ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kvalita napětí v distribuční síti z pohledu distributora elektřiny

vedoucí práce: **doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.**
autor: **Bc. Lukáš Hronek**

2014

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Lukáš HRONEK**
Osobní číslo:	**E12N0015P**
Studijní program:	**N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor:	**Komerční elektrotechnika**
Název tématu:	**Kvalita napětí v distribuční síti z pohledu distributora elektřiny**
Zadávající katedra:	**Katedra technologií a měření**

Zásady pro vypracování:

1. Popište legislativní rámec problematiky kvality napětí v distribuční síti (DS) a porovnejte ho ve vztahu k dalším evropským zemím, porovnejte práva a povinnosti distributora elektřiny a konečných zákazníků.
2. Analyzujte stav kvality napětí na jednotlivých napěťových hladinách v DS z pohledu parametrů, které nevyhovují požadavkům normy ČSN EN 50160.
3. Proveďte analýzu závislosti parametrů kvality napětí v DS NN na velikosti impedance sítě.
4. Analyzujte vliv obnovitelných zdrojů energie na parametry kvality napětí.
5. Popište metody nápravných opatření při zjištění snížené kvality napětí.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **ČSN EN 50160: Charakteristiky napětí el. energie dodávané z veřejné distribuční sítě, 3.vydání 2012**
2. **PNE 33 3430-0: Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů distribučních soustav**
3. **Tesařová,M., Štroblová, M.: Průmyslová elektroenergetika, ZČU, 2000**
4. **příspěvky ve sbornících Konference CIRED z let 2006 až 2013**

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Konzultant diplomové práce: **Ing. Martin Kašpírek, PhD.**
E. ON Česká republika, s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**

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

L.S.

Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Anotace

Předkládaná diplomová práce řeší problematiku kvality napětí v dstribuční soustavě. V úvodu je popis základní legislativy v ČR týkající se kvality dodávek elektrické energie. Hlavním úkolem práce je praktické vyhodnocení měření parametrů kvality napětí na distribučním území společnosti E.ON Distribuce, a.s. Nejprve je provedena analýza kvality napětí na jednotlivých napěťových hladinách z hlediska nejproblematičtějších parametrů (odchylky napětí, flikr), poté je analyzována závislost kvality napětí na vnitřní impedanci sítě a vliv obnovitelných zdrojů energie na odchylky napětí a flikr. Na případové studii jsou ukázány možnosti nápravných opatření pro zajištění požadované kvality napětí.

Klíčová slova

Distribuční soustava, kvalita napětí, obnovitelné zdroje energie, zpětné vlivy, legislativa

Abstract

The thesis deals with the voltage quality in the distribution system. Firstly, the basic legislation about voltage quality in the Czech Republic is described. The aim is evaluation of voltage quality on the basis of the data measured by E.ON company. Further, the voltage quality of particular voltage levels is analysed from point of view of voltage variations and flicker. Relation between source impedance and voltage quality and the impact of renewable energy sources on the voltage quality is also analysed. Finally, arrangements to improve of voltage quality are illustrated on the case of study.

Key words

Distribution system, voltage quality, renewable energy source, feedback effect, legislation

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 29.4.2014 Lukáš Hronek

……..

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. a konzultantu Ing. Martinu Kašpírkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce a také své rodině, která mě po celou dobu studia nejen finančně podporovala.

Obsah

OBSAH ..... **- 8 -**

SEZNAM ZKRATEK ..... **- 9 -**

ÚVOD ..... **- 10 -**

CÍLE PRÁCE ..... - 12 -

1 LEGISLATIVNÍ RÁMEC ..... **- 13 -**

1.1 ENERGETICKÝ ZÁKON 458/2000 SB. ..... - 13 -
1.2 VYHLÁŠKA ERU Č. 540/2005 SB., ... - 14 -
1.3 PPDS ..... - 14 -
1.4 ČSN EN 50 160 (ED.3 – 2013-03-01) ..... - 16 -
1.4.1 Průběžné jevy ..... *- 17 -*
1.4.2 Napěťové jevy ..... *- 23 -*
1.5 PODNIKOVÁ NORMA ENERGETIKY PRO ROZVOD ELEKTRICKÉ ENERGIE (PNE) ..... - 24 -
1.6 SMLOUVA O PŘIPOJENÍ ..... - 24 -
1.7 LEGISLATIVA V OKOLNÍCH ZEMÍCH ..... - 24 -

2 STAV KVALITY NAPĚTÍ NA JEDNOTLIVÝCH NAPĚŤOVÝCH HLADINÁCH ..... **- 28 -**

2.1 OBECNÁ ANALÝZA ..... - 30 -
2.2 NAPĚŤOVÁ HLADINA NN ..... - 31 -
2.3 STÍŽNOSTI ODBĚRATELŮ ..... - 32 -

3 ZÁVISLOST PARAMETRŮ KVALITY NAPĚTÍ NA VNITŘNÍ IMPEDANCI SÍTĚ ..... **- 33 -**

3.1 VZTAŽNÁ IMPEDANCE DLE PNE 333430-0 ..... - 33 -
3.2 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ Z CCA 1000 SÍTÍ SPOLEČNOSTI E.ON ..... - 34 -

4 VLIV OZE NA PARAMETRY KVALITY NAPĚTÍ ..... **- 40 -**

4.1 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ SPOLEČNOSTI E.ON ..... - 41 -
4.1.1 Vyhodnocení NN sítí s nasazenými FVE ..... *- 41 -*
4.1.2 Vyhodnocení VN sítí s nasazenými FVE ..... *- 44 -*
4.1.3 Vyhodnocení VN sítí s nasazenými VTE ..... *- 45 -*

5 METODY NÁPRAVNÝCH OPATŘENÍ PŘI ZJIŠTĚNÍ SNÍŽENÉ KVALITY NAPĚTÍ ..... **- 47 -**

5.1 OPATŘENÍ NA STRANĚ DISTRIBUTORA ..... - 47 -
5.1.1 Posílení sítě ..... *- 47 -*
5.1.2 Regulace odbočkami na transformátoru ..... *- 48 -*
5.2 OPATŘENÍ NA STRANĚ ODBĚRATELE ..... - 48 -
5.3 AKTUÁLNÍ PŘÍKLAD Z PRAXE ..... - 49 -

ZÁVĚR ..... **- 57 -**

POUŽITÁ LITERATURA ..... **- 58 -**

SEZNAM PŘÍLOH ..... **- 60 -**

PŘÍLOHY ..... **- 1 -**

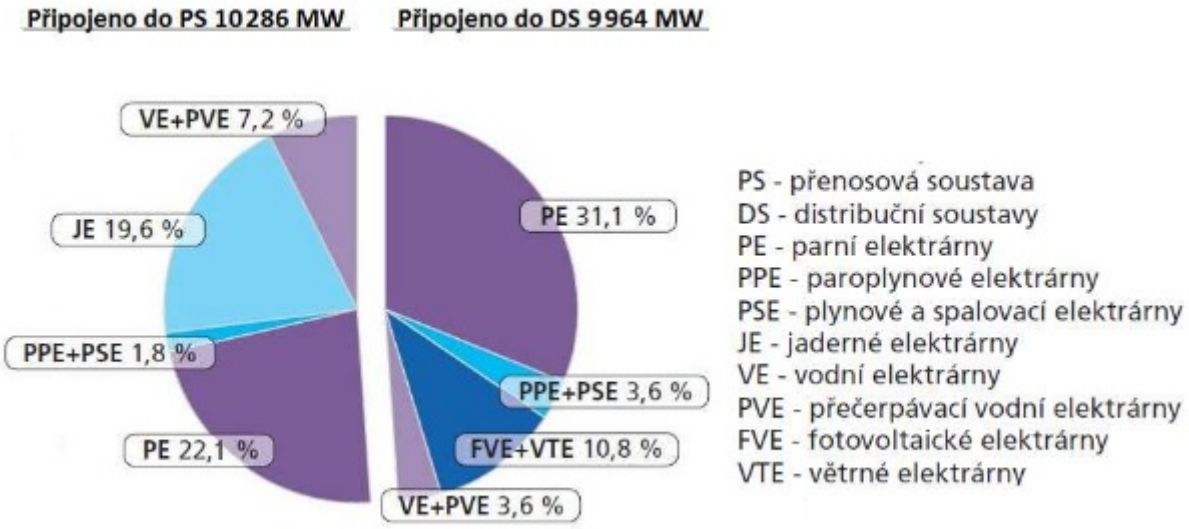
Seznam zkratek

CEER	Rada evropských energetických regulačních orgánů (Council of European Energy Regulators)
CEN	Evropský výbor pro normalizaci (fr: Comité Européen de Normalisation)
CENELEC	Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice (fr: Comité Européen de Normalisation Électrotechnique)
ČEZ	České energetické závody
ČSN	Chráněné označení českých technických norem
DAM	Datová analýza měření
DS	Distribuční soustava
DTS	Distribuční trafostanice
ENTSO-E	Evropská síť provozovatelů přenosových soustav elektřiny (European Network of Transmission System Operators for Electricity)
ERU	Energetický regulační úřad
EZ	Energetický zákon
FVE	Fotovoltaická elektrárna
GIS	Geografický informační systém
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
NN	Nízké napětí
PDS	Provozovatel distribuční sítě
PPDS	Pravidla provozování distribučních soustav
PRE	Pražská energetika
PS	Přenosová soustava
THD	Celkové harmonické zkreslení (total harmonic distortion)
VN	Vysoké napětí
VTE	Větrná elektrárna
VVN	Velmi vysoké napětí

Úvod

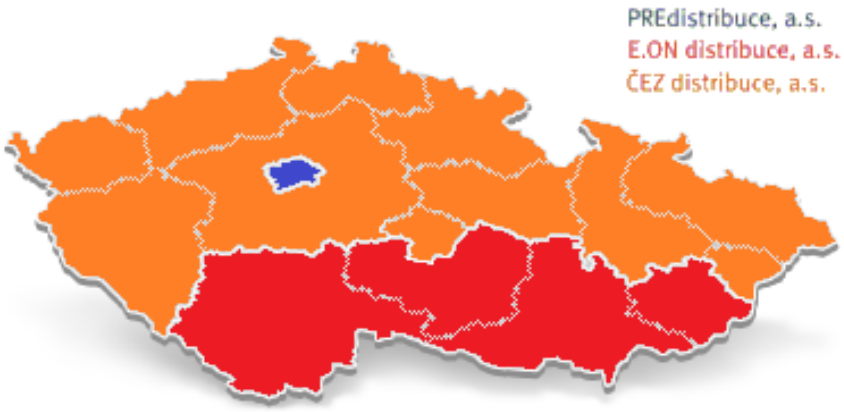
První částí elektrizační soustavy je tzv. přenosová soustava. Ta zajišťuje přenos elektrické energie od velkých zdrojů (elektráren) k větším rozvodnám. Dala by se připodobnit k dálniční síti, tedy zajišťuje přenos velkého množství energie na velké vzdálenosti. Tato soustava je propojená s okolními zeměmi v rámci asociace ENTSO-E, která nyní sdružuje 41 provozovatelů přenosových soustav ze 34 zemí Evropy. Na území ČR se jedná výhradně o vedení a zařízení 400 kV a 220 kV, ojediněle pak 110 kV. Na provoz přenosové soustavy má monopolní licenci od ERU státní společnost ČEPS, a.s (dále jen ČEPS).

Druhou částí elektrizační soustavy je soustava distribuční. Ta zajišťuje rozvod energie z přenosové soustavy k jednotlivým koncovým zákazníkům a slouží také k připojení výroben elektřiny, konkrétně těch menších (řádově do výkonu desítek MW). Podíl připojených výroben v DS a PS je znázorněn na *obr. 1*.



Obrázek 1: Připojení výkonu do ES [převzato z 10]

Narozdíl od PS mají území ČR rozdělené tři licencované distribuční společnosti. Jak je vidět na *obr. 2*, E.ON Distribuce, a.s. (dále jen E.ON) se stará o regiony Jižní Čechy a Jižní Morava, PREdistribuce, a.s. má na starost pouze město Prahu a zbytek republiky spadá pod společnost ČEZ Distribuce, a.s.



Obrázek 2: Přehled distribučních oblastí [21,5]

Rozlohu, jakou mají na starost jednotlivé společnosti, a počet odběrných míst je pak v *tabulce 1*.

Tabulka 1: území a počet odběrných míst jednotlivých společností [5,6,7]

Společnost	Distribuční území [km^2;%]		Počet odběrných míst [-]
ČEZ Distribuce, a. s.	52 001	65,82%	3 566 175
E.ON Distribuce, a. s.	26 499	33,54%	1 494 325
PRE distribuce, a. s.	505	0,64%	1 261 603
celkem	79 005	100,00%	6 322 103

S výjimkou vybraných úseků 110 kV (VVN) se jedná o napěťové hladiny 0,4 kV (NN), 22 kV a 35 kV a také hladiny z minulosti 3 kV, 6 kV, 10 kV (VN), které už dnes nejsou rozvíjeny a nahrazují je hladiny 22 kV, respektive 35 kV. Rozvinutou délku vedení podle napěťových úrovní u jednotlivých společností můžeme vidět v *tabulce 2*.

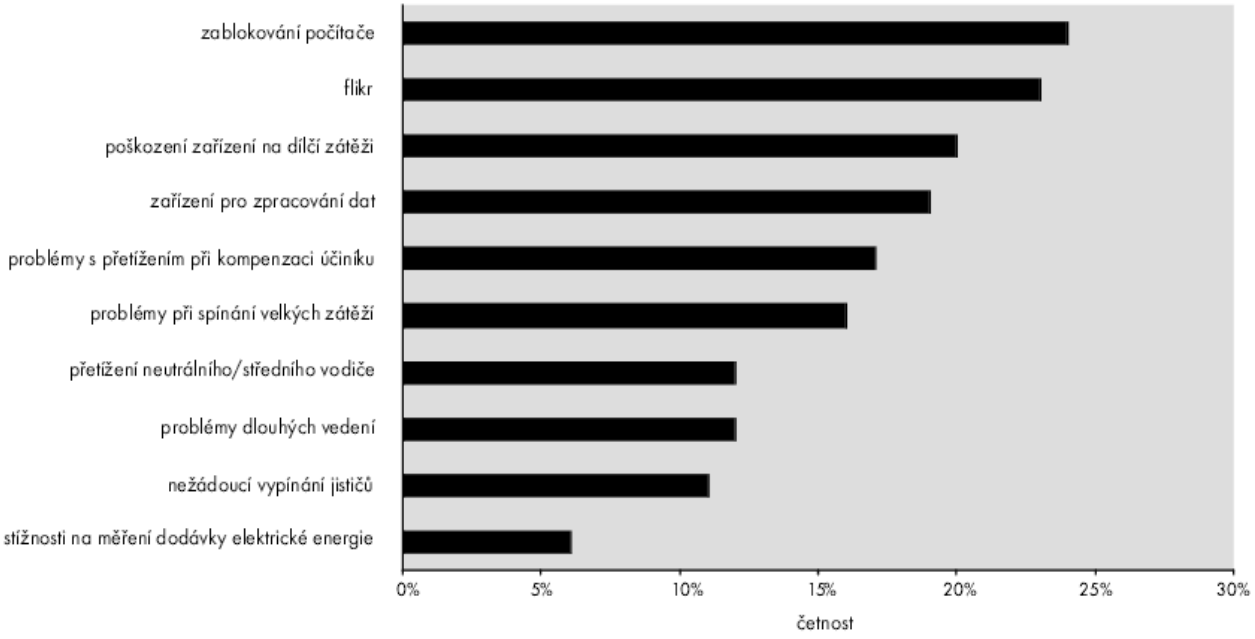
Tabulka 2: Rozvinutá délka vedení u jednotlivých společností [5,6,7]

Společnost	VVN [km]	VN [km]	NN [km]	Celkem [km]
ČEZ Distribuce, a. s.	9 745	50 217	99 494	159 456
E.ON Distribuce, a. s.	3 905	22 503	39 740	66 148
PREdistribuce, a. s.	206	3 865	7 850	11 921
Celkem v ČR	13 856	76 585	147 084	237 525

Je vidět, že distribuční společnosti spravují daleko delší rozvinutou délku vedení než ČEPS. Ten spravuje pouze něco přes 5 500 km vedení, zatímco ČEZ téměř 160 000 km,

E.ON přes 66 000 km a PRE přes 10 000 km, dohromady tedy přes 200 000 km oproti 5 500 km.

A do všech 6 322 103 odběrných míst je třeba přivést elektrickou energii v odpovídající kvalitě, protože jinak může docházet k různým problémům, viz *obr. 3*. Podle studie European Copper Institute z roku 2001 na 1400 pracovištích v 8 zemích má v Evropě jakékoliv pracoviště 5-20% pravděpodobnost, že se na něm objeví některý z problémů uvedených v seznamu. Polovina pracovišť v energeticky náročnějším průmyslu trpí dvěma nebo více problémy. Ne vždy je samozřejmě problém způsobený nízkou kvalitou napětí, např. zablokování počítače může být způsobeno softwarem. [13]



Obrázek 3: Nejčastější problémy z oblasti kvality elektrické energie na 1400 pracovištích v 8 zemích [převzato z 13]

Cíle práce

Cílem práce je rozebrat možné problémy s kvalitou napětí v DS. Krátce popsat legislativu v ČR a konkrétně analyzovat dostatečný počet měření společnosti E.ON, aby se zjištěná fakta dala zobecnit na celou DS, popsat jejich příčiny, důsledky a možnosti nápravných opatření.

Pomocí této práce se může široká veřejnost nebo i studenti Západočeské univerzity v Plzni seznámit s touto problematikou, zamyslet se nad ní, analyzovat, případně jen rozšířit své obzory.

1 Legislativní rámec

Od 1.1. 2002 má v ČR každý možnost zvolit si svého dodavatele silové elektřiny. Tato tzv. liberalizace trhu vyvíjí tlak na dodržování určité kvality energie. Elektrická energie nelze v masivním měřítku skladovat a tudíž ani před použitím zkontrolovat její kvalitu. Energie jde přímo do výrobního procesu. Jedná se o tzv. přístup Just-in-time (právě včas). Aby tento přístup správně fungoval, jsou popsány požadavky na parametry elektřiny. V případě, kdy postižený zákazník zjistí, že je připojen k síti se sníženou kvalitou napětí, má právo na kompenzaci od distributora elektřiny v podobě slevy z platby za elektřinu. [13]

Co je v ČR kvalitní energie, jaká má práva a povinnosti distributor i konečný zákazník, to popisuje následující energetická legislativa.

1.1 Energetický zákon 458/2000 Sb.

Celý název zní *„Zákon 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)“*.

„Tento zákon zapracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje v návaznosti na přímo použitelné předpisy Evropské unie podmínky podnikání a výkon státní správy v energetických odvětvích, kterými jsou elektroenergetika, plynárenství a teplárenství, jakož i práva a povinnosti fyzických a právnických osob s tím spojené“. [1]

Obecně také popisuje některá práva a povinnosti distributora a konečného zákazníka. Udává, že provozovatel distribuční soustavy je povinen dodržovat parametry kvality napětí dané vyhláškou 540/2005 Sb. Při zjištění nekvalitní dodávky v distribuční síti se pak musí zjistit, zda je nekvalita způsobena nepřípustnými zpětnými vlivy odběratelských zařízení, nebo nízkým zkratovým výkonem sítě v místě připojení, takže vinou distributora elektřiny. V případě, že vinu nese odběratel a svými zařízeními negativně ovlivňuje kvalitu energie i pro ostatní odběratele, má distributor dokonce možnost za určitých okolností omezit mu dodávku energie. Naopak každého zákazníka, který splní pro svá zařízení podmínky připojení, připojit musí. [1]

Musí se tedy brát ohled jak na požadavky zajištění potřebné kvality napětí, tak na potřeby zákazníka a podle toho volit vhodné místo připojení, aby byla zajištěna požadovaná kvalita napětí a distributor nemusel případně za její nedodržení vyplácet zákazníkovi sankce nebo slevy z platby za elektřinu.

1.2 Vyhláška ERU č. 540/2005 Sb.,

„o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. “ [2]

Tato vyhláška má celkem 25 paragrafů, z nichž pro tuto práci je nejdůležitější § 8. Ten definuje Standard kvality napětí, a to takto: *„Standardem kvality napětí je distribuce elektřiny s odpovídajícími parametry velikosti a odchylky napájecího napětí a frekvence, které jsou v souladu s Pravidly provozování přenosové soustavy nebo Pravidly provozování distribučních soustav nebo s parametry napětí a frekvence sjednanými ve smlouvě mezi zákazníkem a provozovatelem distribuční soustavy.“* [2]

S tím souvisí § 9 - Standard lhůty pro vyřízení reklamace kvality napětí, a také § 10 - Standard lhůty pro odstranění příčin snížené kvality napětí.

V případě, že zákazník zjistí, že nejsou dodrženy standardy kvality dodávek elektřiny, má možnost požádat o finanční náhradu příslušného provozovatele DS nebo obchodníka s elektřinou. Podmínkou je odeslání žádosti o vyplacení náhrady do 60 kalendářních dnů od porušení standardu. Jak vzor žádosti, tak tabulka se shrnutím standardů kvality elektřiny včetně lhůt na vyřízení a výše náhrad je k nahlédnutí v příloze. [15]

1.3 PPDS

„PPDS byla koncipována především v zájmu Uživatelů DS jako komplexní materiál, poskytující souhrnně všechny potřebné informace bez nutnosti pracovat s mnoha souvisejícími právními, technickými a dalšími podklady. Proto jsou v PPDS uvedeny definice odborných pojmů a některé citace z EZ i vyhlášek MPO a ERÚ, nezbytné pro ucelené podání a vysvětlení problematiky.“[3]

Pravidla provozování distribučních soustav jsou obecně závaznou normou. Vymezují zásady a postupy, jimiž se řídí vztahy mezi všemi uživateli DS a jejím provozovatelem, a definují kvalitu elektřiny, stanovují její parametry a podmínky pro její dodržování uživateli DS. Další ambicí PPDS je určit způsob, jakým zjišťovat jednotlivé parametry kvality napětí, a požadavky na měřící soupravy, kterými se kvalita zjišťuje. To vše je v příloze 3 – *„Kvalita napětí v distribuční soustavě, způsoby jejího zjišťování a hodnocení.“* Vychází z normy ČSN EN 50160, kde jsou popsány hlavní charakteristiky napětí v místech připojení uživatelů z veřejných distribučních sítí NN, VN a od 3.editace také 110 kV a předávací místa PS/DS (dříve popsáno přímo v PPDS). [3]

Podstatná je také příloha 4 – *„Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy“*, kde jsou mj. řešeny podmínky pro připojení nebo zpětné vlivy na napájecí síť, a také příloha 2 – *„Metodika určování plynulosti distribuce elektřiny a*

spolehlivosti prvků distribučních sítí". Tam jsou převzaty z přílohy 5 vyhlášky 540/2005 a upřesněny ukazatele nepřetržitosti dodávky. Těmi jsou SAIFI, SAIDI a CAIDI.

SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) - průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období.

$$SAIFI = \frac{pocet\ preruseni\ dodavky\ jednotlivym\ odberatelum}{celkovy\ pocet\ odberatelu} \tag{1.1}$$

SAIDI (System Average Interruption Duration Index) - průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období

$$SAIDI = \frac{soucet\ doby\ trvani\ preruseni\ dodavky\ elektriny\ jednotlivym\ odberatelum}{celkovy\ pocet\ odberatelu} \tag{1.2}$$

CAIDI - průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období

$$CAIDI = \frac{prumerna\ souhrnna\ doba\ preruseni\ dodavky\ elektriny}{prumerny\ pocet\ preruseni\ dodavky\ elektriny} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \tag{1.3}$$

V následujících tabulkách je přehled, jak si vedly distribuční společnosti v letech 2011 a 2012, kde ovšem chybí ve výpisu společnost E.ON.

