

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Vyhodnocování kvality elektrické energie v distribuční
soustavě**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Zdeňka KRÁLOVÁ**
Osobní číslo: **E11B0047K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Vyhodnocování kvality elektrické energie v distribuční soustavě**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Popište legislativní rámec problematiky kvality napětí v distribuční soustavě.
2. Uveďte parametry napětí, které jsou sledovány v distribuční soustavě a příčiny narušení kvality napětí.
3. Popište metodiku pro posouzení připojitelnosti zařízení k distribuční síti.
4. Proveďte posouzení zpětných vlivů konkrétního zařízení na napětí v přípojném bodě.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

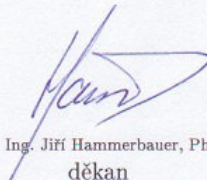
Seznam odborné literatury:

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 a zdrojů distribučních soustav, 3.vydání, 2005
3. Tesařová,M., Štroblová, M.: Průmyslová elektroenergetika, ZČU, 2000

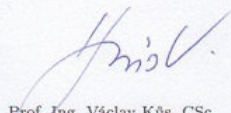
Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

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

Termín odevzdání bakalářské práce: **9. června 2014**


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




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Tato předkládaná bakalářská práce se zabývá vyhodnocováním kvality elektrické energie v distribuční soustavě. Součástí práce je podrobný popis legislativního rámce problematiky kvality napětí. Důležitá část této práce se věnuje metodice pro posouzení připojitelnosti daného zařízení k distribuční soustavě. Hlavní část této práce popisuje přehled nejčastějších druhů rušení kvality napětí, nepřetržitost a charakteristiky dodávky elektrické energie. Na závěr jsou v této práci uvedeny výpočty týkající se posouzení zpětných vlivů konkrétního zařízení na napětí v přípojném bodě.

Klíčová slova

Distribuce, distribuční soustava, kvalita elektrické energie, kvalita napětí, zpětné vlivy.

Abstract

This bachelor thesis deals with the voltage quality evaluation in distribution power network. Part of this thesis is a detailed description of the legislative framework of voltage quality issues. An important part of this thesis focuses on the methodology for assessment of the connectivity of the specific facility to the distribution power network. The main part of this thesis describes an overview of the most common types of voltage quality interferences, continuity and characteristics of electric power supply. In conclusion, this thesis includes calculations concerning the assessment of the effects of a specific device for the voltage at the connection point.

Key words

Distribution, distribution power network, electric power quality, voltage quality, effects.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

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

.....
podpis

V Plzni dne 5. 6. 2014

Zdeňka Králová

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucí mé bakalářské práce doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení mé práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 LEGISLATIVNÍ RÁMEC PROBLEMATIKY KVALITY NAPĚTÍ V DS	11
1.1 ENERGETICKÝ ZÁKON	11
1.2 ČSN EN 50 160	13
1.3 PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DS (PPDS) – VERZE Z ROKU 2011	13
1.4 VYHLÁŠKA 540/2005 Sb.	14
1.5 PODNIKOVÉ NORMY ENERGETIKY PRO ROZVOD ELEKTRICKÉ ENERGIE (PNE)	17
2 KVALITA ELEKTRICKÉ ENERGIE A PŘÍČINY JEJÍHO NARUŠENÍ	19
2.1 ÚVOD	19
2.2 NEPŘETRŽITOST DODÁVKY ELEKTRICKÉ ENERGIE	20
2.3 PŘEHLED NEJČASTĚJŠÍCH PŘÍČIN RUŠENÍ KVALITY NAPĚTÍ	22
2.3.1 <i>Nejvýznamnější parametry napětí</i>	22
2.3.2 <i>Charakteristiky dodávky elektrické energie dle ČSN EN 50 160</i>	26
3 METODIKA PRO POSOUZENÍ PŘIPOJITELNOSTI ZAŘÍZENÍ K DS	32
3.1 PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DS (PPDS) – PŘÍLOHA Č. 3: KVALITA NAPĚTÍ V DS, ZPŮSOBY JEJÍHO ZJIŠŤOVÁNÍ A HODNOCENÍ	32
3.2 PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DS (PPDS) – PŘÍLOHA Č. 4: PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ ZDROJŮ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DS	33
3.3 PODNIKOVÁ NORMA ENERGETIKY PRO ROZVOD EL. ENERGIE: PNE 33 3430-0	37
4 POSOUZENÍ ZPĚTNÝCH VLIVŮ FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN NA NAPĚTÍ V DISTRIBUČNÍM VÝVODU 22 kV	38
4.1 POPIS ŘEŠENÉHO DISTRIBUČNÍHO VÝVODU	38
4.2 VÝPOČET NAPĚŤOVÝCH PROFILŮ VEDENÍ 22 kV A PROCENTNÍ ZMĚNY NAPĚTÍ PŘI PŘIHOJENÍ DVOU FVE V PROGRAMU MS EXCEL	40
4.3 MODELOVÁNÍ VÝVODU „KASEJOVICE“ POMOCÍ PROGRAMU E-VLIVY	45
4.4 VÝPOČET ZKRATOVÝCH VÝKONŮ V PŘEDÁVACÍCH BODECH FVE SVUČICE A LELETICE-JAMKY	46
4.5 POROVNÁNÍ VYPOČTENÝCH ZKRATOVÝCH VÝKONŮ V PROGRAMU MS EXCEL A E-VLIVY	49
4.6 HARMONICKÉ PROUDY EMITOVANÉ ELEKTRÁRNAMI	50
4.7 VÝPOČET DOVOLENÝCH HARMONICKÝCH PROUDŮ EMITOVANÝCH ELEKTRÁRNAMI	52
ZÁVĚR	54
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	55
PŘÍLOHY	
PŘÍLOHA Č. 1 – MAPA DISTRIBUČNÍHO VÝVODU „KASEJOVICE“	57
PŘÍLOHA Č. 2 – PŘÍRAZENÍ TRANSFORMÁTORŮ K JEDNOTLIVÝM ODBĚRŮM VE ZJEDNODUŠENÉM SCHÉMATU VEDENÍ	58
PŘÍLOHA Č. 3 – SCHÉMATA VÝVODU PROVEDENÁ V PROGRAMU E-VLIVY (ILUSTRATIVNÍ PŘÍKLADY)	60

