí, kde poměrná hodnota u_{zB} , klesla pod 5 %. Tyto přerušení dodávky napětí trvaly několikrát i déle než 3 minuty. Takové události mají velmi dominantní vliv na kvalitu elektrické energie a na její vyhodnocení. Analýza vlivu výpadků na vyhodnocení kvality elektrické energie se detailně řeší viz 4.1.4.

Vznik těchto napěťových událostí je pravděpodobně zapříčiněn poruchovými stavy, které nejsou ze záznamů kvality napětí vyjmuty.

Tabulka 3.6 Souhrmný přehled napěťových událostí

Přepětí									
Limity	$10\text{ms} \leq t_1 < 100\text{ms}$	$100\text{ms} \leq t_1 < 200\text{ms}$	$200\text{ms} \leq t_1 < 500\text{ms}$	$500\text{ms} \leq t_1 < 1\text{s}$	$1\text{s} \leq t_1 < 3\text{s}$	$3\text{s} \leq t_1 < 20\text{s}$	$20\text{s} \leq t_1 < 1\text{min}$	$1\text{min} \leq t_1 < 3\text{min}$	$t_1 \geq 3\text{min}$
$u_{z1} > 200$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$160 < u_{z1} \leq 200$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$140 < u_{z1} \leq 160$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$120 < u_{z1} \leq 140$	3	0	0	0	0	0	0	0	0
$115 < u_{z1} \leq 120$	279	0	0	0	0	0	0	0	0
Podpětí									
Limity	$10\text{ms} \leq t_1 < 100\text{ms}$	$100\text{ms} \leq t_1 < 200\text{ms}$	$200\text{ms} \leq t_1 < 500\text{ms}$	$500\text{ms} \leq t_1 < 1\text{s}$	$1\text{s} \leq t_1 < 3\text{s}$	$3\text{s} \leq t_1 < 20\text{s}$	$20\text{s} \leq t_1 < 1\text{min}$	$1\text{min} \leq t_1 < 3\text{min}$	$t_1 \geq 3\text{min}$
$85 \leq u_{zb} < 90$	60	0	0	0	0	0	0	0	0
$70 \leq u_{zb} < 85$	156	28	0	0	0	0	0	0	0
$40 \leq u_{zb} < 70$	180	33	0	0	0	0	0	0	0
$5 \leq u_{zb} < 40$	24	18	0	0	0	0	0	0	0
$u_{zb} < 5$	1	0	14	20	13	2	58	121	86

3.3 Souhrnné vyhodnocení výkonových toků

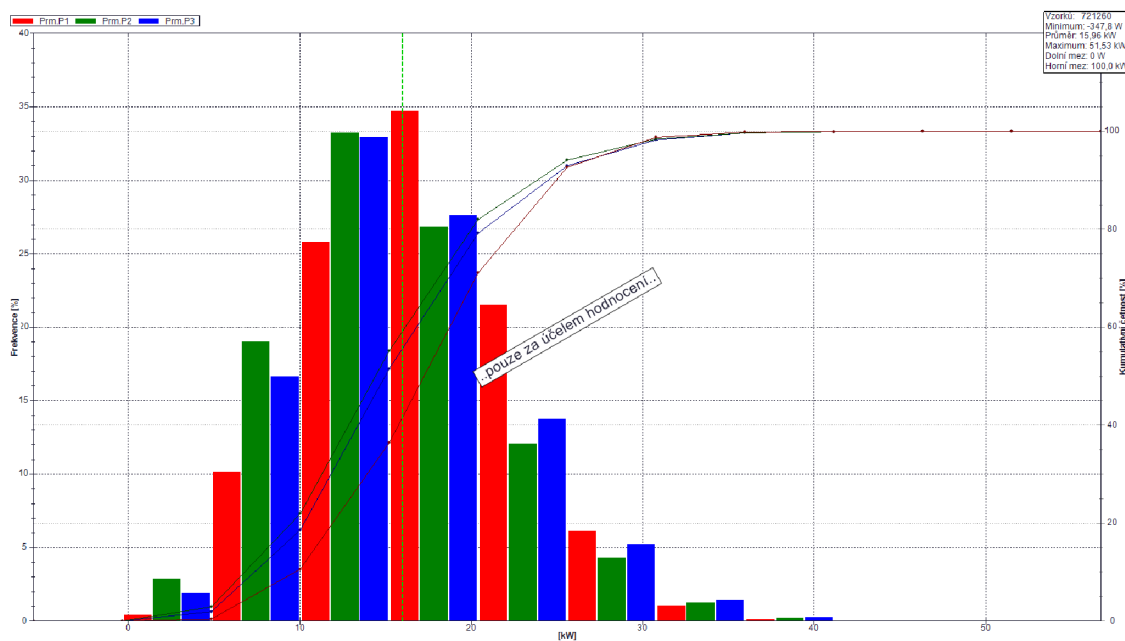
K charakteristickému vyhodnocení parametrů P a Q byl využit software. Pro jednotlivé uzly byly vytvořeny histogramy pro činný a jalový výkon.

Histogram je metoda analýzy, která rozloží celkovou velikost parametru na intervaly. Následně zobrazuje četnost agregantů rozdělenou do zmíněných intervalů.

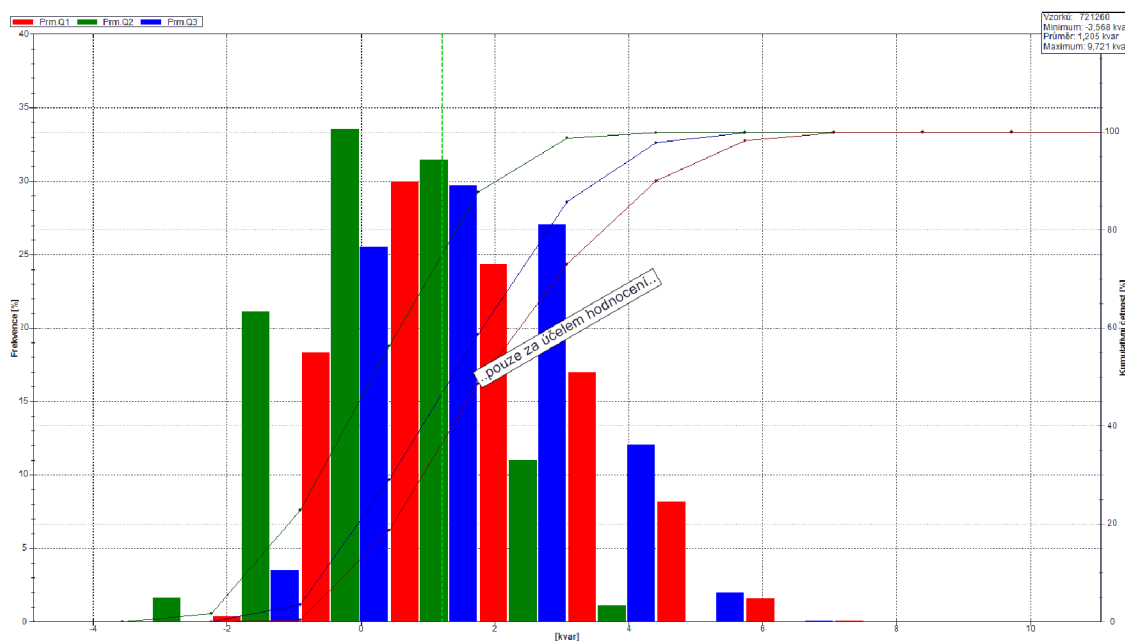
Kumulativní četnost znázorňuje, kolik agregantů bylo procentuálně zastoupeno do určité hranice velikosti charakteristického parametru. Například na obr. č. 3.3 bylo v intervalu od $-\infty$ do 30 kW zastoupeno v podstatně 100 % agregantů. Od $-\infty$ do 15 kW je to přibližně 60 % agregantů.

Intervaly nejsou pevně zadané, neboť každý uzel vykazuje odlišný činný a jalový výkon. Intervaly jsou tedy vytvořeny podle celkového daného výkonu, který je procentuálně rozložen do 10 intervalů (neboli 10 sloupců viz obr. č. 3.3).

Na obr. č. 3.3 je pro příklad znázorněn histogram pro činný výkon a na obr. 3.4 histogram pro jalový výkon. Jednotlivé fáze jsou barevně rozděleny. Histogramy pro ostatní uzly (2-14) jsou uvedeny v příloze D.



Obrázek 3.3 Histogram činného výkonu pro uzel č. 1



Obrázek 3.4 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 1

Pro souhrnné vyhodnocení výkonových toků slouží tab. č. 3.7. Na základě této tabulky lze vidět, jak jsou jednotlivé uzly vůči sobě zatížené. Pro jednotlivé uzly je zde uveden minimální a maximální třífázový činný výkon ($P_{\min 3f}$ a $P_{\max 3f}$). Totéž platí pro výkon jalový ($Q_{\min 3f}$ a $Q_{\max 3f}$). Podmíněné formátování znázorňuje zatížení jednotlivých uzlů.

Parametr $P_{80\%3f}$ a $Q_{80\%3f}$ nese informaci o kumulativní četnosti činného a jalového třífázového výkonu. Například u uzlu č. 1 značí, že 80 % agregantů činného výkonu se

nachází v intervalu od $-\infty$ do hodnoty 62 kW ($P_{80\%3f}$). Nese tedy informaci o dominantní většině agregantů.

Tabulka 3.7 Rozložení výkonových toků v jednotlivých uzlech

Uzel	P_{min3f} (kW)	P_{max3f} (kW)	$P_{80\%3f}$ (kW)	Q_{min3f} (kvar)	Q_{max3f} (kvar)	$Q_{80\%3f}$ (kvar)
1	0	139,6	62	-4,0	25,1	7,5
2	0	194,2	50	-3,4	46,1	1,5
3	0	101,5	38	-5,3	13,5	2,2
4	-31,5	163,5	44	0	67,9	52
5	0	90,7	45	-4,1	19,1	6
6	-1,5	31,9	9	-1,4	12,1	3
7	-38,6	35,1	5,6	-14,8	1,7	1,2
8	0	10,0	1,0	-0,2	1,4	0,3
9	0	150,3	47	-3,0	23,3	11
10	0	55,4	17	-1,4	17,5	9,9
11	0	2,1	1,1	-0,1	1,6	0,3
12	0	143,8	79	-11,2	35,9	3
13	0	8,0	0,9	-0,2	4,3	0,3
14	0	50,5	13	-1,0	14,4	4,8

4. ANALÝZA VLIVU PROVOZU SOUSTAVY NA VYBRANÝ CHARAKTERISTICKÝ PARAMETR

Hlavním obsahem této kapitoly je detailní zaměření na vybraný charakteristický parametr elektrické energie a analýza vlivu provozu soustavy na něj. Bude primárně vybrán ten parametr, který překročil limity stanovené normou. Na základě souhrnného vyhodnocení nekvality elektrické energie viz 3.1 byl k detailní analýze vybrán charakteristický parametr flickr.

Cílem je o vybraném parametru elektrické energie zjistit co nejvíc vypovídajících informací. Stanovit četnost a velikost nadlimitních událostí. Je vhodné vybrat přesné okamžiky nadlimitních událostí a analyzovat odchylky charakteristického parametru od nominálních hodnot v jednotlivých uzlech. Na základě těchto dat je klíčové se pokusit stanovit, kde se v analyzované oblasti na obr. č. 3.1 nachází zdroj nebo příčina nekvality elektrické energie.

Lokalizovat přesné místo, kde se nachází příčina vzniku nekvality elektrické energie, je velmi obtížné, neboť se události na sebe vzájemně superponují. Je třeba poznamenat, že pakliže dojde k nekvalitě elektrické energie, tak nemusí být viníkem pouze jeden spotřebič. Je taktéž možné, že byla příčinou skupina spotřebičů, která odebrala v určitý okamžik nárazový proud.

4.1 Analýza flickru

Struktura této kapitoly je vytvořená tak, aby chronologicky naznačovala jednotlivé kroky analýzy. V pozdější části analýzy bylo zjištěno, že výpadky napětí a chyby záznamů u kvalitoměrů mají vliv na vyhodnocení kvality elektrické energie. Kapitoly 4.1.1 a 4.1.2 jsou těmito chybami ovlivněny. Ovšem i přesto jsou pro analýzu velmi hodnotné, neboť na základě informací v nich byl tento problém vyřešen v kapitole 4.1.3 a detailněji rozebrán v kapitole 4.1.4. Taktéž je možné porovnat, jak moc velký vliv mají výpadky napětí a chyby záznamů na vyhodnocení kvality elektrické energie.

4.1.1 Základní zhodnocení problému

Cílem této kapitoly je vytvořit obecný přehled flickru v analyzované oblasti. Proto prvním krokem bylo zjistit v jakých uzlech dochází k největší nekvalitě flickru a kolik nastává těchto nadlimitních událostí. K této analýze byl použit flickr P_{It} (více viz 2.1.3), neboť bylo cílem poskytnout obecný přehled o tom, jak se flickr v analyzované oblasti chová.

Ideální způsob, jak zjistit do jaké míry došlo k překročení daného limitu je vypočítání určitého integrálu pod křivkou dle vzorce (4.1), který je omezen spodní hranicí, tedy daným limitem. Integrál je počítán přes vzorek (interval) 10 minut. Výsledná hodnota je v tabulce uvedena ve sloupci s názvem „ P_{Itint} “, kde i značí fázi.

Dané číslo vypovídá, o jakou průměrnou hodnotu charakteristický parametr přesáhl daný limit v jednotlivých uzlech. Dále bylo nutné určit, kolikrát nastala událost, že flickr přesáhl svůj limit. To je označeno ve sloupcích, zkratkou PU_i pro jednotlivé fáze.

Výpočet integrálu P_{ltiint} :

$$P_{ltiint} = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n P_{ltm} - LimitP_{lt}, \quad (4.1)$$

Kde :

$n = n$ -tý počet vzorků přesahující limit

$P_{ltm} =$ vzorek přesahující limit $LimitP_{lt}$

Dle normy ČSN [1] by flickr neměl nabývat větší velikosti, než 1. Na základě tabulky 4.1 lze konstatovat, že nastalo v každém uzlu přibližně 20 událostí, kde byl flickr vyšší než 1. Tabulka č. 4.2 vypovídá o tom, že v uzlech 10 – 14 nastalo několik událostí, kde hodnota flickru překročila hranici 10 a nejhůře dopadly uzly 11 a 12, kde flickr dosáhl vyšších hodnot, než 15.

Tabulka 4.1 Vyhodnocení flickru na základě integrálu a počtu událostí pro limit 1 a 5 pro jednotlivé uzly

Uzel	LimitPlt > 1						LimitPlt > 5					
	Plt1_int	P.U.	Plt2_int	P.U.	Plt3_int	P.U.	Plt1_int	P.U.	Plt2_int	P.U.	Plt3_int	P.U.
1	1,87	16	2,15	20	2,29	18	3,66	2	2,22	3	2,54	3
2	2,34	17	2,43	14	2,13	13	2,16	3	4,71	1	4,68	1
3	1,90	15	2,11	19	2,42	16	3,66	2	2,19	3	2,79	3
4	2,06	19	2,36	16	1,86	15	2,13	3	2,71	3	3,64	2
5	2,10	19	2,41	16	1,79	14	2,18	3	2,77	3	3,65	2
6	2,41	16	1,79	14	2,10	19	2,77	3	3,65	2	2,20	3
7	2,34	17	2,43	14	2,13	13	2,16	3	4,71	1	4,68	1
8	2,19	14	2,44	19	2,78	16	4,26	2	2,84	3	3,44	3
9	2,14	13	2,33	17	2,43	14	4,69	1	2,67	2	4,71	1
10	2,93	15	2,99	19	3,17	16	5,03	3	3,11	5	5,08	3
11	3,46	21	3,68	18	3,48	17	3,92	7	5,92	5	5,86	5
12	3,65	18	3,49	17	3,46	21	5,80	5	5,88	5	4,48	6
13	2,77	19	2,76	17	2,51	14	2,99	5	5,50	3	5,46	3
14	2,89	19	3,13	16	2,85	15	3,41	5	4,74	4	4,67	4

Tabulka 4.2 Vyhodnocení flikru na základě integrálu a počtu událostí pro limit 10 a 15 pro jednotlivé uzly

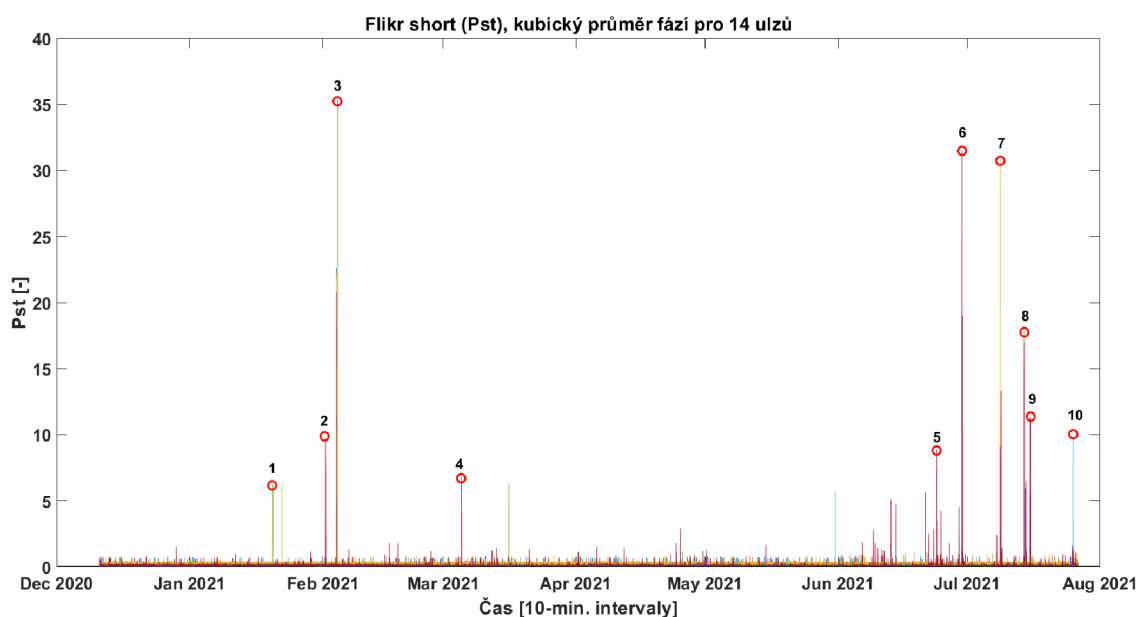
Uzel	LimitPlt > 10						LimitPlt > 15					
	Plt1_int	P.U.	Plt2_int	P.U.	Plt3_int	P.U.	Plt1_int	P.U.	Plt2_int	P.U.	Plt3_int	P.U.
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	4,05	1	4,11	1	4,15	1	0	0	0	0	0	0
11	4,77	2	4,80	2	4,70	2	0,41	1	0,43	1	0,32	1
12	4,49	2	4,68	2	4,74	2	0	0	0,29	1	0,35	1
13	4,09	1	4,10	1	4,06	1	0	0	0	0	0	0
14	4,09	1	4,11	1	4,07	1	0	0	0	0	0	0

4.1.2 Detailní analýza flikru

Podle tabulek 4.1 a 4.2 bylo zjištěno, že kvalita elektrické energie nevyhovuje normovaným požadavkům, proto bylo cílem další analýzy zjistit co nejvíce informací o tom, kde je s nejvyšší pravděpodobností zdroj nekvality elektrické energie. Pro tuto analýzu byly použity data flikru P_{st} (více viz 1.1.3), neboť nyní je cílem podrobně analyzovat dané události.