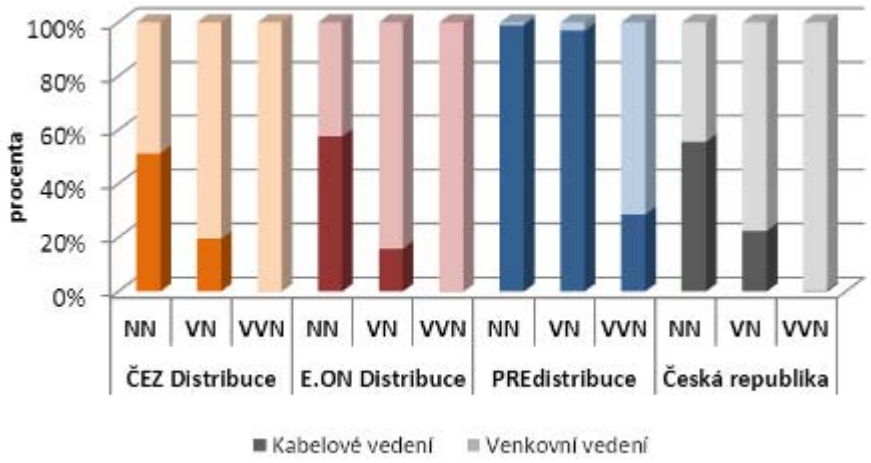
Tabulka 1.1: Ukazatele nepřetržitosti za rok 2011

Ukazatel	ČEZ Distribuce	E.ON distribuce	PRE distribuce
SAIFI [přerušení/rok]	2,88	2	0,65
SAIDI [min/rok]	296,7	314,4	46,79
CAIDI [min]	103,15	157,26	72,13

Tabulka 1.2: Ukazatele nepřetržitosti za rok 2012 [14]

Ukazatel	ČEZ Distribuce	E.ON distribuce	PRE distribuce
SAIFI [přerušení/rok]	3,1	?	0,54
SAIDI [min/rok]	313,04	?	42,12
CAIDI [min]	101,08	?	78,52

Z tabulek je vidět, že nejlepších hodnot dosahuje společnost PRE. Je to tím, že mají nejméně zákazníků, nejkratší rozvinutou délku vedení, ale především největší podíl kabelových vedení, viz *obr. 1.1*.



Obrázek 1.1: Podíl kabelových vedení [převzato z 14]

1.4 ČSN EN 50 160 (ed.3 – 2013-03-01)

„Tato evropská norma (EN 50 160) byla schválena CENELEC. Členové CENELEC jsou povinni splnit vnitřní předpisy CEN/CENELEC, v nichž jsou stanoveny podmínky, za kterých se musí této evropské normě bez jakýchkoliv modifikací dát status národní normy.“

„Členy CENELEC jsou národní elektrotechnické komitéty Belgie, Bulharska, České republiky, Dánska, Estonska, Finska, Francie, Chorvatska, Irska, Islandu, Itálie, Kypru, Litvy, Lotyšska, Lucemburska, Německa, Nizozemska, Norska, Portugalska, Rakouska, Rumunska, Řecka, Slovenska, Slovinska, Spojeného království, Španělska, Švédska a Švýcarska.“

„Tato evropská norma popisuje a udává hlavní charakteristiky napětí v místech připojení uživatelů z veřejných distribučních sítí nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí za normálních provozních podmínek. Norma udává meze, nebo hodnoty charakteristických hodnot napětí, jaké může za normálních provozních podmínek očekávat kterýkoliv uživatel sítě, nepopisuje průměrný stav veřejné distribuční sítě. “

„Předmětem této evropské normy je definování, popis a specifikace charakteristik napájecího napětí týkající se:

a) Kmitočtu;

b) Velikosti;

c) Tvaru vlny;

d) Symetrie třífázových napětí.

Tyto charakteristiky za normálního provozu napájecího systému kolísají vlivem změn zatížení, rušení vyvolaným určitým zařízením a výskytem poruch, které jsou většinou

způsobeny vnějšími vlivy.

Charakteristiky se mění v čase náhodně ve vztahu k libovolnému místu napájení a náhodně pro každé místo napájení ve vztahu k danému časovému okamžiku. Vzhledem k této proměnlivosti mohou být očekávané hladiny charakteristik překročeny v malém počtu případů.

Některé z těchto jevů ovlivňujících napětí jsou obzvláště nepředvídatelné, což ztěžuje udání závazných hodnot pro odpovídající charakteristiky. Hodnoty udané v této normě pro charakteristiky napětí, jako jsou např. poklesy a přerušení napětí je proto zapotřebí podle toho interpretovat.“ [4]

Jednotlivé parametry, popisující kvalitu elektřiny podle této normy v platném znění, jsou rozděleny na průběžné jevy a napěťové jevy. Pro lepší pochopení ještě uvedu anglické názvy. Pro průběžné jevy se používá pojem disturbance (rušení), pro napěťové jevy pojem events (události). Kromě citace z normy ČSN EN 50160 zde budou ještě uvedeny příčiny, důsledky a řešení problémů daných jevů.

1.4.1 Průběžné jevy

Jsou to spojité jevy v průběhu času způsobené hlavně charakterem zatížení, změnami zatížení nebo nelineárními zatíženími. Lze je částečně predikovat, a jsou tak pro některé stanoveny meze. [4]

Kmitočet sítě

„Jmenovitý kmitočet napájecího napětí je 50 Hz. Za normálních provozních podmínek musí být střední hodnota kmitočtu základní harmonické měřená v intervalu 10 s v následujících mezích: “

- *u systému se synchronním připojením k propojenému systému*

50 Hz ± 1 % *(tj. 49,5 Hz – 50,5 Hz)* *během 99,5 % roku;*

50 Hz + 4 %/-6 % *(tj. 47 Hz – 52 Hz)* *po 100 % času;*

- *U systémů bez synchronního připojení (tj. ostrovní napájecí systémy)*

50 Hz ± 2 % *(tj. 49 Hz – 51 Hz)* *během 99,5 % týdne (VN a VVN 95 %)*

50 Hz ± 15 % *(tj. 49,5 Hz – 50,5 Hz)* *po 100 % času.* [4]

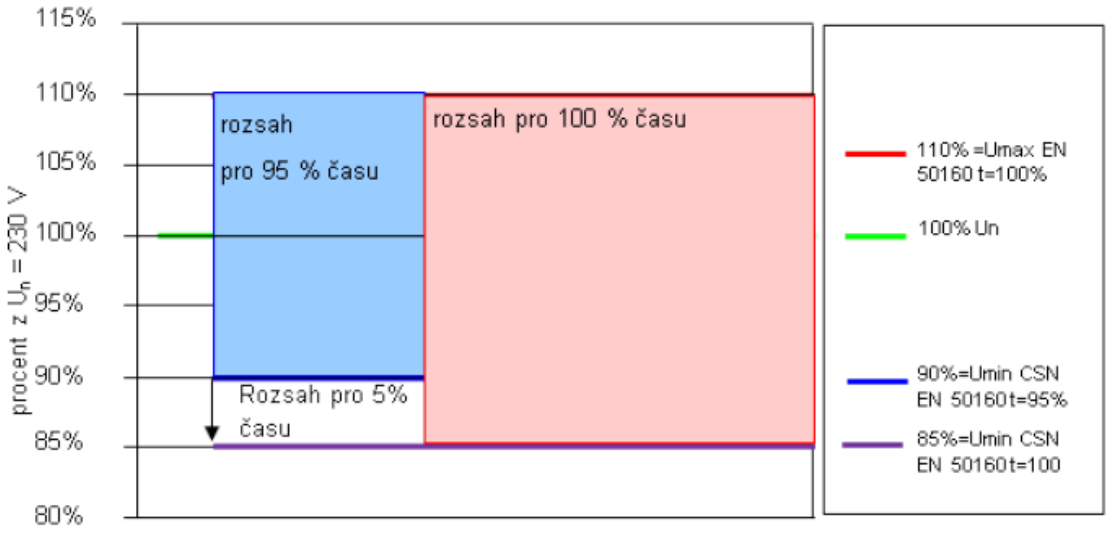
Řešení: primární a sekundární regulace v elektrizační síti (v PS) [13]

Odchylky napájecího napětí

„Za normálních provozních podmínek:

- musí být během každého týdne 95 % (VN 99 %) *průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřících intervalech 10 minut v rozsahu Un ± 10 %; a*
- všechny průměrné efektivní hodnoty napájecího napětí v měřících intervalech 10 minut musí být v rozsahu Un + 10 %/-15 %. (VN ±15 %)*"[4]*

Graficky znázorněné pro NN je to na *obrázku 1.2*. Dříve byly definovány ještě meze pro dlouhé vedení nad 1 km, kdy se napětí mohlo pohybovat v mezích +11 % až -20 %, ale to v ed. 3 ČSN EN 50160 vypadlo.



Obrázek 1.2: Grafické znázornění možných odchylek napětí NN [převzato z 3]

VVN: *„Protože počet odběratelů napájených přímo ze sítě VVN je omezen a obvykle mají individuální smlouvy, neuvádí tato norma žádné limity pro odchylky napětí."[4]*

Příčiny: spínání velkých zátěží jakéhokoli charakteru (obloukové pece, pohony s motory, svařovací stroje, atd.), spínání zdrojů (např. FVE)

Důsledky: při větším napětí - zkrácení životnosti zařízení, stárnutí izolace, vyšší ztráty, zvýšená četnost poruch; při nižším napětí – pokles výkonů zařízení, špatná funkce nebo úplné vypnutí zařízení (magnetické vypínače)

Řešení: velký zkratový výkon sítě, změna způsobu rozběhu motorů, omezení souběhu rušících zařízení (postupné rozjíždění), kompenzace jalových výkonů (standardní = paralelní), atd. [13]

Rychlé změny napětí

Jedná se o tzv. kolísání napětí, které je vyjádřeno veličinou míra vjemu flikru.

Flikr je *„vjem nestálého zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase."*

„Za normálních provozních podmínek musí být po 95 % času, v libovolném týdenním období, dlouhodobá míra vjemu flikru $P_{lt} \leq 1$.“

„Dlouhodobá míra vjemu flikru je vypočítána z posloupnosti dvanácti hodnot Pst po dobu dvouhodinového intervalu použitím následujícího vztahu:“ [4]

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{t=1}^{12} \frac{P_{sti}^{\ 3}}{12}} \tag{1.4}$$

„Krátkodobá míra vjemu flikru Pst je měřena po dobu deseti minut.“[4] Níže je uveden výpočet. [9]

$$Pst = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U_f}{Un \cdot d_{ref}} \cdot P_{ref} \tag{1.5}$$

P_{ref} křivky mezního flikru

d_{ref} relativní změna napětí [%] podle křivky mezního flikru (Pref = 1) z grafu v příloze 4

Un jmenovitá hodnota sdruženého napětí

ΔU_f fázová změna napětí (úbytek napětí ve fázi)

Příčiny: dynamická změna zatížení (rychlé změny proudu - spínání velkých zátěží, rozběh velkých motorů, proměnlivá zátěž, elektrické obloukové pece, katr, atd.)

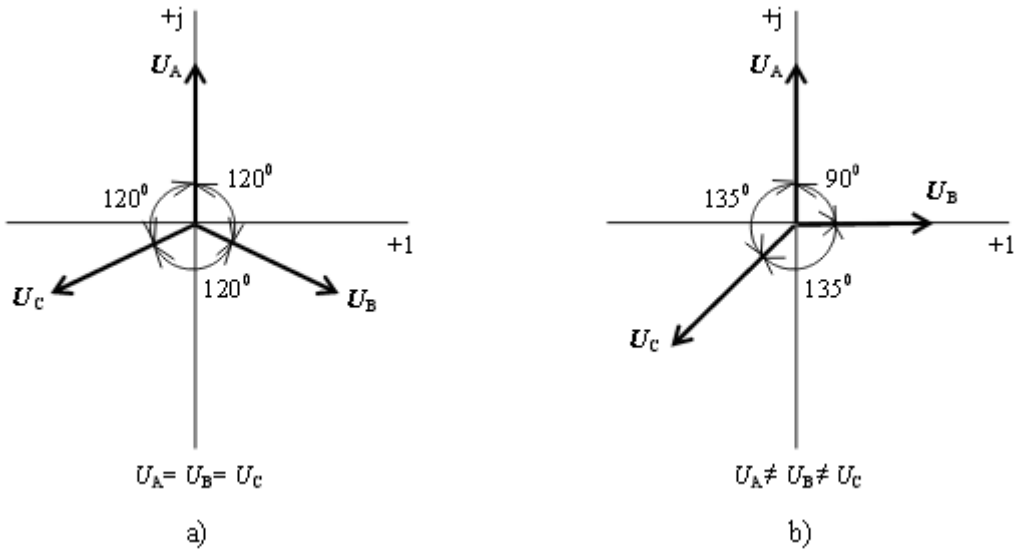
Důsledky: fyziologické (vizuální, nervové) na lidský organismus (subjektivní záležitost)

Řešení: změna typu osvětlení, větší zkratový výkon, instalace náhradních zdroj, napájení rušící zátěže z vlastního transformátoru, dynamická kompenzace jalových výkonů (standardní), atd. [13]

Nesymetrie napájecího napětí

Nesymetrie napájecího napětí je stav v trojfázové síti, kdy efektivní hodnoty fázových napětí nebo rozdíly po sobě jdoucích fázových úhlů nejsou stejné. Trojfázové napájecí napětí lze rozložit do tří složek, z nichž zpětná a sousledná jsou použity v normě v následující definici.

„Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí 0 až 2 % sousledné složky.“ (v některých případech výjimečně až do 3 %) [4]



Obrázek 1.3: příklad a) symetrické a b) nesymetrické napájecí soustavy [převzato z 20]

Příčiny: Nesymetrický odběr proudů (nastává při velké jednofázové zátěži, např. svařovací stroje, obloukové pece, střídavá elektrická trakce), přerušení nulového vodiče, poruchy v síti
Důsledky: tepelné přetěžování trojfázových synchronních a asynchronních motorů, zvýšení ztrát v síti a v regulovaných pohonech
Řešení: snížení impedance rozvodů, vyvážení 1-fázových zátěží na všechny tři fáze, připojení symetrizačních členů, u střídavé trakce použití speciálních transformátorů, atd. [13]

Harmonická napětí

Harmonické napětí je sinusové napětí o kmitočtu s celistvým násobkem kmitočtu základní (první) harmonické.

„Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě v tabulce 1.3. U jednotlivých harmonických mohou rezonance způsobit napětí vyšší.“

Kromě toho u NN a VN musí být celkový činitel harmonického zkreslení THD napájecího napětí (zahrnující všechny harmonické do řádu 40) maximálně 8 %, viz *rovnice 1.5*. U VVN je omezení pro harmonické napájecího napětí vždy předmětem dohody.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2}}{U_1} * 100 \leq 8\% \tag{1.5}$$

Tabulka 1.3: Úrovně jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě v procentech u1 pro řády harmonických až do 25 (v případě, že se hodnoty u jednotlivých napěťových hladin liší, jsou v tabulce ve formátu NN / VN / VVN) [4]

Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3			
Řád harmonické h	Harmonické napětí Uh	Řád harmonické h	Harmonické napětí Uh	Řád harmonické h	Harmonické napětí Uh
5	6 / 6 / 5 %	3	5 / 5 / 3 %	2	1 / 2 / 1,9 %
7	5 / 5 / 4 %	9	1,5 / 1,5 / 1,3 %	4	1 %
11	3,5 / 3,5 / 3 %	15	0,5 %	6 až 24	0,5 %
13	3 / 3 / 2,5 %	21	0,5 %		
17	2 / 2 % / zkoumá se				
19	1,5 / 1,5 % / zkoumá se				
23	1,5 / 1,5 % / zkoumá se				
25	1,5 / 1,5 % / zkoumá se				

Poznámka: *„Hodnoty pro harmonické vyšších řádů než 25 se neuvažují, jsou obvykle malé, avšak vlivem rezonančních účinků obtížně předvídatelné.“ [4]*

Příčiny: všechny nelineární spotřebiče, tj. takové, které po připojení k síťovému harmonickému napětí odebírají neharmonický proud, např. spínané napájecí zdroje (SMPS), polovodičové měniče (elektrické regulované pohony), zařízení výpočetní elektrotechniky a elektroniky, elektrické obloukové pece, osvětlení s kompaktními zářivkami, atd.

Důsledky: přetížení středního vodiče, přehřívání transformátoru a kabelů, špatná funkce ochran, skin efekt (způsobující vyšší ztráty)

Řešení: Dodavatelé – Vyšší zkratový výkon; Odběratelé – filtrace harmonických, pasivní filtry (malá impedance pro vyladěnou frekvenci - zkrat), aktivní filtry (výroba sinusových odběrových proudů pomocí elektroniky), samostatná zesílená síť pro nelineární spotřebiče, filtrování nulové složky 3.harmonické (vhodné zapojení napájecího transformátoru). [13]

Meziharmonická napětí

Meziharmonické napětí je sinusové napětí, které se nerovná celistvému násobku základního kmitočtu síťového napětí. V normě nejsou v současnosti uvedeny žádné hodnoty.

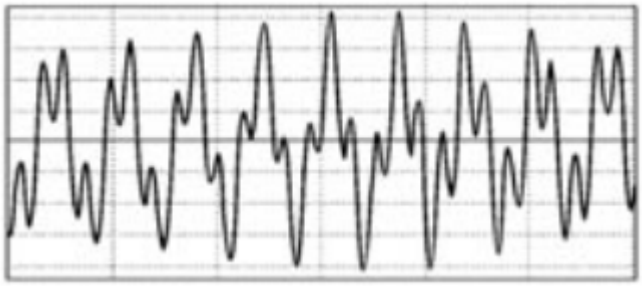
„S rozvojem používání měničů kmitočtu a podobných zařízení hladina meziharmonických narůstá. Hodnoty se v současné době studují a získávají se další zkušenosti.

V určitých případech způsobují meziharmonické i nízkých úrovní flikr nebo rušení v systémech hromadného dálkového ovládání.“[4]

Příčiny: 1) Asynchronní spínání (není synchronizováno s frekvencí energetické soustavy) polovodičových prvků ve statických měničích – např. cyklokonvertory a konvertory s pulsně-šířkovou modulací (PWM); 2) generování složek v postranních pásmech kmitočtu napájecího

napětí a jeho harmonických v důsledku změn jejich hodnot či fázového posunu, což je způsobeno rychlými změnami proudu (zátěže s hořením oblouku - obloukové pece, svařovací zařízení; elektrické pohony s proměnným zatížením, měniče kmitočtu, hromadné dálkové ovládání (HDO – úmyslně vnesená – pro optimalizaci provozu DS)

Důsledky: Kolísání efektivních hodnot napětí – blikání světel, tepelné účinky, interference mezi regulačními a ochrannými signály v napájecích elektrických vedeních, rušení telekomunikací, narušení fungování všech zařízení, jež jsou synchronizována vzhledem k nulovému bodu nebo vrcholové hodnotě napájecího napětí *(obr. 1.4). [13]*

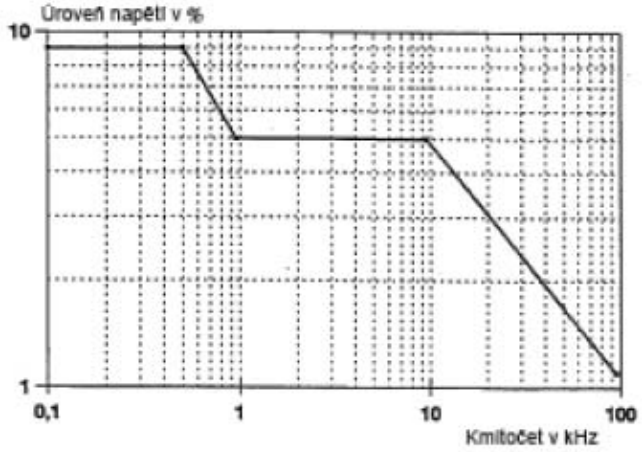


Obrázek 1.4: Vícenásobný průchod napětí nulovým bodem v důsledku zkreslení [převz. z 13]

Úrovně napětí signálů v napájecím napětí

NN, VN: *„V některých zemích provozovatelé distribučních sítí využívají veřejnou distribuční síť k přenosu informací. Střední hodnota napětí signálu měřeného po dobu tří sekund musí výt v 99 % dne menší nebo rovná hodnotám daným v obrázku 1.5.“*

VVN: „Z důvodu nízkého rezonančního kmitočtu sítí VVN nejsou uváděny žádné napětí signálu.“[4]



Obrázek 1.5: Úrovně napětí na kmitočtech signálů v procentech Un ve veřejných DS [převzato z 4]

1.4.2 Napěťové jevy

Těmito jevy jsou napěťové události způsobeny typicky neočekávatelnými událostmi (např. poruchy) nebo vnějšími vlivy (např. počasí, cizí zavinění). Pro tyto jevy nejsou proto v normě uvedeny žádné závazné hodnoty, pouze informativní v příloze. Např. pro přerušení napětí je uvedeno: *„Přerušení jsou podle svojí povahy velmi nepředvídatelná a různá od místa k místu a vzhledem k času. Pro celou dobu není možné stanovit representativní statistické výsledky měření četnosti přerušení reprezentující všechny evropské sítě.“[4]*

Obdobnou formulaci bychom našli i pro ostatní napěťové jevy.

Přerušení / poklesy napájecího napětí

Přerušení napětí je stav, kdy je napětí v místě přerušení menší než 5 % napětí dohodnutého (jmenovitého). Přerušení se dělí na plánované (předem dohodnuté) a náhodné. Ty se dále dělí na krátkodobá (do tří minut) a dlouhodobá přerušení (déle než tři minuty).

Poklesem napětí se rozumí stav, kdy napětí v napájecím bodě DS klesne pod 90 % dohodnutého napětí. Tento pokles bývá obvykle spojen s nárůstem zkratového proudu v soustavě nebo připojených instalacích.

Příčiny: plánované – např. rekonstrukce sítě; náhodné - poruchy v síti, spínání velkých zátěží, rušením, vlivem počasí na venkovní vedení

Důsledky: nepříjemné pro všechny spotřebiče, např. osvětlení či že musíme znovu doma nastavovat hodiny, ale vážné jsou zejména pro výrobní linky, zařízení s elektrickými pohony, počítačové sítě nebo samozřejmě pro přístroje v nemocích

Řešení: cílená preventivní údržba a modernizace sítě, správně dimenzované jištění, zvyšování odolnosti řídících systémů, napájení z náhradních zdrojů [13]

Dočasná zvýšení napětí

Dočasné zvýšení napětí nastává v momentě, kdy se dostane nad úroveň 110 % dohodnutého napětí.

Příčiny: atmosférické přepětí (indukované zvýšené napětí), spínáním v soustavě, u přepínače odboček u transformátoru

Důsledky: zrychlené stárnutí či úplně zničení zařízení, indukovaná rušení v řídících obvodech, elektrodynamické a tepelné namáhání

Řešení: použití vhodných přepěťových ochran a jistič, vhodné řešení kompenzace účiníku, instalace vnější a vnitřní ochrany před bleskem (hromosvody, jiskřiště, bleskojistky, omezovací diody, varistory) [13]

1.5 Podniková norma energetiky pro rozvod elektrické energie (PNE)

Soubor podnikových norem PNE je nižší stupeň technických norem, které vhodně doplňují soustavu norem ČSN v oblasti elektroenergetiky. Tyto normy jsou organizacemi energetiky přejímané do svých vnitřních předpisů převážně závazného charakteru.

Kvalitou energie se zabývají PNE 33 3430-0 až PNE 33 3430-7. Konečný návrh 4.vydání těchto norem byly odsouhlaseny těmito organizacemi: ČEPS, a.s., ČEZ Distribuce, a.s., E.ON Česká republika s.r.o., E.ON Distribuce a.s., PRE distribuce, a.s. a ZSE Bratislava, a.s.

- PNE 33 3430-0: Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav
- PNE 33 3430-1: Parametry kvality elektrické energie: Harmonické a meziharmonické
- PNE 33 3430-2: Parametry kvality elektrické energie: Kolísání napětí
- PNE 33 3430-3: Parametry kvality elektrické energie: Nesymetrie a změny kmitočtu napětí
- PNE 33 3430-4: Parametry kvality elektrické energie: Poklesy a krátká přerušení napětí
- PNE 33 3430-5: Parametry kvality elektrické energie: Přechodná přepětí – impulsní rušení
- PNE 33 3430-6: Parametry kvality elektrické energie: Omezení zpětných vlivů na hromadné dálkové ovládání
- PNE 33 3430-7: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě

1.6 Smlouva o připojení

Kromě obecných pravidel daných předešlými zákony a normami může zákazník s distributorem uzavřít individuální smlouvu, kde se mohou domluvit na jiných požadavcích, např. že bude mít individuální úroveň napětí – dohodnutou velikost Uc. Meze ± 10 % se pak počítají od tohoto dohodnutého napětí. Obdobně se lze dohodnout i na ostatních parametrech.

1.7 Legislativa v okolních zemích

Všechny okolní země jsou členy CENELEC a musí u nich platit norma EN 50160, jež nedává příliš prostoru k manévrování. Legislativa je tak v okolních zemích více méně stejná. Drobné rozdíly u průběžných jevů od této normy lze vidět z následujících tabulek (rok 2011). Vychází ze srovnání, které provádí Rada evropských energetických regulačních orgánů.