Seznam symbolů a zkratk

PPDS	Pravidla provozování distribučních soustav
V, kV	Volt, kiloVolt – jednotky napětí
Hz	Herz – jednotka kmitočtu (frekvence)
MW	MegaWatt – jednotka činného výkonu
ČSN	Označení českých technických norem
PNE	Podniková norma energetiky pro rozvod elektrické energie
HDO	Hromadné dálkové ovládání
SAIDI	System Average Interruption Duration Index (Průměrná systémová doba trvání přerušení dodávky elektrické energie)
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index (Průměrná systémová četnost přerušení dodávky elektrické energie)
CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index (Průměrná doba trvání 1 přerušení dodávky el. energie u odběratele)
NN, VN, VVN	Nízké napětí, vysoké napětí, velmi vysoké napětí
U_n	Jmenovité napětí [V]
P_{It}	Dlouhodobá míra vjemu flikru
THD	Celkový činitel harmonického zkreslení napájecího napětí
U_c	Dohodnuté napětí [V]
DS	Distribuční soustava
PS	Přenosová soustava
ČEPS	Společnost, která zajišťuje spolehlivý provoz elektroenergetické PS na území České republiky
FVE	Fotovoltaické elektrárny

Úvod

Tématem této bakalářské práce je vyhodnocování kvality elektrické energie v distribuční soustavě. Nejprve se tato práce zaměřuje na podrobné uvedení do problematiky norem, což je velmi důležitá oblast při posuzování kvality elektrické energie, při distribuci elektrické energie a v neposlední řadě rovněž i při obchodování s elektrickou energií. Na první část týkající se legislativního rámce kvality napětí v distribuční soustavě navazuje část druhá, která se podrobně zabývá parametry kvality napětí v distribuční soustavě a příčinami jejího narušení, dále pak nepřetržitostí a charakteristikami dodávky elektrické energie. Nežádoucí změny napětí v síti způsobují narušení kvality elektrické energie. Tyto změny jsou základním tématem této bakalářské práce. Řešíme je zejména z toho důvodu, aby v síti nezpůsobovaly ve velké míře negativní ovlivňování odběratelů elektrické energie i samotné elektrizační soustavy. Důležitými aspekty, které jsou spojovány s nepřetržitostí dodávky elektrické energie, jsou činitele SAIDI a SAIFI. Díky těmto systémovým ukazatelům je možné porovnat výkonnost provozovatele přenosové soustavy a provozovatele distribučních soustav.

Cílem mé bakalářské práce je posoudit zpětné vlivy dvou fotovoltaických elektráren na napětí v distribučním vývodu 22 kV. O této problematice pojednává čtvrtá kapitola. Vše je zde popsáno pomocí výpočtů, tabulek a grafů. Nejprve se zde zabývám pouze výpočty, které jsem vytvářela v MS Excel, stejně tak jako zmíněné tabulky a grafy. Posléze jsem mé výsledky porovnávala s výsledky, které vypočítal program E-*vlivy*. Z tohoto programu pocházejí rovněž i některé obrázky, které jsou uvedeny v této poslední, čtvrté kapitole a v příloze č. 3.

Tato bakalářská práce je tedy rozdělena na část teoreticko-metodologickou a posléze na část aplikační. Jak už bylo zmíněno v předchozích odstavcích, v teoreticko-metodologické části je objasněn legislativní rámec kvality napětí, metodika pro posouzení připojitelnosti zařízení k distribuční soustavě a zejména pak přehled nejčastějších příčin rušení kvality napětí. Jsou zde vysvětleny používané pojmy a interpretace jednotlivých ukazatelů.

Ze seznamu literatury, který je uveden v samotném závěru této práce, jsem nejvíce využívala jednotlivých norem a knihu Průmyslová elektroenergetika (autorky: M. Tesařová, M. Štroblová). Dalším pomocníkem při zpracování této mé bakalářské práce byly sborníky z konferencí ČK Cired, kde jsem také načerpala užitečné informace.

1 Legislativní rámec problematiky kvality napětí v DS

1.1 Energetický zákon

Energetický zákon, neboli také jinak nazývaný zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů, upravuje podmínky pro podnikání, práva a povinnosti fyzických či právnických osob a výkon státní správy v energetických sektorech. Mezi tyto energetické sektory řadíme plynárenství, teplárenství a elektroenergetiku. Energetický zákon rovněž dále vysvětluje důležité pojmy, stejně tak jako i podmínky pro vznik či zánik podnikání v energetických odvětvích.

Pro elektroenergetiku jako takovou jsou velmi důležití účastníci trhu s elektrickou energií, mezi které patří výrobci elektrické energie, provozovatel přenosové soustavy a provozovatelé distribučních soustav, operátoři trhu, obchodníci s elektřinou a zákazníci.

Všichni účastníci trhu s elektrickou energií jsou definováni v § 22 tohoto zákona. Následující paragraf na tento zmíněný předchází navazuje stanovenými právy a povinnostmi pro výrobce elektrické energie. Pokud si chce výrobce elektrické energie připojit své zařízení k elektrizační soustavě, tak na to samozřejmě právo má, pokud mu to umožňují technické požadavky a pokud toto připojení sám uhradí. Pokud splní všechny potřebné podmínky, má právo nabízet a dodávat elektrickou energii. Rovněž je možná ta skutečnost, že výrobce elektrické energie může dodávat elektřinu vyrobenou ve vlastní výrobě pro vlastní potřebu a pro potřeby ovládaných společností. Tato spotřeba, či výroba, není nijak omezena. Jedinou překážkou mohou být technické možnosti soustavy. [18]

Práva a povinnosti provozovatele přenosové soustavy se pak blíže specifikují v § 24. Hlavním cílem provozovatele přenosové soustavy je zajistit spolehlivý provoz přenosové soustavy. Mezi další obchodní činnosti provozovatele přenosové soustavy patří připojování účastníků trhu s elektrickou energií k přenosové soustavě. [1]