Pro tento krok analýzy bylo vybráno z celkového intervalu analyzovaných dat namátkově 10 okamžiků, kdy se flikr nacházel v maximu určité události, která přesahovala limit.

Na obrázku 4.1 je znázorněn časový průběh flikru ve všech 14 uzlech, kde jsou jednotlivé fáze pro přehlednost kubicky zprůměrovány přes všechny tři fáze. Červeným kroužkem byly znázorněny náhodně vybrané události, které jsou detailně vypsány v tabulce 4.3. Pořadí událostí je označeno v obrázku 4.1 číslicemi a v tabulce pojmenováno zkratkou „Ud.“.



Obrázek 4.1 Časový průběh flikru P_{st} pro 14 uzlů v daném intervalu, ovlivněný nekonzistencí dat a poruchami

V tabulce 4.3 se události č. 1 a 3 jeví jako nekvalita elektrické energie na straně NN. Je taktéž možné, že jsou tyto dvě události důsledkem nekonzistence dat nebo výpadkem napětí. Více viz 4.1.3.

Dále je patrné, že v 7., 8. a 10. události analyzátor kvality elektrické energie neodečetl hodnotu flikru v některých uzlech (označeno žlutou barvou). Pravděpodobně vlivem chyby záznamu analyzátoru kvality elektrické energie nebo výpadku sítě.

Na základě těchto faktů bude v následujících částech ověřeno, zdali výpadky sítě nebo nekonzistence dat okolo okamžiku odečtení události nemají zásadní vliv na zaznamenané úrovně flikru. Taktéž je klíčové ověřit, zdali analyzátor kvality elektrické energie nezaznamenal nárůst flikru v předchozím nebo následujícím okamžiku (agregantu) vůči vybrané události, které jsou podrobně vypsány v tabulce 4.3.

Z tohoto důvodu je v tabulce 4.4 pro jednotlivé uzly a události vypočítán kubický průměr pro všechny fáze z odečtené události a taktéž z předchozího a následujícího vzorku (agregantu). Tímto krokem se eliminuje vliv rozptřeni krátkodobé napěťové události do více agregantů P_{st} .

Tabulka 4.3 Analýza flikru (P_{st}) v určitém okamžiku ovlivněná výpadky sítě a nekonzistencí dat

Ud.	Čas	Fáze	Uzel 1	Uzel 2	Uzel 3	Uzel 4	Uzel 5	Uzel 6	Uzel 7	Uzel 8	Uzel 9	Uzel 10	Uzel 11	Uzel 12	Uzel 13	Uzel 14		
1	20.01.2021 9:10	Pst1	0,14	0,09	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09	6,08	6,08	0,07	0,08	
		Pst2	0,15	0,09	0,09	0,08	0,09	0,10	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09	6,57	6,57	0,07	0,07	
		Pst3	0,15	0,10	0,13	0,08	0,09	0,10	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	5,73	5,84	0,08	0,08	
2	01.02.2021 15:00	Pst1	3,25	3,29	3,28	3,29	3,25	3,25	3,29	3,25	3,38	3,29	3,31	3,32	3,28	3,55		
		Pst2	13,60	13,40	13,47	13,16	13,42	13,47	13,40	13,42	13,27	13,47	13,47	13,40	13,42	13,25		
		Pst3	6,15	6,23	6,21	6,09	6,21	6,21	6,23	6,21	6,30	6,23	6,21	6,23	6,23	6,23	6,36	
3	04.02.2021 11:10	Pst1	0,10	0,09	0,07	0,10	0,11	0,09	0,09	0,07	0,10	0,07	35,07	35,01	0,08	0,11		
		Pst2	0,10	0,09	0,08	0,09	0,11	0,10	0,09	0,08	0,13	0,08	35,29	35,15	0,08	0,10		
		Pst3	0,11	0,09	0,08	0,10	0,11	0,10	0,09	0,07	0,10	0,08	35,33	33,91	0,07	0,11		
4	05.03.2021 6:50	Pst1	4,75	4,77	4,80	4,65	4,71	4,80	4,77	4,75	4,77	4,77	4,75	4,77	4,77	4,80		
		Pst2	1,03	1,05	1,03	1,08	1,06	1,06	1,05	1,05	1,08	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,08	
		Pst3	9,35	9,26	9,26	9,17	9,23	9,26	9,26	9,26	9,23	9,26	9,29	9,26	9,26	9,35	9,35	
5	23.06.2021 23:40	Pst1	8,05	8,00	8,00	7,76	7,97	8,03	8,00	8,05	7,95	7,97	7,97	8,03	8,00	7,97		
		Pst2	8,22	8,21	8,21	7,98	8,13	8,21	8,21	8,20	8,19	8,19	8,19	8,21	8,14	8,19		
		Pst3	10,03	10,12	10,12	9,82	9,85	10,02	10,12	9,93	10,02	10,03	10,03	10,12	9,96	10,09		
6	29.06.2021 19:50	Pst1	4,05	22,15	4,91	4,86	4,91	4,94	22,15	4,88	22,05	31,33	31,36	31,36	31,31	31,33		
		Pst2	1,90	22,27	2,82	2,80	2,83	2,79	22,27	2,84	22,26	31,51	31,50	31,52	31,47	31,48		
		Pst3	10,37	23,05	13,70	13,23	13,61	13,61	23,05	13,70	23,05	31,57	31,54	31,58	31,45	31,48		
7	08.07.2021 18:00	Pst1	4,90	30,88	7,32	7,04	7,18	7,25	30,88	7,51	30,89	31,16	0	0	0	0		
		Pst2	2,92	30,99	5,88	5,97	5,80	5,81	30,99	5,92	31,01	31,21	0	0	0	0		
		Pst3	11,50	29,78	14,78	14,83	14,78	14,79	29,78	14,50	29,78	29,82	0	0	0	0		
8	14.07.2021 8:10	Pst1	0,54	0,72	0,72	0,72	0,71	0,72	0,72	0,73	0,72	0,71	17,18	17,52	0	16,52		
		Pst2	0,29	0,30	0,32	0,31	0,31	0,32	0,30	0,32	0,31	0,31	18,22	18,58	0	17,52		
		Pst3	0,50	0,71	0,71	0,68	0,69	0,71	0,71	0,72	0,71	0,69	17,18	17,18	0	16,85		
9	15.07.2021 17:30	Pst1	7,68	11,23	8,81	8,64	8,99	8,81	11,23	8,99	11,37	11,15	11,37	11,37	11,26	11,15		
		Pst2	7,39	11,60	8,81	8,64	8,81	8,81	11,60	8,81	11,26	11,60	11,49	11,37	11,60	11,30		
		Pst3	7,84	11,15	9,17	9,35	9,35	9,17	11,15	9,35	10,94	11,15	11,15	11,15	11,15	11,23		
10	25.07.2021 17:50	Pst1	9,44	9,08	9,08	8,99	9,17	9,17	9,08	9,17	9,08	9,17	9,35	9,35	9,35	0		
		Pst2	10,42	11,15	11,05	11,01	11,15	11,05	11,15	11,30	11,15	11,23	11,37	11,38	11,15	0		
		Pst3	8,82	8,48	8,56	8,48	8,64	8,56	8,48	8,48	8,56	8,48	8,56	8,56	8,53	0		

Události, které neodpovídají teoretickému předpokladu jsou způsobené okolním výpadkem, či nekonzistencí dat. To je patrné z tabulky číslo 4.4, neboť v těchto místech je nyní nulová hodnota. To znamená, že v předchozím nebo následujícím vzorku nastal s nejvyšší pravděpodobností výpadek sítě. Díky absenci dat tedy nebylo možné vypočítat validní kubický průměr. Více se tímto problémem bude zabývat kapitola 4.1.4.

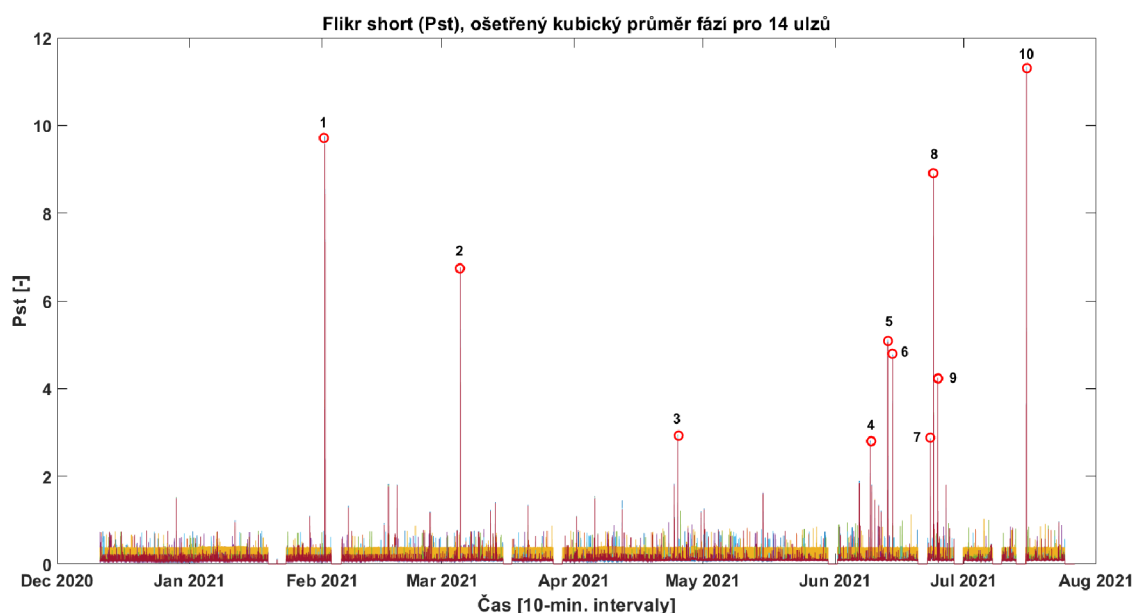
Událost č. 1 a 3 se prvně jevila jako nekvalita na straně NN, avšak tab. č. 4.4 dokazuje, že je to pouze důsledek nekonzistence dat, či poruchy v podobě výpadku napětí. Stejně tak vysoké hodnoty v události č. 6, 7, 8, 10 byly patrně důsledkem nekonzistence dat, či poruchy.

Tabulka 4.4 Analýza flikru (P_{st}) v určitém okamžiku ovlivněná výpadky sítě a nekonzistencí dat, kubický průměr předchozího a následujícího vzorku

Ud.	Datum	Uzel 1	Uzel 2	Uzel 3	Uzel 4	Uzel 5	Uzel 6	Uzel 7	Uzel 8	Uzel 9	Uzel 10	Uzel 11	Uzel 12	Uzel 13	Uzel 14
1	20.01.2021 9:10	0,14	0,09	0,09	0,07	0,08	0,09	0,09	0,07	0,08	0,07	0	0	0,07	0,07
2	01.02.2021 15:00	6,76	6,68	6,71	6,56	6,69	6,71	6,68	6,69	6,63	6,71	6,71	6,68	6,69	6,63
3	04.02.2021 5:00	0,13	0,10	0,08	0,09	0,10	0,09	0,10	0,07	0,14	0,08	0	0	0,07	0,10
4	04.03.2021 19:20	5,04	5,01	4,99	4,92	4,97	4,99	5,01	5,01	5,00	5,01	5,02	5,01	5,04	5,03
5	23.06.2021 23:40	6,26	6,27	6,28	6,10	6,18	6,25	6,27	6,23	6,23	6,24	6,24	6,28	6,22	6,26
6	29.06.2021 19:50	5,09	0	6,71	6,48	6,67	6,67	0	6,70	0	21,82	21,82	21,83	21,78	21,79
7	08.07.2021 17:50	7,05	0	21,44	21,46	21,43	21,45	0	0	0	0	0	0	0	0
8	14.07.2021 8:10	0,33	0,44	0,44	0,43	0,43	0,44	0,44	0,45	0,44	0,43	12,28	12,45	0	11,89
9	15.07.2021 17:30	5,30	7,86	6,20	6,16	6,28	6,20	7,86	6,28	7,76	7,84	7,86	7,84	7,86	7,78
10	25.07.2021 17:50	6,66	6,73	6,71	6,67	6,78	6,73	6,73	6,79	6,75	6,77	6,87	6,87	6,80	0

4.1.3 Detailní analýza flikru ošetřená od výpadů

Kapitola 4.1.2 popisuje, jak výpadky sítě a nekonzistence dat afektují analýzu flikru. Z tohoto důvodu byl vytvořen náhradní průběh flikru P_{st} , kde jsou opět kubicky průměrovány fáze jednotlivých uzlů, pro zvýšení přehlednosti. Tentokrát jsou data vyfiltrována od případných výpadků. Pokaždé, když v nějakém uzlu chyběla odečtená hodnota, bylo předpokládáno, že v soustavě došlo k manipulaci a výpadku některé z monitorovaných uzlů. Z toho důvodu byla data odpovídající tomuto času nahrazena nulou napříč všemi uzly. Totéž platí pro 144 vzorků předchozích a 144 vzorků následujících. Což odpovídá ekvivalentu jednoho dne (10 minut agregant). Kolem každé chyby byl tedy vyfiltrován interval jednoho dne, neboť je velká pravděpodobnost, že během tohoto dne docházelo k manipulaci, s cílem odstranit poruchovou událost, která mohla zásadně ovlivnit úroveň flikru na monitorovaném vývodu. Výsledný graf je zobrazen na obrázku č. 4.2.



Obrázek 4.2 Časový průběh flikru P_{st} pro 14 uzlů v daném intervalu, ošetřený od nekonzistence dat a poruch

Z obrázku 4.2 bylo odečteno 10 nejhorších událostí a jejich detail je znázorněn obdobně jako v kapitole 4.1.2 do tabulky 4.5. Taktéž byla provedena podrobnější analýza, kde byl opět vytvořen kubický průměr ze 3 fází v uzlu společně s předchozím a nadcházejícím vzorkem, přes všechny fáze (celkově tedy kubický průměr z 9 hodnot). Výsledky jsou uvedeny v 4.6.

Tabulka 4.5 Analýza flikru (P_{st}) v určitém okamžiku ošetřená od výpadků sítě a nekonzistence dat

Ud.	Čas	Fáze	Uzel 1	Uzel 2	Uzel 3	Uzel 4	Uzel 5	Uzel 6	Uzel 7	Uzel 8	Uzel 9	Uzel 10	Uzel 11	Uzel 12	Uzel 13	Uzel 14	
1	01.02.2021 15:00	Pst1	3,25	3,29	3,28	3,29	3,25	3,25	3,29	3,25	3,38	3,29	3,31	3,32	3,28	3,55	
		Pst2	13,60	13,40	13,47	13,16	13,42	13,47	13,40	13,42	13,27	13,47	13,47	13,40	13,42	13,25	
		Pst3	6,15	6,23	6,21	6,09	6,21	6,21	6,23	6,21	6,30	6,23	6,21	6,23	6,23	6,23	6,36
2	05.03.2021 6:50	Pst1	4,75	4,77	4,80	4,65	4,71	4,80	4,77	4,75	4,77	4,77	4,75	4,77	4,77	4,80	
		Pst2	1,03	1,05	1,03	1,08	1,06	1,06	1,05	1,05	1,08	1,04	1,04	1,04	1,04	1,08	
		Pst3	9,35	9,26	9,26	9,17	9,23	9,26	9,26	9,26	9,23	9,26	9,29	9,26	9,35	9,35	
3	25.04.2021 5:40	Pst1	3,65	3,58	3,65	3,58	3,65	3,58	3,58	3,58	3,58	3,44	3,58	3,65	3,58	3,51	
		Pst2	0,32	0,36	0,33	0,35	0,33	0,36	0,36	0,33	0,36	0,60	0,34	0,34	0,34	0,36	
		Pst3	3,06	3,00	3,06	3,00	3,06	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,06	3,06	3,00
4	09.06.2021 5:20	Pst1	2,88	2,77	2,83	2,72	2,77	2,83	2,77	2,83	2,77	2,77	2,83	2,77	2,83	2,77	
		Pst2	3,51	3,44	3,44	3,31	3,44	3,44	3,44	3,44	3,37	3,37	3,44	3,37	3,44	3,37	
		Pst3	0,27	0,30	0,29	0,32	0,29	0,29	0,30	0,29	0,32	0,30	0,29	0,32	0,30	0,29	
5	13.06.2021 7:30	Pst1	5,73	5,84	5,73	5,62	5,84	5,73	5,84	5,73	5,84	5,73	5,84	5,73	5,84	5,84	
		Pst2	5,84	5,84	5,73	5,61	5,84	5,73	5,84	5,73	5,73	5,84	5,84	5,84	5,84	5,84	
		Pst3	1,22	1,23	1,21	1,20	1,21	1,21	1,23	1,23	1,21	1,23	1,23	1,24	1,23	1,23	
6	14.06.2021 11:40	Pst1	3,61	3,51	3,51	3,51	3,58	3,56	3,51	3,56	3,54	3,56	3,56	3,58	3,58	3,54	
		Pst2	5,51	5,40	5,45	5,30	5,40	5,40	5,40	5,45	5,40	5,40	5,40	5,51	5,51	5,40	
		Pst3	4,83	4,74	4,73	4,62	4,76	4,80	4,74	4,80	4,74	4,80	4,80	4,71	4,76	4,77	
7	23.06.2021 5:10	Pst1	0,35	0,37	0,36	0,37	0,37	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,40	0,36	0,36
		Pst2	3,06	3,00	3,00	2,91	3,00	2,98	3,00	2,98	3,00	2,98	3,00	2,97	3,00	3,00	3,00
		Pst3	3,48	3,44	3,44	3,31	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,42	3,44	3,40	3,43	3,42
8	23.06.2021 23:40	Pst1	8,05	8,00	8,00	7,76	7,97	8,03	8,00	8,05	7,95	7,97	7,97	8,03	8,00	7,97	
		Pst2	8,22	8,21	8,21	7,98	8,13	8,21	8,20	8,19	8,19	8,19	8,19	8,21	8,14	8,19	
		Pst3	10,03	10,12	10,12	9,82	9,85	10,02	10,12	9,93	10,02	10,03	10,03	10,12	9,96	10,09	
9	24.06.2021 22:50	Pst1	0,46	0,49	0,47	0,51	0,47	0,47	0,49	0,48	0,49	0,48	0,48	0,52	0,48	0,49	
		Pst2	4,62	4,62	4,53	4,62	4,62	4,62	4,71	4,62	4,62	4,62	4,62	4,71	4,53	4,62	
		Pst3	4,99	4,99	4,99	4,80	5,09	5,09	4,99	4,99	5,09	5,09	5,09	4,99	4,99	5,09	
10	15.07.2021 17:30	Pst1	7,68	11,23	8,81	8,64	8,99	8,81	11,23	8,99	11,37	11,15	11,37	11,37	11,26	11,15	
		Pst2	7,39	11,60	8,81	8,64	8,81	8,81	11,60	8,81	11,26	11,60	11,49	11,37	11,60	11,30	
		Pst3	7,84	11,15	9,17	9,35	9,35	9,17	11,15	9,35	10,94	11,15	11,15	11,15	11,15	11,15	11,23