Tabulka 1.4: Odchylky napětí - rozdíly oproti normě EN 50160 [26]

Veličina	Čas	Limit	Stát (napěťová hladina)
Odchylky napětí	95%	±7.50% Un	Maďarsko (NN)
	100%	±10% Un	Maďarsko (NN), Švédsko (VVN, VN, NN)
	100%	+15% / -20% Un	Maďarsko (NN; 1minutové hodnoty)
	95%	±5% Un	Portugalsko (VVN)
	95%	±7% Un	Španělsko (VN, NN)
	100%	±10% Un	Norsko (NN)
	95%	±10% Un	Nizozemsko (VN)
	100%	+10% / -15% Un	Nizozemsko (VN)
	99,90%	±10% Un	Nizozemsko (VVN)
	95%	+5.33% / -4.66% Un	Itálie (VVN) [150 kV, normální stav]
	100%	+10% / -6.66% Un	Itálie (VVN) [150 kV, normální stav]
	100%	+13.33% / -14.66% Un	Itálie (VVN) [150 kV, nouzový stav, obnova]
	95%	±5.30% Un	Itálie (VVN) [132 kV, normální stav]
	100%	+9.84% / -9.09% Un	Itálie (VVN) [132 kV, normální stav]
	100%	+13.6% / -15.15% Un	Itálie (VVN) [132 kV, nouzový stav, obnova]
	100%	+10% / -15% Un	Itálie (VN) [dočasný ostrovní provoz normálně propojených sítí VN]

Tabulka 1.5: Ostatní průběžné jevy - Rozdíly oproti normě EN 50160 [26]

	Značka	Čas	Limit	Stát (napěťová hladina)
Flikr	Pst	95%	≤ 0.35	Kypr (VVN, VN, NN)
	Plt	95%	≤ 0.35	Kypr (VVN, VN, NN)
	Pst	100%	≤ 0.85 (plán)	Itálie (VVN)
	Plt	100%	≤ 0.62 (plán)	Itálie (VVN)
	Pst	95%	≤ 1.2	Norsko (VN, NN)
	Pst	95%	≤ 1	Norsko (VVN)
	Plt	100%	≤ 1	Norsko (VN, NN), Portugalsko (VVN)
	Plt	100%	≤ 0.8	Norsko (VVN)
	Pst	100%	≤ 1	Portugalsko (VVN)
	Plt	100%	≤ 5	Nizozemsko (VVN, VN, NN)
Napěťová nesymetrie	Vun	95%	≤ 1%	Itálie (VVN)
	Vun	100%	≤ 2%	Norsko (VVN, VN, NN), Švédsko (VVN, VN)
	Vun	100%	≤ 3%	Nizozemsko (VN, NN)
	Vun	99,90%	≤ 1%	Nizozemsko (VVN)
Harmonická napětí	THD	100%	≤ 3%	Itálie (VVN)
	THD	100%	≤ 8% 0,23 ≤ U ≤ 35 kV ≤ 3% 35 ≤ U ≤ 245 kV	Norsko (VVN, VN, NN)
	THD	100%	≤ 5%	Norsko (VN, NN)
	Individuální	95%	Tabulka	Portugalsko (VVN)
	Individuální	100%	Tabulka	Norsko (VVN, VN, NN)
	Individuální	100%	Tabulka (jako v EN 50160)	Švédsko (VVN, VN, NN)
	THD	95%	≤ 8% U < 35 kV ≤ 6% 35 ≤ U < 150 kV	Nizozemsko (VVN, VN, NN)
	Individuální	99,90%	Tabulka U < 35 kV	
	THD	99,90%	≤ 12% U < 35 kV ≤ 7% 35 ≤ U < 150 kV	

Drobné rozdíly jsou i v hodnocení kvality dodávek a nepřetržitosti dodávek. U nás se přerušení dělí na dlouhodobá, krátkodobá a přechodná. Dlouhodobá přerušení jsou delší než 3 minuty, krátkodobá od 3 minut méně a ještě máme tzv. přechodná měření od 20 ms do 1 s. Ty se zavádějí například kvůli automatice opětovného zapnutí při poruše. V některých zemích přechodná nebo krátkodobá přerušení definovány nemají, viz *tab. 1.6*.

Tabulka 1.6: Definice dlouhých, krátkých a přechodných přerušení [26]

Stát	Přechodná přerušení	Krátkodobá přerušení	Dlouhodobá přerušení
Bulharsko	T<1 sec	T<3 min	T>3 min
ČR	20 ms <T≤ 1 sec	1 sec <T≤3 min	T>3 min
Dánsko	Nedefinované	Nedefinované	T≥1 min
Estonsko	Nedefinované	Nedefinované	T>3 min
Finsko	Nedefinované	T<3 min	T≥3 min
Francie	T<1 sec	1 sec ≤T≤3 min	T>3 min
Irsko	Nedefinované	Nedefinované	T≥3 min
Itálie	T≤1 sec	1 sec <T≤3 min	T>3 min
Kypr	Nerozlišují		
Litva	T<3 min	T<3 min	T≥3 min
Lotyšsko	Nedefinované	T≤3 min	T>3 min
Lucembursko	Nedefinované	T≤3 min	T>3 min
Maďarsko	T≤1 sec	1sec <T≤3 min	T>3 min
Německo	Nedefinované	Nedefinované	T>3 min
Nizozemsko	Nedefinované	Nedefinované	T>5 sec
Norsko	Nedefinované	T ≤ 3 min	T>3 min
Polsko	Nedefinované	T≤3 min	T>3 min
Portugalsko	Nedefinované	T ≤ 3 min	T>3 min
Rakousko	Nedefinované	Nedefinované	T>3 min
Rumunsko	T≤1 sec	1sec <T≤3 min	T>3 min
Řecko	Nedefinované	T≤3 min	T>3 min
Slovensko	Nedefinované	T<3 min	T>3 min
Slovinsko	1<T<5 sec	T≤3 min	T>3 min
Španělsko	Nedefinované	T≤3 min	T>3 min
Švédsko	Nedefinované	100 msec <T≤3 min	T>3 min
Velká Británie	T<3 min	T<3 min	T≥3 min

Dlouhodobá přerušení, které patří do tzv. nepřetržitosti dodávek, se posuzují indexy SAIDI a SAIFI. Ty jsou hlášené dnes už téměř ve všech zemích (byť pod různými názvy), aby byla cena za distribuci závislá právě na těchto indexech. V některých zemích už se hlásí i indexy mapující přerušení kratší než 3 minuty, které spadají do kategorie kvality napětí. Zatím se jedná o ČR, Finsko, Francii, Itálii, Litvu, Maďarsko, Norsko, Polsko, Portugalsko, Slovinsko a Švédsko.

Pro popis těchto přerušení země vesměs používají tzv. index MAIFI, který udává průměrný počet přerušení (kratších než definovaný čas) na zákazníka.

MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index) - průměrný počet krátkodobých

přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období

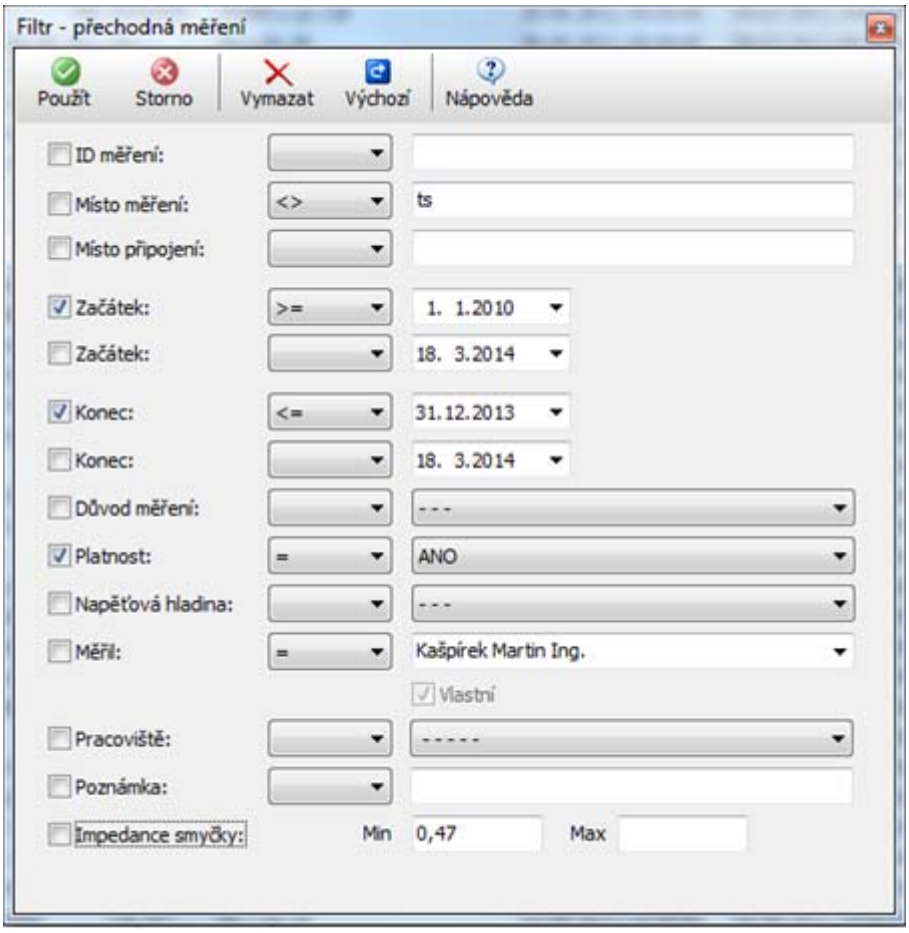
V podstatě se jedná o parametr stejný jako SAIFI, jen jde o kratší přerušení.

$$\text{MAIFI} = \frac{\textit{Celkovy}\ \text{pocet preruseni (kratsich nez definovany cas)}}{\textit{Celkovy}\ \text{pocet obsluhovanych zakazniku}} \tag{1.6}$$

2 Stav kvality napětí na jednotlivých napěťových hladinách

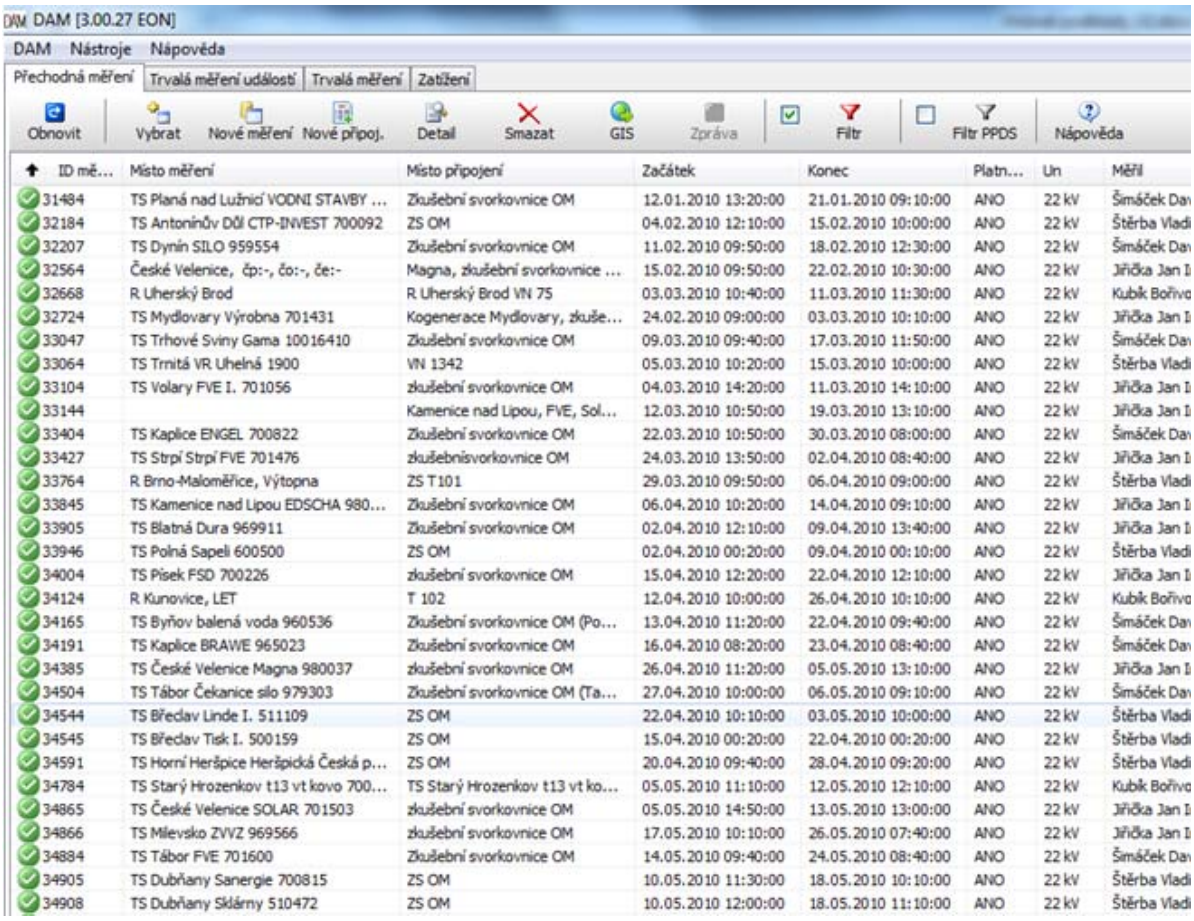
Jak uvidíme dále, ne na všech napěťových hladinách jsou problémy s kvalitou napětí stejné. Analýzou měření společnosti E.ON si ukážeme, s kterými parametry jsou největší problémy obecně a rozdíly na jednotlivých hladinách.

Společnost E.ON používá Systém pro archivaci a hodnocení měření DAM, kam se zaznamenávají všechna provedená měření. Ty lze pak vyhodnocovat s využitím vazby GIS, s ohledem na platnou legislativu, rozložení na jednotlivých napěťových hladinách, časové úseky, atd. Já si zde vyfiltroval nejprve všechna platná měření za poslední čtyři roky, tedy od 1.1.2010 do 31.1.2013, což lze vidět z *obr. 2.1*.



Obrázek 2.1: Možnosti filtrování měření v systému DAM¨podle kritérií záznamu [24]

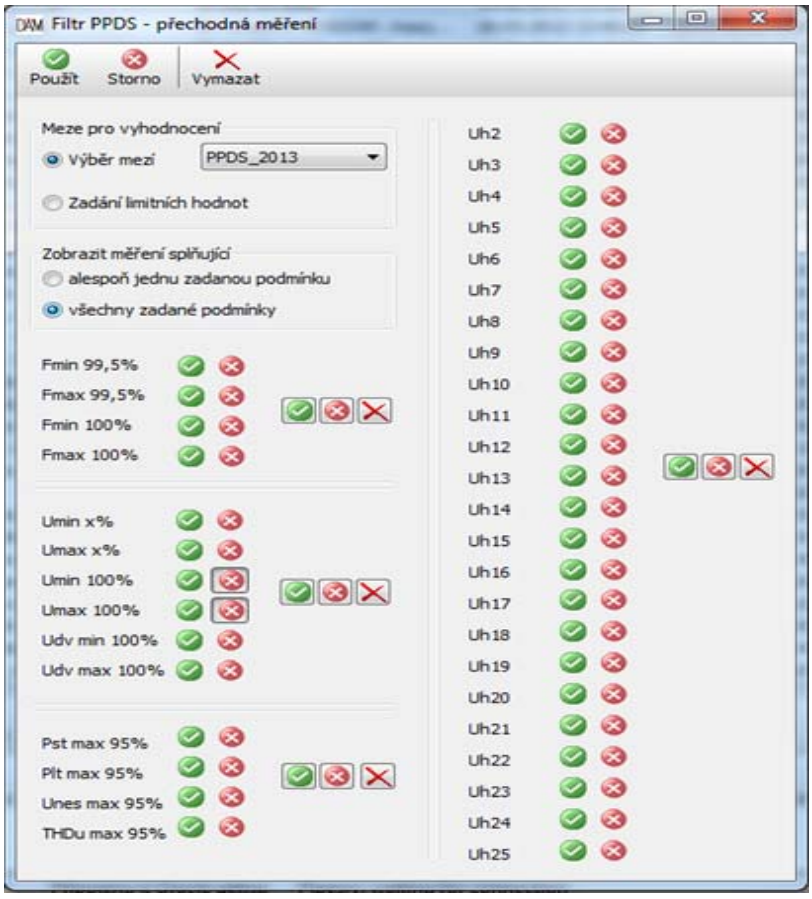
Platná měření jsou zvolena proto, aby se vyloučila ta měření, kdy došlo k nějaké chybě a délka měření pak nebyla delší než týden, tedy 1008 desetiminutových intervalů. Takových měření je 4037, což je dost na to, aby se dala zobecnit na celou DS. Tato měření jsem rozdělil podle napěťových hladin, např. na *obr. 2.2* je vidět část výpisu měření na vedení VN, 22 kV.



ID mě...	Místo měření	Místo připojení	Začátek	Konec	Platn...	Un	Měřil
31484	TS Planá nad Lužnicí VODNI STAVBY ...	Zkušební svorkovnice OM	12.01.2010 13:20:00	21.01.2010 09:10:00	ANO	22 kV	Šimáček Dav
32184	TS Antonínův Důl CTP-INVEST 700092	ZS OM	04.02.2010 12:10:00	15.02.2010 10:00:00	ANO	22 kV	Štěrba Vladi
32207	TS Dynín SILO 959554	Zkušební svorkovnice OM	11.02.2010 09:50:00	18.02.2010 12:30:00	ANO	22 kV	Šimáček Dav
32564	České Velenice, čp:-, čo:-, če:-	Magna, zkušební svorkovnice ...	15.02.2010 09:50:00	22.02.2010 10:30:00	ANO	22 kV	Jiřička Jan I
32668	R Uherský Brod	R Uherský Brod VN 75	03.03.2010 10:40:00	11.03.2010 11:30:00	ANO	22 kV	Kubík Bořivo
32724	TS Mydlovary Výrobna 701431	Kogenerace Mydlovary, zkuše...	24.02.2010 09:00:00	03.03.2010 10:10:00	ANO	22 kV	Jiřička Jan I
33047	TS Trhové Sviny Gama 10016410	Zkušební svorkovnice OM	09.03.2010 09:40:00	17.03.2010 11:50:00	ANO	22 kV	Šimáček Dav
33064	TS Trnitá VR Uhelná 1900	VN 1342	05.03.2010 10:20:00	15.03.2010 10:00:00	ANO	22 kV	Štěrba Vladi
33104	TS Volary FVE I. 701056	zkušební svorkovnice OM	04.03.2010 14:20:00	11.03.2010 14:10:00	ANO	22 kV	Jiřička Jan I
33144		Kamenice nad Lipou, FVE, Sol...	12.03.2010 10:50:00	19.03.2010 13:10:00	ANO	22 kV	Jiřička Jan I
33404	TS Kaplice ENGEL 700822	Zkušební svorkovnice OM	22.03.2010 10:50:00	30.03.2010 08:00:00	ANO	22 kV	Šimáček Dav
33427	TS Strpí Strpí FVE 701476	zkušebnísvorkovnice OM	24.03.2010 13:50:00	02.04.2010 08:40:00	ANO	22 kV	Jiřička Jan I
33764	R Brno-Maloměřice, Výtopna	ZS T101	29.03.2010 09:50:00	06.04.2010 09:00:00	ANO	22 kV	Štěrba Vladi
33845	TS Kamenice nad Lipou EDSCHA 980...	Zkušební svorkovnice OM	06.04.2010 10:20:00	14.04.2010 09:10:00	ANO	22 kV	Jiřička Jan I
33905	TS Blatná Dura 969911	Zkušební svorkovnice OM	02.04.2010 12:10:00	09.04.2010 13:40:00	ANO	22 kV	Jiřička Jan I
33946	TS Polná Sapeli 600500	ZS OM	02.04.2010 00:20:00	09.04.2010 00:10:00	ANO	22 kV	Štěrba Vladi
34004	TS Písek FSD 700226	zkušební svorkovnice OM	15.04.2010 12:20:00	22.04.2010 12:10:00	ANO	22 kV	Jiřička Jan I
34124	R Kunovice, LET	T 102	12.04.2010 10:00:00	26.04.2010 10:10:00	ANO	22 kV	Kubík Bořivo
34165	TS Byňov balená voda 960536	Zkušební svorkovnice OM (Po...	13.04.2010 11:20:00	22.04.2010 09:40:00	ANO	22 kV	Šimáček Dav
34191	TS Kaplice BRAWE 965023	Zkušební svorkovnice OM	16.04.2010 08:20:00	23.04.2010 08:40:00	ANO	22 kV	Šimáček Dav
34385	TS České Velenice Magna 980037	zkušební svorkovnice OM	26.04.2010 11:20:00	05.05.2010 13:10:00	ANO	22 kV	Jiřička Jan I
34504	TS Tábor Čekanice silo 979303	Zkušební svorkovnice OM (Ta...	27.04.2010 10:00:00	06.05.2010 09:10:00	ANO	22 kV	Šimáček Dav
34544	TS Břeclav Linde I. 511109	ZS OM	22.04.2010 10:10:00	03.05.2010 10:00:00	ANO	22 kV	Štěrba Vladi
34545	TS Břeclav Tisk I. 500159	ZS OM	15.04.2010 00:20:00	22.04.2010 00:20:00	ANO	22 kV	Štěrba Vladi
34591	TS Horní Heršpice Heršpická Česká p...	ZS OM	20.04.2010 09:40:00	28.04.2010 09:20:00	ANO	22 kV	Štěrba Vladi
34784	TS Starý Hrozenkov t13 vt kovo 700...	TS Starý Hrozenkov t13 vt ko...	05.05.2010 11:10:00	12.05.2010 12:10:00	ANO	22 kV	Kubík Bořivo
34865	TS České Velenice SOLAR 701503	zkušební svorkovnice OM	05.05.2010 14:50:00	13.05.2010 13:00:00	ANO	22 kV	Jiřička Jan I
34866	TS Milevsko ZVVZ 969566	zkušební svorkovnice OM	17.05.2010 10:10:00	26.05.2010 07:40:00	ANO	22 kV	Jiřička Jan I
34884	TS Tábor FVE 701600	Zkušební svorkovnice OM	14.05.2010 09:40:00	24.05.2010 08:40:00	ANO	22 kV	Šimáček Dav
34905	TS Dubňany Sanergie 700815	ZS OM	10.05.2010 11:30:00	18.05.2010 10:10:00	ANO	22 kV	Štěrba Vladi
34908	TS Dubňany Sklárny 510472	ZS OM	10.05.2010 12:00:00	18.05.2010 11:10:00	ANO	22 kV	Štěrba Vladi

Obrázek 2.2: Část výpisu měření na vedení VN v archivačním systému DAM [24]

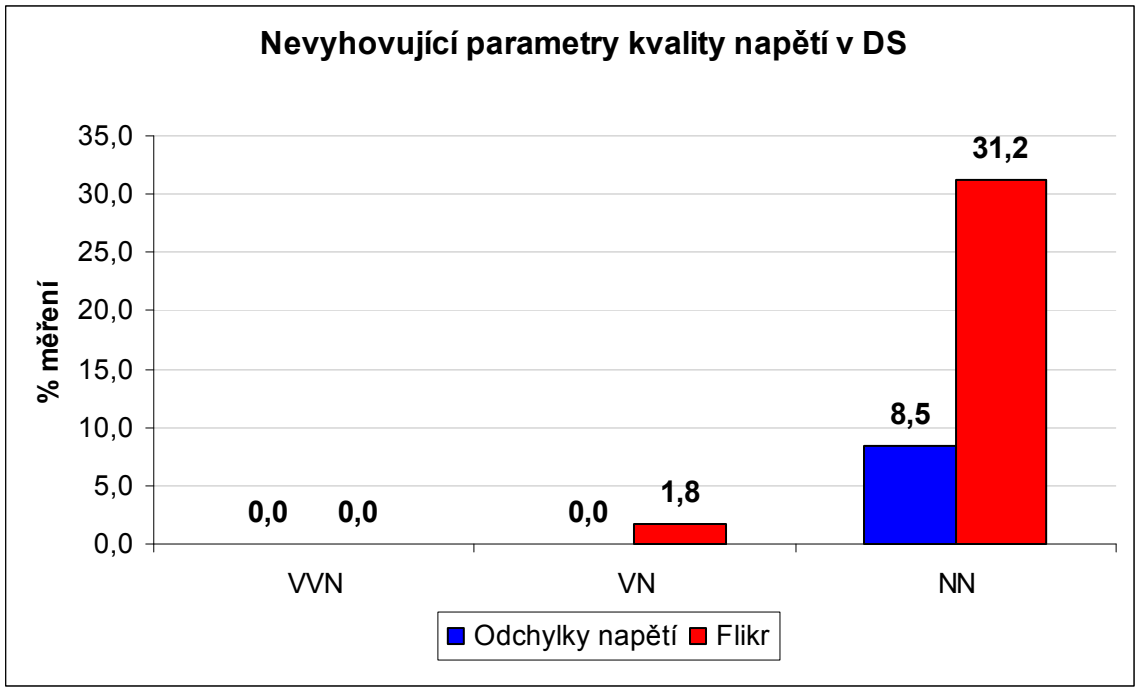
Danou napěťovou hladinu jsem pak analyzoval samostatně díky filtru (*obr. 2.3*) podle nejčastěji nevyhovujících parametrů (odchylky napětí a flikr), viz graf na *obr. 2.4*.