V následujícím paragrafu jsou popsána všechna práva a povinnosti provozovatelů distribučních soustav, mezi něž například patří omezení či přerušení dodávky elektrické energie odběratelům při neoprávněné distribuci elektrické energie a při jejím neoprávněném odběru. Pokud dojde k omezení či přerušení dodávky elektrické energie, jehož důvody jsou uvedeny v zákoně, nehradí provozovatel distribuční (ani přenosové) soustavy škody, ani žádné jiné finanční ztráty účastníkům trhu s elektrickou energií. [18]

Speciálně o kvalitě dodávané elektrické energie hovoří Energetický zákon následovně v několika dalších paragrafech. Například v § 11 o Právech a povinnosti držitelů licencí

dle 1. odstavce písmene h) je každý držitel licence povinen dodržovat stanovené parametry kvality elektrické energie a souvisejících služeb, nebo v případě jejich nedodržení poskytovat náhradu. Dalším paragrafem, který se zabývá kvalitou dodávané elektrické energie, je § 23 o Výrobci elektrické energie. Druhý odstavec tohoto paragrafu ukládá povinnosti výrobcům elektrické energie. Podle písmene h) tohoto odstavce musí výrobce dodržovat parametry kvality elektrické energie stanovené v Pravidlech provozu přenosové soustavy a v Pravidlech provozu distribuční soustavy. V dalším paragrafu, a to v § 24 o Provozovateli přenosové soustavy, má provozovatel přenosové soustavy dle 3. odstavce písmene d) bodu č. 9 právo přerušit nebo změnit dodávku elektrické energie, přes-hraniční výměnu, vývoz nebo dovoz elektrické energie ze zahraničí z důvodu zajištění spolehlivého provozu přenosové soustavy při dodávce elektrické energie zařízeními, která ovlivňují kvalitu elektrické energie pro ostatní zákazníky, pokud výrobce nevybavil výrobní dostupnými technickými prostředky pro omezení těchto vlivů. Další povinnost pro provozovatele vyplývá z odstavce č. 10 písmene r) tohoto paragrafu, v němž je uvedeno, že provozovatel přenosové soustavy je povinen dodržovat parametry a zveřejňovat ukazatele kvality elektrické energie. V § 25 o Provozovateli distribuční soustavy má provozovatel distribuční soustavy dle 3. odstavce písmene c) právo omezit nebo přerušit v nezbytném rozsahu dodávku elektrické energie účastníkům trhu s elektřinou při odběru elektřiny zařízeními, která ovlivňují kvalitu elektřiny v neprospěch ostatních účastníků trhu s elektřinou, a zákazník nevybavil tato odběrná zařízení dostupnými technickými prostředky k omezení těchto vlivů. Provozovatel distribuční soustavy má také právo změnit nebo přerušit dodávky elektrické energie z výroby a dovozu či vývozu elektrické energie z/do zahraničí v případě dodávky elektrické energie zařízeními, která negativně ovlivňují kvalitu elektrické energie pro ostatní účastníky trhu, pokud dodavatel nevybavil toto zařízení dostupnými technickými možnostmi pro omezení těchto vlivů. Podle odstavce 10 písmene p) tohoto paragrafu je provozovatel distribuční soustavy povinen dodržovat parametry kvality elektrické energie a zveřejňovat ukazatele kvality dodávek elektrické energie a služeb. Dalším důležitým paragrafem je § 28 o Zákazníkovi, kde je dle 2. odstavce písmene f) zákazník povinen provádět dostupná technická opatření pro zamezení ovlivňování kvality elektrické energie pro ostatní zákazníky. Následující paragraf, zabývající se problematikou kvality dodávané elektrické energie, je § 30 o Obchodníkovi s elektřinou. Tento je dle 2. odstavce písmene d) povinen dodržovat parametry kvality dodávek elektrické energie a služeb. [1]

1.2 ČSN EN 50 160

Norma ČSN EN 50 160 se zabývá charakteristikami napětí elektrické energie dodávanými z veřejných distribučních sítí nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí za normálních podmínek. Jinými slovy řečeno, tato norma definuje přípustné snížení kvality dodávané elektrické energie a tím upravuje vztah mezi dodavatelem a odběratelem. Norma udává charakteristiky napájecího napětí, které se týkají jeho velikosti, kmitočtu, tvaru vlny či symetrie třífázových napětí. Kolísání charakteristik při normálním provozu napájecího systému způsobují změny zatížení, rušení vyvolané daným zařízením a výskyt poruch vyvolaných vnějšími vlivy. Některé tyto jevy, které ovlivňují napětí, nelze předvídat. Tato norma se nezabývá mimořádnými provozními podmínkami (podmínkami, které vznikly jako výsledek poruch nebo dočasného zapojení sítě pro napájení odběratelů během údržbových a výstavbových prací atp.). Charakteristiky napětí zde nejsou určeny pro přímé užití při definování požadavků ve výrobních normách. Dále je třeba zdůraznit, že odběratelské zařízení může být poškozeno, jestliže je vystaveno podmínkám napájení, které výrobní normy neberou v úvahu. [2]

Touto normou se budu více zabývat ve druhé kapitole této práce. Tato kapitola jako taková popisuje parametry napětí, které jsou sledovány v distribuční soustavě, a příčiny narušení kvality napětí. V této zmíněné kapitole bych se rovněž ráda zabývala charakteristiky dodávky elektrické energie.

1.3 Pravidla provozování DS (PPDS) – verze z roku 2011

Tento dokument se zabývá vypracováváním a zveřejňováním předpisů, které stanovují minimální technické, provozní a informační požadavky pro připojení uživatelů k distribuční soustavě a pro její užívání.