Tabulka 4.6 Analýza flikru (P_{st}) v určitém okamžiku ošetřená od výpadků sítě a nekonzistence dat, kubický průměr předchozího a následujícího vzorku

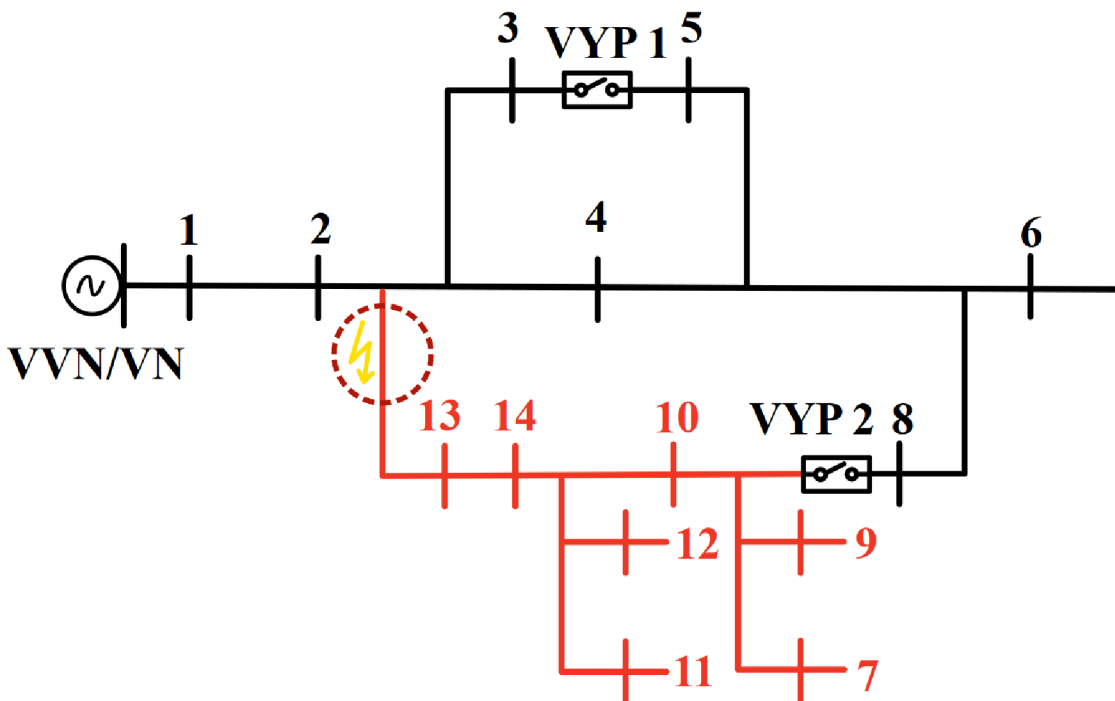
Ud.	Datum	Uzel 1	Uzel 2	Uzel 3	Uzel 4	Uzel 5	Uzel 6	Uzel 7	Uzel 8	Uzel 9	Uzel 10	Uzel 11	Uzel 12	Uzel 13	Uzel 14
1	01.02.2021 15:00	6,76	6,68	6,71	6,56	6,69	6,71	6,68	6,69	6,63	6,71	6,71	6,68	6,69	6,63
2	05.03.2021 6:50	5,04	5,01	4,99	4,92	4,97	4,99	5,01	5,01	5,00	5,01	5,02	5,01	5,04	5,03
3	25.04.2021 5:40	2,05	2,01	2,05	2,01	2,05	2,01	2,01	2,01	2,01	1,96	2,01	2,05	2,02	1,98
4	09.06.2021 5:20	1,95	1,90	1,92	1,84	1,90	1,92	1,90	1,92	1,88	1,88	1,92	1,88	1,92	1,88
5	13.06.2021 7:30	3,51	3,54	3,47	3,41	3,54	3,47	3,54	3,47	3,51	3,51	3,51	3,54	3,54	3,51
6	14.06.2021 11:40	3,31	3,24	3,26	3,18	3,26	3,26	3,24	3,28	3,25	3,26	3,26	3,28	3,29	3,26
7	23.06.2021 5:10	2,06	2,03	2,03	1,96	2,03	2,03	2,03	2,03	2,03	2,02	2,03	2,02	2,03	2,02
8	23.06.2021 23:40	6,26	6,27	6,28	6,10	6,18	6,25	6,27	6,23	6,23	6,24	6,24	6,28	6,22	6,26
9	24.06.2021 22:50	2,92	2,92	2,89	2,85	2,95	2,95	2,92	2,94	2,95	2,95	2,95	2,94	2,89	2,95
10	15.07.2021 17:30	5,30	7,86	6,20	6,16	6,28	6,20	7,86	6,28	7,76	7,84	7,86	7,84	7,86	7,78

Z tabulek 4.5 a 4.6 vyplývá, že příčina nekvality elektrické energie je pro všechny uzly globální. Úrovně flikru jsou napříč uzly v podstatě totožné, to znamená, že příčina nekvality elektrické energie pro tyto uzly je s nejvyšší pravděpodobností mimo analyzovanou oblast. Porucha na vedení VN nebo v napájecí rozvodně pravděpodobně způsobila pokles napětí. Následně se tento pokles šířil do všech ostatních uzlů, neboť jsou všechny uzly napájecí rozvodnou napájeny. Stejně pravděpodobné je, že poklesy napětí v napájecí rozvodně mohly vzniknout vlivem manipulace v napájecí rozvodně např. přepínáním odboček, spínáním atd. Pro stanovení přesné příčiny však není dostatek informací.

Poslední 10. událost se jako jediná liší od ostatních. Naznačuje klíčový jev, který byl cílem v této práci najít a analyzovat. Dle dat v tab. č. 4.5 je patrné, že v uzlech č. 2, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14 je flikr vyšší než v ostatních uzlech. Na obr. č. 4.3 je červeně zbarvena postižená oblast zvýšeným flikrem. Je viditelné, že zvýšená nekvalita elektrické energie se šířila jednou větví a na základě těchto faktů, lze odhadnout oblast, kde se nachází příčina, která způsobila zvýšení flikru v označené oblasti. Patrně zde

došlo k poruše nebo nárazovému odběru. Toto místo, kde se nachází příčina je na obr. č. 4.3 označeno čárkovaným kroužkem a žlutým bleskem.

V druhém uzlu se nachází distribuční transformátor, který má velkou impedanci. Je možné, že přesně v okamžiku, kdy došlo ke vzniku nekvality elektrické energie ve vyznačené oblasti, tak současně vznikl flikr v uzlu 2, který byl vyvolán na NN straně transformátoru. Ten mohl být způsoben například nárazovým proudem, který způsobil úbytek napětí. Na základě toho vznikla nekvalita elektrické energie, ale přes velkou impedanci distribučního transformátoru se nešířila dále v analyzované síti do uzlu 3, 4 atd.. Podélný úbytek napětí VN je během této události zanedbatelný. Tato 10. událost dokládá princip, šíření nekvality elektrické energie analyzovanou oblastí tak, jak popisuje kapitola 1.2.5.



Obrázek 4.3 Detail události č. 10, označení oblasti, kde došlo pravděpodobně k poruše

Tabulka 4.7 dokazuje jaký mají události vysokého flikru P_{st} z tabulky 4.5 vliv na flikr P_{lt} . P_{lt} překračuje svůj limit v důsledku vysoké hodnoty P_{st} a pakliže k této události dojde vícekrát v daném sledovaném období (týden), tak poruší limity charakteristického parametru stanovené normou viz kapitola 3.

Kvantita a velikost událostí flikru v červnu se podepsala do souhrnného vyhodnocení kvality elektrické energie pro flikr a překročila limit stanovený normou viz kapitola 3.1.2.

Dle zaznamenaných dat se vysoké hodnoty P_{st} chybně promítly až do dalšího vzorku/agregantu P_{It} , tedy za 2 hodiny. Dle toho zjištění bylo nutné danou tabulku zkalibrovat. Více viz 5.2 (chybný odečet flikru P_{It}).

Tabulka 4.7 Zobrazení největší velikosti flikru (P_{It}) ze 3 fází v daném okamžiku v určitém uzlu

Ud.	Datum	Uzel 1	Uzel 2	Uzel 3	Uzel 4	Uzel 5	Uzel 6	Uzel 7	Uzel 8	Uzel 9	Uzel 10	Uzel 11	Uzel 12	Uzel 13	Uzel 14
1	01.02.2021 15:00	5,56	5,45	5,47	5,41	5,45	5,54	5,45	5,45	5,45	5,45	5,47	5,45	5,52	5,45
2	05.03.2021 6:50	4,39	4,36	4,34	4,29	4,33	4,34	4,36	4,36	4,35	4,36	4,37	4,36	4,39	4,37
3	25.04.2021 5:40	1,59	1,56	1,59	1,56	1,59	1,56	1,56	1,56	1,56	1,50	1,56	1,59	1,56	1,53
4	09.06.2021 5:20	1,53	1,50	1,50	1,44	1,50	1,50	1,50	1,50	1,47	1,47	1,50	1,47	1,50	1,47
5	13.06.2021 7:30	2,55	2,55	2,50	2,45	2,55	2,50	2,55	2,50	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55
6	14.06.2021 11:40	2,41	2,36	2,38	2,31	2,36	2,36	2,36	2,38	2,36	2,36	2,36	2,41	2,41	2,36
7	23.06.2021 5:10	1,52	1,50	1,50	1,45	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,49	1,50	1,48	1,50	1,49
8	23.06.2021 23:40	4,50	4,54	4,55	4,41	4,44	4,50	4,54	4,47	4,51	4,51	4,51	4,55	4,48	4,53
9	24.06.2021 22:50	2,22	2,21	2,21	2,13	2,26	2,26	2,21	2,22	2,26	2,26	2,26	2,21	2,21	2,25
10	15.07.2021 17:30	3,42	5,07	4,00	4,08	4,08	4,00	5,07	4,08	4,97	5,07	5,02	4,97	5,07	4,94

4.1.4 Detail vlivu výpadku, či poklesu napětí na velikost flikru

Cílem této kapitoly je detailně zobrazit vliv výpadků, či poklesů napětí na velikost flikru.

Na obr. 4.4 je zobrazen graf, kde je časová závislost napětí U_{int1m} a flikru P_{st} . Pro příklad byl vybrán uzel 10. Pro zvýšení přehlednosti je napětí zprůměrováno kvadraticky a flikr kubicky přes všechny tři fáze.

Z obr. 4.4 je dobře viditelné, že napětí, kleslo na hodnotu 0 V. Tedy pod 5 % U_n což dokazuje, dle kapitoly 1.2.2, že se jedná o přerušení napětí. V době přerušení napětí flikr skokově roste. Později analyzátor kvality elektrické energie po jistou dobu neodečítal hodnoty flikru. To je důkaz, že výpadek napětí způsobuje růst flikru a následně i chyby, které mohou negativně ovlivnit vyhodnocení kvality elektrické energie jako v kapitole 4.1.2. Tyto chyby je nutné filtrovat a nevyhodnocovat z nich kvalitu elektrické energie, jak to bylo prezentováno v případě flikru v kapitole 4.1.2.

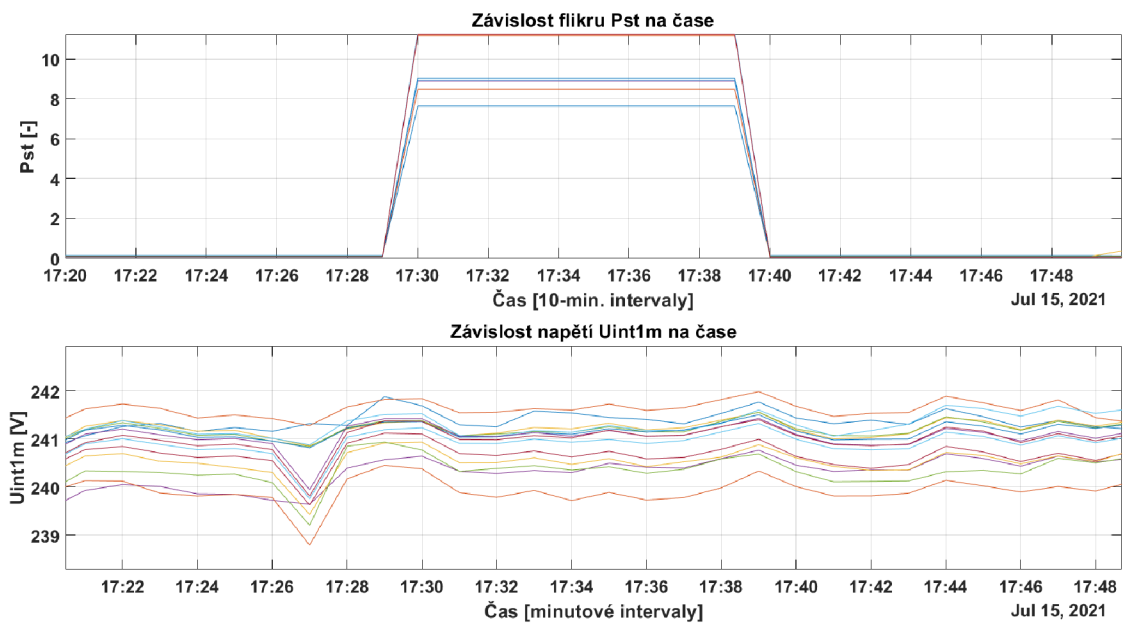


Obrázek 4.4 Detail vlivu výpadku napětí na velikost flikru P_{st}

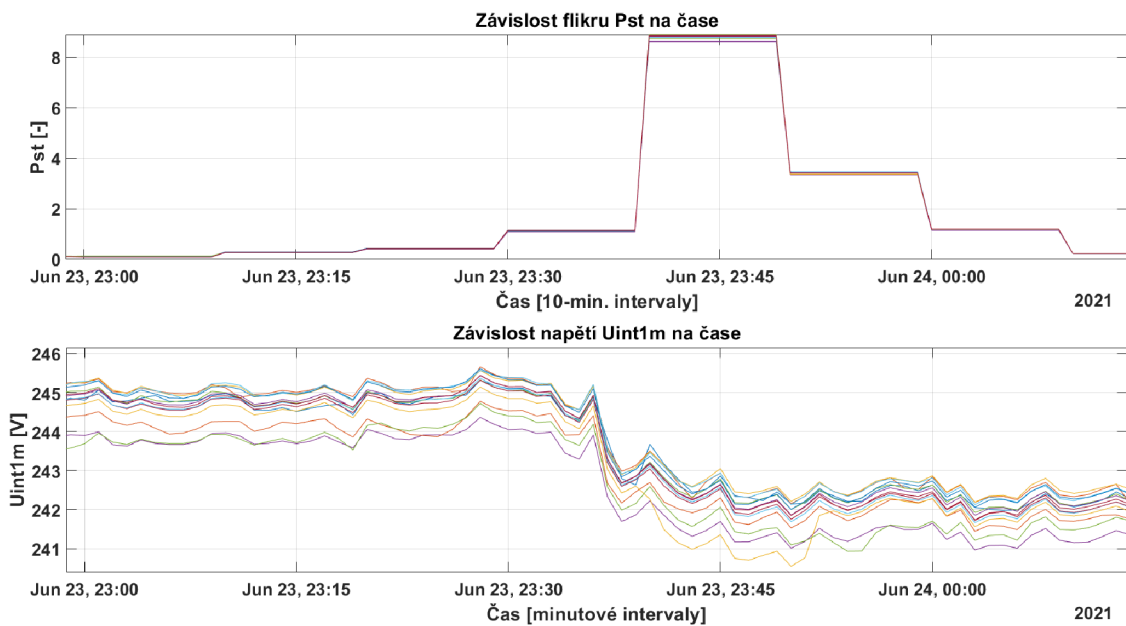
Na obr. č. 4.5 a 4.6 jsou detailně znázorněny časové průběhy napětí U_{int1m} a flikru P_{st} pro události č. 8 a 10 z tabulky 4.5. Je patrné, že při poklesu napětí U_{int1m} dochází ke skokovému růstu flikru. To odpovídá teoretickému předpokladu, neboť flikr se mění jako důsledek poklesu napětí, které je zapříčiněno nárazovým proudem nebo jeho nekvalitou (více viz 1.2.5).

Grafické závislosti na obr. 4.5 a 4.6 potvrzují závěr kapitoly 4.1.3. Na obr. č. 4.5 a 4.6 je pokles napětí relativně nízký. V řádu několika voltů. Je třeba brát v potaz, že pokles může dosahovat vysoké hloubky, ale trvat velmi krátkou dobu, například několik vteřin. Takový jev, ačkoli se nedá ignorovat a má své důsledky, se v agregované hodnotě U_{int1m} tolik neprojeví.

Je důležité zdůraznit rozdíl mezi obr. č. 4.5 a 4.6. Na obr. č. 4.5 je zobrazen detail jevu, který není zcela globální. Je patrné, že pokles napětí nenastal ve všech uzlech, tudíž některé hodnoty flikru, které v důsledku poklesu napětí vznikly, nejsou tak vysoké. Naopak na obr. č. 4.6 je zřetelné, že pokles napětí byl globální a je v podstatě na všech uzlech totožný.



Obrázek 4.5 Detail vlivu poklesu napětí U_{RMS} na velikost fliktu P_{ST} pro 10 událost



Obrázek 4.6 Detail vlivu poklesu napětí U_{RMS} na velikost fliktu P_{st} pro 8 událost

4.2 Korekce sledu fází v monitorovaných uzlech

V tabulkách 3.4, 4.3 a 4.5 bylo nutné pro přehlednost provést korekci sledu fází v monitorovaných uzlech. V tabulce 4.8 je znázorněn pravotočivý sled fází v analyzované oblasti. Původní data z analyzované oblasti viz příloha B, tab. č. 6.2.

V tabulce 6.2 byla vybrána globální událost č. 1. Je patrné, že hodnota zvýšeného flikru je pokaždé v jiné fázi. Na základě této zvýšené hodnoty flikru byla provedena korekce fází v ostatních událostech a tabulkách.