Obrázek 2.3: Možnost filtrování měření v systému DAM podle výsledku měření (na obrázku příklad pro nevyhovující odchylky napětí) [24]

2.1 Obecná analýza

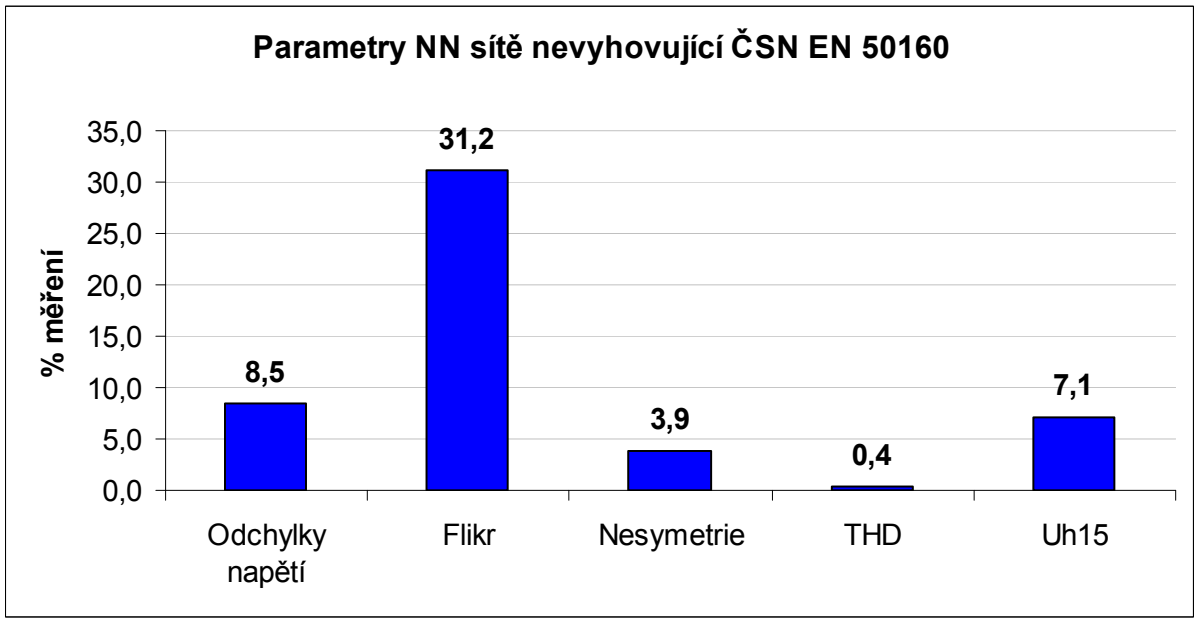
Na sítích VVN bylo v letech 2010 - 2013 provedeno 88 měření, na VN 598 a na NN 3351. *Z obrázku 2.4* je patrné, že největší problémy jsou na hladině NN. Je to kvůli tomu, že má nejmenší zkratový výkon a také je na ní nejvíce odběratelů – téměř 1,5 milionu (viz *tab. 1*), zatímco na VN a VVN řádově pouze desítky. Výjimečně se s překročením limitní hodnoty pro flikr můžeme setkat i na hladině VN. Zde se pravděpodobně jedná o markantní přispěvatele s nestandardní technologií (např. svářečky, lisy, katry…). Ostatní parametry jsou na hladinách VN a VVN v pořádku.



Obrázek 2.4: Analýza 4037 měření na jednotlivých hladinách (2010-2013) [24]

2.2 Napěťová hladina NN

Na síť 0,4 kV se zaměřím více, protože rozvinutá délka vedení je největší, zkratový výkon nejmenší, je zde připojeno nejvíce odběratelů a je nejvíce problematická s ohledem na dodržení parametrů kvality napětí. To lze vypozorovat už z počtu měření v systému DAM, kdy z celkových 4037 měření v období 2010-2013 je hned 3351 na vedení NN.



Obrázek 2.5: Výsledky analýzy 3351 měření na NN sítích (2010-2013) [24]

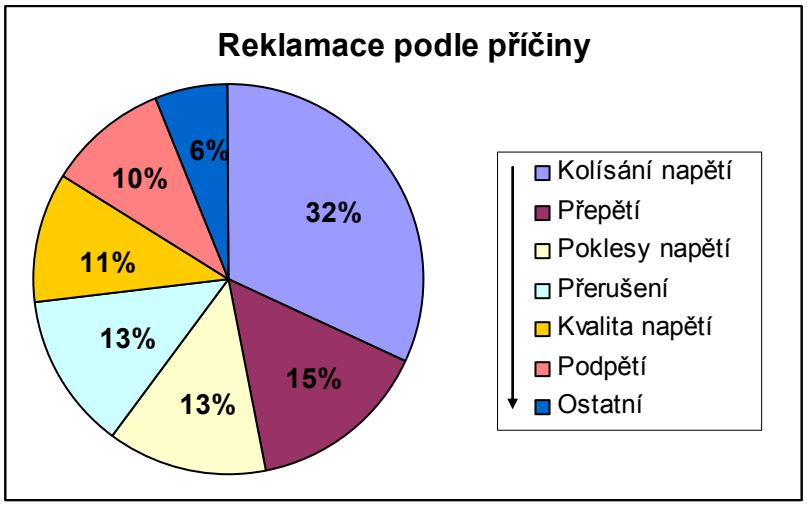
Je zřejmé, že na hladině NN se obecně můžeme setkat s nedodržením limitních hodnot pro odchylky napětí, flikr, nesymetrie, THD a vyšší harmonické. Z těch nevyhovuje nejčastěji

15. harmonická Uh15, což mi předem potvrdil i pan Ing. Kašpírek, Ph.D, vedoucí oddělení kvality napětí, který to má empiricky vypozorované. Nejčastějším nevyhovujícím parametrem je flikr, který může způsobit horší vnímání zrakové pohody u svítidel, na správnou funkci běžných spotřebičů by však významný vliv mít neměl. [18]

Co se týká odchylek napětí, nevyhovělo celkem 8,5 % sítí, z toho přibližně 5,9 % na přepětí, 3,7 % na podpětí a v 1,1 % případů se v průběhu týdenního měření vyskytlo jak podpětí, tak přepětí.

2.3 Stížnosti odběratelů

Společnost E.ON vyhodnotila reklamace na kvalitu napětí, bohužel z let 2007 – 2010, poté už statistiky vyhodnocené nemá. Reklamací bylo několik set a vyhodnoceny byly podle příčin snížené kvality napětí, které zákazník popisoval a které tak vedou k nejčastějším reklamacím. [18]



Obrázek 2.6: Reklamace zákazníků podle příčin v letech 2007 – 2010 [18]

Z grafu je zřejmé, že nejčastějším parametrem snížené kvality, na který si zákazník stěžoval, je kolísání napětí. To může vést ke zrakovému vjemu – flikru a koresponduje to tak s analýzou v předchozí podkapitole 2.2.

3 Závislost parametrů kvality napětí na vnitřní impedanci sítě

Vnitřní impedancí sítě se rozumí impedance smyčky, kterou tvoří impedance fázového vodiče přívodního vedení a impedance vodiče PEN tohoto vedení, respektive v případě jednofázového vedení impedance fázového vodiče v místě měření proti zemi. Impedanci smyčky Z ovlivňuje i paralelní impedance (k vodiči PEN) uzemnění prvků distribuční sítě v trase přívodního vedení (např. uzemnění podpěrných bodů, kabelových skříní, atd.).

Obrázek 3.1: Měření jednofázové zkratové impedance smyčky $Z_{L\text{-}N}$ [24]

3.1 Vztažná impedance dle PNE 333430-0

Velikost vztažné vnitřní impedance (impedanční smyčky) je dán normou PNE 333430-0:

$Z_{vzSmyčky}$ = 0,47 Ω pro zařízení se jmenovitým proudem do 16 A

$Z_{vzSmyčky}$ = 0,35 Ω pro zařízení se jmenovitým proudem do 75 A

Ekvivalentem pro impedanci smyčky je 3f zkratová vztažná impedance (pouze impedance fázového vodiče), respektive 3f zkratový výkon:

Zvz =0,283 Ω a *Sk"*=570kVA pro zařízení se jmenovitým proudem do 16A

Zvz =0,215 Ω a *Sk"*=760kVA pro zařízení se jmenovitým proudem do 75A

Tyto hodnoty impedancí lze brát na zřetel při určení zodpovědnosti za nedodržení kvality napětí. Pokud jsou hodnoty impedance v distribuční síti menší než vztažné hodnoty, tak by vlivem provozu běžných spotřebičů nemělo dojít k nedodržení kvality napětí. Pokud ano, zhoršení patrně způsobuje některé nestandardní odběratelské zařízení (např. pila, svářečky, katr), respektive markantní přispěvatel zpětných vlivů. [18]

V terénu pracovníci E.ON měří jednofázovou zkratovou impedanci $Z_{L\text{-}N}$, viz *obr. 3.1*. Používaný program pro modelování sítí E-vlivy oproti tomu počítá třífázovou zkratovou impedanci Zk. V *tabulce 3.1* vidíme hodnoty vztažných impedancí, které nazývají intravilán a extravilán.

Tabulka 3.1: Tabulka vztažných impedancí [24]

	Intravilán	**Extravilán**
Z vypočtená 3f zkratová (E-vlivy)	0,21Ω	0,28Ω
Z měřená 1f zkratová (Zerotest)	0,35Ω	0,47Ω

Přepočet mezi 1f a 3f impedancí se používá následující. [24]

$$Z_{L\text{-}N} = konst \cdot Zk \tag{3.1}$$

Konst = 2 sítě NN s vysokým odporem uzemnění

Konst = 1,5 sítě NN s malým odporem uzemnění

Konst = 1,68 běžná síť NN

Špatný proudový spoj v síti NN lze najít pouze porovnáním naměřené a vypočtené impedance smyčky. [24]

3.2 Vyhodnocení měření z cca 1000 sítí společnosti E.ON

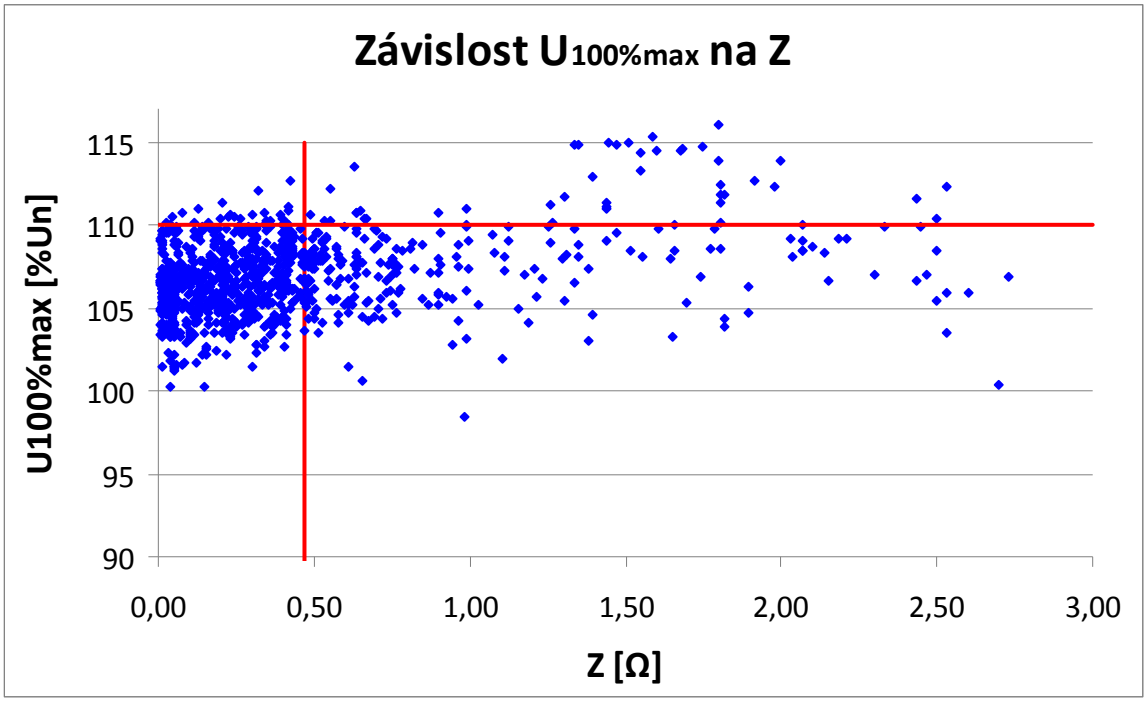
K dispozici mám od společnosti E.ON opět hodnoty z měření na 1007 NN sítích, každá se změřenou a zaznamenanou vnitřní impedancí, viz *obr. 3.2*.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	záložka PPD	impedance smyčky Z [Ω]										
2	č.DAM	Z L1 [Ω]	Z L2 [Ω]	Z L3 [Ω	(L1+L2L3)/3	Umax100%	Umin100%	Plt95%ma	Pst95%ma	THD [	Uu [%	Uh15 [%
286	52283	2,9	2,9	2,3	2,70	100,39	80,31	6,014	5,279	4,213	4,85	0,8
287	52301	0,02	0,03	0,02	0,02	103,5	99,87	0,256	0,262	1,31	0,37	0,05
288	52302	0,1	0,11	0,1	0,10	103,5	99,87	0,256	0,262	1,31	0,37	0,05
289	52303	0,09	0,1	0,11	0,10	103,39	98,26	0,654	0,333	1,44	0,43	0,1
290	52305	0,05	0,05	0,05	0,05	102,17	97,87	0,614	0,64	3,06	0,32	0,25
291	52363	6,3	6,4	6,2	6,30	102,26	96,63	0,686	0,646	1,63	0,75	0,2
292	52382	1,65	1,67	1,65	1,66	108,42	91,53	1,895	1,917	2,43	1,31	0,06
293	52383	0,2	0,18	0,21	0,20	109,34	99,61	1,823	1,858	3,333	0,94	0,35
294	52441	0,35	0,39	0,33	0,36	103,37	93,63	2,462	2,506	2,11	1,77	0,2
295	52541	0,05	0,05	0,05	0,05	105,41	102,28	0,544	0,505	1,26	0,32	0,05
296	52561	0,11	0,1	0,1	0,10	106,33	100,17	0,437	0,449	2,4	0,41	0,21
297	52575	0,01	0,01	0,01	0,01	104,01	99,65	0,236	0,249	1,465	0,32	0,1
298	52581	0,22	0,21	0,18	0,20	105,63	94,96	2,766	3,098	2,07	0,64	0,25
299	52582	0,26	0,26	0,3	0,27	105,57	100,27	0,563	0,543	1,32	0,57	0,11
300	52601	1,85	1,86	1,74	1,82	111,8	100,14	2,19	2,829	1,87	0,79	0,21

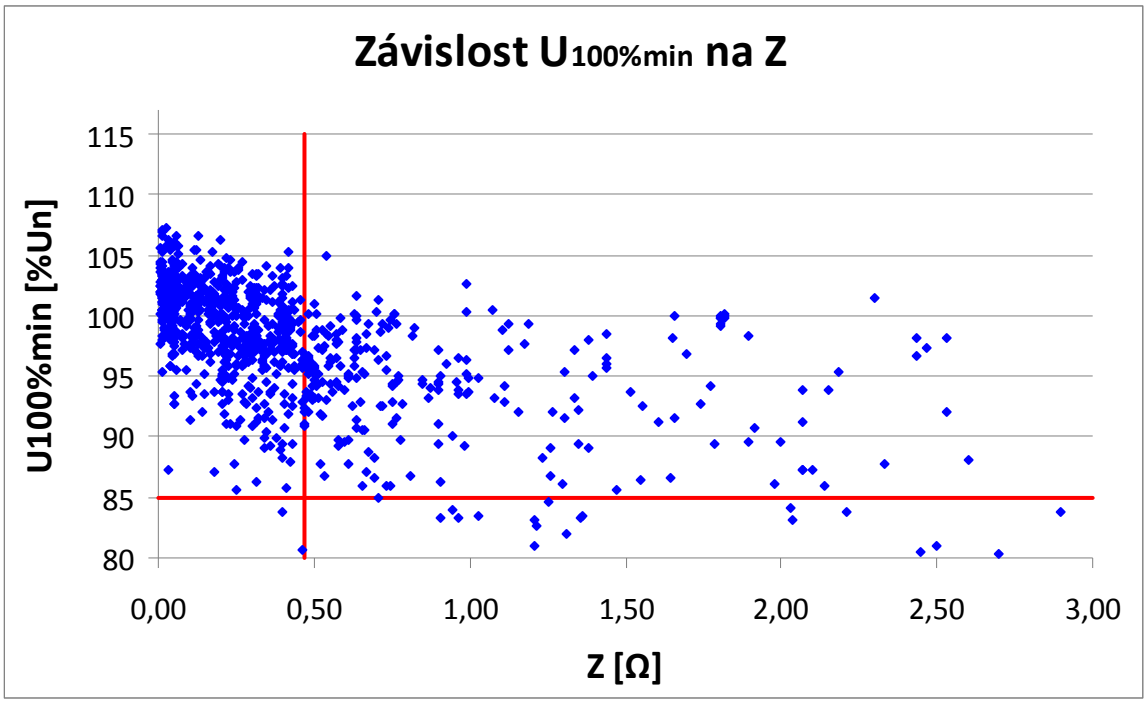
Obrázek 3.2: Ukázka naměřených hodnot z MS Excel [24]

Tyto data byla graficky vyhodnocena s ohledem na dosažení úrovně následujících parametrů: odchylky napětí (U100%max a U100%min), flikr Plt, flikr Pst, harmonické zkreslení napětí THD, nesymetrie napětí Uu, 15. harmonická na napětí Uh15.

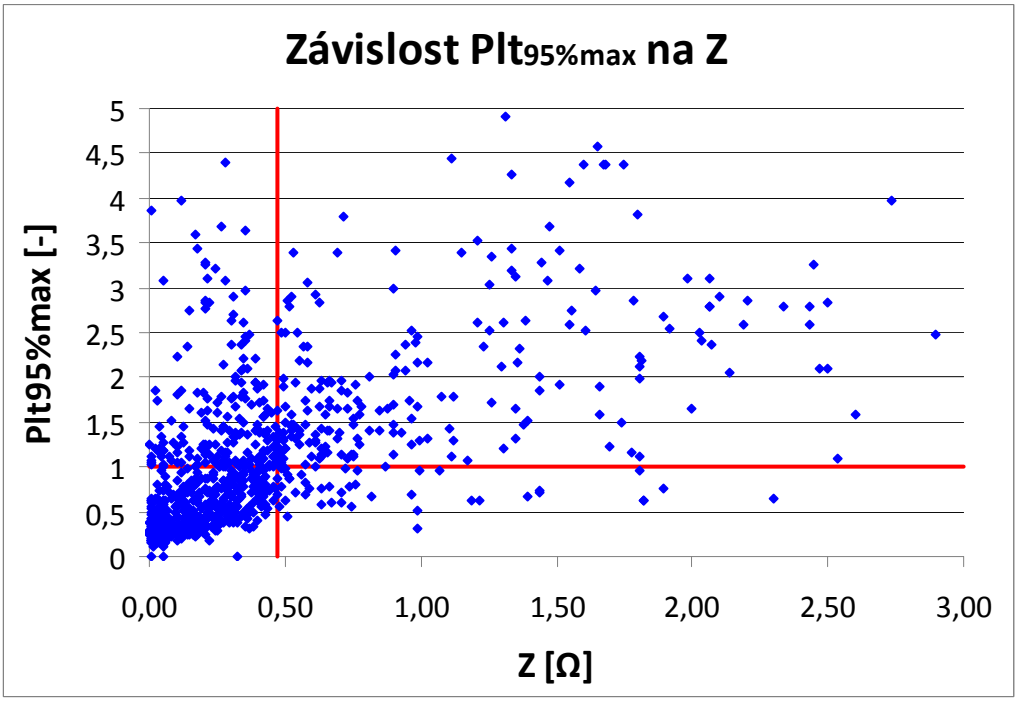
V grafech je vždy vodorovná červená čára, která znázorňuje limitní hodnotu pro daný parametr dle ČSN EN 50160, a svislá červená čára, která znázorňuje hodnotu vnitřní vztažné impedance Z = 0,47 Ω.



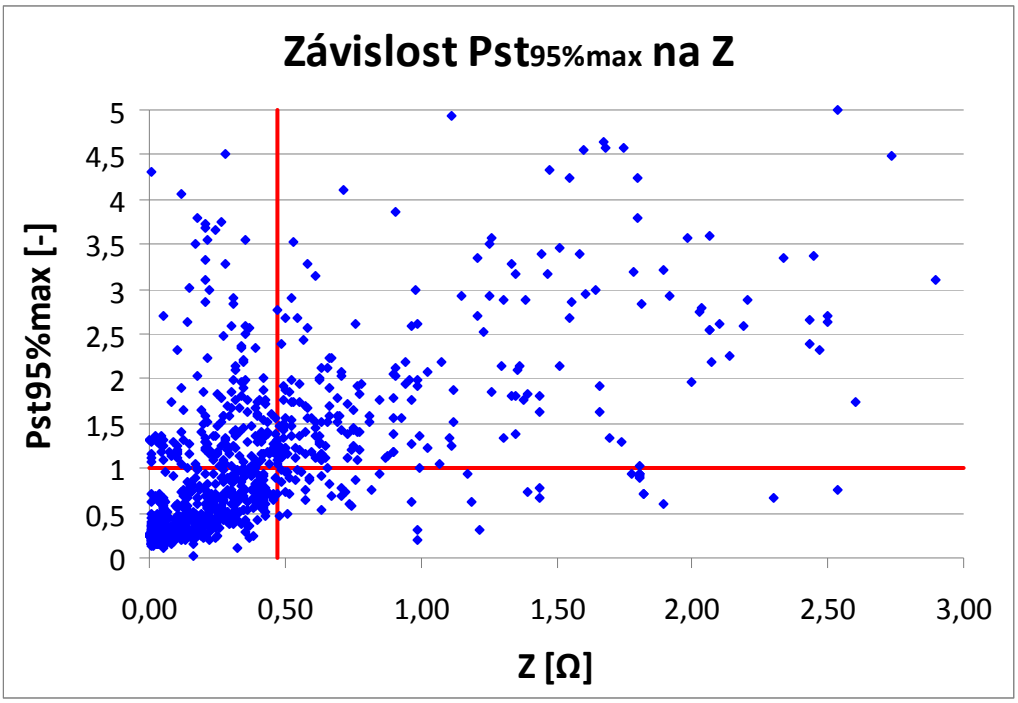
Obrázek 3.3: Závislost maximálních odchylek napětí na vnitřní impedanci sítě Z [24]