Pravidla provozování distribučních soustav vyplývají z Energetického zákona a dalších obdobných vyhlášek Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky a Energetického regulačního úřadu. Tyto vyhlášky se nám snaží přiblížit provádění některých ustanovení elektrických zařízení v elektroenergetice. Mezi tyto vyhlášky patří zejména Vyhláška o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, Vyhláška o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, Vyhláška o dispečerském řízení elektrizační soustavy a o předávání údajů pro dispečerské řízení, dále pak rovněž například Vyhláška stavu nouze v elektroenergetice a o obsahových náležitostech havarijního plánu atp. [3]

V Pravidlech provozování distribučních soustav je rovněž uvedeno mnoho definic odborných pojmů. Není proto nutné spolupracovat s dalšími obdobnými právními či technickými materiály, pokud se uživatelé distribučních soustav potřebují dozvědět jakékoliv komplexní informace, neboť Pravidla provozování distribučních soustav poskytují sama o sobě dostatek informací.

Za uživatele distribučních soustav lze považovat zejména provozovatele přenosové soustavy, který je držitelem licence na přenos elektrické energie, dále pak provozovatele sousedních či místních distribučních soustav, kteří jsou držiteli licence na distribuci elektrické energie. V neposlední řadě nelze zapomenout ani na výrobce, kteří jsou považováni za držitele licence na výrobu elektrické energie, dále pak na obchodníky, kteří jsou naopak považováni za držitele licence pro obchod s elektrickou energií, a konečně i na zákazníky.

Pravidla provozování distribučních soustav jsou úzce spojeny s Pravidly provozování přenosové soustavy. Je tomu tak především z toho důvodu, aby byly zajištěny potřebné podmínky pro bezproblémový rozvoj a bezpečný provoz elektrizační soustavy České republiky a dodávky elektrické energie v požadované kvalitě. [3]

Pokud chce být daný uživatel připojen k určité distribuční soustavě, musí jako jednu z podmínek dodržet požadavky, které jsou předepsané právě Pravidly provozování distribučních soustav. Účelem těchto požadavků je zajištění spravedlivého podílení se na udržování sítě v dobrých provozních podmínkách. A to nejen v případě provozovatele, ale i v případě každého uživatele distribuční soustavy. Zkrátka, aby byl zajištěn stabilní provoz distribuční soustavy jak ze strany provozovatele distribuční soustavy, tak ze strany jejích uživatelů. [3]

Tato podkapitola zabývající se Pravidly provozování distribučních soustav (PPDS) bude podrobněji rozvedena v třetí kapitole, která se zabývá metodikou pro posouzení připojitelnosti zařízení k distribuční síti. Konkrétně se jedná o přílohu č. 3 o Kvalitě napětí v distribuční soustavě, způsoby jejího zjišťování a hodnocení, a především o přílohu č. 4 o Pravidlech pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy.

1.4 Vyhláška 540/2005 Sb. [7]

Vyhláška stanovuje požadovanou kvalitu dodávek a služeb souvisejících s regulovanými činnostmi v elektroenergetice, včetně náhrad při nedodržení kvality napětí a postupu pro vykazování dodržení kvality dodávek a služeb. V následujících odstavcích

se budu zabývat základní terminologií, která je v této vyhlášce použita, a standardy přenosu či distribuce elektrické energie.

Prvním termínem, kterým se chci v odstavci o základní terminologii použité v této vyhlášce zabývat, je *přerušeni přenosu nebo distribuce*. Je to stav v předávacím místě účastníka trhu s elektřinou, kdy přenosová nebo distribuční soustava není schopna dodávat elektrickou energii do odběrného místa. Za přerušeni se považuje pouze stav, kdy je přerušeni způsobeno v té části distribuční nebo přenosové soustavy, která není v majetku odběratele. *Dlouhodobým přerušením* se myslí přerušeni dodávky elektrické energie na více než 3 minuty. Naopak *plánovaným přerušením* se myslí přerušeni způsobené plánovanými pracemi na zařízení distribuční nebo přenosové soustavy. Okamžikem obnovení dodávky elektrické energie z distribuční nebo přenosové soustavy v kvalitě odpovídající platným normám a smlouvám je popsán pojem *ukončení přerušeni přenosu nebo distribuce*. Za ukončení přerušeni též považujeme připojení odběrného místa na náhradní zdroj.

Kvalita dodávek a služeb je vyjádřena pomocí standardů dodávek, standardů přenosu a distribuce elektrické energie a ukazateli nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny. Při nedodržení standardů může požadovat zákazník finanční kompenzaci.

V podskupině, která se zabývá standardy přenosu nebo distribuce elektřiny, podrobněji popisují nejdůležitější standardy, týkající se kvality dodávek elektrické energie. Standardy zaměřené na služby, uvedené v této vyhlášce, jsou v této práci pouze vyjmenovány.

Nejprve bych se ráda zabývala *Standardem ukončení přerušeni přenosu nebo distribuce elektrické energie*. Standardem ukončení přerušeni distribuce elektrické energie je ukončení přerušeni distribuce elektřiny mimo přerušeni plánovaného, v odběrném místě provozovatele lokální distribuční soustavy nebo zákazníka, a to ve lhůtě do 18 hodin v síti distribuční soustavy s napětovou úrovní do 1 kV a 12 hodin v síti distribuční soustavy na území hl. města Prahy, nebo ve lhůtě do 12 hodin v síti distribuční soustavy s napětovou úrovní nad 1 kV a 8 hodin v síti distribuční soustavy na území hl. města Prahy. Lhůta pro ukončení distribuce se počítá od doby, kdy se provozovatel dozvěděl nebo mohl dozvědět o přerušeni.

Dalším důležitým standardem je *Standard dodrženi plánovaného omezení nebo přerušeni distribuce elektřiny*. Standardem dodrženi plánovaného omezení nebo přerušeni distribuce elektřiny je zahájení a ukončení omezení nebo přerušeni distribuce elektřiny v době, která byla jako doba zahájení a ukončení omezení nebo přerušeni distribuce elektřiny zákazníkům ohlášena. Standard plánovaného přerušeni nebo omezení distribuce elektřiny není dodržen, jestliže provozovatel distribuční soustavy omezí nebo přeruší

distribuci elektřiny dříve, než ohlásil, nebo ukončí omezení nebo přerušení distribuce elektřiny později, než ohlásil. [7] Jinými slovy řečeno, provozovatel distribuční sítě, pokud chce dodržet standard dodržení plánovaného omezení nebo přerušení distribuce elektřiny, by měl dodržet časové vymezení, které oznámil zákazníkům. Za nedodržení standardu poskytuje provozovatel distribuční soustavy zákazníkům finanční kompenzaci. Stanovení této kompenzace je také předmětem této vyhlášky.