Tabulka 4.8 Znázornění pravotočivého sledu fází v analyzované oblasti

Uzel 1	Uzel 2	Uzel 3	Uzel 4	Uzel 5	Uzel 6	Uzel 7	Uzel 8	Uzel 9	Uzel 10	Uzel 11	Uzel 12	Uzel 13	Uzel 14
Fáze 1	Fáze 2	Fáze 1	Fáze 2	Fáze 2	Fáze 3	Fáze 2	Fáze 1	Fáze 1	Fáze 1	Fáze 2	Fáze 3	Fáze 2	Fáze 2
Fáze 2	Fáze 3	Fáze 2	Fáze 3	Fáze 3	Fáze 1	Fáze 3	Fáze 2	Fáze 2	Fáze 2	Fáze 3	Fáze 1	Fáze 3	Fáze 3
Fáze 3	Fáze 1	Fáze 3	Fáze 1	Fáze 1	Fáze 2	Fáze 1	Fáze 3	Fáze 3	Fáze 3	Fáze 1	Fáze 2	Fáze 1	Fáze 1

5. SHRnutí

V této poslední kapitole je uvedeno několik doplňujících informací. Jedná se o doporučení autorem a případně návrh na navazující práce.

V průběhu analýzy dat se softwarem bylo nalezeno několik nedokonalostí, které stojí za zmínku v této práci. Do budoucna je autorem doporučeno tyto nedokonalosti prověřit a případně opravit.

5.1 Kontrola vyhodnocení frekvence

Ve 3 kapitole této práce bylo cílem souhrnně vyhodnotit kvalitu elektrické energie. Následně se kapitola zaměřovala na jednotlivé charakteristické parametry elektrické energie, které nesplňovaly normované požadavky.

V tab. č. 3.5 výsledky pro frekvenci neodpovídají teoretickému předpokladu. Frekvence je v analyzované oblasti globální parametr. Pakliže dojde k odchylce od nominální hodnoty, tak by se měla promítnout napříč celou analyzovanou sítí. Nikoliv pouze v některých uzlech. Dle výsledků se lze domnívat, že odchylky frekvence jsou chybně indikovány, jelikož jsou zapříčiněny napěťovými událostmi (spínacími operacemi) podobně jako v případě flikru.

Autorem práce je doporučeno tuto tabulku zkontrolovat, zdali jsou takové výsledky relevantní pro kontrolu kvality elektrické energie.

5.2 Chybná agregace P_{It}

V softwaru je možné narazit na chybu odečtu flikru P_{It} . Tuto chybu detailně popisuje obr. č. 5.1 (výstřižek ze softwaru). Velikost proměnné P_{It} je závislá na velikosti 12-ti po sobě jdoucích hodnot proměnné P_{st} , neboť na základě nich je vytvořen kubický průměr. Více viz 1.1.3 (flikr), kde je zobrazen i vztah pro výpočet kubického průměru viz vztah 1.1.

Na obr. č. 5.1 mají být žlutě zbarvené hodnoty P_{It} v celém intervalu 12-ti hodnot (2 hodin) zobrazeny vedle časového intervalu, kde se nachází překročená žlutá hodnota P_{st} . Žlutá barva naznačuje překročení normovaných požadavků, neboť flikr by neměl být vyšší než 1. Je tedy patrné, že pro kompletní analýzu jsou hodnoty P_{It} vůči P_{st} o jeden interval posunuty.

Tento fakt může mít neblahý vliv na analýzu kvality elektrické energie, proto je autorem této práce doporučeno tuto nedokonalost prověřit a případně provést opravu.

Čas	Flikr					
	Čas záznamu	Pst1	Pst2	Pst3	Plt1	Plt2
čtvrtek 15. července 2021 17:10:00	0,083	0,083	0,087	0,211	0,209	0,233
čtvrtek 15. července 2021 17:20:00	0,074	0,071	0,080	0,211	0,209	0,233
čtvrtek 15. července 2021 17:30:00	11,15	11,60	11,15	0,211	0,209	0,233
čtvrtek 15. července 2021 17:40:00	0,069	0,068	0,078	0,211	0,209	0,233
čtvrtek 15. července 2021 17:50:00	0,371	0,375	0,379	0,211	0,209	0,233
čtvrtek 15. července 2021 18:00:00	0,075	0,115	0,115	0,211	0,209	0,233
čtvrtek 15. července 2021 18:10:00	0,087	0,089	0,086	0,211	0,209	0,233
čtvrtek 15. července 2021 18:20:00	0,077	0,111	0,118	0,211	0,209	0,233
čtvrtek 15. července 2021 18:30:00	0,122	0,119	0,126	0,211	0,209	0,233
čtvrtek 15. července 2021 18:40:00	0,075	0,077	0,082	0,211	0,209	0,233
čtvrtek 15. července 2021 18:50:00	0,087	0,068	0,080	0,211	0,209	0,233
čtvrtek 15. července 2021 19:00:00	0,364	0,371	0,367	4,872	5,067	4,872
čtvrtek 15. července 2021 19:10:00	0,095	0,086	0,095	4,872	5,067	4,872
čtvrtek 15. července 2021 19:20:00	0,095	0,095	0,092	4,872	5,067	4,872
čtvrtek 15. července 2021 19:30:00	0,086	0,078	0,081	4,872	5,067	4,872
čtvrtek 15. července 2021 19:40:00	0,080	0,071	0,076	4,872	5,067	4,872
čtvrtek 15. července 2021 19:50:00	0,079	0,071	0,077	4,872	5,067	4,872
čtvrtek 15. července 2021 20:00:00	0,074	0,069	0,073	4,872	5,067	4,872
čtvrtek 15. července 2021 20:10:00	0,373	0,377	0,381	4,872	5,067	4,872
čtvrtek 15. července 2021 20:20:00	0,093	0,089	0,090	4,872	5,067	4,872
čtvrtek 15. července 2021 20:30:00	0,071	0,066	0,067	4,872	5,067	4,872
čtvrtek 15. července 2021 20:40:00	0,068	0,059	0,064	4,872	5,067	4,872
čtvrtek 15. července 2021 20:50:00	0,366	0,373	0,380	4,872	5,067	4,872
čtvrtek 15. července 2021 21:00:00	0,079	0,119	0,124	0,207	0,210	0,214

Obrázek 5.1 Detailní zobrazení chybného odečtu P_{lt}

5.1 Návrh na navazující práci

Nejproblématictější věc v této práci je jednoznačně fakt, že je prováděna analýza vstupních dat bez znalosti širšího kontextu. Vstupní data jsou ovlivněna poruchami a manipulací distributora. Tyto data se následně mohou jevit jako nekvalita elektrické energie v důsledku nárazového odběru.

Je důležité se zamyslet nad odstraňováním dat z měření kvality elektrické energie v oblastech, které jsou postiženy manipulací, či poruchou. Např. s pomocí dat z dispečerského deníku, který obsahuje informace o manipulacích a poruchách, by bylo vyhodnocení dat přesnější a více vypovídající o skutečné kvalitě elektrické energie v analyzované síti.

Cílem další práce by mohl být například návrh metodiky na odstraňování dat, která nejsou validní. Kvalitoměry standardně nemají prostředky k tomu, aby korektně zahazovaly agregační intervaly, které jsou ovlivněny poruchovou událostí nebo spínací operací a proto by měl tento krok proběhnout až v následném vyhodnocení dat.

6. ZÁVĚR

Předmětem této práce byla analýza dat z dlouhodobého měření kvality elektrické energie v intervalu od 7.12.2020 do 26.7.2021 v analyzované oblasti, která je vyobrazena na obr. č. 3.1.

Na základě kapitoly č. 3 (souhrnné vyhodnocení kvality elektrické energie) bylo zjištěno, že u některých charakteristických parametrů elektrické energie byly překročeny normované limity, které jsou blíže popsány v kapitole č. 1. Souhrnný přehled nejdůležitějších informací pro stanovení kvality elektrické energie pro charakteristické parametry, jako například měřicí okno, agregační interval či limity stanovené normou ČSN 50160 [1] je přehledně uveden v tabulce číslo 1.4.

Ze souhrnného vyhodnocení kvality elektrické energie v kapitole 3 vyplývá, že napětí a frekvence s percentilem 100 % nevyhovují normovaným požadavkům. Dále nevyhovuje flickr s percentilem 95 %. Ve třetí kapitole jsou uvedeny tabulky, které poskytují informace o tom, kdy k nadlimitním událostem došlo a s jak velkou procentuální odchylkou od nominální hodnoty.

Flickr byl vybrán k detailní analýze v kapitole č. 4, kde byla data ošetřena od výpadků napětí a chyb záznamů kvalitoměrů, které mají velký vliv na vyhodnocení kvality elektrické energie (více viz 4.1.4). Tato kapitola popisuje chronologický postup při analýze vybraného charakteristického parametru, tedy flickru.

Bylo zjištěno, že příčiny nekvality elektrické energie jsou globální a nachází se s nejvyšší pravděpodobností mimo analyzovanou oblast. Pokles napětí, který způsobil vysoký nadlimitní flickr byl nejspíše vyvolán poruchou, či manipulací v napěťové hladině VN nebo napájecí rozvodně. Podrobně rozebráno viz 4.1.3.

U jedné globální události (viz 4.1.3, tab. č. 4.5, 10 událost) byl úspěšně nalezen klíčový jev pro tuto práci. Na některých uzlech došlo ke zvýšenému flickru a na základě toho byla určena oblast, kde se pravděpodobně nachází příčina zvýšeného flickru. Konkrétně je místo vyobrazeno čárkovaným kroužkem se symbolem blesku na obr. č. 4.3.

V poslední řadě bylo v kapitole č. 5 vytknuto několik poznatků k použitému SW a analyzátoru kvality. Vyhodnocení frekvence neodpovídá teoretickému předpokladu (viz 5.1). Kubický průměr pro charakteristický parametr P_{It} , je o jeden agregační interval posunut (viz 5.2).

LITERATURA

- [1] ČSN EN 50160 ED.3 (330122). *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. 02/2011. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [2] ČSN EN 61000-4-30 ED.3 (333432). *Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Část 4-30: Zkušební a měřicí technika - Metody měření kvality energie*. 08/2017. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [3] PNE 33 3430-3. *Parametry kvality elektrické energie: Nesymetrie a změny kmitočtu napětí*. Část 3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [4] Nesymetrie napětí v distribuční soustavě. In: *Elektroprumysl.cz* [online]. 2016 [cit. 2022-10-25]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/energetika/nesymetrie-napeti-v-distribucni-soustave>
- [5] DRÁPELA, Jiří. Harmonické #1 Co to jsou harmonické frekvence. In: *ProfiElektrika.cz* [online]. [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/harmonicke>
- [6] ŠŤASTNÝ, Vítězslav a Verlag DASHÖFER. Parametry kvality elektrické energie - harmonické a mezipharmonické. In: *Energetikainfo.cz* [online]. 2010 [cit. 2022-10-25]. Dostupné z: <https://www.energetikainfo.cz/33/parametry-kvality-elektricke-energie-harmonicke-a-mezipharmonicke-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EIDzobldhBp5Le-IFXsami9rJfTGJxQrnQ/>
- [7] ČSN EN 50160 ED.3 (330122), ZMĚNA A2 (509632). *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. 03.2020. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [8] MAJLING, Eduard. HDO – smart grid fungující již půl století. In: *Oenergetice* [online]. 2015 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/hdo-smart-grid-fungujici-jiz-pul-stoleti>
- [9] ČSN EN 61000-4-7 ED.2 (333432). *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-7: Zkušební a měřicí technika - Všeobecná směrnice o měření a měřicích přístrojích harmonických a mezipharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich*. 07/2003. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003.

- [10] Řízení kvality elektrické energie. In: *LBG Moravia* [online]. [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://www.lbgmoravia.cz/technologie/rizeni-kvality-elektricke-energie/>

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - PŘEHLED POSTUPŮ MĚŘENÍ A NEJISTOT KVALITOMĚRŮ TŘÍDY A/S	54
PŘÍLOHA B - UKÁZKA TABULKY BEZ KOREKCE SLEDU FÁZÍ.....	55
PŘÍLOHA C - SOUHRN NAPĚŤOVÝCH UDÁLOSTÍ PRO JEDNOTLIVÉ UZLY	56
PŘÍLOHA D - SOUHRNNÉ VYHODNOCENÍ VÝKONOVÝCH TOKŮ	60
PŘÍLOHA E - OVĚŘENÍ KOMPLETNOSTI POŘÍZENÝCH ZÁZNAMŮ KVALITOMĚRŮ A CHARAKTERISTIKA ULOŽENÝCH PARAMETRŮ	73

Příloha A - Přehled postupů měření a nejistot kvalitometrů třídy A/S

Tabulka 6.1 Přehled postupů měření a nejistot kvalitometrů třídy A/S

Parametr	Třída	Postup měření	Nejistota
Kmitočet	A	ČSN EN 61000-4-30 ed. 3 (5.1.1)	±10mHz
	S		±50mHz
Velikost napětí	A	ČSN EN 61000-4-30 ed. 3 (5.2.1)	±0,1 % U_{DIN}
	S		±0,5 % U_{DIN}
Flikr	A	IEC61000-4-15	IEC61000-4-15
	S		IEC61000-4-16
Krátkodobé poklesy a	A	ČSN EN 61000-4-30 ed. 3 (5.4.1)	Amplituda ±0,2 % U_{DIN}
	S		AM ±1 % U_{DIN} doba
Přerušení	A	URMS(1/2)	Doba trvání ±1 perioda
	S	5.5.1	Doba trvání ±1 perioda
Nesymetrie	A	ČSN EN 61000-4-30 ed. 3 (5.7.1)	±0,15 %
	S		±0,3 %
Harmonické napětí	A	ČSN EN 61000-4-30 ed. 3 (5.8.1)	± 5% U_m (61000-4-7)
	S		± 5% U_m (61000-4-7)
Meziharmonické napětí	A	ČSN EN 61000-4-30 ed. 3 (5.9.1)	ČSN EN 61000-4-7
	S		Výrobce
Napětí síťových signálů	A	ČSN EN 61000-4-30 ed. 3 (5.10.1)	3 % - 15 % U_{din} = ±5 %
	S		Výrobce
Rychlá změna napětí	A	ČSN EN 61000-4-30 ed. 3 (5.11.2-3)	ČSN EN 61000-4-30 ed. 3 (5.11.4)
	S		
Proud	A	ČSN EN 61000-4-30 ed. 3 (5.13.2.1)	± 1 %
	S		± 2 %
Emise	A	ČSN EN 61000-4-30 ed. 3 (C.2)	Teprve se připravuje
	S		Teprve se připravuje
Přechodná napětí	A	ČSN EN 61000-4-30 ed. 3 (A.4)	
	S		
Rychlé přechodné	A	ČSN EN 61000-4-30 ed. 3 (A.4)	
	S		

Příloha B - Ukázka tabulky bez korekce sledu fází

Tabulka 6.2 Tabulka 4.5 bez korekce sledu fází

Ud.	Čas	Fáze	Uzel 1	Uzel 2	Uzel 3	Uzel 4	Uzel 5	Uzel 6	Uzel 7	Uzel 8	Uzel 9	Uzel 10	Uzel 11	Uzel 12	Uzel 13	Uzel 14
1	01.02.2021 15:00	Pst1	3,25	13,40	3,28	13,16	13,42	6,21	13,40	3,25	3,38	3,29	13,47	6,23	13,42	13,25
		Pst2	13,60	6,23	13,47	6,09	6,21	3,25	6,23	13,42	13,27	13,47	6,21	3,32	6,23	6,36
		Pst3	6,15	3,29	6,21	3,29	3,25	13,47	3,29	6,21	6,30	6,23	3,31	13,40	3,28	3,55
2	05.03.2021 6:50	Pst1	4,75	1,05	4,80	1,08	1,06	9,26	1,05	4,75	4,77	4,77	1,04	9,26	1,04	1,08
		Pst2	1,03	9,26	1,03	9,17	9,23	4,80	9,26	1,05	1,08	1,04	9,29	4,77	9,35	9,35
		Pst3	9,35	4,77	9,26	4,65	4,71	1,06	4,77	9,26	9,23	9,26	4,75	1,04	4,77	4,80
3	25.04.2021 5:40	Pst1	3,65	0,36	3,65	0,35	0,33	3,00	0,36	3,58	3,58	3,44	0,34	3,06	0,34	0,36
		Pst2	0,32	3,00	0,33	3,00	3,06	3,58	3,00	0,33	0,36	0,60	3,00	3,65	3,06	3,00
		Pst3	3,06	3,58	3,06	3,58	3,65	0,36	3,58	3,00	3,00	3,00	3,58	0,34	3,58	3,51
4	09.06.2021 5:20	Pst1	2,88	3,44	2,83	3,31	3,44	0,29	3,44	2,83	2,77	2,77	3,44	0,32	3,44	3,37
		Pst2	3,51	0,30	3,44	0,32	0,29	2,83	0,30	3,44	3,37	3,37	0,29	2,77	0,30	0,29
		Pst3	0,27	2,77	0,29	2,72	2,77	3,44	2,77	0,29	0,32	0,30	2,83	3,37	2,83	2,77
5	13.06.2021 7:30	Pst1	5,73	5,84	5,73	5,61	5,84	1,21	5,84	5,73	5,84	5,73	5,84	1,24	5,84	5,84
		Pst2	5,84	1,23	5,73	1,20	1,21	5,73	1,23	5,73	5,73	5,84	1,23	5,84	1,23	1,23
		Pst3	1,22	5,84	1,21	5,62	5,84	5,73	5,84	1,23	1,21	1,23	5,73	5,84	5,84	5,73
6	14.06.2021 11:40	Pst1	3,61	5,40	3,51	5,30	5,40	4,80	5,40	3,56	3,54	3,56	5,40	4,71	5,51	5,40
		Pst2	5,51	4,74	5,45	4,62	4,76	3,56	4,74	5,45	5,40	5,40	4,80	3,58	4,76	4,77
		Pst3	4,83	3,51	4,73	3,51	3,58	5,40	3,51	4,80	4,74	4,80	3,56	5,51	3,58	3,54
7	23.06.2021 5:10	Pst1	0,35	3,00	0,36	2,91	3,00	3,44	3,00	0,37	0,37	0,37	2,97	3,40	3,00	3,00
		Pst2	3,06	3,44	3,00	3,31	3,44	0,36	3,44	3,00	2,98	3,00	3,44	0,40	3,43	3,42
		Pst3	3,48	0,37	3,44	0,37	0,37	2,98	0,37	3,44	3,44	3,42	0,37	3,00	0,36	0,36
8	23.06.2021 23:40	Pst1	8,05	8,21	8,00	7,98	8,13	10,02	8,21	8,05	7,95	7,97	8,19	10,12	8,14	8,19
		Pst2	8,22	10,12	8,21	9,82	9,85	8,03	10,12	8,20	8,19	8,19	10,03	8,03	9,96	10,09
		Pst3	10,03	8,00	10,12	7,76	7,97	8,21	8,00	9,93	10,02	10,03	7,97	8,21	8,00	7,97
9	24.06.2021 22:50	Pst1	0,46	4,62	0,47	4,62	4,62	5,09	4,62	0,48	0,49	0,48	4,62	4,99	4,53	4,62
		Pst2	4,62	4,99	4,53	4,80	5,09	0,47	4,99	4,71	4,62	4,62	5,09	0,52	4,99	5,09
		Pst3	4,99	0,49	4,99	0,51	0,47	4,62	0,49	4,99	5,09	5,09	0,48	4,71	0,48	0,49
10	15.07.2021 17:30	Pst1	7,68	11,60	8,81	8,64	8,81	9,17	11,60	8,99	11,37	11,15	11,49	11,15	11,60	11,30
		Pst2	7,39	11,15	8,81	9,35	9,35	8,81	11,15	8,81	11,26	11,60	11,15	11,37	11,15	11,23
		Pst3	7,84	11,23	9,17	8,64	8,99	8,81	11,23	9,35	10,94	11,15	11,37	11,37	11,26	11,15