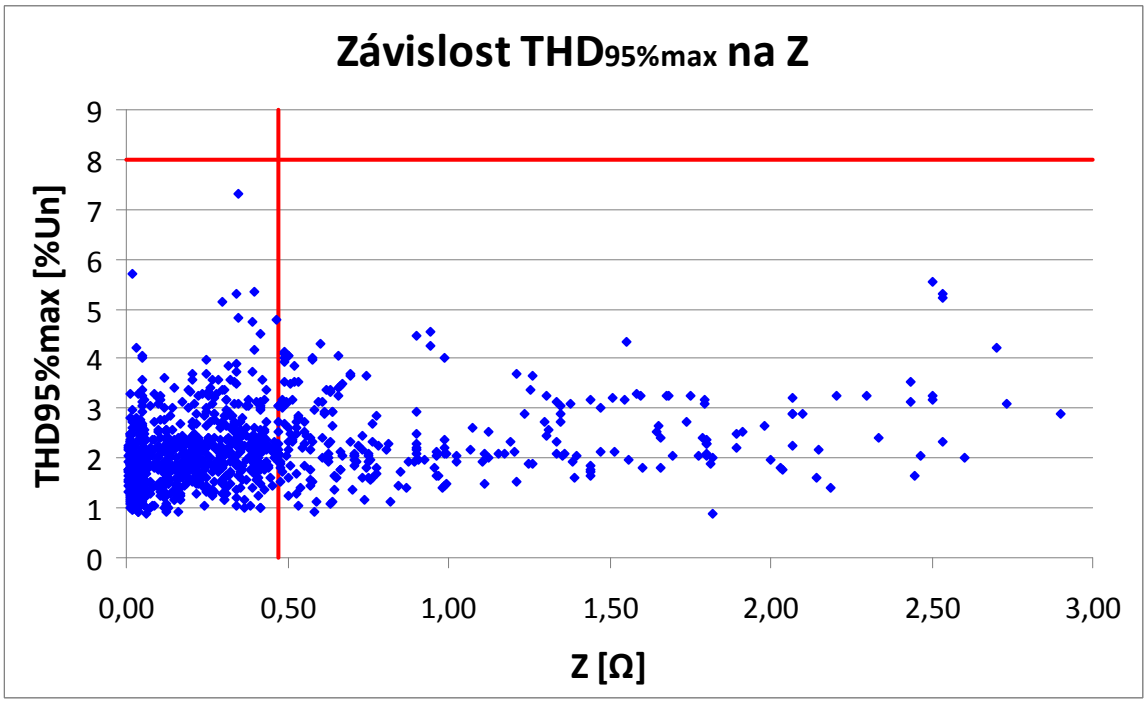
Obrázek 3.4: Závislost minimálních odchylek napětí na vnitřní impedanci sítě Z [24]



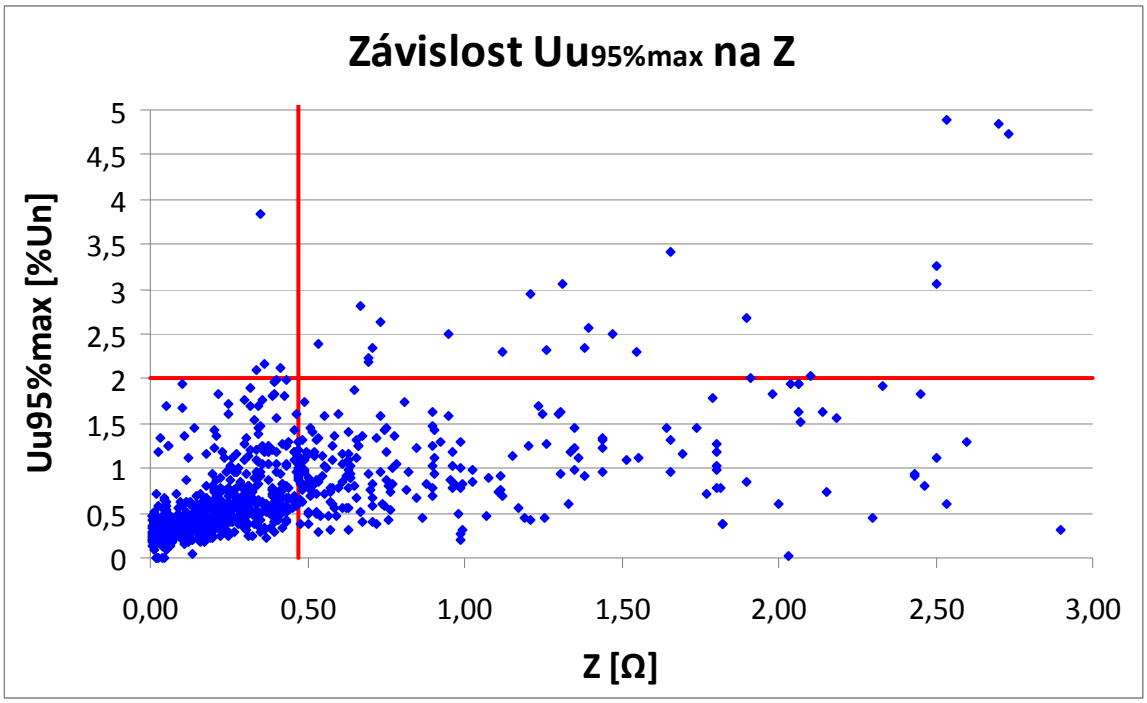
Obrázek 3.5: Závislost flikru Plt na vnitřní impedanci sítě Z [24]



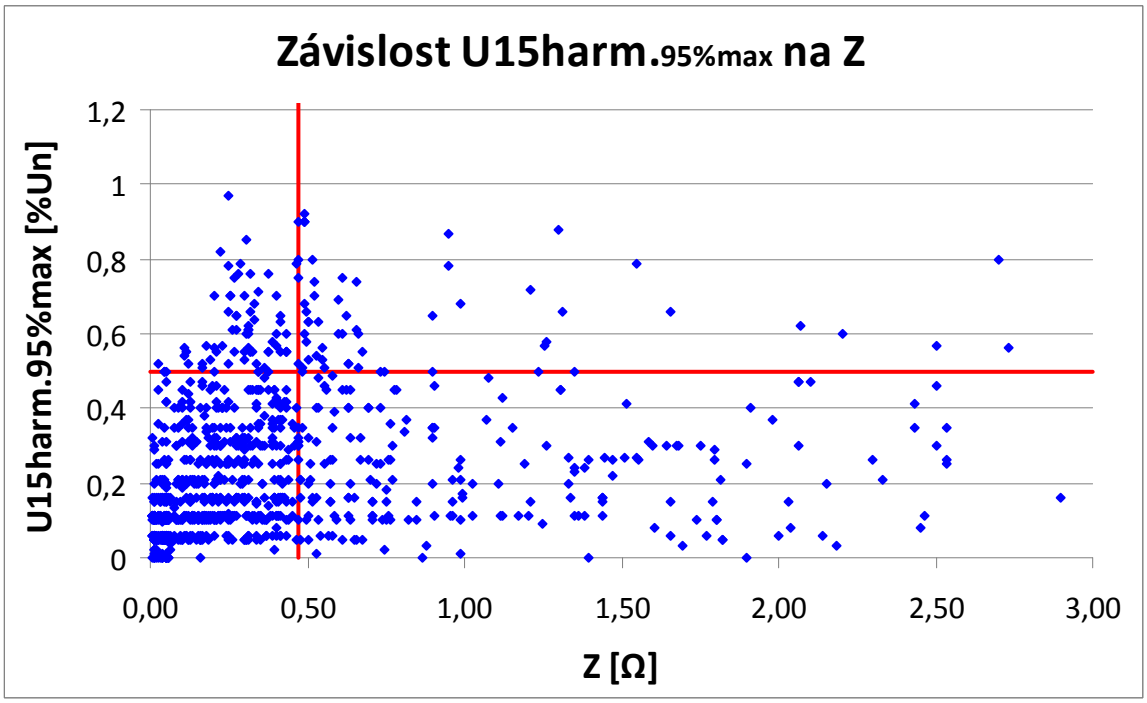
Obrázek 3.6: Závislost flikru Pst na vnitřní impedanci sítě Z [24]



Obrázek 3.7: Závislost harmonického zkreslení napětí na vnitřní impedanci sítě Z



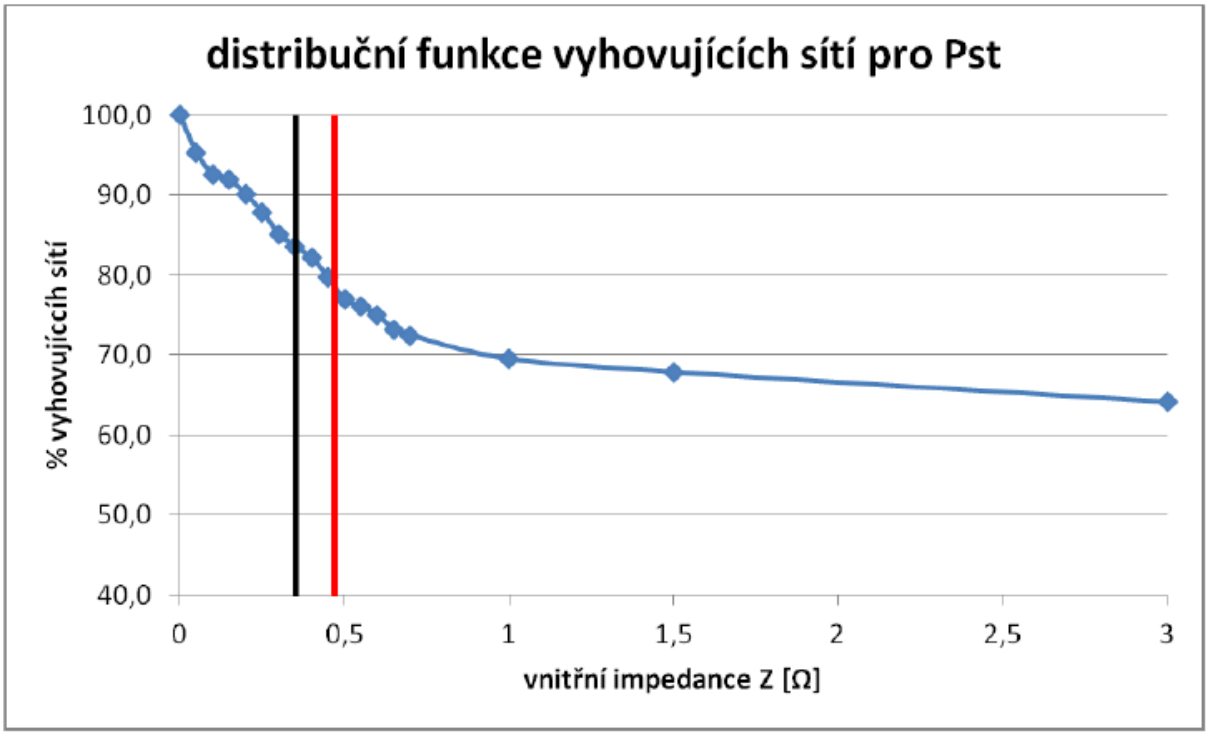
Obrázek 3.8: Závislost nesymetrie napětí Uu na vnitřní impedanci sítě Z [24]



Obrázek 3.9: Závislost 15. harmonické napětí na vnitřní impedanci sítě Z [24]

Z grafů je patrné, že ke zhoršení kvality u jednotlivých parametrů dochází i v případě dodržení vztažné impedance, ale relativně méně často.

Na posledním grafu si znázorníme distribuční funkci pro parametr, který je nejčastěji překračovaný v DS, tedy flikr, zde zvolíme Pst.



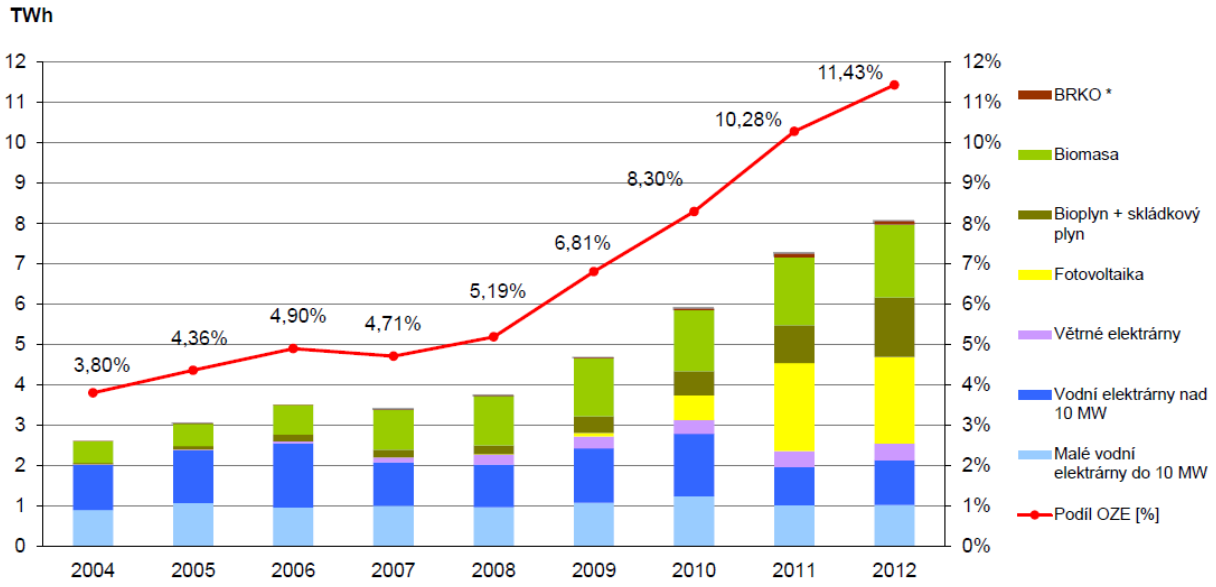
Obrázek 3.10: Distribuční funkce sítí NN vyhovujících ČSN EN 50160 pro parametr flikr Pst [převzato z 18]

Z grafu na *obr. 3.10* je patrné, že ačkoli je dodržena hodnota vztažné impedance 0,47 Ω (červená čára), s ohledem na nepřekročení flikru vyhoví jen necelých 80 % sítí. Černá čára značí hodnotu vztažné impedance 0,35 Ω, při dodržení této hodnoty vyhoví necelých 85 % sítí. V nezanedbatelném počtu sítí tedy dochází k překročení flikru i v případě, když je dodržena velikost vztažné impedance. Celkem nevyhovělo z důvodu překročení flikru cca 35 % NN sítí, což se přibližně shoduje s analýzou na *obr. 2.5*. Pro snížení tohoto % by bylo nutné buď konstruovat sítě s ještě menší vnitřní impedancí (větším zkratovým výkonem), což by ale sítě významně prodražilo, nebo hledat v každé síti konkrétního odběratele, který svými nestandardními spotřebiči tento flikr způsobuje. Markantní odběratelé (uživatelé způsobující vyšší úroveň zpětných vlivů, než udává norma PNE 333430-0, např. průmyslový závod či nestandardní odběratelské zařízení jako je katr) ale flikr způsobili i u relativně dobrých sítí s nižší než vztažnou impedancí, nebo mohl být flikr také přenesen z hladiny 22 kV. [18]

4 Vliv OZE na parametry kvality napětí

Co jsou vůbec OZE, to je definováno např. v zákoně 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů: *„obnovitelnými zdroji obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu z čistíren odpadních vod a energie bioplynu.“ [16]*

Jak je vidět z obr. 4.1, výroba z OZE u nás roste. V roce 2012 činil podíl OZE na celkové spotřebě energie 11,43 %, cca 8 ze 70 TWh (*pozn. *BRKO* = biologicky rozložitelná složka komunálního odpadu*). [17]



Obrázek 4.1: vývoj výroby elektřiny z OZE v ČR a její podíl na domácí spotřebě [převzato z 17]

Důležité jsou dva zdroje – FTE a VTE, protože jsou závislé na počasí, disponibilita výkonu je u nich obtížně predikovatelná, protože dodává vždy pouze určité % instalovaného výkonu podle toho, jak svítí, či nesvítí slunce, respektive fouká, či nefouká vítr, což se mění jak v průběhu roku, tak v průběhu dne, viz *obr. 4.2*. Navíc mohou zhoršovat některé parametry - VTE zejména flikr, FVE odchylky napětí, oba zdroje jsou navíc připojené přes průmyslovou elektroniku (střídače, měniče kmitočtu,…), která může generovat harmonické proudy. Ty pak injektují do napájecí sítě, kde způsobují dodatečné harmonické zkreslení. [25]

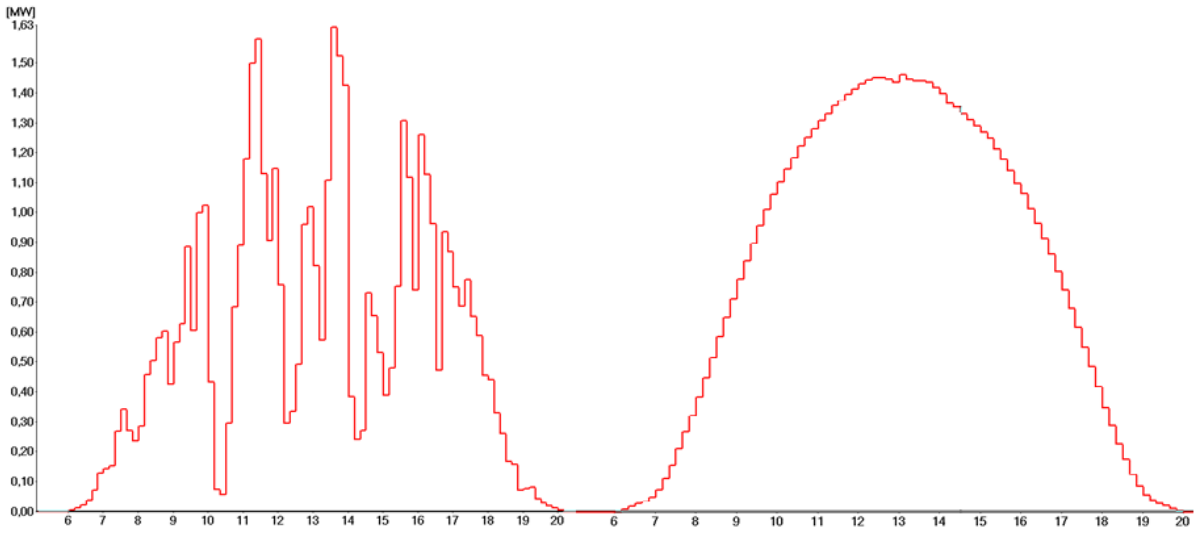
Další skupinu tvoří VE a MVE, které mohou také způsobovat výkyvy výkonů, závislé na průtoku vody, a tím i některé nežádoucí vlivy, avšak v daleko nižší míře než FVE a VTE. Někdy v letním sušším období je průtok malý, stejně jako v zimě, kdy může i zamrznout, a MVE se musí odstavit úplně. Stejně tak naopak při povodních, kdy by hrozilo zničení turbíny.

Ostatní OZE nemají na elektrizační soustavu takový vliv, protože je u nich vždy požadavek na plynulost, to se týká např. přísunu bioplynu či biomasy. [25]

Jednotlivé zdroje jsem se takto pokusil znázornit v *tabulce 4.1* v závislosti na tom, jak moc ovlivňují časté parametry snížené kvality (čím více O, tím více ovlivňují).

Tabulka 4.1: Výrobny ovlivňující parametry

	Odchylky napětí	Flikr	(Mezi)Harmonické
VTE	O O	O O O	O O
FVE	O O O	O O	O
MVE	O	O	O
Bioplyn	—	—	—



Obrázek 4.2: Příklad průběhu výroby energie ve FVE v průběhu 2 dní – zataženo a slunečný den [převzato z 24]

4.1 Vyhodnocení měření společnosti E.ON

Můj konzultant Ing. Martin Kašpírek, Ph.D., který působí v E.ON jako vedoucí týmu Kvalita dodávky energií, mi poskytl hodnoty z měření na sítích s FVE NN i VN a také VTE VN. Hodnoty opět pochází ze Systému pro archivaci a hodnocení měření DAM (Datová Analýza Měření), z kterého lze exportovat data do Excelu. Pokusím se zde vyhodnotit vliv FVE a VTE na kvalitu napětí z konkrétních měření.

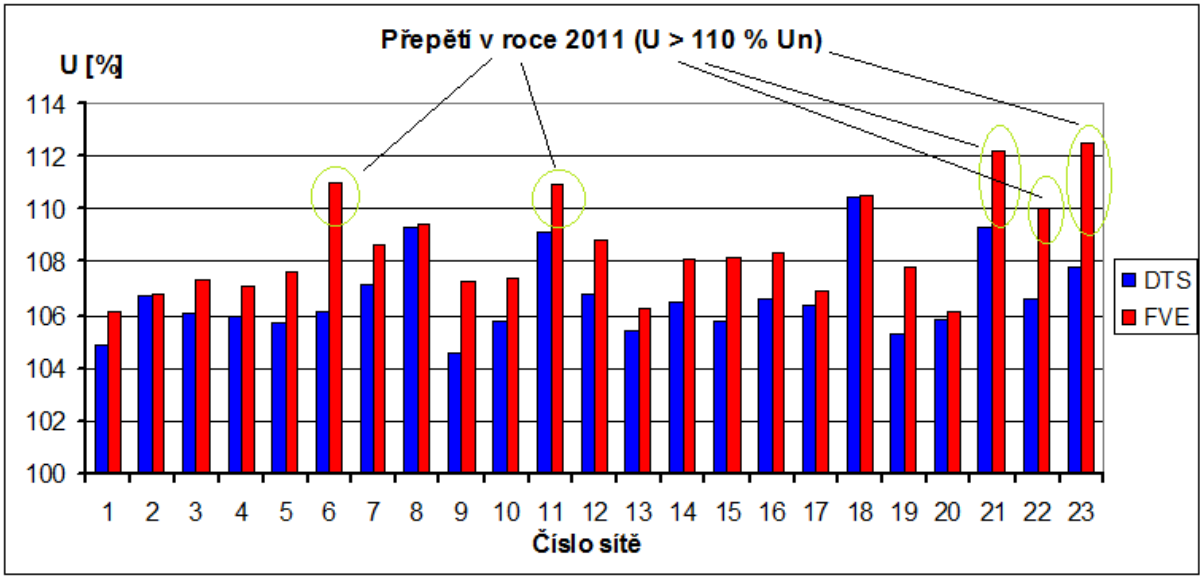
4.1.1 Vyhodnocení NN sítí s nasazenými FVE

V distribučních NN sítích, kde jsou nasazeny OZE, se dají očekávat zvýšené hodnoty napětí nebo přepětí. Tento předpoklad ověřila společnost E.ON Distribuce, a.s, která se snažila vybrat 23 reprezentativních NN sítí s FVE pokud možno tak, aby šly závěry zobecnit na celé území.

Měření probíhala nejprve v období květen až červenec 2011 v trafostanici a současně také

v místě připojení FVE u každé sítě, a to s ohledem na normu ČSN EN 50160 - vždy nejméně týden, tedy 1008 průměrných efektivních 10minutových hodnot.

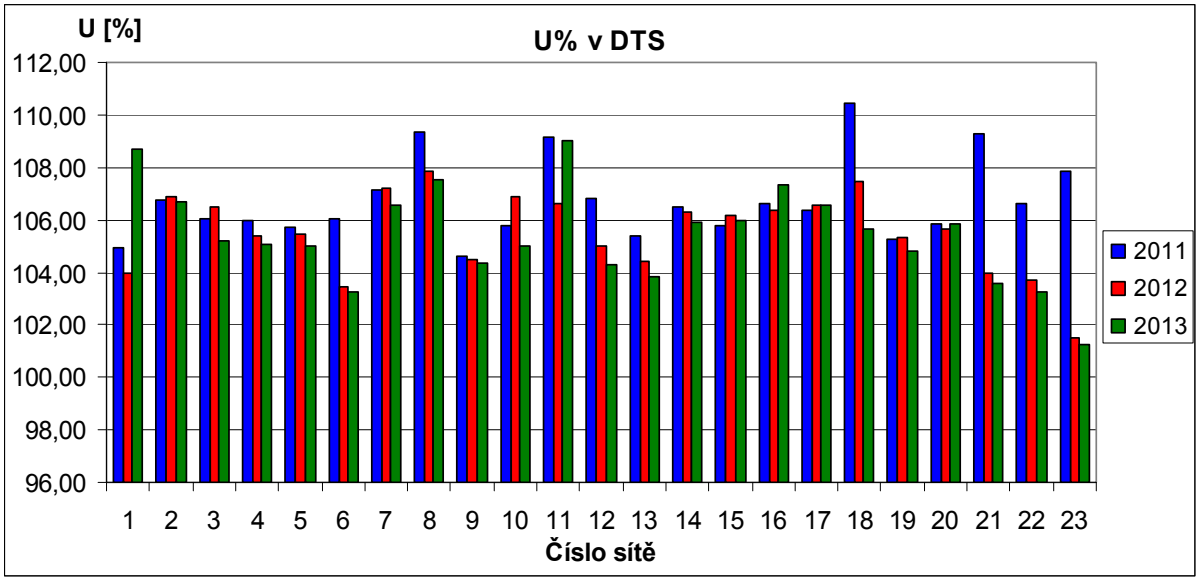
U každé sítě jsem vybral největší hodnotu napětí za celé měřené období ze všech 3 fází a to jak z měření v trafostanici (DTS), tak v místě připojení FVE. Z toho jsem pak vytvořil následující graf s maximálními odchylkami na *obr. 4.3*.