Standardem výměny poškozené pojistky je provedení výměny poškozené pojistky v hlavní domovní pojistkové nebo kabelové skříni zákazníka a umožnění obnovení distribuce elektřiny nejdéle do 6 hodin, na území hlavního města Prahy do 4 hodin, od okamžiku, kdy je příslušný provozovatel distribuční soustavy zákazníkem nebo dodavatelem sdružené služby informován o přerušení distribuce do odběrného místa zákazníka. Tento standard se nevztahuje na vztah provozovatele distribuční soustavy a provozovatele lokální distribuční soustavy. Tento standard se nevztahuje ani na situace, kdy došlo k poškození pojistky vlivem odběrného elektrického zařízení zákazníka.

Standardem kvality napětí je distribuce elektřiny s odpovídajícími parametry velikosti a odchylkami napájecího napětí a frekvence, které jsou v souladu s Pravidly provozování přenosové soustavy nebo Pravidly provozování distribučních soustav nebo parametry napětí a frekvence, sjednanými ve smlouvě mezi zákazníkem a provozovatelem distribuční soustavy.

Standardem lhůty pro vyřízení reklamace kvality napětí je prověření oprávněnosti reklamace dodavatele sdružené služby nebo zákazníka na kvalitu napětí a písemné vyrozumění dodavatele sdružené služby nebo zákazníka o jejím prověření do 60 kalendářních dnů ode dne doručení reklamace dodavatele sdružené služby nebo zákazníka provozovateli distribuční soustavy. Je-li reklamace na kvalitu napětí oprávněná, musí provozovatel distribuční soustavy písemným vyrozuměním ohlásit zákazníkovi způsob a termín odstranění příčiny snížené kvality.

V neposlední řadě bych ještě ráda zmínila *Standard lhůty pro odstranění příčin snížené kvality napětí*. Standardem lhůty pro odstranění příčin snížené kvality napětí je provedení potřebných opatření příslušným provozovatelem distribuční soustavy nezbytných k odstranění příčin snížené kvality napětí ve lhůtě:

- a) 30 kalendářních dnů od odeslání písemného vyrozumění o vyřízení reklamace kvality napětí, je-li možné odstranit příčinu snížené kvality napětí pouze provozním opatřením v distribuční soustavě (například přepnutím odbočky na transformátoru),

- b) 6 měsíců ode dne odeslání písemného vyrozumění o vyřízení reklamace kvality napětí, je-li možné odstranit příčinu snížené kvality napětí stavebně technickým opatřením, k jehož realizaci není potřeba stavebního povolení,
- c) 24 měsíců ode dne odeslání písemného vyrozumění o vyřízení reklamace kvality napětí, je-li nutné odstranit příčinu snížené kvality napětí stavebně technickým opatřením, k jehož realizaci je potřeba stavebního povolení.

Mezi další standardy týkající se služeb, uvedené ve vyhlášce 540/2005 Sb., patří Standard zaslání stanoviska k žádosti o připojení zařízení žadatele k přenosové nebo distribuční soustavě; Standard umožnění přenosu nebo distribuce elektřiny; Standard ukončení přerušení distribuce elektřiny z důvodu prodlení zákazníka nebo dodavatele sdružené služby s úhradou plateb za poskytnutou distribuci elektřiny; Standard ukončení přerušení distribuce elektřiny na žádost dodavatele nebo dodavatele sdružené služby; Standard výměny měřicího zařízení a vyrovnání plateb; Standard o předávání údajů o měření; Standard lhůty pro vyřízení reklamace vyúčtování distribuce elektřiny a Standard dodržení termínu schůzky se zákazníkem.

Vyhláška dále stanovuje „Ukazatele nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny“ a ukládá provozovateli přenosové soustavy a provozovatelům distribučních soustav vést záznamy o všech dlouhodobých přerušeních přenosu nebo distribuce elektřiny v jím provozované soustavě. Ukazateli nepřetržitosti distribuce elektřiny jsou:

- a) průměrný počet přerušení distribuce elektřiny a zákazníků v hodnoceném období,
- b) průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období,
- c) průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období.

Ukazateli nepřetržitosti přenosu elektřiny jsou:

- a) průměrná doba trvání jednoho přerušení přenosu elektřiny v kalendářním roce,
- b) nedodaná elektrická energie v kalendářním roce.

1.5 Podnikové normy energetiky pro rozvod elektrické energie (PNE)

Zkratka PNE označuje Podnikové normy energetiky pro rozvod elektrické energie. V této podkapitole se budu zabývat Podnikovou normou, jejímž zkráceným názvem je PNE 33 3430. Zabývá se parametry kvality elektrické energie a je v ní zahrnuto několik částí, které blíže rozvedu v následujících odstavcích.