Příloha C - Souhrn napět'ových událostí pro jednotlivé uzly

Tabulka 6.3 Souhrnná tabulka napět'ových událostí pro uzel 1

Přepětí									
Limity	10ms ≤ t _i < 100ms	100ms ≤ t _i < 200ms	200ms ≤ t _i < 500ms	500ms ≤ t _i < 1s	1s ≤ t _i < 3s	3s ≤ t _i < 20s	20s ≤ t _i < 1min	1min ≤ t _i < 3min	t _i ≥ 3min
u _{zi} > 200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160 < u _{zi} ≤ 200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140 < u _{zi} ≤ 160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120 < u _{zi} ≤ 140	0	0	0	0	0	0	0	0	0
115 < u _{zi} ≤ 120	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Podpětí									
Limity	10ms ≤ t _i < 100ms	100ms ≤ t _i < 200ms	200ms ≤ t _i < 500ms	500ms ≤ t _i < 1s	1s ≤ t _i < 3s	3s ≤ t _i < 20s	20s ≤ t _i < 1min	1min ≤ t _i < 3min	t _i ≥ 3min
85 ≤ u _{zb} < 90	5	0	0	0	0	0	0	0	0
70 ≤ u _{zb} < 85	12	2	0	0	0	0	0	0	0
40 ≤ u _{zb} < 70	15	7	0	0	0	0	0	0	0
5 ≤ u _{zb} < 40	1	0	0	0	0	0	0	0	0
u _{zb} < 5	1	0	0	1	1	0	0	6	2

Tabulka 6.4 Souhrnná tabulka napět'ových událostí pro uzel 2

Přepětí									
Limity	10ms ≤ t _i < 100ms	100ms ≤ t _i < 200ms	200ms ≤ t _i < 500ms	500ms ≤ t _i < 1s	1s ≤ t _i < 3s	3s ≤ t _i < 20s	20s ≤ t _i < 1min	1min ≤ t _i < 3min	t _i ≥ 3min
u _{zi} > 200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160 < u _{zi} ≤ 200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140 < u _{zi} ≤ 160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120 < u _{zi} ≤ 140	1	0	0	0	0	0	0	0	0
115 < u _{zi} ≤ 120	24	0	0	0	0	0	0	0	0
Podpětí									
Limity	10ms ≤ t _i < 100ms	100ms ≤ t _i < 200ms	200ms ≤ t _i < 500ms	500ms ≤ t _i < 1s	1s ≤ t _i < 3s	3s ≤ t _i < 20s	20s ≤ t _i < 1min	1min ≤ t _i < 3min	t _i ≥ 3min
85 ≤ u _{zb} < 90	3	0	0	0	0	0	0	0	0
70 ≤ u _{zb} < 85	13	2	0	0	0	0	0	0	0
40 ≤ u _{zb} < 70	12	6	0	0	0	0	0	0	0
5 ≤ u _{zb} < 40	1	3	0	0	0	0	0	0	0
u _{zb} < 5	0	0	0	1	1	0	2	6	8

Tabulka 6.5 Souhrnná tabulka napět'ových událostí pro uzel 3

Přepětí									
Limity	10ms ≤ t _i < 100ms	100ms ≤ t _i < 200ms	200ms ≤ t _i < 500ms	500ms ≤ t _i < 1s	1s ≤ t _i < 3s	3s ≤ t _i < 20s	20s ≤ t _i < 1min	1min ≤ t _i < 3min	t _i ≥ 3min
u _{zi} > 200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160 < u _{zi} ≤ 200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140 < u _{zi} ≤ 160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120 < u _{zi} ≤ 140	1	0	0	0	0	0	0	0	0
115 < u _{zi} ≤ 120	20	0	0	0	0	0	0	0	0
Podpětí									
Limity	10ms ≤ t _i < 100ms	100ms ≤ t _i < 200ms	200ms ≤ t _i < 500ms	500ms ≤ t _i < 1s	1s ≤ t _i < 3s	3s ≤ t _i < 20s	20s ≤ t _i < 1min	1min ≤ t _i < 3min	t _i ≥ 3min
85 ≤ u _{zb} < 90	3	0	0	0	0	0	0	0	0
70 ≤ u _{zb} < 85	12	2	0	0	0	0	0	0	0
40 ≤ u _{zb} < 70	13	3	0	0	0	0	0	0	0
5 ≤ u _{zb} < 40	3	3	0	0	0	0	0	0	0
u _{zb} < 5	0	0	0	1	1	0	0	6	8

Tabulka 6.10 Souhrnná tabulka napěťových událostí pro uzel 8

Limity	$10\text{ms} \leq t_1 < 100\text{ms}$	$100\text{ms} \leq t_1 < 200\text{ms}$	$200\text{ms} \leq t_1 < 500\text{ms}$	$500\text{ms} \leq t_1 < 1\text{s}$	$1\text{s} \leq t_1 < 3\text{s}$	$3\text{s} \leq t_1 < 20\text{s}$	$20\text{s} \leq t_1 < 1\text{min}$	$1\text{min} \leq t_1 < 3\text{min}$	$t_1 \geq 3\text{min}$
$u_{z1} > 200$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$160 < u_{z1} \leq 200$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$140 < u_{z1} \leq 160$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$120 < u_{z1} \leq 140$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$115 < u_{z1} \leq 120$	19	0	0	0	0	0	0	0	0
Podpětí									
Limity	$10\text{ms} \leq t_1 < 100\text{ms}$	$100\text{ms} \leq t_1 < 200\text{ms}$	$200\text{ms} \leq t_1 < 500\text{ms}$	$500\text{ms} \leq t_1 < 1\text{s}$	$1\text{s} \leq t_1 < 3\text{s}$	$3\text{s} \leq t_1 < 20\text{s}$	$20\text{s} \leq t_1 < 1\text{min}$	$1\text{min} \leq t_1 < 3\text{min}$	$t_1 \geq 3\text{min}$
$85 \leq u_{zb} < 90$	4	0	0	0	0	0	0	0	0
$70 \leq u_{zb} < 85$	11	2	0	0	0	0	0	0	0
$40 \leq u_{zb} < 70$	12	4	0	0	0	0	0	0	0
$5 \leq u_{zb} < 40$	4	2	0	0	0	0	0	0	0
$u_{zb} < 5$	0	0	0	1	1	0	0	8	2

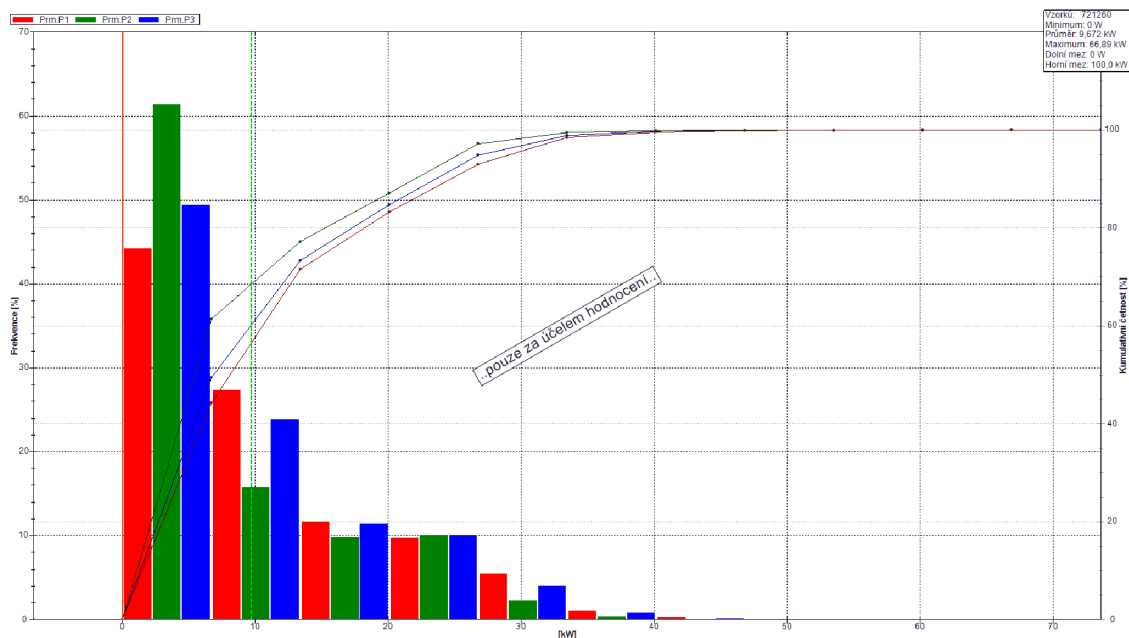
Tabulka 6.11 Souhrnná tabulka napěťových událostí pro uzel 9

Přepětí									
Limity	$10\text{ms} \leq t_1 < 100\text{ms}$	$100\text{ms} \leq t_1 < 200\text{ms}$	$200\text{ms} \leq t_1 < 500\text{ms}$	$500\text{ms} \leq t_1 < 1\text{s}$	$1\text{s} \leq t_1 < 3\text{s}$	$3\text{s} \leq t_1 < 20\text{s}$	$20\text{s} \leq t_1 < 1\text{min}$	$1\text{min} \leq t_1 < 3\text{min}$	$t_1 \geq 3\text{min}$
$u_{z1} > 200$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$160 < u_{z1} \leq 200$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$140 < u_{z1} \leq 160$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$120 < u_{z1} \leq 140$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$115 < u_{z1} \leq 120$	21	0	0	0	0	0	0	0	0
Podpětí									
Limity	$10\text{ms} \leq t_1 < 100\text{ms}$	$100\text{ms} \leq t_1 < 200\text{ms}$	$200\text{ms} \leq t_1 < 500\text{ms}$	$500\text{ms} \leq t_1 < 1\text{s}$	$1\text{s} \leq t_1 < 3\text{s}$	$3\text{s} \leq t_1 < 20\text{s}$	$20\text{s} \leq t_1 < 1\text{min}$	$1\text{min} \leq t_1 < 3\text{min}$	$t_1 \geq 3\text{min}$
$85 \leq u_{zb} < 90$	5	0	0	0	0	0	0	0	0
$70 \leq u_{zb} < 85$	10	2	0	0	0	0	0	0	0
$40 \leq u_{zb} < 70$	13	1	0	0	0	0	0	0	0
$5 \leq u_{zb} < 40$	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$u_{zb} < 5$	0	0	2	2	1	0	0	11	6

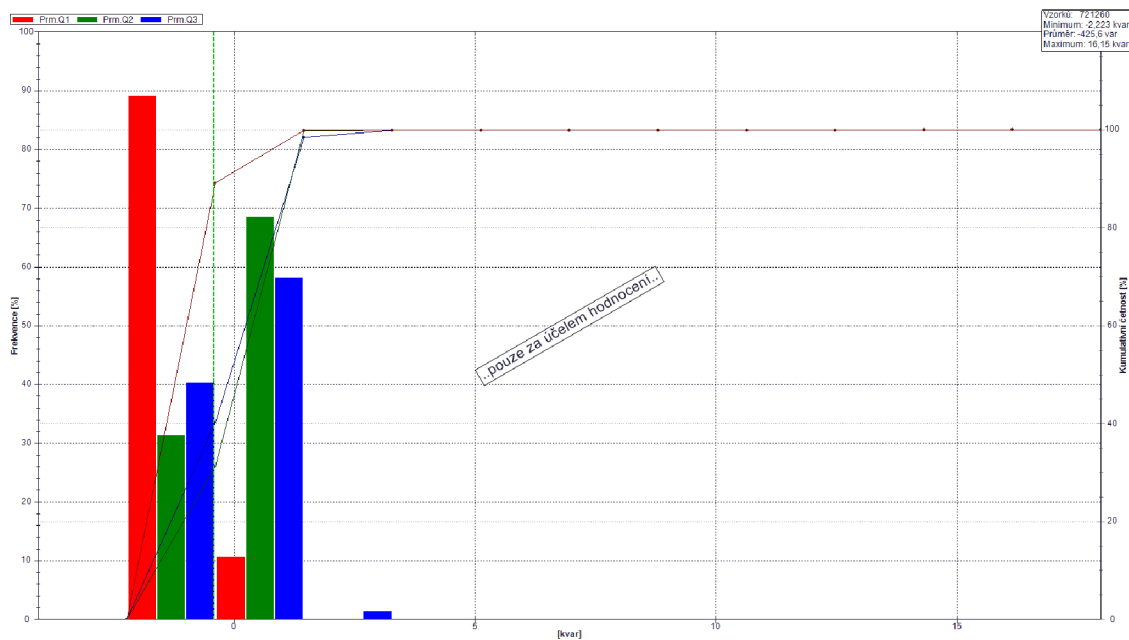
Tabulka 6.12 Souhrnná tabulka napěťových událostí pro uzel 10

Přepětí									
Limity	$10\text{ms} \leq t_1 < 100\text{ms}$	$100\text{ms} \leq t_1 < 200\text{ms}$	$200\text{ms} \leq t_1 < 500\text{ms}$	$500\text{ms} \leq t_1 < 1\text{s}$	$1\text{s} \leq t_1 < 3\text{s}$	$3\text{s} \leq t_1 < 20\text{s}$	$20\text{s} \leq t_1 < 1\text{min}$	$1\text{min} \leq t_1 < 3\text{min}$	$t_1 \geq 3\text{min}$
$u_{z1} > 200$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$160 < u_{z1} \leq 200$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$140 < u_{z1} \leq 160$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$120 < u_{z1} \leq 140$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$115 < u_{z1} \leq 120$	24	0	0	0	0	0	0	0	0
Podpětí									
Limity	$10\text{ms} \leq t_1 < 100\text{ms}$	$100\text{ms} \leq t_1 < 200\text{ms}$	$200\text{ms} \leq t_1 < 500\text{ms}$	$500\text{ms} \leq t_1 < 1\text{s}$	$1\text{s} \leq t_1 < 3\text{s}$	$3\text{s} \leq t_1 < 20\text{s}$	$20\text{s} \leq t_1 < 1\text{min}$	$1\text{min} \leq t_1 < 3\text{min}$	$t_1 \geq 3\text{min}$
$85 \leq u_{zb} < 90$	5	0	0	0	0	0	0	0	0
$70 \leq u_{zb} < 85$	11	2	0	0	0	0	0	0	0
$40 \leq u_{zb} < 70$	12	1	0	0	0	0	0	0	0
$5 \leq u_{zb} < 40$	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$u_{zb} < 5$	0	0	2	2	1	0	8	11	4

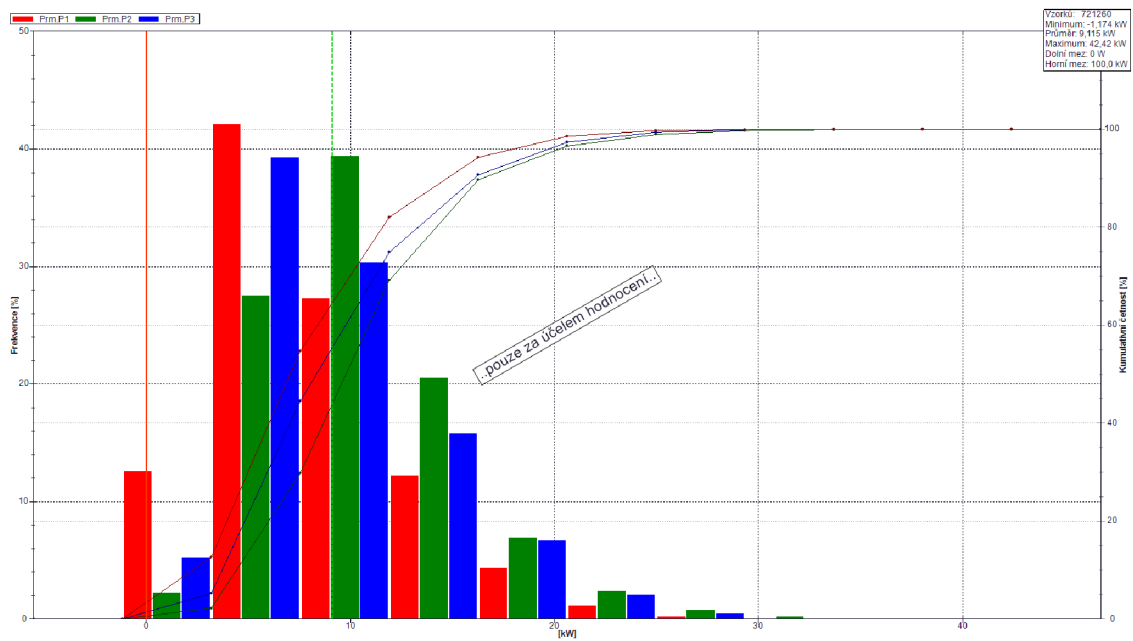
Příloha D - Souhrnné vyhodnocení výkonových toků