Obrázek 4.3: Vyhodnocení měření na max. odchylky napětí v DTS a v místě FVE NN, %Un, kampaň 2011 [24]

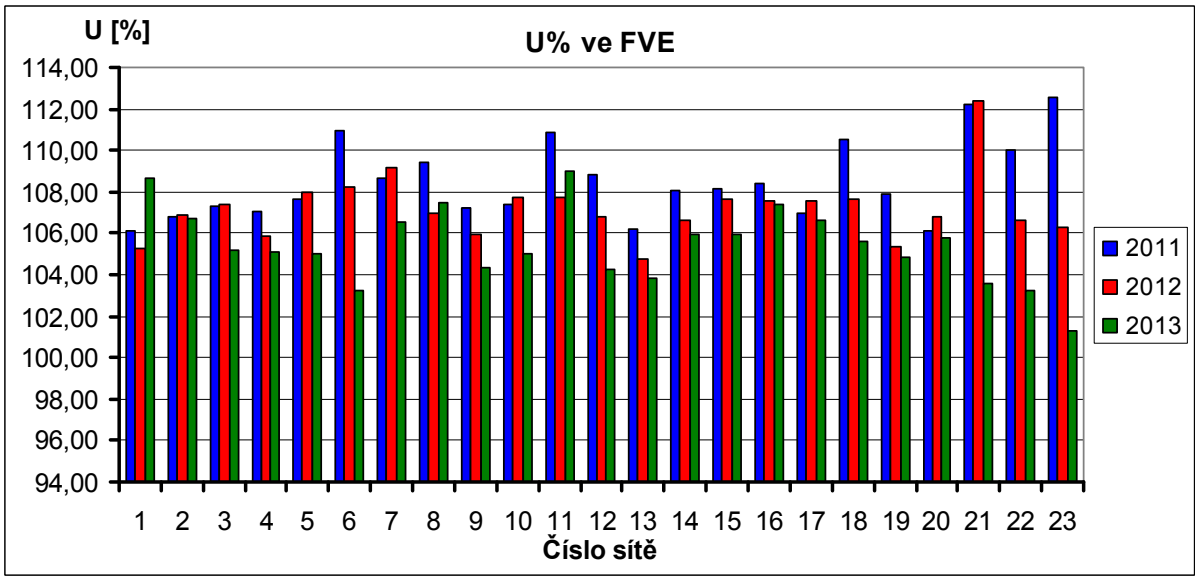
Z grafu je vidět, že v 5 případech (sítě č. 6, 11, 21, 22, 23) v roce 2011 odchylky napětí nevyhověly normě ČSN EN 50160 z důvodu přepětí (max. 110 %), které je jasně způsobené FVE, protože v DTS je napětí v tolerancích. V tomto menším rozboru tedy (5/23)*100 = 21,7 % NN sítí s FVE NN nevyhovělo na odchylky napětí podle normy ČSN EN 50160 vlivem provozu OZE. V síti číslo 18 bylo přepětí i v DTS, takže byla chybně nastavená odbočka na transformátoru.

U nevyhovujících sítí bylo provedeno snížení napětí přenastavením odbočky na distribučním transformátoru 22 kV/NN. Měření pak bylo opakováno ve všech 23 sítích na jaře 2012 a také počátkem roku 2013, a to opět současně v DTS a FVE NN. V DTS už nyní nebylo přepětí ani jedno, tedy ani v síti č. 18, viz *obr. 4.4*.



Obrázek 4.4: Vyhodnocení na max. odchylky napětí v trafostanici pro 23 různých NN sítí [24]

Také v místě FVE se podařilo v roce 2012 u sítí číslo 6, 11, 22 a 23 přepětí odstranit. To se nepovedlo pouze u sítě číslo 21, což je vidět z následujícího grafu na *obr. 4.5*.



Obrázek 4.5: Vyhodnocení na max. odchylky napětí na FVE NN pro 23 různých NN sítí [24]

Lze tedy konstatovat, že v tomto vzorku sítí nevyhovělo na odchylky napětí z důvodu provozu FVE 21,7 % sítí, po nápravném opatření (přenastavením odbočky) už nevyhověla jediná síť, takže (1/23)*100 = 4 % sítí. V roce 2013 už vyhověly úplně všechny, nutno podotknout, že měření proběhlo počátkem roku, kdy slunce téměř nesvítilo, protože pracovníci E.ON chtěli zjistit dopad na podpětí, tedy U_{min}. Pouze u jedné sítě kleslo napětí pod 90 %, konkrétně na 89,92 %. To je však na 5 % času dovoleno, takže to bylo v pořádku. Vliv FVE na odchylky napětí se tedy nedá zanedbat a distributor musí případné další připojování OZE pečlivě posuzovat a věnovat se i současným sítím, ve kterých musí udržovat

různými technickými opatřeními stabilní napětí (např. nasazení distribučních transformátorů VN/NN s regulací odboček pod zatížením, atd.). Shrnutí, které vyplývá z analýzy těchto sítí v letech 2011 a 2012 a také celkové analýzy sítí z let 2010-2013 z *kapitoly 2* můžeme vidět v následující tabulce.

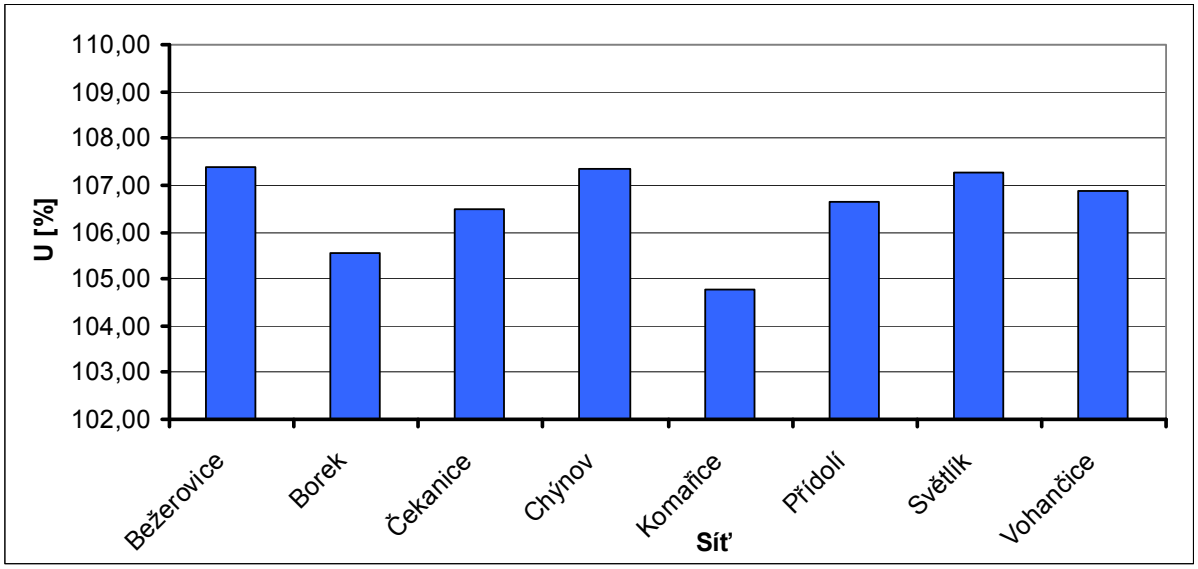
Tabulka 4.2: Nevyhovující parametry u sítí s výrobnami FVE a bez výroben [24]

Typ sítí/parametr	Nevyhovující odchylky napětí	Nevyhovující flikr
Všechny sítě	8,5% sítí	31% sítí
Sítě s výrobnami	22% sítí	43% sítí
Sítě s výrobnami (po regulaci DTR)	4% sítí	43% sítí

I z této tabulky je vidět, že největší problém je u FVE s odchylkami napětí. Počet sítí, který na ně nevyhovuje je více než 2,5krát větší než u všech sítí dohromady (22 % oproti 8,5 %). Tento údaj je navíc zkreslený o ty sítě s výrobnami, samotné sítě bez výroben by patrně měly nevyhovující odchylky napětí ještě o něco méně než 8,5 %. U flikru je tento nárůst jen přibližně 1,4násobný. Zde nevyhovělo 10 sítí, tedy 10/23 * 100 = 43 %.

4.1.2 Vyhodnocení VN sítí s nasazenými FVE

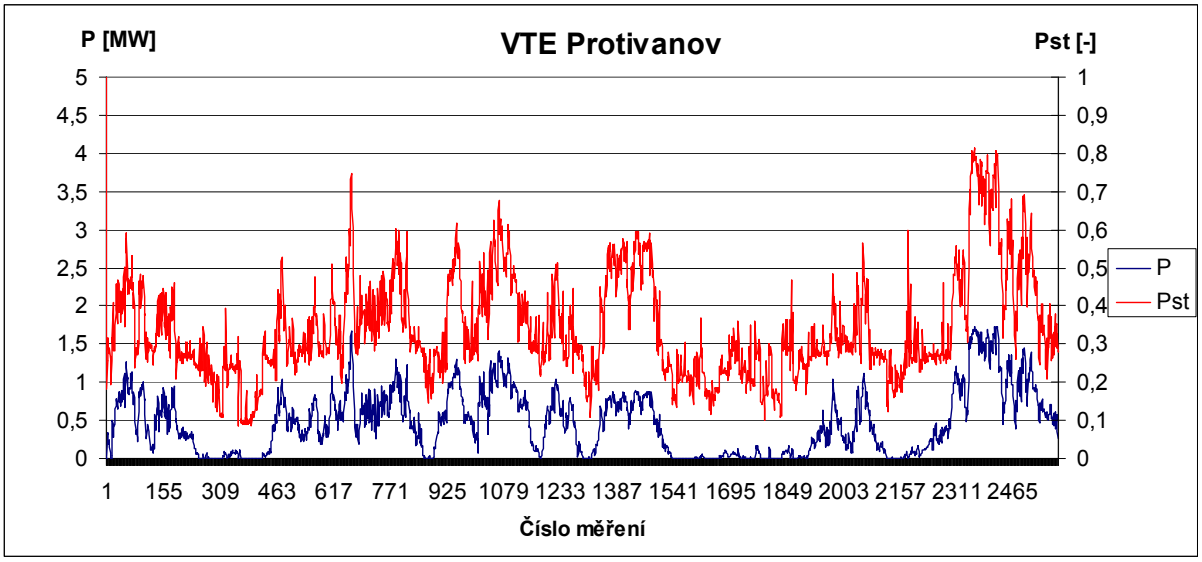
Velkých FVE v síti VN (22 kV) jsem analyzoval celkem 8, jednalo se o výrobny s výkonem od 1130 kW (Přídolí) do 4438 kW (Čekanice). U těchto výroben jsem nezjistil žádný parametr, který by nevyhovoval normě ČSN EN 50160, ani odchylky napětí, viz *obr. 4.6*.



Obrázek 4.6: Vyhodnocení max. odchylek napětí pro 8 různých VN sítí [24]

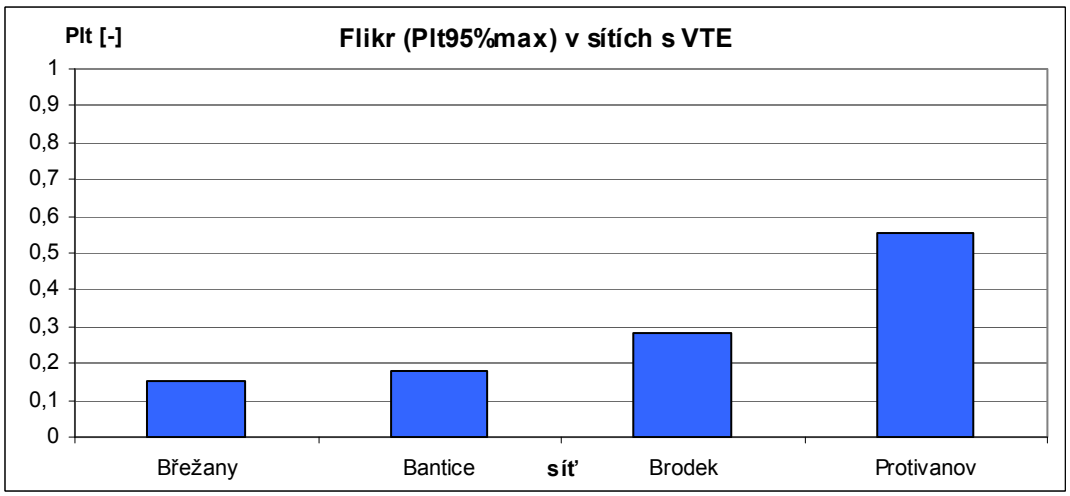
4.1.3 Vyhodnocení VN sítí s nasazenými VTE

VTE v síti VN jsem analyzoval pouze čtyři, není to tedy tak reprezentativní. Jejich výkon se pohyboval od 1200 kW (Brodek) do 4250 kW (Březany). Ani zde nebyl problém s odchylkami napětí, viz obr. 4.8. Zaměřil jsem se zde také na flikr, který by některé VTE způsobovat mohly. Nejlépe to lze vidět u VTE Protivanov, kde jsou 2 větrníky po 1,5 MW. *Z obr. 4.7* je vidět, že krátkodobá míra flikru Pst zde jasně koreluje s aktuálním výkonem.

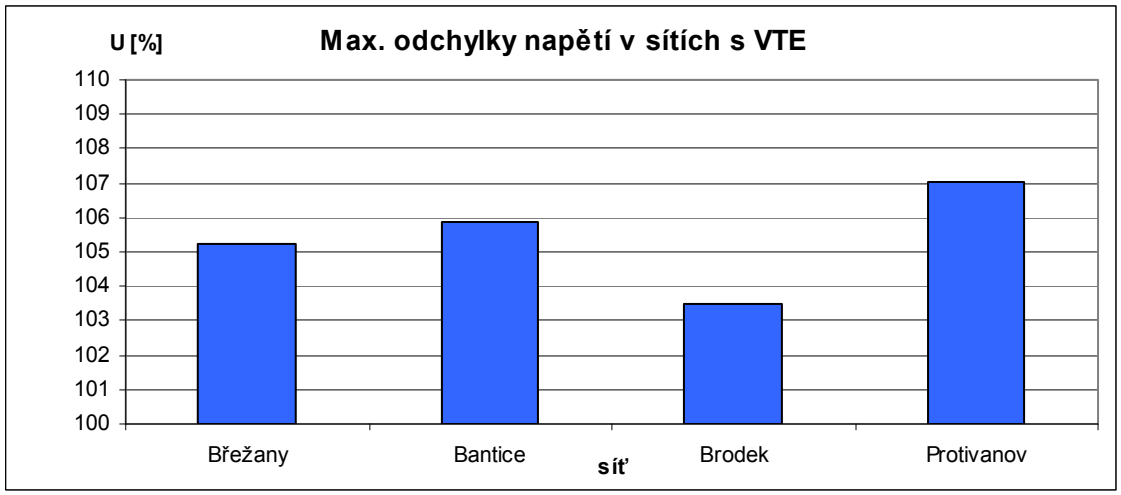


Obrázek 4.7: Korelace mezi aktuálním výkonem P a flikrem Pst [24]

Dlouhodobá míra flikru, z krátkodobé vypočtená, však i zde splňuje normu ČSN EN 50160. V 95 % času by měla být menší než 1. U této VTE sice vyšel Plt95%max (95% percentil) nejvyšší z analyzovaných VTE, ale pořád s přehledem v normě, konkrétně 0,56. Vliv zbylých tří VTE byl zanedbatelný, viz *obr. 4.8*.



Obrázek 4.8: 95% percentil dlouhodobé míry flikru Plt v sítích s VTE [24]



Obrázek 4.9: Vyhodnocení na maximální odchylky napětí v sítích s VTE [24]

5 Metody nápravných opatření při zjištění snížené kvality napětí

Nápravy snížené kvality napětí můžeme dosáhnout opatřeními na straně distributora nebo na straně zákazníka. K tomu, aby se rozhodlo, kdo z nich nápravu provede, slouží zpravidla jako vodítko hodnota vnitřní impedance sítě. Pokud je větší než vztažná, měl by distributor síť posílit, naopak pokud je impedance sítě menší než vztažná, tedy v pořádku, měl by nápravu zjednat sám odběratel, který tuto nekvalitu způsobuje. PDS na něj může tlačit, má na to právo z energetického zákona, v extrémním případě může PDS odběratele i odpojit od přívodu elektřiny. [1,18]

Níže vidíme vztah pro výpočet úbytku napětí, neboli změnu napětí, která vede právě ke snížení kvality napětí, ať už jako odchylky napětí, nebo dynamičtější kolísání způsobující flikr.

$$\Delta Uf = R \cdot \Delta I \cdot \cos\varphi + X \cdot \Delta I \cdot \sin\varphi \tag{5.1}$$

Parametry R a X jsou dány sítí, ty může změnit tedy jen distributor posílením sítě. Změna proudu ΔI je naopak dána zařízením odběratele, který tuto změnu proudu může eliminovat. Kompenzace účiníku se může provádět na obou stranách.

5.1 Opatření na straně distributora

Opatření na straně distributora bývá obvykle nákladnější. Výhodou však je, že má dopad na všechny odběratele v síti.

5.1.1 Posílení sítě

Jak už bylo řečeno, opatření na straně distributora ve většině případů spočívá v posílení sítě, tedy snížení impedance sítě. Toto posílení se dělá dvěma způsoby - výstavbou nové DTS nebo posílení vedení NN (větší průřezy vodičů).

Vedení může být venkovní nebo kabelové. Počet poruch na 1 km kabelových vedení je zhruba třetinový oproti počtu poruch na 1 km u venkovního vedení. Výstavba nového kabelového vedení NN je i ekonomicky výhodnější jak z hlediska investičních, tak celkových nákladů. Ty zahrnují ještě provozní náklady za dobu životnosti vedení. Pokud jde o rekonstrukce stávajících venkovních vedení, i zde je ekonomicky výhodnější kabelizace, než opět venkovní vedení, ale už se zemními přípojkami. Pokud by přípojky zůstaly venkovní, jsou obě varianty pro srovnatelné průřezy obdobné. Všichni PDS v současnosti tedy doporučují, pokud to lze, upřednostňovat rekonstrukci kabelizací. [22]

Posílení sítě má příznivý vliv na téměř všechny nepříznivé vlivy, tedy odchylky napětí,

flikr, napěťovou nesymetrii, atd.

5.1.2 Regulace odbočkami na transformátoru

Pomocí odboček na transformátoru se reguluje napětí v síti. Např. na hladině VN se provádí regulace přepínáním na straně VVN na transformátoru VVN/VN, který bývá např. 110±8x2%/23 kV. To znamená, že lze napětí regulovat po 2% skocích, které představují 347 až 637 V. Jemnější regulace je technicky vyloučena. Obdobně to funguje také na hladině NN, kde transformátor VN/NN bývá např. 22±2x2,5%/0,4 kV. Nastavení samotného napětí provádí technický dispečink PDS. [23]

Tabulka 5.1: Rozsah výstupních fázových napětí transformátorů 22/0,4 kV [převzato z 23]

110/23 kV		22/0,4 kV - fázové				
odbočka	napětí	-5%	-2,50%	0	2,50%	5%
-8	27,381	0,303	0,295	0,287	0,280	0,274
-7	26,744	0,296	0,288	0,281	0,274	0,267
-6	26,136	0,289	0,281	0,274	0,268	0,261
-5	25,556	0,282	0,275	0,268	0,262	0,255
-4	25,000	0,276	0,269	0,262	0,256	0,250
-3	24,468	0,270	0,263	0,257	0,251	0,245
-2	23,958	0,265	0,258	0,251	0,245	0,240
-1	23,469	0,259	0,253	0,246	0,240	0,235
0	**23,000**	0,254	0,248	0,241	0,236	0,230
1	22,549	0,249	0,243	0,237	0,231	0,225
2	22,115	0,244	0,238	0,232	0,226	0,221
3	21,698	0,240	0,234	0,228	0,222	0,217
4	21,296	0,235	0,229	0,224	0,218	0,213
5	20,909	0,231	0,225	0,219	0,214	0,209
6	20,536	0,227	0,221	0,216	0,210	0,205
7	20,175	0,223	0,217	0,212	0,207	0,202
8	19,828	0,219	0,213	0,208	0,203	0,198

Tabulka 5.2: Význam barev k tab. 5.1 [převzato z 23]

	napětí s odchylkou do + 6 %
	napětí s odchylkou do -6 %
	napětí s odchylkou do 10 %
	napětí mimo odchylku

Tímto se tedy dá řešit problém s odchylkami napětí jako v případě, který jsem rozebíral v *kapitole 4.1.1*, tedy v sítích s výrobnami FVE.

5.2 Opatření na straně odběratele

Tato opatření spočívají v tom eliminovat zpětné vlivy na síť toho nestandardního spotřebiče, který nekvalitu způsobuje. Pokud ovšem není vůle samotného odběratele, nebývá

to pro distributora úplně jednoduchý úkol ho k tomu donutit a je to běh na delší trať. To si ukážeme v *kapitole 5.3*.

U odchylek napětí a flikru jde v praxi zejména o to omezit velké či rychlé změny proudu a jejich četnost. To můžeme dosáhnout například omezením souběhu rušících zařízení, tedy při spouštění velkých motorů je pouštět postupně jeden po druhém, ne všechny najednou. Další možností je změna způsobu rozběhu motorů, např. pomocí polovodičových sofstartérů. U jiných zařízení může být řešením výměna nestandardních termostatů, což je opět onen příklad v *kapitole 5.3*.

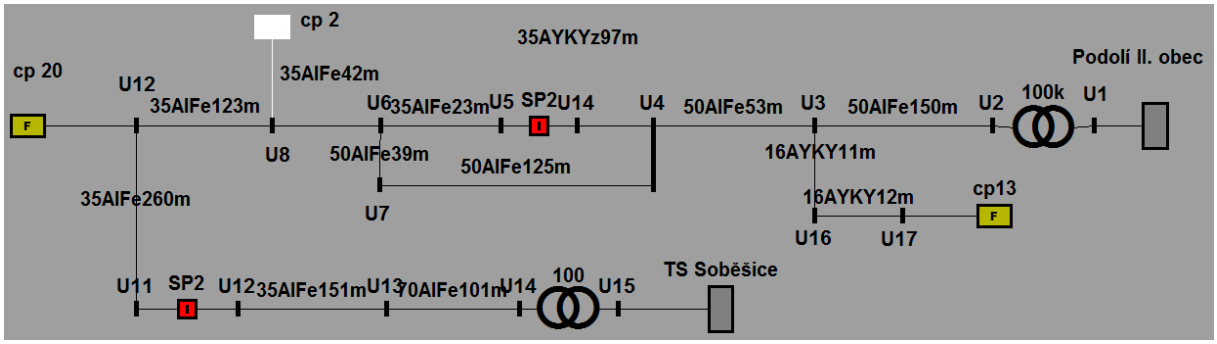
U harmonických napětí se do obvodu musí zapojit filtry, které harmonické odstraní. Ty mohou být pasivní či aktivní. Pasivní filtry mají malou impedanci pro vyladěnou frekvenci, ta se de facto vyzkratuje, aktivní filtry jsou nákladnější, vyrábí sinusový odběrový proud pomocí elektroniky.

S nesymetrií napětí většinou v sítích problém není. Nastává jen při velké jednofázové zátěži, např. svařovací stroje či elektrické pece. To pak musí průmyslový závod připojit k zařízení tzv. symetrizační členy.

Konkrétněji ke všem parametrům jsou možnosti řešení uvedeny v kapitole 1.4 u všech parametrů vypsaných z normy ČSN EN 50160.

5.3 Aktuální příklad z praxe

Začátkem roku 2012 obdržela společnost E.ON reklamaci číslo 60008076 z obce Podolí II, Soběšice, že zde, konkrétně v domě č.p. 2, mají problémy s blikáním žárovek, tedy stížnost na kolísání napětí způsobující flikr. Na následujících obrázcích vidíme schéma sítě a velikost napětí, zkratové impedance a zkratového výkonu v jednotlivých uzlech i se zakreslením pro nás důležitých domů. Schéma je namodelované v programu E-vlivy, který potřebné veličiny vypočítal.