Normou *PNE 33 3430-0* bych se ráda podrobněji zabývala až ve třetí kapitole této práce, která popisuje, jak již bylo dříve řečeno, metodiku pro posouzení připojitelnosti zařízení k distribuční síti. Snad by bylo vhodné říci alespoň to, že tato norma platí pro plánování a provozování elektrických zařízení distribučních soustav nízkého napětí, vysokého napětí a 110 kV z hlediska vlivu na elektrizační soustavu 50 Hz a zařízení hromadného dálkového ovládání. Avšak tato norma neplatí pro spotřebiče pro domácnost, pro které platí ČSN EN 61000-3-2 a ČSN EN 61000-3-3. [8]

První část Podnikové normy energetiky pro rozvod elektrické energie *PNE 33 3430-1* se zabývá charakteristikami harmonických a mezi-harmonických v distribučních soustavách nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí. Dále řeší rovněž i omezení vlivu na spolehlivost funkce zařízení odběratelů i dodavatele elektrické energie. Cílem této 1. části je vytvořit univerzální materiál pro vyhodnocování a omezování harmonických napětí a proudů. Nenajdeme zde ani žádné výpočty kmitočtových charakteristik impedancí distribuční, ani průmyslové soustavy, a dokonce ani žádné postupy těchto výpočtů. [9]

Druhá část Podnikové normy *PNE 33 3430-2* se zabývá charakteristikami kolísání napětí, dále pak rovněž i rychlých změn v distribučních soustavách nízkého, vysokého, velmi vysokého a zvláště vysokého napětí. Samozřejmě i v této části Podnikové normy se řeší omezování jejich vlivu na spolehlivost funkce zařízení, a to nejen uživatele distribuční soustavy, ale i provozovatele distribuční soustavy. Hlavním cílem je vytvořit univerzální materiál pro vyhodnocení a omezení kolísání napětí a posléze určit dovolenou emisi kolísání napětí jednotlivými zařízeními uživatelů distribuční soustavy. Součástí této části normy nejsou žádné výpočty charakteristik impedancí ani distribuční, ani průmyslové soustavy. [10]

Třetí část této Podnikové normy *PNE 33 3430-3* popisuje charakteristiky nesymetrie a změn kmitočtu napětí v distribučních soustavách nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí. Rovněž se zabývá omezením jejich vlivu na spolehlivost funkce zařízení odběratelů i provozovatele distribuční soustavy. Hlavním cílem je vyhodnotit a omezit nesymetrie napětí. Mezní hodnoty nesymetrie napětí jsou odvozovány od kompatibilních úrovní. Pokud chceme zjistit dovolenou emisi nesymetrie napětí jednotlivými zařízeními odběratelů, pak se rovněž dále uvažují i jiné parametry soustavy (například zkratový výkon). Za upřesnění těchto, výše zmíněných, požadavků či parametrů je zodpovědný sám provozovatel distribuční soustavy. [11]

Čtvrtá část této Podnikové normy energetiky pro rozvod elektrické energie *PNE 33 3430-4* se zabývá charakteristikami poklesů a krátkých přerušení napětí v distribučních soustavách, dále pak i omezováním jejich vlivu na spolehlivost funkce daného

zařízení zákazníků, dodavatele elektrické energie atp. Snahou této části Podnikové normy je také vyhodnotit odolnost elektrických i elektronických zařízení, které jsou vystavovány krátkodobým poklesům či přerušením napětí. V této části Podnikové normy je věnována jedna kapitola i detekci a vyhodnocení krátkodobého poklesu napětí nebo také metodám měření. [12]

V páté části Podnikové normy *PNE 33 3430-5* jsou podrobněji popsány charakteristiky přechodných přepětí a určení požadavků (dle prostředí a podmínek instalace ohrožených zařízení) na odolnost energetického zařízení proti impulzům, kterou jsou způsobeny přepětími od spínacích a atmosférických přechodných jevů. Hlavním cílem této části Podnikové normy energetiky pro rozvod elektrické energie je vytvořit univerzální materiál pro vyhodnocení funkce daného zařízení, zda-li je vystaveno rušení impulzního charakteru (v síťových či propojovacích přívozech). Neuvažuje se zde ani přímý úder blesku, ani se zde nehodnotí izolační pevnost či odolnost namáhání vysokým napětím síťového kmitočtu. [13]

Šestá část této Podnikové normy energetiky *PNE 33 3430-6* popisuje omezení zpětných vlivů na hromadné dálkové ovládání. Celá tato část se zabývá problematikou hromadného dálkového ovládání, které je známé také pod zkratkou HDO, požadavky na jeho provoz, posuzování vlivu různých zařízení, výpočty úrovní jeho signálu, různými pojmy a definicemi. [14]

Sedmá část Podnikové normy energetiky *PNE 33 3430-7* se zabývá charakteristikami napětí elektrické energie ve veřejné distribuční síti, dále pak popisem hlavních charakteristik napětí v místech připojení uživatelů z veřejných sítí nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí. V této části Podnikové normy lze rovněž nalézt meze či hodnoty charakteristických hodnot napětí, které každý uživatel veřejné distribuční sítě může očekávat za normálních provozních podmínek. Tato část normy se nevztahuje na mimořádné provozní podmínky, které jsou v ní pečlivě rozebrány. [15]

2 Kvalita elektrické energie a příčiny jejího narušení

2.1 Úvod

Kvalita elektrické energie a příčiny jejího narušení se stávají v poslední době stále více probíraným tématem, neboť touto problematikou se zabývá mnoho průmyslových společností a firem, které poskytují služby v tomto odvětví.

Odběratel požaduje, aby k němu dodávka elektrické energie dorazila v požadovaném množství a kvalitě. Parametry distribuce daného množství elektrické energie by měly být v požadovaných mezích. Mezi veličiny, které souvisí s těmito parametry a s kvalitou elektrické energie, řadíme frekvenci a napětí.

Elektrická energie se vyrábí v elektrárnách, kde jsou na ní kladeny určité požadavky. K odběrateli se tato vyrobená energie dostane pomocí přenosových a distribučních soustav. Při tomto procesu mohou na konečnou kvalitu elektrické energie působit různé negativní faktory, jako jsou například časté spínání větších spotřebičů, působení blesku či ochran, nutné provozní manipulace v síti atp. [19]

S kvalitou elektrické energie jsou úzce spojené dvě různé problematiky – nepřetržitost dodávky elektrické energie a kvalita napětí, a z netechnického hlediska rovněž i kvalita služeb. Nepřetržitost dodávky elektrické energie dovozuje přerušení, které může být delší než 3 minuty, kdežto u problematiky kvality napětí je dovolené přerušení, které nepřesahuje dobu 3 minut.