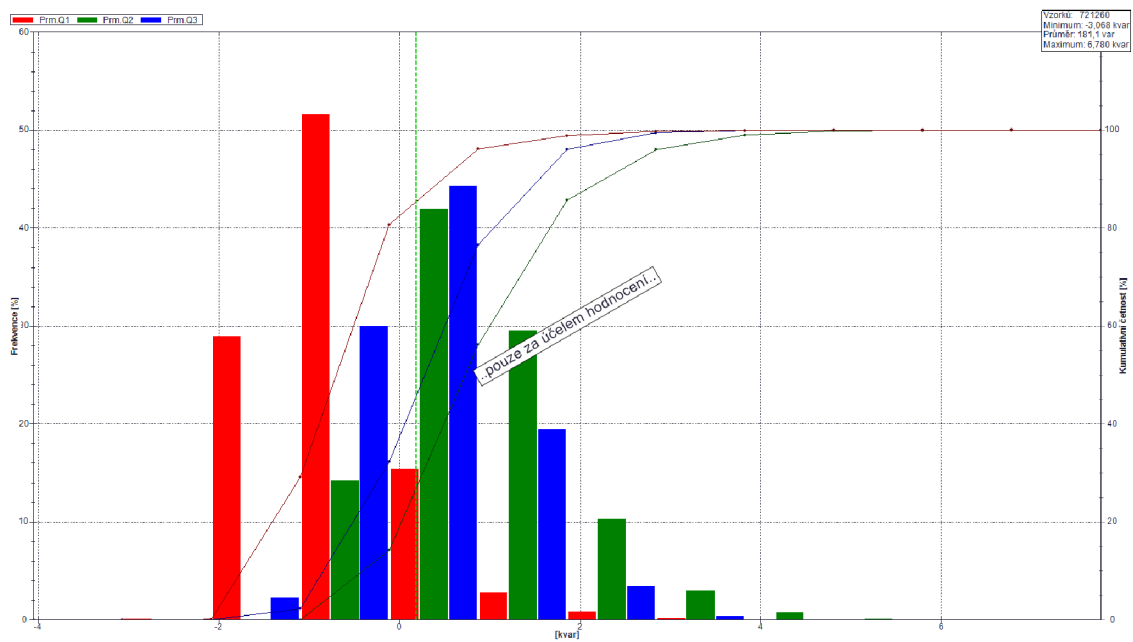
Obrázek 6.1 Histogram činného výkonu pro uzel č. 2



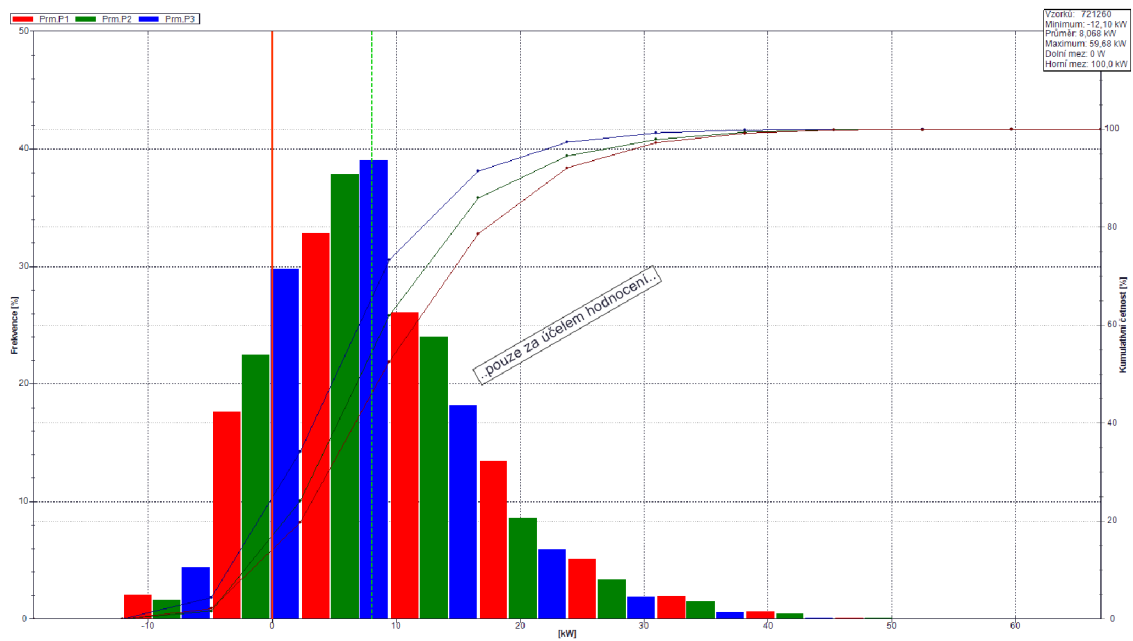
Obrázek 6.2 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 2



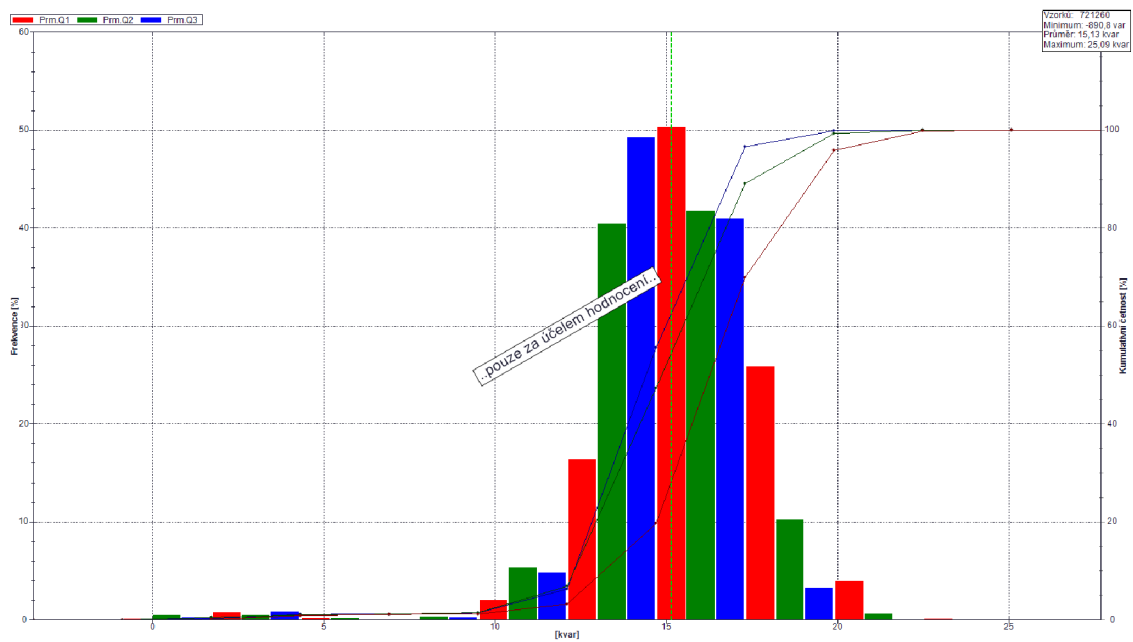
Obrázek 6.3 Histogram činného výkonu pro uzel č. 3



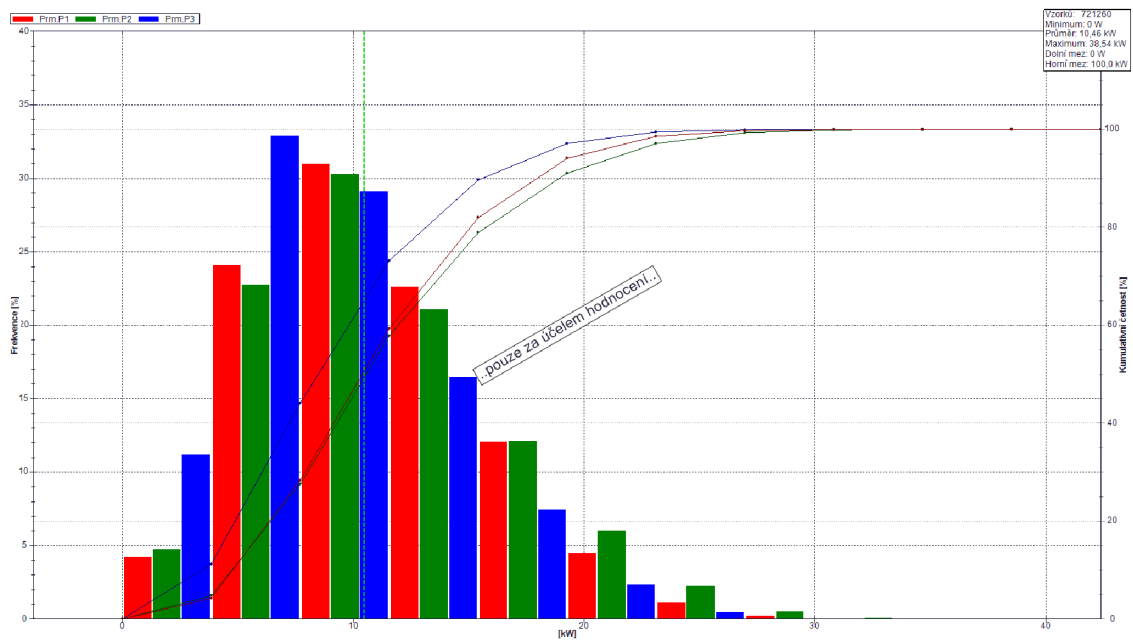
Obrázek 6.4 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 3



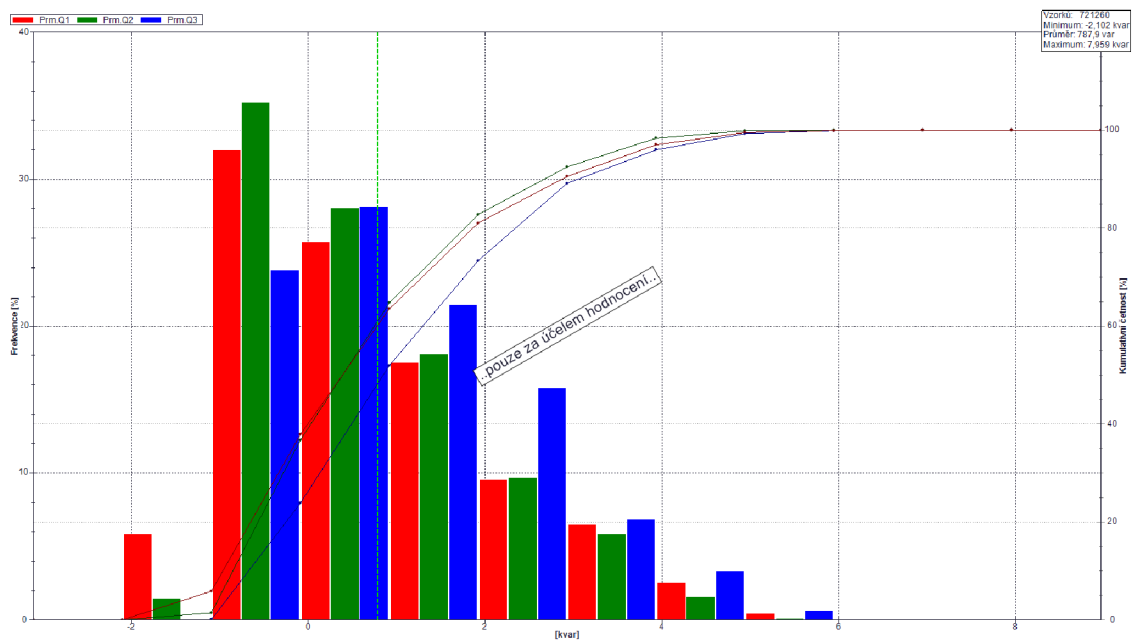
Obrázek 6.5 Histogram činného výkonu pro uzel č. 4



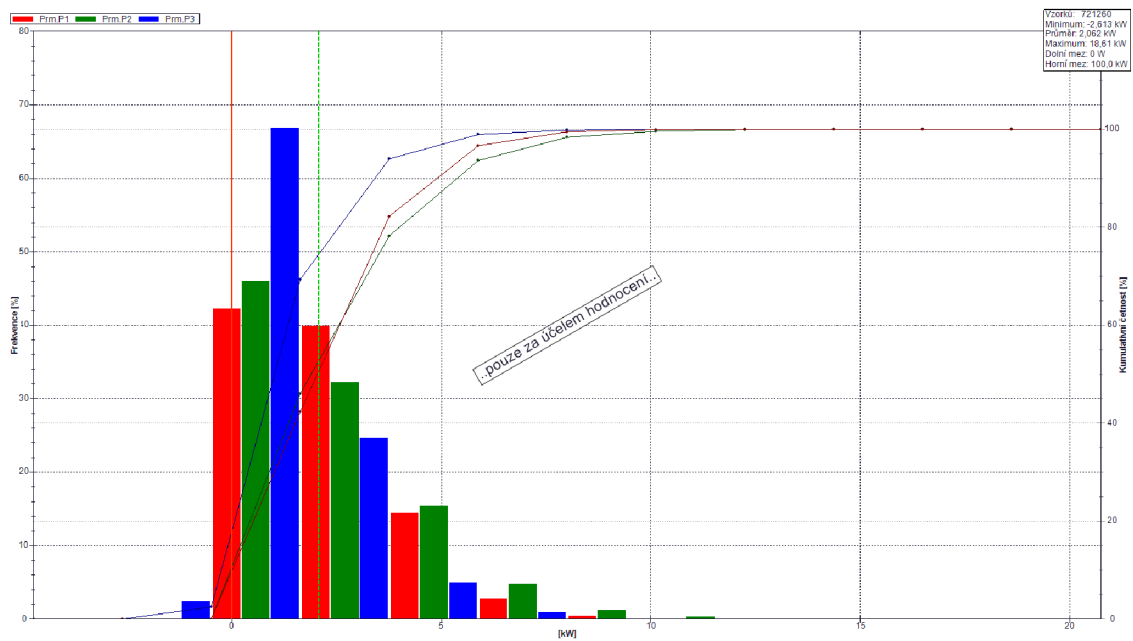
Obrázek 6.6 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 4



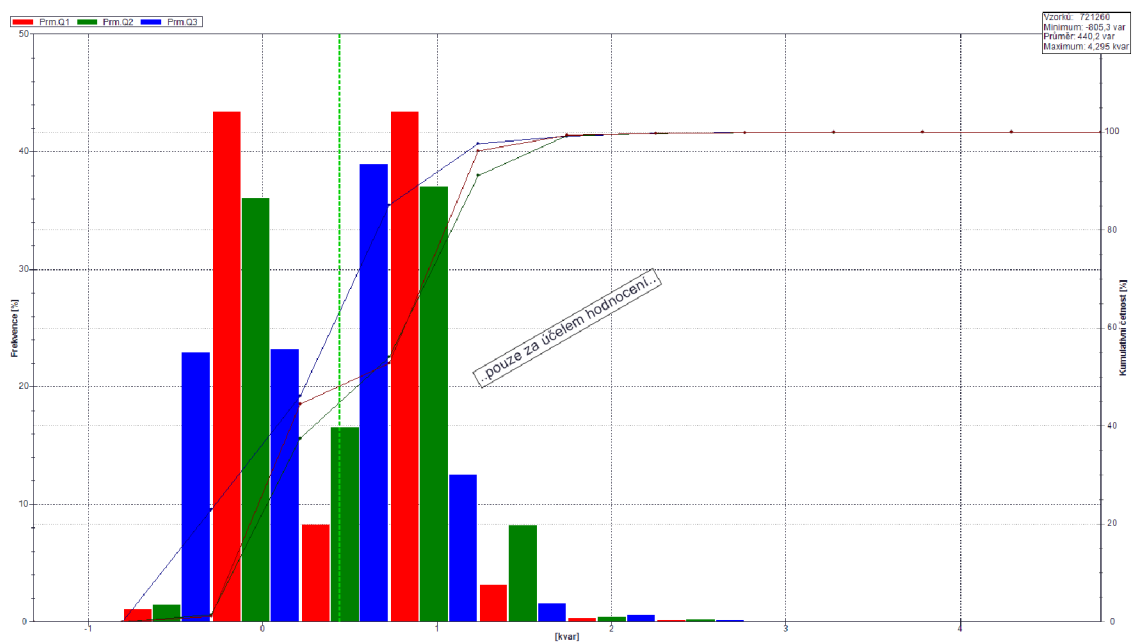
Obrázek 6.7 Histogram činného výkonu pro uzel č. 5



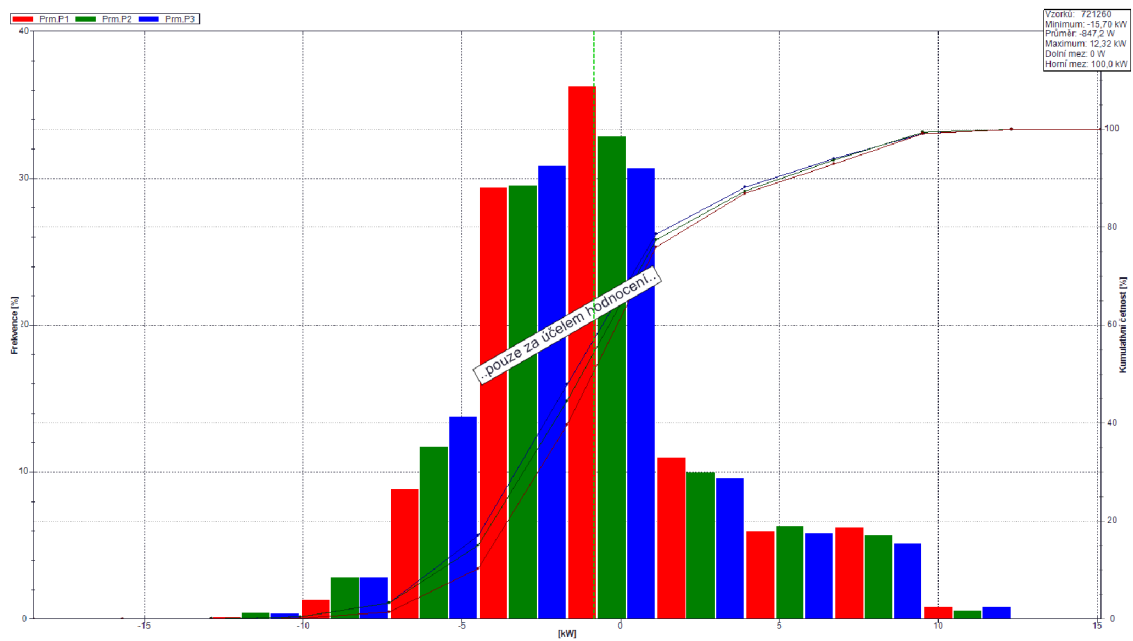
Obrázek 6.8 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 5