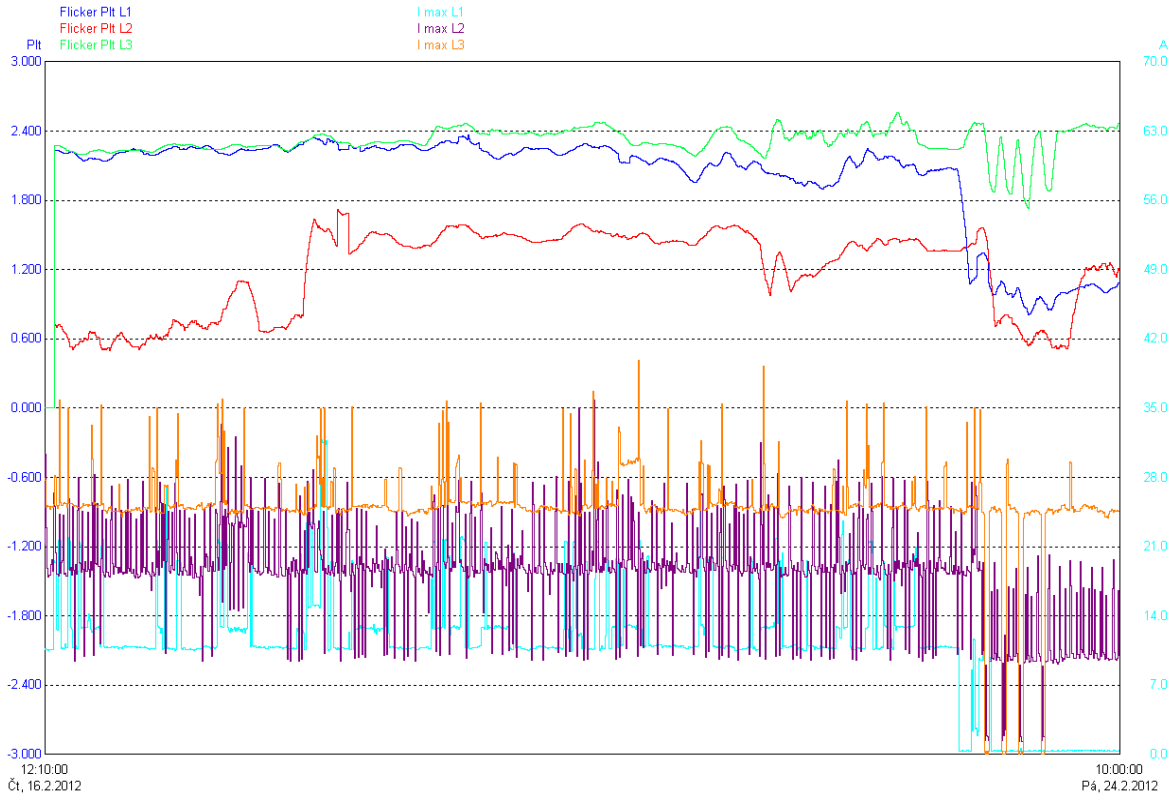
Obrázek 5.1: Schéma sítě NN v Podolí II, Soběšice [24, 27]

Napětí v uzlech2001

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
U1	22,000	0,000	0,000	12,702	68,223	38,105
U2	0,400	0,000	0,000	0,068	64,312	2,346
U3	0,400	0,000	0,000	0,170	38,351	0,943
U4	0,400	0,000	0,000	0,208	35,447	0,768
U5	0,400	0,000	0,000	0,352	29,924	0,455
U6	0,400	0,000	0,000	0,329	30,815	0,486
U7	0,400	0,000	0,000	0,300	31,578	0,533
U8	0,400	0,000	0,000	0,371	29,271	0,431
U12	0,400	0,000	0,000	0,494	26,256	0,324
U14	0,400	0,000	0,000	0,286	26,680	0,560
U11	0,400	0,000	0,000	0,756	23,127	0,212
U12	0,400	0,000	0,000	0,264	30,825	0,606
U13	0,400	0,000	0,000	0,120	48,212	1,330
U14	0,400	0,000	0,000	0,068	64,312	2,346
U15	22,000	0,000	0,000	12,702	68,223	38,105
U16	0,400	0,000	0,000	0,187	34,524	0,854
U17	0,400	0,000	0,000	0,207	31,110	0,771

Obrázek 5.2: Parametry sítě naprázdno v jednotlivých uzlech v Podolí II, Soběšice [24, 27]

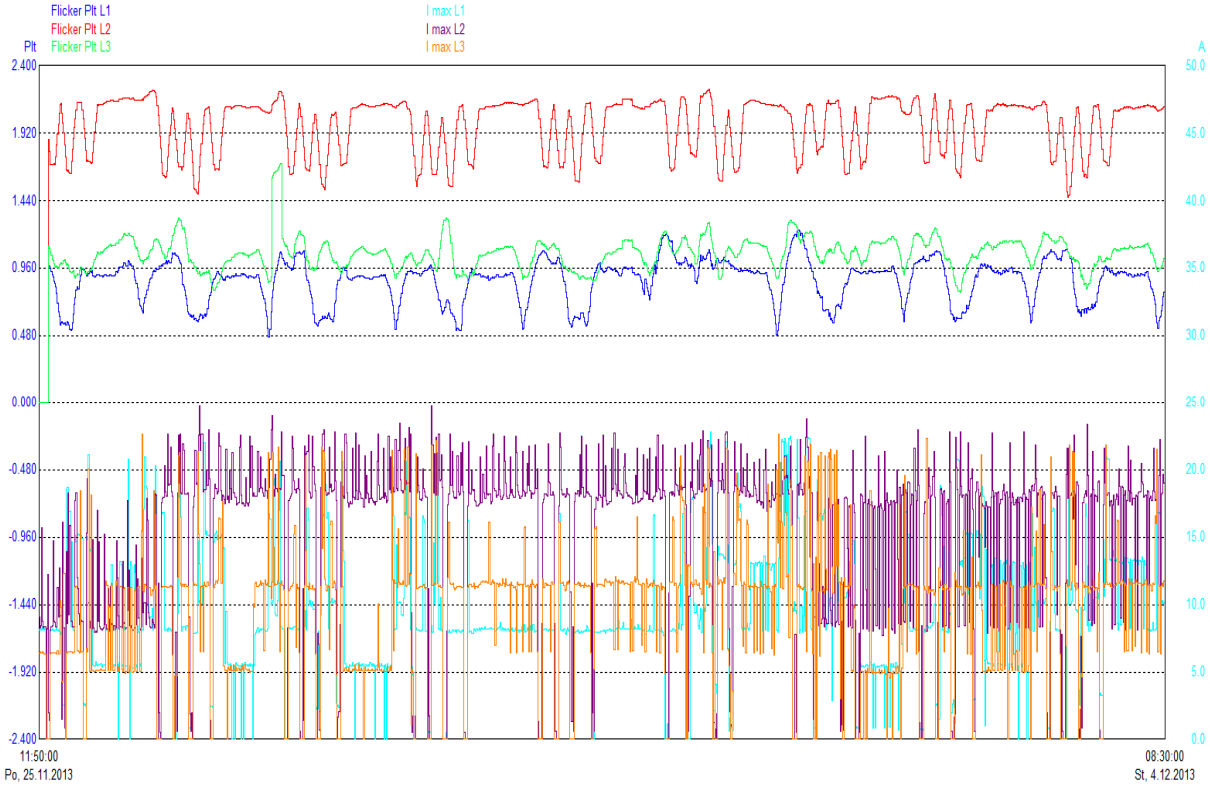
Pracovníci E.ON sérií měření vytipovali, že by to mohl způsobovat dům číslo 20. Na obr. 5.3 je zaznamenán průběh dlouhodobé míry vjemu flikru z měření u samotného domu číslo 20.



Obrázek 5.3: Průběh flikru Plt [-] (horní křivky) a max. odebíraných hodnot proudu Imax [A] (spodní křivky) z měření u č.p.20 z období 16. 2. – 24. 2. 2012 [24]

Po konzultaci s majitelem domu se zjistilo, že používá stropní infrapanely, které mu slouží jako topení. Jako regulaci používá termostaty, které po dosažení požadované teploty v místnosti začnou stropní panely cyklicky spínat a odpínat. Cyklickým spínáním termostaty snižují tepelný výkon panelů. Výsledkem je neustálé spínání a vypínání po řádově sekundách. Řešením by bylo vyměnit tyto pulsující termostaty za klasické termostaty s hysterezí. To poté odběratel prý provedl, což jsme chtěli ověřit měřením novým, u kterého jsem byl osobně přítomen, viz mnou pořízené foto na *obr. 5.4*. Výsledek měření je pak na *obr. 5.5*.

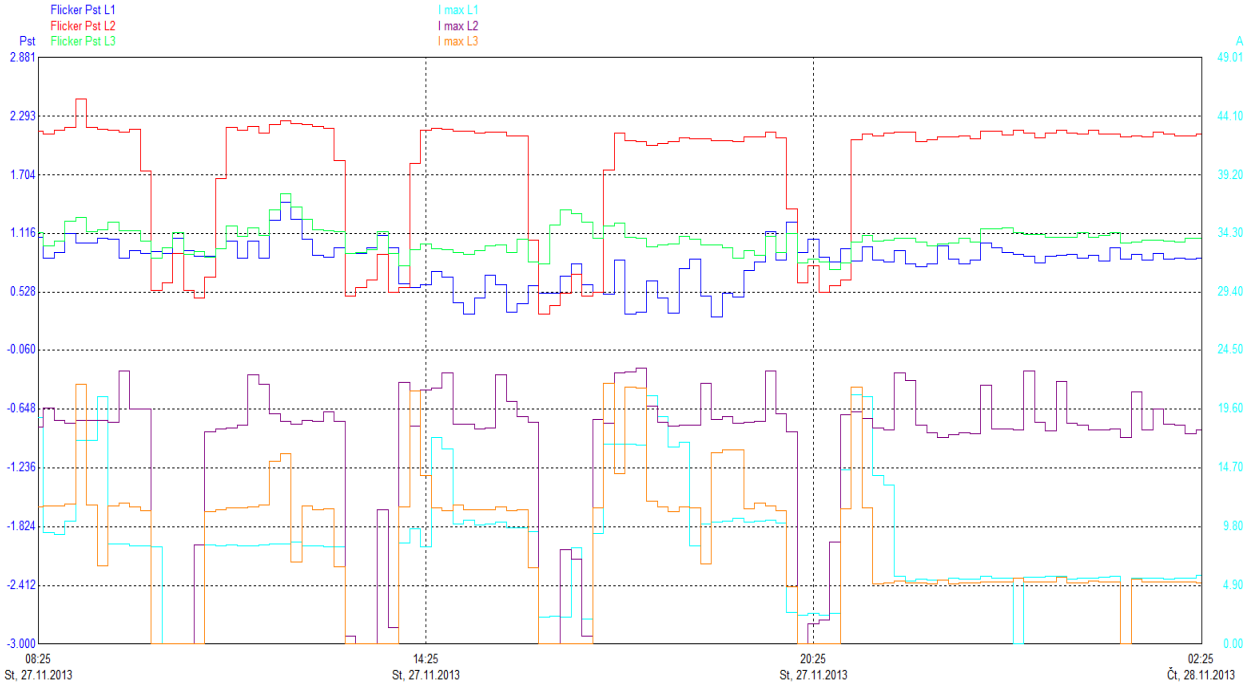
Obrázek 5.4: Elektrická skříň u domu číslo 20 prázdná a s připojeným kvalitoměrem



Obrázek 5.5: Průběh flikru Plt [-] (horní křivky) a max. odebíraných hodnot proudu Imax [A] (spodní křivky) z měření u č.p.20 z období 25. 11. – 4. 12. 2013 [24]

Porovnáním měření (*obr. 5.3 a 5.5*) je vidět zlepšení, pokles parametru flikr Plt ve fázi L1 a L3 oproti původnímu stavu, flikr ve fázi L2 však zůstává nedotčen. Toto zlepšení je způsobeno opatřením na straně odběratele, který patrně vyměnil některé termostaty, nicméně ve fázi L2 zřejmě vyměněny nebyly.

Z následujícího grafu na *obr. 5.6* je vidět, že překročení mezí flikru ve fázi L2 jednoznačně způsobuje odběr č.p.20, protože současně s nárůstem proudu Imax roste i flikr Pst v dané fázi.



Obrázek 5.6: Detail průběhů krátkodobé míry vjemu flikru Pst [-] (horní křivky) a maximálních odebíraných hodnot proudu Imax [A](spodní křivky) u domu č.p. 20 [24]

Avšak z celkového protokolu z měření na *obr. 5.7* je zřejmé, že parametr flikr nevyhovuje, byť těsně, ani v již napravených fázích L1 a L3.

Parametr			Maximální hodnota			x%-hodnota		
	Jednotka	En50160-50Hz.gwd	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Změny napětí		230V					95%-hodnota	
Maximum 100% / 95%	% [Vn]	+10 / +10	4.73	5.62	5.88	3.54	3.90	3.84
Minimum 100% / 95%	% [Vn]	-15 / -10	-7.74	-5.06	-5.34	-3.52	-3.90	-4.01
Přerušení < 0%	Počet	100	0	0	0		-	
Události	Počet	100	17	3	5		-	
Napěťové harmonické kmity							95%-hodnota	
9. Harm. 100% / 95%	% [Vh1]	1.5 / 1.5	0.60	0.65	0.55	0.50	0.50	0.45
15. Harm. 100% / 95%	% [Vh1]	0.5 / 0.5	0.25		0.20	0.15		0.10
Harmonické proudu	A			Ne			95%-hodnota	
Flicker Plt 100% / 95%	Plt	1 / 1	1.234	2.230	1.704	1.074	2.172	1.217
Nesymetrie V 100% / 95%	%	2 / 2		1.85			1.07	
Signál HDO	% [Vn]			Ne			99%-hodnota	
frekvence		50 Hz					99.5%-hodnota	
Maximum 100% / 99.5%	%	+4 / +1		0.20			0.20	
Minimum 100% / 99.5%	%	-6 / -1		-0.40			-0.20	

Max hodnota nad limitní hodnotou

x% (95% / 99.5% / 99%)-hodnota vyšší než limitní hodnota

Obrázek 5.7: Protokol kontrolního měření dle ČSN EN 50160 u domu č.p. 20 [24]

Majitel domu č.p. 20 už předtím prozradil, že stejné infrapanely používají i v domě číslo 13, takže společně s kontrolním měřením u domu č.p. 20 se udělalo nově i u domu číslo 13.

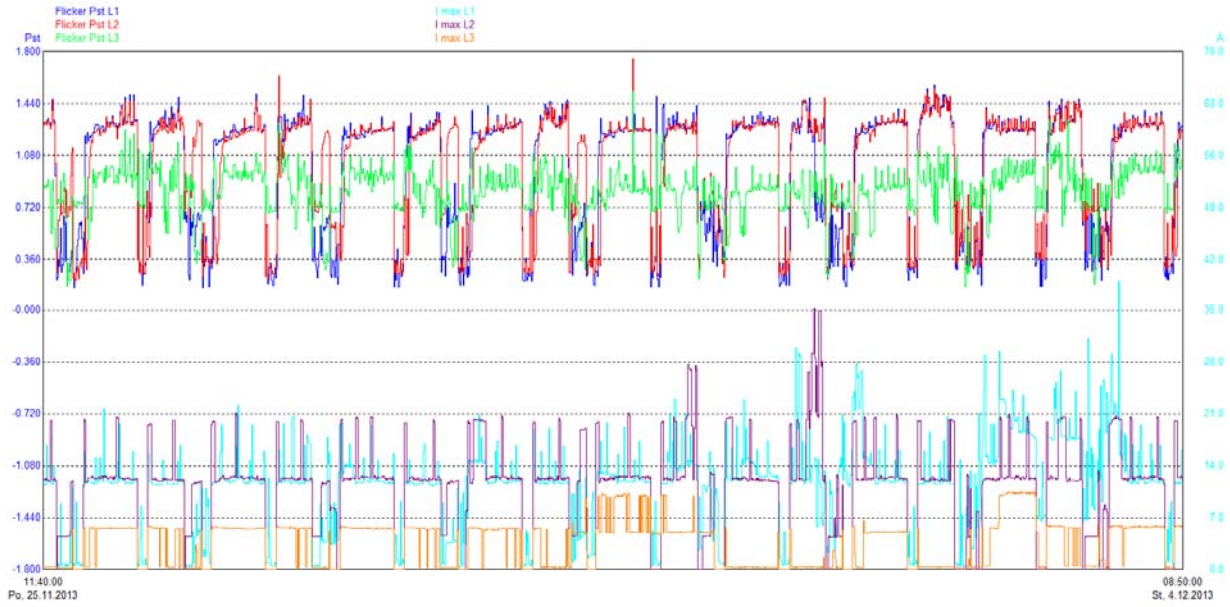
Parametr			Maximální hodnota			x%-hodnota		
	Jednotka	En50160-50Hz.gwd	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Změny napětí		230V					95%-hodnota	
Maximum 100% / 95%	% [Vn]	+10 / +10	4.25	4.76	5.68	3.19	3.36	3.91
Minimum 100% / 95%	% [Vn]	-15 / -10	-3.12	-2.38	-0.57	-3.12	-2.38	-0.57
Přerušení < 0%	Počet	100	0	0	0		-	
Události	Počet	100	0	1	1		-	
Napěťové harmonické kmity							95%-hodnota	
6. Harm. 100% / 95%	% [Vh1]	0.5 / 0.5			0.10			0.10
7. Harm. 100% / 95%	% [Vh1]	5 / 5		1.00			0.85	
9. Harm. 100% / 95%	% [Vh1]	1.5 / 1.5	0.35		0.35	0.30		0.25
15. Harm. 100% / 95%	% [Vh1]	0.5 / 0.5	0.15	0.15		0.10	0.05	
Harmonické proudu	A			Ne			95%-hodnota	
Flicker Plt 100% / 95%	Plt	1 / 1	**1.460**	**1.440**	**1.113**	**1.365**	**1.347**	**1.000**
Nesymetrie V 100% / 95%	%	2 / 2		1.17			0.81	
Signál HDO	% [Vn]			Ne			99%-hodnota	
frekvence		50 Hz					99.5%-hodnota	
Maximum 100% / 99.5%	%	+4 / +1		0.20			0.20	
Minimum 100% / 99.5%	%	-6 / -1		-0.40			-0.20	

Max hodnota nad limitní hodnotou

x% (95% / 99.5% / 99%)-hodnota vyšší než limitní hodnota

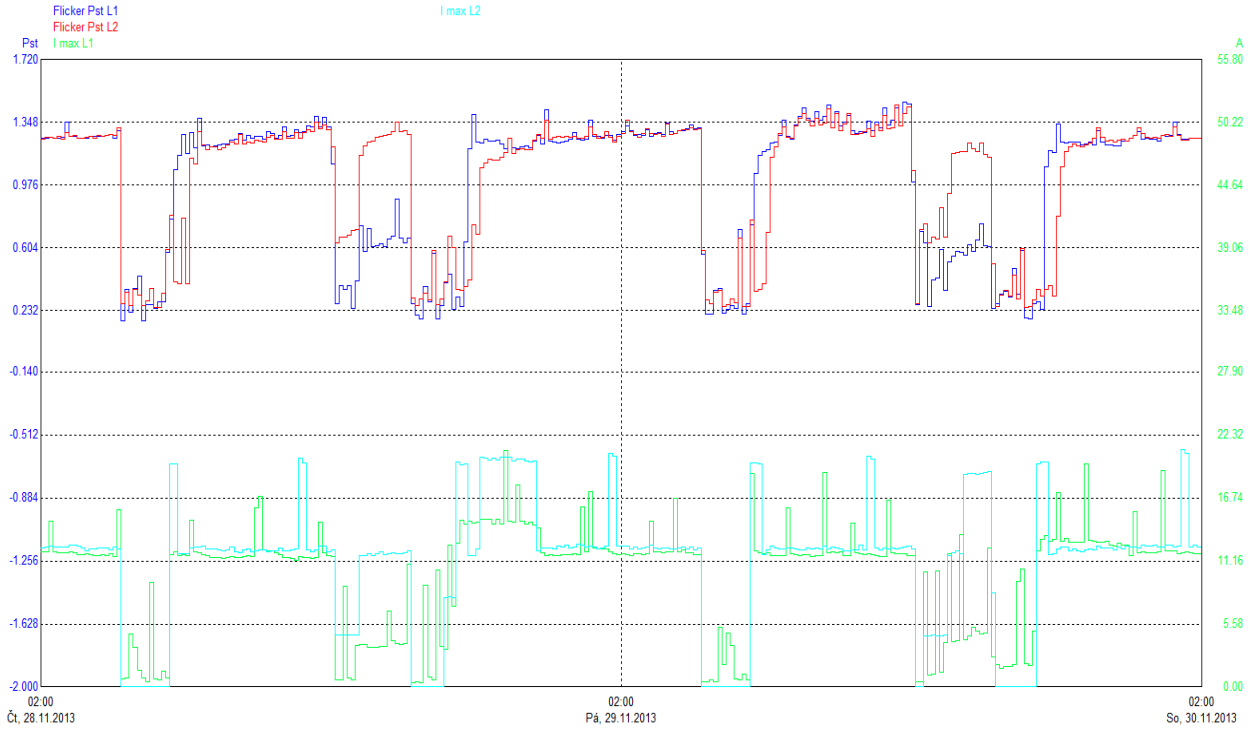
Obrázek 5.8: Protokol měření dle ČSN EN 50160 u domu č.p. 13 [24]

Opět je vidět, že ve sledovaném období nesplňovala kvalita napětí podmínky stanovené technickou normou ČSN 50160, protože ve všech 3 fázích nevyhovoval parametr flikr Plt.



Obrázek 5.9: Průběh krátkodobé míry vjemu flikru Pst [-] (horní křivky) a maximálních odebíraných hodnot proudu Imax [A] (spodní křivky) z měření u domu č.p. 13 [24]

V dalším grafu se zaměříme detailněji na průběh ve fázích L1 a L2.



Obrázek 5.10: Detailnější průběh krátkodobé míry vjemu flikru Pst [-](horní křivky) a maximálních odebíraných hodnot proudu I_{max} [A] (spodní křivky) ve fázích L1 a L2 – měření u domu č.p. 13 [24]

Z tohoto grafu lze opět jednoznačně prokázat, že překročení meze flikru je způsobeno domem č.p. 13. Plyne to ze skutečnosti, že současně s poklesem proudu I_{max} ve fázi L1 klesá i flikr Pst ve fázi L1. Obdobně při poklesu proudu I_{max} ve fázi L2 dochází k poklesu flikru Pst ve fázi L2. Překročení limitu flikru ve fázi L3 je způsobeno odběrem č.p. 20. Jednotlivé fáze u domů č.p. 13 a č.p. 20 si neodpovídají, ve skutečnosti je to tak, že dům č.p. 13 způsobuje flikr ve fázích L1 a L3 a přenáší se do měření u domu č.p. 20 do fází L1 a L2. Dům č.p. 20 způsobuje flikr už jen ve fázi L2 a přenáší se do měření u domu č.p. 13 do fáze L3. [24]

Dům č.p. 13 je napájen z uzlu U17, kde je vypočtená třífázová zkratová impedance 0,207 Ω. To je v pořádku, ale dům č.p. 20 je napájen z uzlu U12, kde je vypočtená třífázová zkratová impedance sítě 0,494 Ω, tedy větší než vztažná impedance v extravilánu 0,283 Ω (podrobnosti v úvodu *kapitoly 3 a 3.1*). Z toho by plynulo, že společnost E.ON nemá řešit odběratele na zpětné vlivy, protože tam nemá dostatečně silnou síť. Avšak i po rekonstrukci sítě, kdy by byla impedance 0,28 Ω, by flikr normu překračoval, což se dá spočítat následujícím jednoduchým výpočtem (*5.1*).

$$Pst\ zrekonstruovana = Pst\ nezrekonstruovana \cdot \frac{Zzrekonstr.}{Znezrekonstr.} = 2{,}17 \cdot \frac{0{,}28}{0{,}494} = \underline{1{,}23} \qquad (5.1)$$

Z toho podle mého názoru plyne, že nápravné opatření by v tomto případě ideálně měly sjednat obě strany. Jak distributor, který by měl posílit síť alespoň na hodnotu impedance 0,28 Ω, tak odběratel, jenž by měl nahradit nestandardní termostaty. Prioritou však je však nápravné opatření u odběratele, protože se zde jedná jasně o flikr způsobený jím. Přirozená míra flikru by patrně po nápravě byla v normě.

S majitelem domu č.p. 13 se zatím nepovedlo spojit, avšak jak jemu, tak i majiteli domu č.p. 20, byl zaslán oficiální dopis od společnosti E.ON, že mají povinnost uvést nápravné opatření, na které mají 6 měsíců. V krajním případě má distributor možnost je dokonce odpojit od sítě (viz *kap. 1.1*). To ale samozřejmě není v zájmu ani jedné zúčastněné strany.

Že má člověk v domě č.p. 2 skutečně problém s flikrem jsem se pokusil potvrdit také namodelováním té sítě v programu E-Vlivy (*obr. 5.1*). Parametry k domu č.p. 20 jsem zadal: Pst = 2,172, U = 0,4 kV, S = 11 kVA a cos φ = 1. Obdobně u domu č.p. 13: Pst = 1,347, U = 0,4 kV, S = 15 kVA, cos φ = 1. Hodnoty krátkodobé míry flikru Pst vychází z oněch měření (*obr. 5.7 a 5.8*), ostatní parametry by se u typické domácnosti mohly kolem těchto hodnot pohybovat.