Součástí každodenního života lidí je elektrická energie, která se nevyužívá pouze v domácnostech, ale rovněž i v průmyslových odvětvích. Elektrickou energii je nutné dopravit z místa výroby do místa spotřeby i na velké vzdálenosti. Toto může být v některých případech problém, pokud posuzujeme hledisko ztrát, které by měly být co nejmenší, či hledisko výpadků elektrické energie. V případě snížené kvality napětí smí zákazník požadovat od dodavatele elektrické energie určité vyplacení penalizací či sankcí. Distribuční společnosti se snaží vyřešit reklamace na kvalitu elektrické energie co nejdříve. Pokud tak neučiní, mohou jim vzniknout velké ekonomické ztráty. Hlavními důvody vzniku poruch a tím pádem i vzniku reklamací na kvalitu elektrické energie je vznik harmonických a kolísání napětí v síti. Důsledkem cyklického kolísání napětí bývá kolísání světelného toku světelných zdrojů (flickr), což negativně ovlivňuje psychiku člověka. Se vznikem harmonických v síti zejména souvisí připojování spotřebičů u odběratelů a v poslední době také připojování obnovitelných zdrojů energie. Mezi tyto spotřebiče můžeme zařadit například svítidla či svářečky a mezi obnovitelné zdroje energie řadíme například větrné či fotovoltaické elektrárny. [20]

2.2 Nepřetržitost dodávky elektrické energie [4]

Činitele SAIDI a SAIFI jsou hlavními aspekty spolehlivosti dodávky elektřiny. Díky těmto systémovým ukazatelům lze porovnat výkonnost provozovatele přenosové soustavy a provozovatele distribučních soustav.

Zkratka hladinového ukazatele SAIFI pochází z anglického System Average Interruption Frequency Index a znamená průměrný počet přerušení dodávky elektrické energie u zákazníka v hodnoceném období.

$$SAIFI_h = \frac{\sum_j n_{jh}}{N_{sh}} \quad [\text{přerušení/rok/zákazník}],$$

kde:

h - označení hodnocené hladiny napětí, tj. NN, VN či VVN,

j - pořadové číslo události v daném hodnoceném období,

n_{jh} - celkový počet zákazníků, kteří jsou napájeni přímo z dané napěťové hladiny h , jimž bylo způsobeno přerušení dodávky elektrické energie dané kategorie v důsledku j -té události,

N_{sh} – celkový počet zákazníků, kteří jsou napájeni přímo z dané napěťové hladiny h ke konci předchozího kalendářního roku.

Zkratka činitele SAIDI pochází z anglického System Average Interruption Duration Index a znamená průměrnou souhrnnou dobu trvání přerušení dodávky elektrické energie u zákazníka v daném hodnoceném období. Pro výpočet činitele SAIDI lze použít následující vztah:

$$SAIDI_h = \frac{\sum_j t_{sjh}}{N_{sh}} \quad [\text{minut/rok/zákazník}],$$

kde:

t_{sj} – součet všech dob trvání přerušení dodávky elektrické energie v důsledku j -té události u jednotlivých zákazníků, kteří jsou napájeni přímo z napěťové hladiny h , jimž byla přerušena dodávka elektrické energie.

Tento součet dob trvání přerušení dodávky elektrické energie t_{sj} je definován jako:

$$t_{sj} = \sum_i t_{ji} \cdot n_{jhi} \quad ,$$

kde:

i – pořadové číslo manipulačního kroku v rámci j -té události,

t_{ji} – doba trvání i -tého manipulačního kroku v rámci j -té události,

n_{jhi} – počet zákazníků, kteří jsou napájeni přímo z napěťové hladiny h , jimž bylo způsobeno přerušení dodávky elektrické energie dané kategorie v i -tém manipulačním kroku j -té události.

Dále pak po výpočtu hladinových ukazatelů je možné dopočítat ještě průměrnou dobu trvání jednoho přerušení dodávky elektrické energie u zákazníka na napěťové hladině h v daném hodnoceném období (Customer Average Interruption Duration Index), tj.:

$$CAIDI_h = \frac{SAIDI_h}{SAIFI_h} \quad [\text{minut/přerušení}].$$

2.3 Přehled nejčastějších příčin rušení kvality napětí

2.3.1 Nejvýznamnější parametry napětí [17]

Nárůst či pokles napětí, který je zpravidla způsobený proměnlivostí celkového zatížení distribuční sítě nebo její části, se nazývá odchylkou napájecího napětí.

Odchylky napájecího napětí jsou takové odchylky, kdy se jmenovité napětí U_n v sítích NN a VN vychyluje v rozmezí hodnot +10 % a -10 % v intervalu deseti minut 95 % průměrných efektivních hodnot během každého týdne. Odchylky napětí bývají důsledkem spínání velkých zátěží, mezi které například patří obloukové pece, bojler, svařovací stroje či kompenzační kondenzátory. Dá se jim předcházet zvětšením zkratového výkonu, omezením současného chodu rušících zařízení, standardní či sériovou kompenzací či například připojením do sítě s dostatečným zkratovým výkonem.

Přerušení napájecího napětí je takový stav, při kterém dochází ke snížení napětí v daném odběrném místě o 1% dohodnutého napětí U_C . Přerušení napájecího napětí dále pak dělíme na předem dohodnuté a poruchové. K předem dohodnutému přerušení napájecího napětí dochází v tom případě, kdy jsou spotřebitelé elektřiny o tomto předem informováni a tím pádem byly umožněny plánované práce na distribuční soustavě. Naopak poruchové přerušení napájecího napětí je důsledkem trvalých či dočasných poruch, které jsou většinou spojeny s poruchami na zařízeních či rušením. Toto poruchové přerušení napájecího napětí lze tedy dále dělit na dlouhodobé a krátkodobé přerušení. Dlouhodobé přerušení napájecího napětí, jak sám název napovídá, je přerušení způsobené trvalou poruchou a je delší než 3 minuty. Naopak krátkodobé přerušení je přerušení způsobené přechodnou poruchou a doba tohoto přerušení se počítá do 3 minut.

Poruchová přerušení napájecího napětí bývají ve většině případů událostí náhodnou, nepředvídatelnou. Výsledek předem dohodnutých přerušení napájecího napětí je vhodné ošetřit a zároveň minimalizovat vhodnými opatřeními.