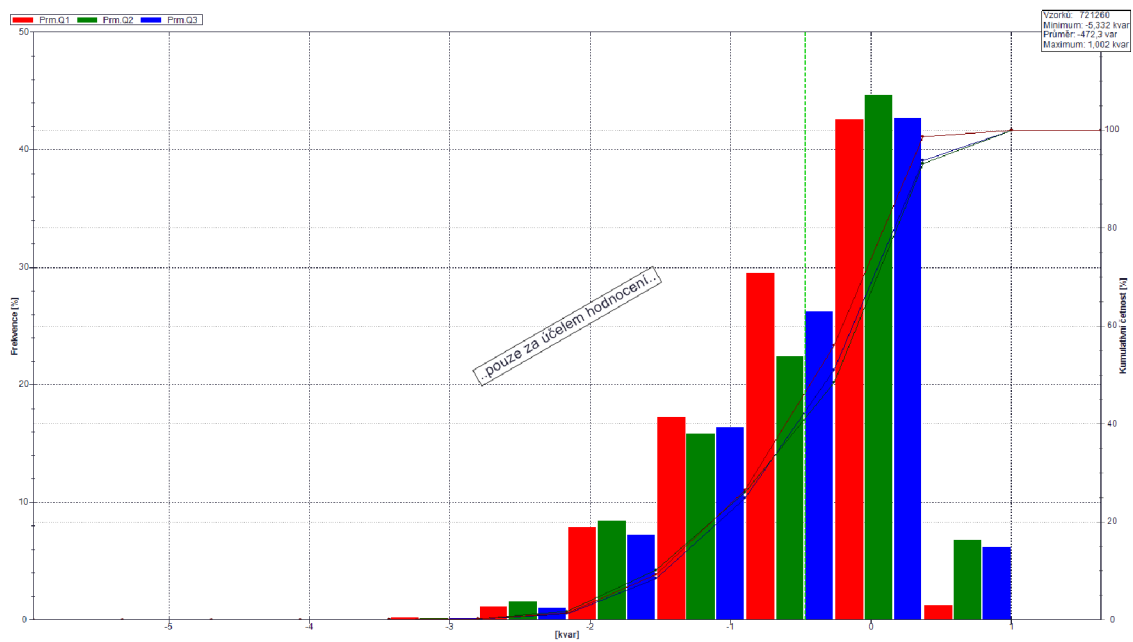
Obrázek 6.9 Histogram činného výkonu pro uzel č. 6



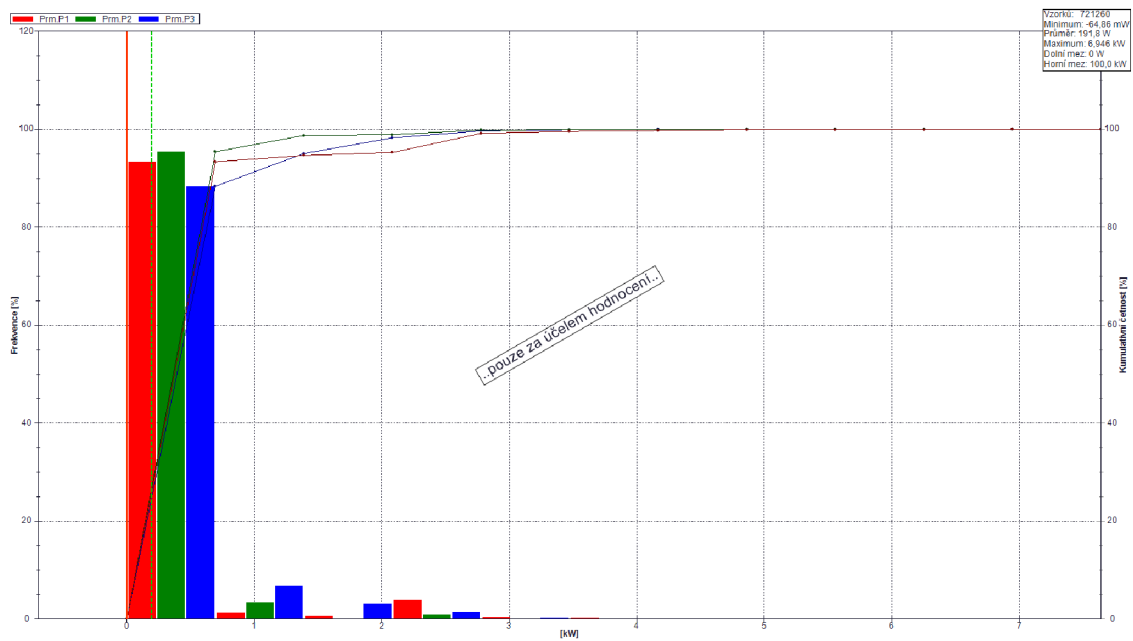
Obrázek 6.10 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 6



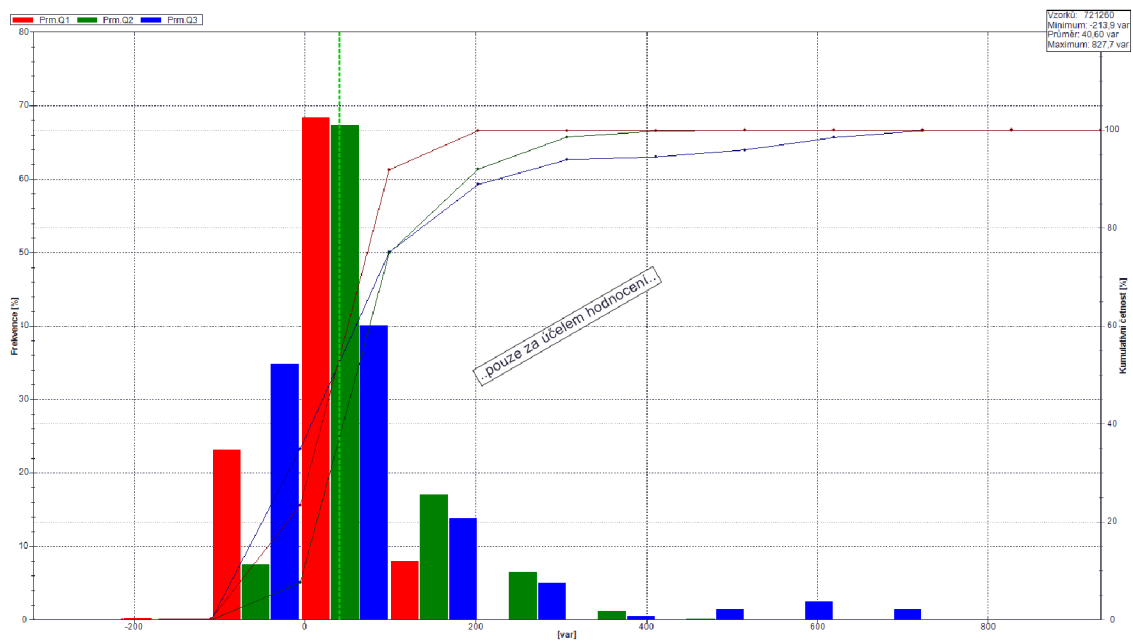
Obrázek 6.11 Histogram činného výkonu pro uzel č. 7



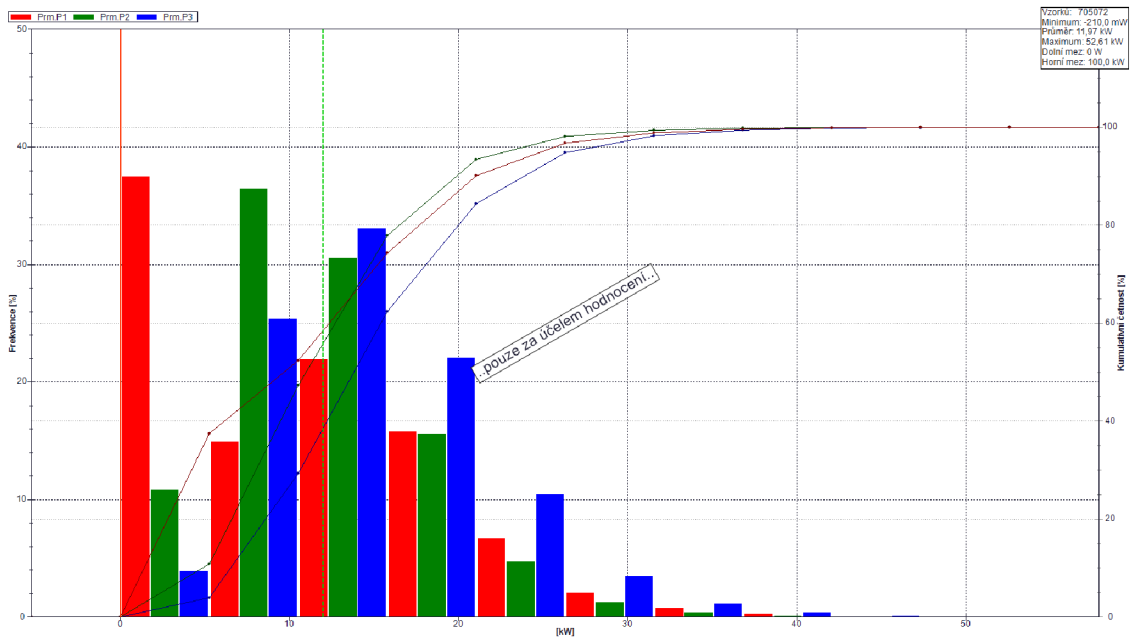
Obrázek 6.12 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 7



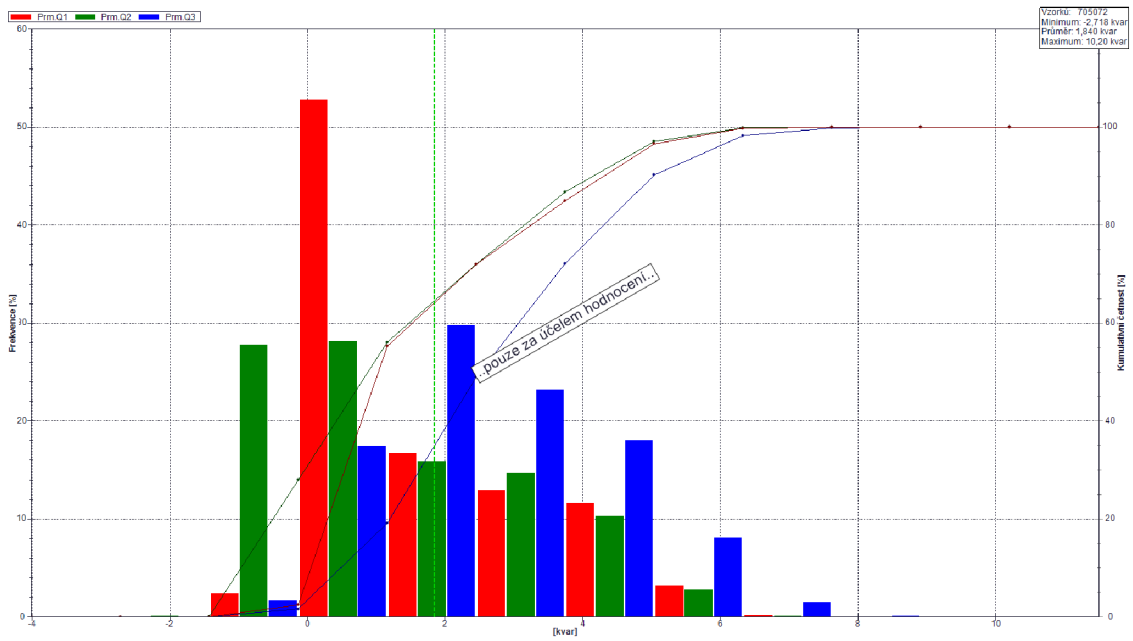
Obrázek 6.13 Histogram činného výkonu pro uzel č. 8



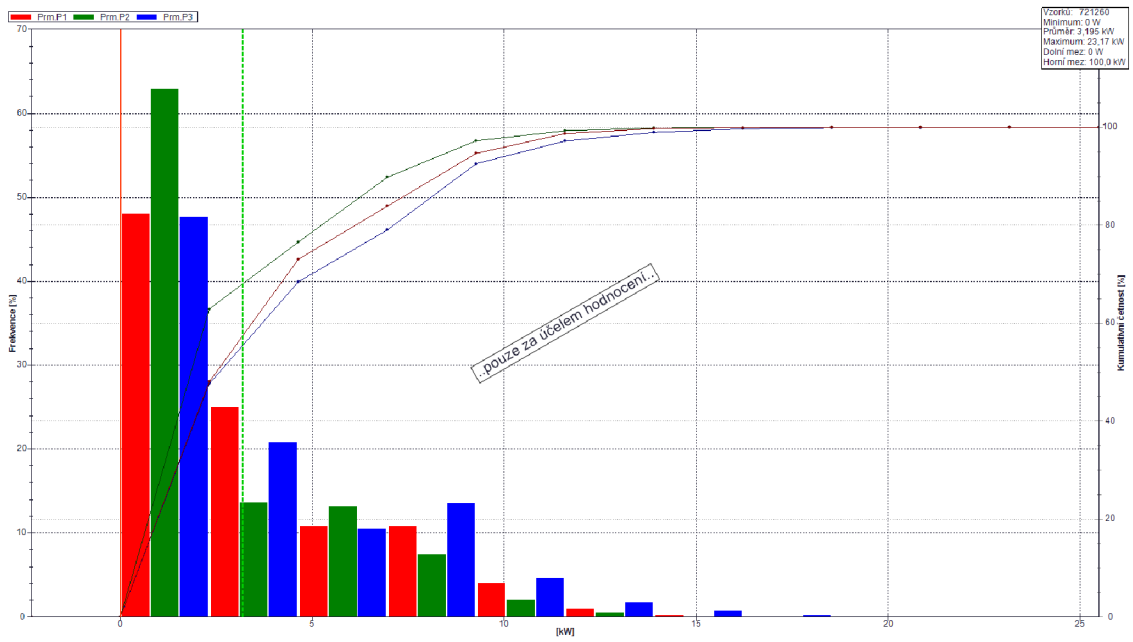
Obrázek 6.14 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 8



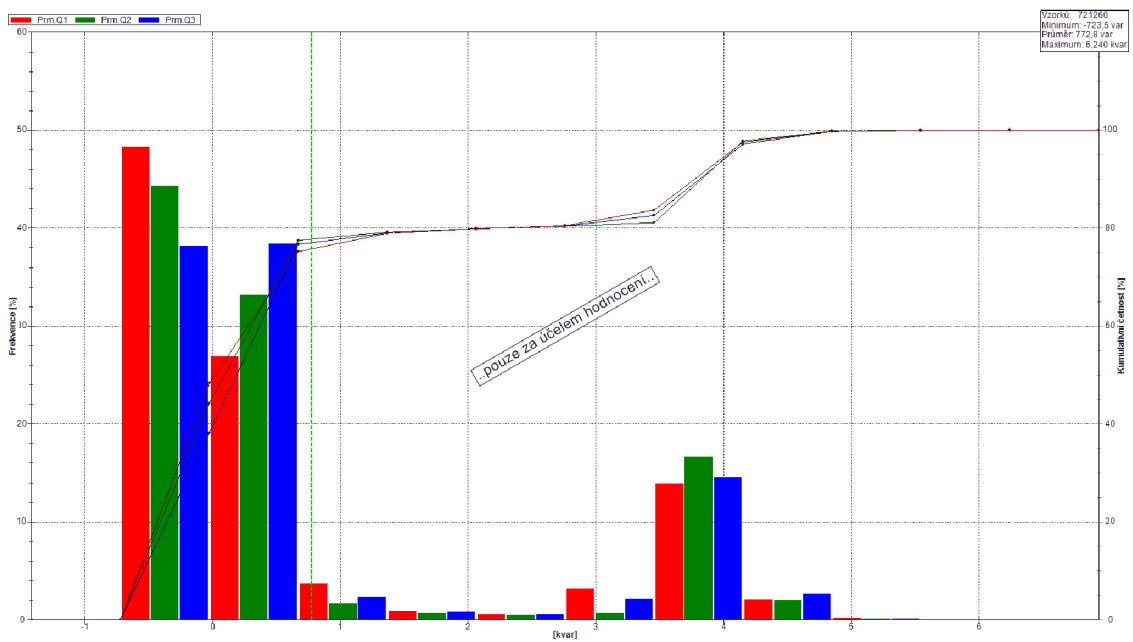
Obrázek 6.15 Histogram činného výkonu pro uzel č. 9



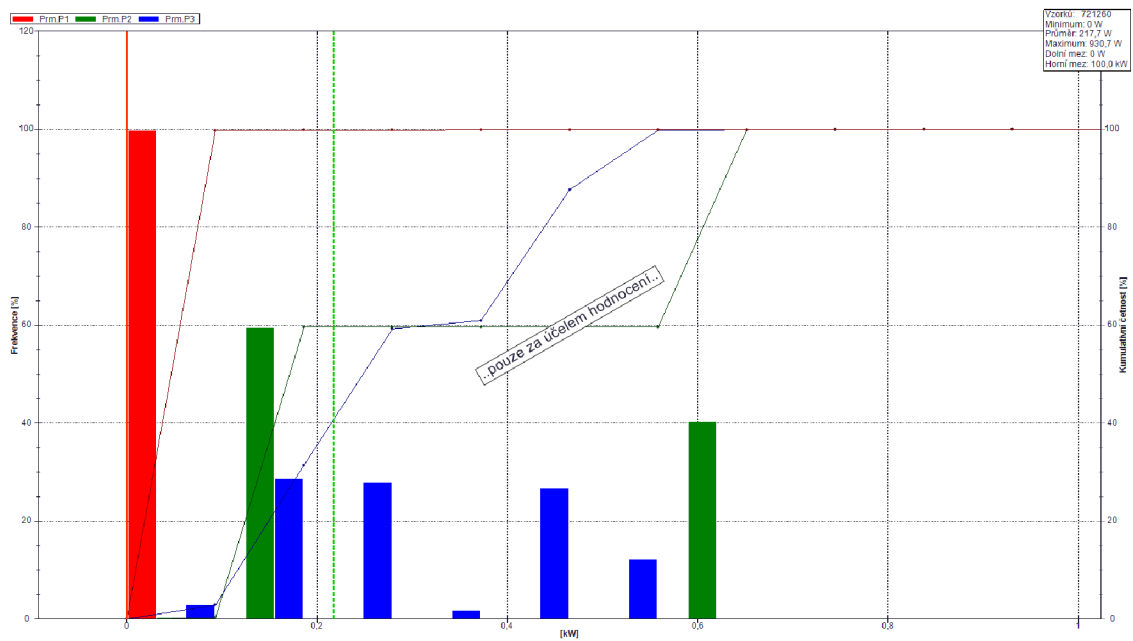
Obrázek 6.16 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 9



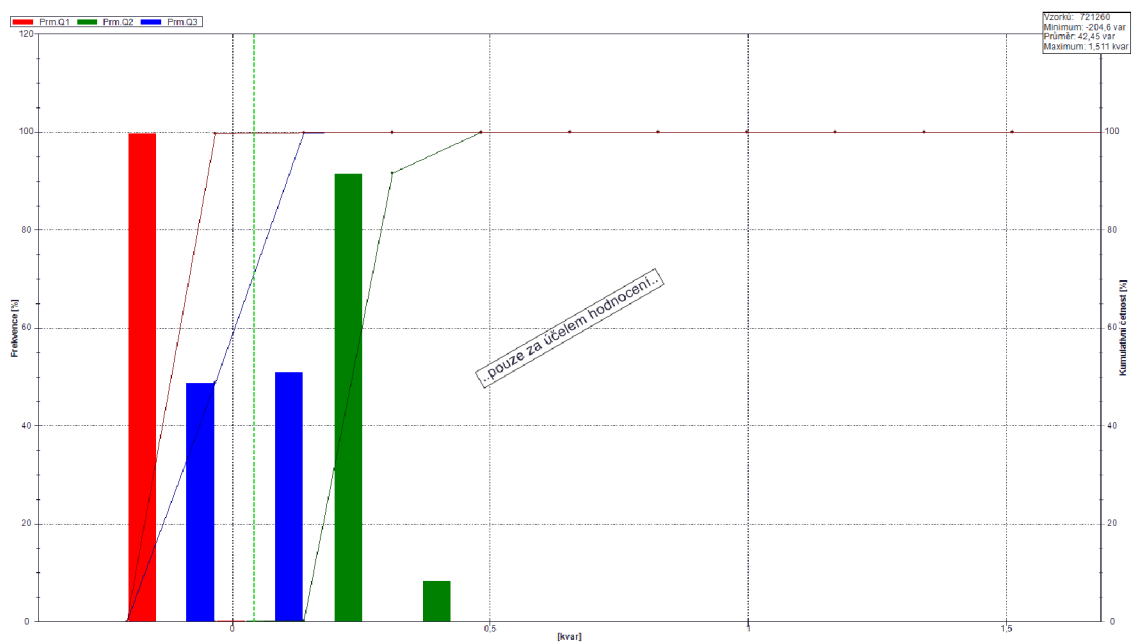
Obrázek 6.17 Histogram činného výkonu pro uzel č. 10