Flikry

Uzel	Pst
U1	0,030
U2	0,485
U3	**1,206**
U4	**1,282**
U5	**1,636**
U6	**1,636**
U7	**1,539**
U8	**1,784**
U12	**2,263**
U14	**1,282**
U11	**2,263**
U12	0,000
U13	0,000
U14	0,000
U15	0,000
U16	**1,304**
U17	**1,419**

Obrázek 5.11: Vypočtený flikr v jednotlivých uzlech [27]

Vypočtené hodnoty se přibližně shodují s naměřenými a vidíme, že v uzlu U8, z kterého je napájen inkriminovaný dům č.p. 2, je skutečně flikr vyšší než 1, konkrétně 1,784. Majitel domu si tak patrně stěžuje oprávněně.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo zmapovat problematiku kvality napětí v DS. Tuto analýzu jsem provedl na sítích na území E.ON (jižní Čechy a jižní Morava) za roky 2010 – 2013. Obdobné problémy se však dají očekávat i na jiném distribučním území.

Největší problémy s kvalitou napětí jsou na napěťové hladině NN, protože má nejmenší zkratový výkon, má nejdelší rozvinutou délku vedení a je na ni připojeno nejvíce zákazníků. Zatímco na hladině VVN není problém s žádným parametrem kvality napětí a na hladině VN jen výjimečně s flikrem (1,8 % sítí), na hladině NN nevyhověl normě parametr flikr téměř v třetině případů (31,2 %), odchylky napětí v 8,5 % a napěťová nesymetrie v 3,9 % sítí. Výjimečně nevyhoví také celkové harmonické zkreslení vyjádřené parametrem THD, konkrétně v 0,4 % případů. Z harmonických nejčastěji nevyhovuje 15. harmonická, celkem v 7,1 % sítích. Obdobná čísla vycházela i v analýze měření z let 2006 – 2012 [18].

V další části jsem se zaměřil na závislost kvality napětí na impedanci sítě. Rozhodující jsou hodnoty vztažné impedance. Pokud je impedance sítě menší než vztažná, nemělo by se v síti nekvalitní napětí objevovat. Ale jak je vidět z grafů v *kapitole 3*, to se v sítích přesto objevuje. Typickým příkladem je nevyhovující dlouhodobá míra flikru. U sítí s dodrženou vnitřní impedancí se však zpravidla nejedná o přirozený flikr způsobený standardními spotřebiči, ale o flikr způsobený tzv. markantním odběratelem. Ten pak musí tyto nepříznivé vlivy omezit určitým nápravným opatřením, viz případ v poslední *kap. 5*. Tam je vidět, že to může být běh na delší trať, a to hlavně, pokud se jedná o dlouhodobou míru flikru Plt. Ta se sice podle závazné normy ČSN 50160 musí dodržovat, avšak za nedodržení tohoto parametru nejsou ve vyhlášce 540/2005 Sb. stanoveny žádné sankce.

V *kap. 4* je rozebrán vliv OZE na kvalitu napětí. Nepříznivými zdroji jsou zejména FVE a VTE, protože výroba v nich závisí na počasí a je tedy značně proměnlivá, a nejrizikovějšími parametry jsou klasicky odchylky napětí a flikr. U FVE nevyhovělo na odchylky cca 22 % sítí. Nutností bylo udělat nápravná opatření, zde konkrétně regulací odbočky na transformátoru. Pak nevyhovělo už pouze 4 % sítí. Tato analýza proběhla na vzorku 23 sítí.

Na závěr bych chtěl dodat, že zvládnutí problematiky kvality napětí nelze zaručit ani při kvalitním materiálním a technickém zázemí, a proto musí být součástí neustálá kontrola a vyhodnocení výsledků z měření, o které jsem se zde také pokoušel.

Jsem si vědom, že vzešlé závěry nelze úplně 100% generalizovat, protože v každé síti může být problém jedinečný. Přesto jsem přesvědčen, že práce má jistou vypovídací hodnotu a závěry jsou obecně platné.

Použitá literatura

[1] Zákon č. 458/2000 Sb. v platném znění, Energetický zákon

[2] Vyhláška 540/2005 Sb. v platném znění

[3] Pravidla provozování distribučních soustav – Příloha 3, Kvalita napětí v distribuční soustavě, Energetický regulační úřad 2011

[4] ČSN EN 50 160 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě, ČNI, 3. vydání, únor 2011

[5] E.ON Distribuce, a.s. - Technické informace. [online]. [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: http://www.eon-distribuce.cz/cs/distribuce-elektriny/distribucni-soustava/technicke-informace.shtml

[6] O společnosti ČEZ distribuce. [online]. [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: http://www.cezdistribuce.cz/cs/informace-o-spolecnosti/vyrocni-zpravy.html

[7] Technické informace - Distribuční síť - PREdistribuce, a.s. [online]. [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: https://www.predistribuce.cz/distribuce/distribucni-sit/technicke-informace.html

[8] ČEPS Invest, a.s. - Výroční zprávy. [online]. [cit. 2013-12-16]. Dostupné z: http://www.ceps.cz/CZE/CEPSInvest/Profil/Stranky/vyrocni_zpravy.aspx

[9] Tesařová, Miloslava; Štroblová, Milada. Průmyslová elektroenergetika. Plzeň : Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-703-3.

[10] PNE 33 3430-7 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě, 4. vydání, 2011

[11] Kašpírek, M. - Vybrané problémy při měření a vyhodnocování flikru, sborník konference ČK CIRED 2007, Tábor, ISBN 978-80-254-0304-4

[12] PNE 33 3430-0 Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav

[13] Kvalita elektrické energie. [online]. [cit. 2014-03-04]. Dostupné z: http://www.medportal.cz/elektricke-vedeni/kvalita-elektricke-energie

[14] Zpráva o kvalitě 2012. In: [online]. [cit. 2014-03-04]. Dostupné z: http://www.eru.cz/user_data/files/Kvalita_elektriny/Zprava_o_kvalite_2012.pdf

[15] Energetický regulační úřad. [online]. [cit. 2014-01-13]. Dostupné z: http://www.eru.cz/

[16] Zákon 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. Dostupné z:

http://eru.cz/user_data/files/legislativa/legislativa_CR/Zakony/zakon%20165_2012.pdf

[17] Roční zpráva o provozu ES. In: [online]. [cit. 2014-01-27]. Dostupné z: http://www.eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/rocni_zprava/2012/RZ_elektro_2012_v1.pdf

[18] KAŠPÍREK, Martin. Konference ČK CIRED 2013: Kvalita napětí v síti z pohledu distributora.

[19] Význam Inteligentních sítí pro využívání OZE [http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/S3_16.pdf]. [cit. 2014-02-28].

[20] Kvalita napětí. In: Http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/EMC/sylaby/11_Kvalita_napeti.pdf [online]. [cit. 2014-03-04].

[21] Ceny elektřiny na rok 2011. [online]. [cit. 2014-03-04]. Dostupné z: http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/7131-ceny-elektriny-na-rok-2011

[22] KAŠPÍREK, Martin, VOGEL Michal. Konference ČK CIRED 2010: Kabelové a venkovní vedení: technicko ekonomické zhodnocení variant výstavby a obnovy distribuční sítě NN

[23] VÁPENÍK, René. Regulace napětí v distribuční soustavě vn a nn. In: Elektro revue. 2011. sv. 13. ISSN 1213 - 1539. Dostupné z: http://www.elektrorevue.cz/file.php?id=200000599-5a5255b4c5

[24] Interní informace společnosti E.ON

[25] Obnovitelné zdroje energie. Praha, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2. Dostupné z: http://k315.feld.cvut.cz/CD_MPO/CVUT-2-OZE.pdf. České vysoké učení technické v Praze.

[26] 5th CEER Benchmarking Report on the Quality of Electricity Supply 2011.

[27] E-vlivy, výpočetní SW zpětných vlivů od EGC Energoconsult ČB, s.r.o.

Seznam příloh

Příloha 1: Vyhláška č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice – tabulka standardů, náhrad a časových lhůt

Příloha 2-4: Vzor žádosti o náhradu za nedodržení standardu kvality přenosu nebo distribuce a dodávek elektřiny a souvisejících služeb – pro FO (podnikatele, nepodnikatele) a pro PO

Příloha 5: Činitelé tvaru pro pravoúhlé změny napětí

Přílohy

Vyhláška č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice

	§	Standard	Lhůta pro splnění standardu	Náhrada	Uplatnění náhrad
Standardy přenosu nebo distribuce elektřiny	5	**Standard ukončení přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny**	*hl. m. Praha* do 1 kV **18 hod.** **12 hod.** nad 1 kV **12 hod.** **8 hod** výrobna **48 hod.**	**10% z roční platby za distribuci**, maximálně: do 1 kV **6 000 Kč** nad 1 kV do 52 kV **12 000 Kč** nad 52 kV **120 000 Kč**	**do 60 kalendářních dnů**
	6	**Standard dodržení plánovaného omezení nebo přerušení distribuce elektřiny**	PDS omezí nebo přeruší distribuci elektřiny **dříve, než ohlásil**, nebo ukončí omezení nebo přerušení distribuce elektřiny **později, než ohlásil**	**10% z roční platby za distribuci**, maximálně: do 1 kV **6 000 Kč** nad 1 kV do 52 kV **12 000 Kč** nad 52 kV **120 000 Kč**	
	7	**Standard výměny poškozené pojistky**	**do 6 hod.,** na území hlavního města Prahy **do 4 hod.**	**1 200 Kč**	
	8	**Standard kvality napětí**	parametry **velikosti a odchylky napájecího napětí** a frekvence, které jsou v souladu s PPPS nebo PPDS		
	9	**Standard lhůty pro vyřízení reklamace kvality napětí**	písemné vyrozumění do **60 kalendářních dnů** ode dne doručení reklamace provozovateli DS	**1 200 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **30 000 Kč**	**do 60 kalendářních dnů**
	10	**Standard lhůty pro odstranění příčin snížené kvality napětí**	do **30 dnů** od odeslání vyrozumění o vyřízení reklamace: jednoduché provozní opatření do **6 měsíců**: stavebně technická opatření bez potřeby stavebního povolení do **24 měsíců**: stavebně technická opatření s potřebou stavebního povolení	**1 200 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **60 000 Kč**	
	11	**Standard zaslání stanoviska k žádosti o připojení zařízení žadatele k přenosové nebo distribuční soustavě**	lhůta stanovená vyhláškou č. 51/2006 Sb. do **30 dnů** od obdržení žádosti a do **60 dnů** od obdržení žádosti v případě nutnosti měření nebo na úrovni 110 kV ověření chodu sítě	do 1 kV: **600 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **60 000 Kč** nad 1 kV do 52 kV: **1 200 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **120 000 Kč** nad 52 kV: **12 000 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **600 000 Kč**	
	12	**Standard umožnění přenosu nebo distribuce elektřiny**	do **5 pracovních dnů** ode dne, kdy byl provozovatel DS na základě uzavřené smlouvy požádán o umožnění distribuce	do 1 kV: **6 000 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **60 000 Kč** nad 1 kV: **12 000 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **120 000 Kč**	
	13	**Standard ukončení přerušení distribuce elektřiny z důvodu prodlení zákazníka nebo dodavatele sdružené služby s úhradou plateb za poskytnutou distribuci elektřiny**	do **2 pracovních dnů** po dni, ve kterém zákazník nebo dodavatel sdruž. služby uhradil všechny své platby za distribuci	do 1 kV: **1 200 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **30 000 Kč** nad 1 kV: **3 600 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **90 000 Kč**	
	14	**Standard ukončení přerušení distribuce elektřiny na žádost dodavatele nebo dodavatele sdružené služby**	do **2 pracovních dnů** po dni, ve kterém PDS obdržel od dodavatele nebo dodavatele sdružené služby požadavek na ukončení přerušení	do 1 kV: **1 200 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **30 000 Kč** nad 1 kV: **3 600 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **90 000 Kč**	
	15	**Standard výměny měřicího zařízení a vyrovnání plateb**	do **15** kalendářních dnů: výměna měřicího zařízení do **60** kalendářních dnů: zajištění přezkoušení zařízení a informování zákazníka o výsledku přezkoušení do **10** kalendářních dnů: vypořádání rozdílu v platbách	**600 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **24 000 Kč**	
	16	**Standard předávání údajů o měření**	termín předávání údajů stanoven vyhláškou č. 541/2005 Sb.	do 1 kV: **600 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **30 000 Kč** nad 1 kV do 52 kV: **1 200 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **60 000 Kč** nad 52 kV: **3 600 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **120 000 Kč**	
	17	**Standard lhůty pro vyřízení reklamace vyúčtování distribuce elektřiny**	do **15** kalendářních dnů: písemné vyřízení reklamace do **30** kalendářních dnů: vypořádání rozdílu v platbách	**600 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **24 000 Kč**	
	18	**Standard dodržení termínu schůzky se zákazníkem**	dodržení termínu schůzky se zákazníkem s čekací lhůtou nejvýše **1 hodinu**	**2 400 Kč** za každý jednotlivý případ	
Standardy dodávek	19	**Standard zajištění ukončení přerušení dodávky elektřiny z důvodu prodlení zákazníka s úhradou plateb za odebranou elektřinu**	do **2** pracovních dnů po dni, ve kterém zákazník uhradil všechny své platby za odebranou elektřinu	do 1 kV: **1 200 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **30 000 Kč** nad 1 kV: **3 600 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **90 000 Kč**	
	20	**Standard lhůty pro vyřízení reklamace vyúčtování dodávky elektřiny**	do **15** kalendářních dnů: písemné vyřízení reklamace do **30** kalendářních dnů: vypořádání rozdílu v platbách	**600 Kč** za každý den prodlení, nejvýše však **24 000 Kč**	
Postupy pro vykazování dodržování kvality	21	**Ukazatele nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny**	**1. Ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny:** a) průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období (SAIFI) b) průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období (SAIDI) c) průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období (CAIDI) **2. Ukazatele nepřetržitosti přenosu elektřiny:** a) průměrná doba trvání jednoho přerušení přenosu elektřiny v kalendářním roce b) nedodaná elektrická energie v kalendářním roce		
	23	**Vykazování dosahované úrovně kvality přenosu nebo distribuce elektřiny a dodávek elektřiny a souvisejících služeb**	**1.** Držitel licence zpracuje do **31. března** následujícího kalendářního roku **souhrnnou zprávu za předchozí kalendářní rok** a) RDS a dodavatel nad 90 000 zákazníků předkládá Úřadu v listinné podobě a zveřejní způsobem umožňující dálkový přístup b) LDS a dodavatel s méně než 90 000 zákazníky zveřejní způsobem umožňující dálkový přístup a předkládá na vyžádání Úřadu **2.** Provozovatel **RDS a dodavatel s více jak 90 000 zákazníky** zpracovává **měsíční zprávu** o dodržování standardů a Úřadu ji předává **do 90 dnů** od posledního dne období, za který se výkaz zpracovává		

Aktualizované znění provedené vyhl. č. 41/2010 Sb.

Příloha č. 1 k vyhlášce č. 540/2005 Sb.

Vzor

ŽÁDOST FYZICKÉ OSOBY - NEPODNIKATELE

o náhradu za nedodržení standardu kvality přenosu nebo distribuce a dodávek elektřiny a souvisejících služeb

podle § 4 vyhlášky č. 540 /2005 Sb.

Žadatel

Příjmení, jméno, titul: …….....

Bydliště[1)]: ……

Datum narození: ……..

Adresa pro zaslání vyjádření k žádosti[1)]: ……...

……

Název banky a číslo účtu[2)]: ……..

Dodatečné kontaktní údaje: tel: …… fax: ……. elektronická adresa: ……..…@……

Poskytovatel náhrady – držitel licence

Obchodní firma nebo název držitele licence[3)]: …… IČ: ……

Nedodržení standardu

Adresa odběrného místa[1)]: ……..……

……..……

Číslo odběrného místa: ……

Popis události:……..……

…..……..

……..……

……..……

Standard, k jehož porušení podle žadatele došlo: ……..……..

Datum vzniku události, popř. den, kdy uplynula stanovená lhůta: …….

Datum podání žádosti: …….. V …….

Jméno a příjmení žadatele
nebo osoby oprávněné jednat
za žadatele nebo jeho jménem: ……

……
podpis žadatele nebo osoby oprávněné
jednat za žadatele nebo jeho jménem

Poznámky:
1) bydliště nebo jinou adresu vymezí žadatel uvedením ulice, čísla popisného, případně i čísla orientačního, názvem obce, případně též názvem části obce a poštovním směrovacím číslem
2) žadatel uvede, pokud žádá o zaslání přiznané náhrady na účet; pokud žadatel neuvede název banky a číslo účtu, poskytuje držitel licence přiznanou náhradu žadateli na adresu pro zaslání vyjádření k žádosti
3) podle § 4 vyhlášky č. 540/2005 Sb.

Příloha č. 2 k vyhlášce č. 540/2005 Sb.

Vzor

ŽÁDOST FYZICKÉ OSOBY - PODNIKATELE

o náhradu za nedodržení standardu kvality přenosu nebo distribuce a dodávek elektřiny a souvisejících služeb

podle § 4 vyhlášky č. 540/2005 Sb.

Žadatel

Jméno, příjmení a případný dodatek, popřípadě obchodní firma[1)]:……

Datum narození: ……. Místo podnikání[2)]:……..

IČ: ……. DIČ: ……..

Adresa pro zaslání vyjádření k žádosti[3)]: ……...

…….

Název banky a číslo účtu[4)]: ……....

Dodatečné kontaktní údaje: tel: fax: elektronická adresa:

…… ……. ……..…@……

Poskytovatel náhrady – držitel licence

Obchodní firma nebo název držitele licence[5)]:……..…… IČ: ……

Nedodržení standardu

Adresa odběrného nebo předávacího místa[3)]: ……

…….

Číslo odběrného nebo předávacího místa: ……

Popis události:……

…..……..

……

……

Standard, k jehož porušení podle žadatele došlo: ……..

Datum vzniku události, popř. den, kdy uplynula stanovená lhůta: …….

Datum podání žádosti: …….. V …….

Jméno a příjmení žadatele
nebo osoby oprávněné jednat
za žadatele nebo jeho jménem: ……

……
podpis žadatele nebo osoby oprávněné
jednat za žadatele nebo jeho jménem

Poznámky:
1) obchodní firmu uvádí žadatel zapsaný v obchodním rejstříku
2) místo podnikání uvede žadatel v souladu se zápisem v obchodním nebo živnostenském, případně jiném rejstříku
3) adresu vymezí žadatel uvedením ulice, čísla popisného, případně i čísla orientačního, názvem obce, případně též názvem části obce a poštovním směrovacím číslem
4) žadatel uvede, pokud žádá o zaslání přiznané náhrady na účet; pokud žadatel neuvede název banky a číslo účtu, poskytuje držitel licence přiznanou náhradu žadateli na adresu pro zaslání vyjádření k žádosti
5) podle § 4 vyhlášky č. 540/2005 Sb.

Příloha č. 3 k vyhlášce č. 540/2005 Sb.

Vzor

ŽÁDOST PRÁVNICKÉ OSOBY

o náhradu za nedodržení standardu kvality přenosu nebo distribuce a dodávek elektřiny a souvisejících služeb

podle § 4 vyhlášky č. 540/2005 Sb.

Žadatel

Obchodní firma nebo název[1)]: …….....

Sídlo žadatele[1)]: …….....

IČ: …….. DIČ: ….....

Adresa pro zaslání vyjádření k žádosti[2)]: ……...

…….

Název banky a číslo účtu[3)]: ……..

Dodatečné kontaktní údaje: tel: fax: elektronická adresa:

…… ……. ……..…@……..

Poskytovatel náhrady – držitel licence

Obchodní firma nebo název držitele licence[4)]: ……..…… IČ: ……

Nedodržení standardu

Adresa odběrného nebo předávacího místa[2)]: ……

…….

Číslo odběrného nebo předávacího místa: ……

Popis události:……
…..……..
……
……

Standard, k jehož porušení podle žadatele došlo: …….

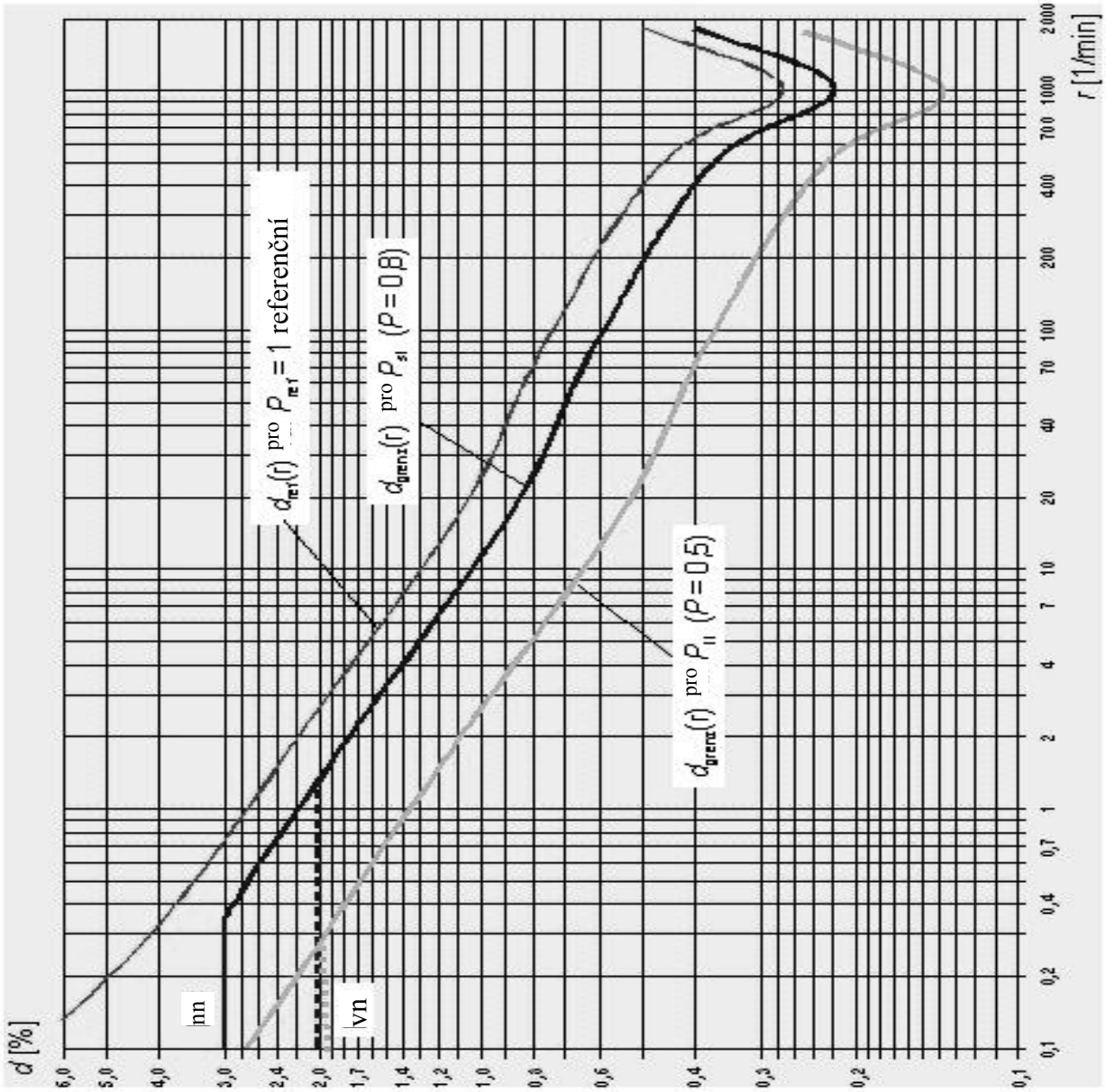
Datum vzniku události, popř. den, kdy uplynula stanovená lhůta: ……..…….

Datum podání žádosti: …….. V …….

Jméno a příjmení osoby
oprávněné jednat jménem
žadatele s uvedením funkce: ……

……
podpis osoby oprávněné jednat jménem žadatele

Poznámky:
1) podle výpisu z obchodního nebo živnostenského, případně jiného rejstříku nebo zakládací listiny
2) adresu vymezí žadatel uvedením ulice, čísla popisného, případně i čísla orientačního, názvem obce, případně též názvem části obce a poštovním směrovacím číslem
3) žadatel uvede, pokud žádá o zaslání přiznané náhrady na účet
4) podle § 4 vyhlášky č. 540/2005 Sb.



Obr. Činitelé tvaru pro pravoúhlé změny napětí