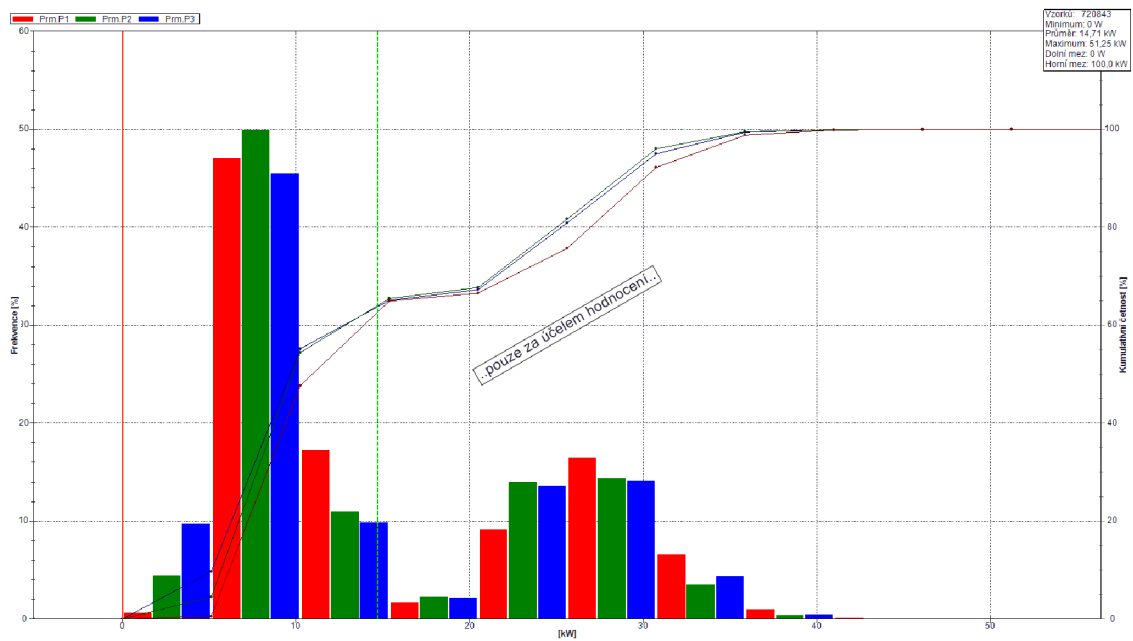
Obrázek 6.18 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 10



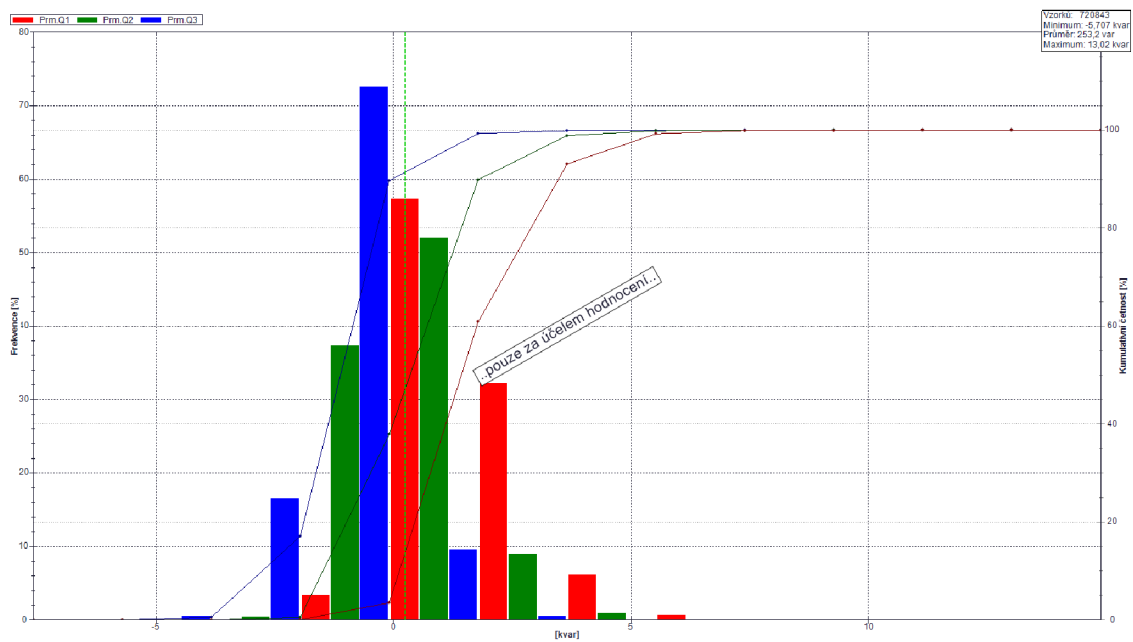
Obrázek 6.19 Histogram činného výkonu pro uzel č. 11



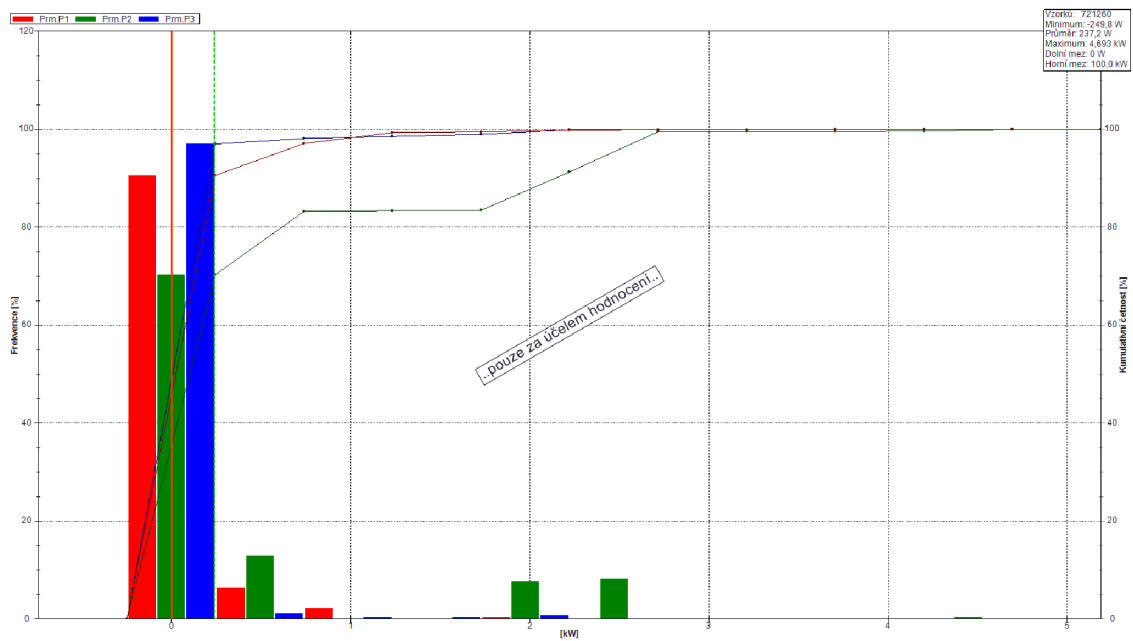
Obrázek 6.20 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 11



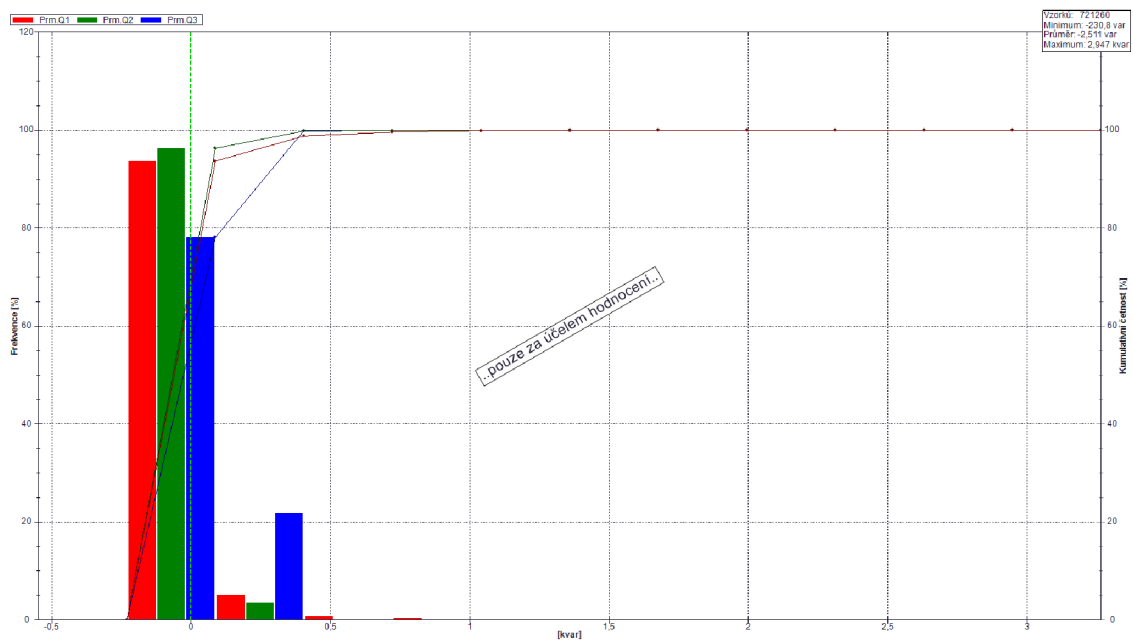
Obrázek 6.21 Histogram činného výkonu pro uzel č. 12



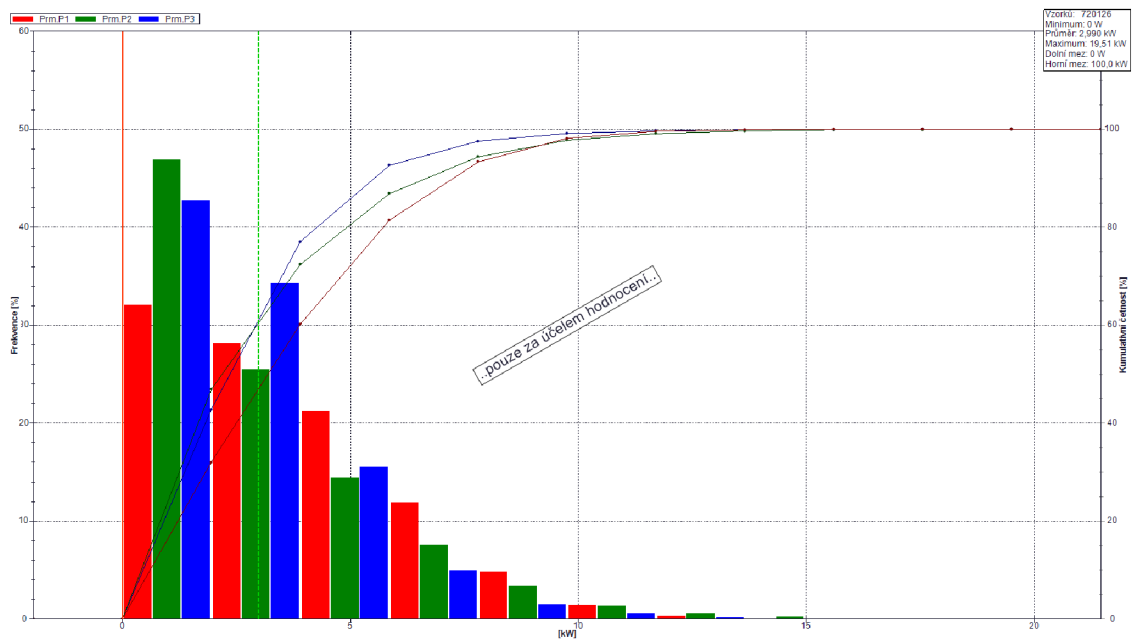
Obrázek 6.22 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 12



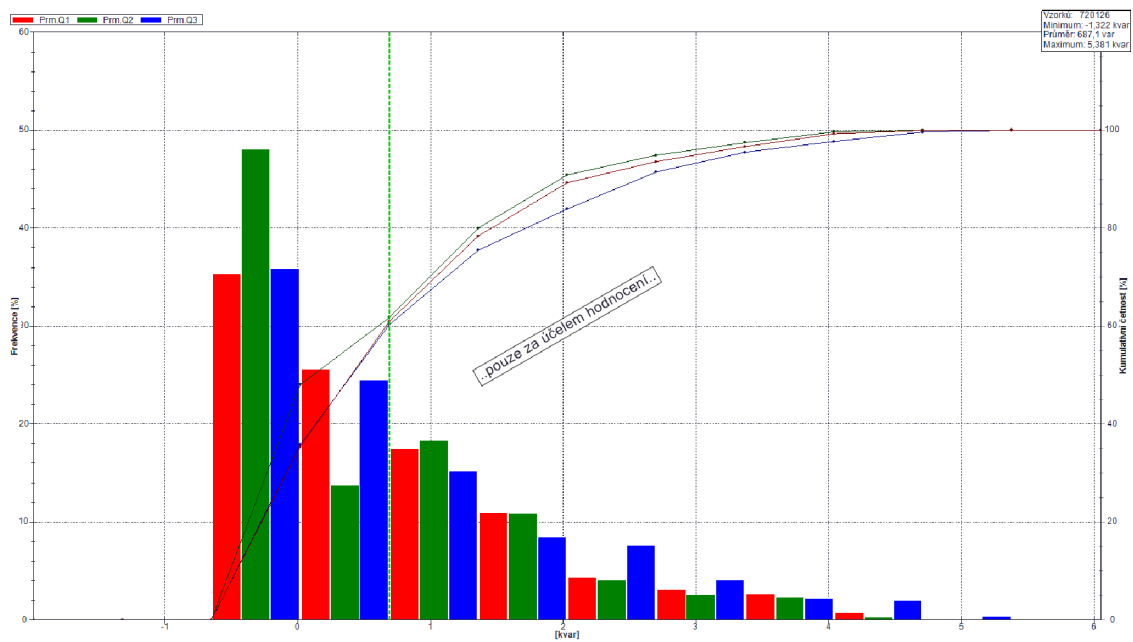
Obrázek 6.23 Histogram činného výkonu pro uzel č. 13



Obrázek 6.24 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 13



Obrázek 6.25 Histogram činného výkonu pro uzel č. 14



Obrázek 6.26 Histogram jalového výkonu pro uzel č. 14

Příloha E - Ověření kompletnosti pořízených záznamů kvalitoměrů a charakteristika uložených parametrů

Tabulka 6.17 Charakteristika uložených parametrů, včetně ověření kompletnosti pořízených záznamů v intervalech v tab. č. 6.19

Název složky	Název složky parametrů	Uzel 1	Uzel 2	Uzel 3	Uzel 4	Uzel 5	Uzel 6	Uzel 7	Uzel 8	Uzel 9	Uzel 10	Uzel 11	Uzel 12	Uzel 13	Uzel 14
Hlavní archiv	Napětí	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Průd	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Činný výkon	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Jalový výkon	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Záporný výkon	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Účinnk	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Cosinus φ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Deformační výkon	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	DC	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Harmonické	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Symetrické komponenty	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Flikr	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	PQ-napěťová událost	Podpětí	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Přerušeni napětí		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Přepětí		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Nadprůd		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
RVC		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
RCS		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PQ hlavní	Napětí	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Frekvence	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Harmonické	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Symetrické komponenty	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Flikr	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	RCS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabulka 6.18 Intervaly pořízených záznamů pro jednotlivé uzly

Název složky	Uzel 1		Uzel 2		Uzel 3		Uzel 4		Uzel 5		Uzel 6		Uzel 7	
	Od	Do	Od	Do	Od	Do	Od	Do	Od	Do	Od	Do	Od	Do
Hlavní archiv	29.01.2021	27.07.2021	01.02.2021	29.07.2021	10.02.2021	30.07.2021	10.02.2021	29.07.2021	31.01.2021	29.07.2021	02.02.2021	31.07.2021	31.01.2021	29.07.2021
PQ napěťové události	07.12.2020	25.07.2021	20.10.2020	29.07.2021	12.10.2020	29.07.2021	14.10.2020	29.07.2021	11.10.2020	29.07.2021	13.10.2020	31.07.2021	08.10.2020	29.07.2021
PQ hlavní	07.11.2020	27.07.2021	02.11.2020	29.07.2021	08.10.2020	30.07.2021	07.10.2020	29.07.2021	02.11.2020	29.07.2021	05.11.2020	01.08.2021	11.11.2020	29.07.2021
Název složky	Uzel 8		Uzel 9		Uzel 10		Uzel 11		Uzel 12		Uzel 13		Uzel 14	
	Od	Do	Od	Do	Od	Do	Od	Do	Od	Do	Od	Do	Od	Do
Hlavní archiv	31.01.2021	29.07.2021	29.01.2021	27.07.2021	28.01.2021	26.07.2021	29.01.2021	27.07.2021	02.02.2021	30.07.2021	01.02.2021	29.07.2021	27.01.2021	31.07.2021
PQ napěťové události	07.10.2020	29.07.2021	07.12.2020	25.07.2021	21.10.2020	25.07.2021	10.10.2020	25.07.2021	07.12.2020	29.07.2021	21.10.2020	29.07.2021	07.12.2020	29.07.2021
PQ hlavní	11.11.2020	29.07.2021	31.10.2020	27.07.2021	30.10.2020	26.07.2021	07.12.2020	27.07.2021	03.11.2020	30.07.2021	02.11.2020	29.07.2021	05.10.2020	31.07.2021

Tabulka 6.19 Finální průnik pořízených záznamů, dle kterých byla provedena analýza

Název složky	Finální průnik	
	Od	Do
Hlavní archiv	10.02.2021	26.07.2021
PQ napěťové události	07.12.2020	26.07.2021
PQ hlavní	07.12.2020	26.07.2021