Krátkodobým poklesem napájecího napětí je myšlen takový pokles napájecího napětí, po kterém je napětí znovu obnoveno během krátkého časového intervalu. Dohodnutá doba trvání krátkodobého poklesu napájecího napětí se pohybuje mezi 10 ms a 1 minutou. Rozdíl mezi minimální efektivní hodnotou v průběhu krátkodobého poklesu napájecího napětí a dohodnutým napětím se nazývá hloubka krátkodobého poklesu napájecího napětí.

Pokud změny napětí nesnižují napájecí napětí na hodnotu menší než je 90 % dohodnutého napětí, jedná se o odchylky napájecího napětí, nikoliv o krátkodobé poklesy napájecího napětí.

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že krátkodobý pokles napájecího napětí je stav, kdy napájecí napětí klesne pod dovolenou toleranci (například pod 90 % jmenovitého napětí) a dočasné zvýšení napájecího napětí je naopak takový stav, kdy se napájecí napětí zvýší nad hodnotu dovolené tolerance (například nad 110 % jmenovitého napětí).

Příčinami krátkodobých poklesů napájecího napětí mohou být například uvolněné vodiče, které tvoří špatný kontakt, nebo které jsou zcela rozpojené. Důsledkem tohoto problému většinou mohou být selhání zařízení, které jsou citlivé na pokles napájecího napětí, dále pak rušení rádiové frekvence či opalování kontaktů, což může zapříčinit vznik požáru. Další příčinou krátkodobého poklesu napájecího napětí bývají rovněž i spotřebiče s velmi dynamickým proudovým odběrem. Mezi tyto spotřebiče například patří mikrovlnné trouby, bojler, vysavače atp.

Dočasné zvýšení napájecího napětí (přepětí) se může lišit dle zdroje svého vzniku, velikosti a svého časového průběhu. Lze jej rozdělit dle původu jeho vzniku na vnitřní a vnější. Vnější přepětím myslíme spíše atmosférická přepětí a za vnitřní přepětí považujeme přepětí provozní. Hlavními zdroji přepětí bývá nesprávně nastavená regulace napětí v síti či náhlé odlehčení sítě. Pro omezení napěťových a proudových rázů, které vznikají a šíří se po vodičích metalických vedeních obecných elektrických systémů, slouží přepěťové ochrany. Tyto ochrany slouží jako ochrana izolace elektrických zařízení před poškozením přepětím vyšším, než které je izolace schopná vydržet. Můžeme se také setkat s názvy bleskojistky či svodiče přepětí. Při nastavování ochranné hladiny, kdy by měla přepěťová ochrana začít omezovat napětí průchodem vnitřního proudu, musíme dbát na to, aby tato ochranná hladina byla nižší, než je izolační hladina, kterou má zařízení.

Kolísání napětí a flickr (blikání) spolu úzce souvisí. Kolísání napětí lze vysvětlit jako sled rychlých změn napětí, které jdou těsně po sobě ($\pm 10\% U_n$). Je způsobeno časově

proměnlivou zátěží. Tato zátěž má nižší frekvenci změn než je frekvence sítě. Měnící se zatížení způsobuje měnící se napěťové úbytky na impedanci sítě a tím zároveň i změnu napájecího napětí. Flickr je zrakový vjem, kdy lidské oko reaguje na časovou změnu světelného toku či spektrálního složení světla, které je zapříčiněné cyklickým kolísáním napětí. V praxi se pro popis samotného flickru, respektive kolísání napětí používají dvě veličiny, a to míra vjemu flickru P a činitel flickru A .

Mezi zdroje kolísání napětí či flickru řadíme odporové či obloukové svářečky, elektrické obloukové pece, proměnlivou zátěž či rozběh velkých motorů.

Mezi negativní účinky patří zejména kolísání světelného toku žárovek, to má za následek změnu zrakového vnímání (lidské oko reaguje na flickr velice citlivě) a současně i rušení činnosti člověka, neboť každý z nás je jinak citlivý a má jinou intenzitu vnímání. Kolísání napětí, respektive flickr dále pak negativně ovlivňuje i počítače a televize.

Zmenšením impedance sítě v daném místě připojení, tím pádem zvětšením zkratového výkonu, můžeme omezit kolísání napětí. Další metodou může být například připojení daného zařízení do hladiny s vyšším napětím. U motorů lze například použít spouštěče či setrvačnicku nebo lze dokonce i aplikovat kotvu s nižším rozběhovým proudem.

Nesymetrie napájecího napětí vzniká v trojfázové síti, pokud nejsou stejné buď velikosti fázových napětí, či úhly, které jsou mezi fázory napětí.

Zdrojem nesymetrie napájecího napětí bývá často nerovnoměrné zatížení na všech třech fázích v trojfázové síti. Děje se tak z důvodu nesymetrického jednofázového zatížení. Důležitými jednofázovými zatíženími jsou zejména jednofázové elektrické pece či napájecí stanice střídavé trakce.

Hlavním negativním účinkem nesymetrie napájecího napětí bývá zvýšení oteplení daného zařízení a následné snížení životnosti tohoto zařízení. Z důvodu dvojnásobného proudového zatížení daného zařízení jednofázovým odběrem oproti symetrické zátěži při stejném činném výkonu dochází k tomu, že transformátory a vedení nejsou zatíženy stejným jmenovitým výkonem. Tím pádem se výrazně snižuje jejich využití v provozu.

Mezi opatření pro omezení nesymetrie napájecího napětí patří rozložení zátěží na dílčí fáze. Díky takzvanému symetrizačnímu zařízení lze k napájecí síti připojit i velké jednofázové spotřebiče, mezi které například patří elektrické pece. Moderní elektrické ochrany mají již takzvané ochrany proti nesymetrickému zatížení, díky kterým dojde v případě potřeby k odpojení.

Vyšší harmonické jsou taková napětí, která se nevyznačují čistě sinusovým průběhem, který má základní frekvenci 50 Hz, avšak obsahují rovněž i násobky této základní frekvence.

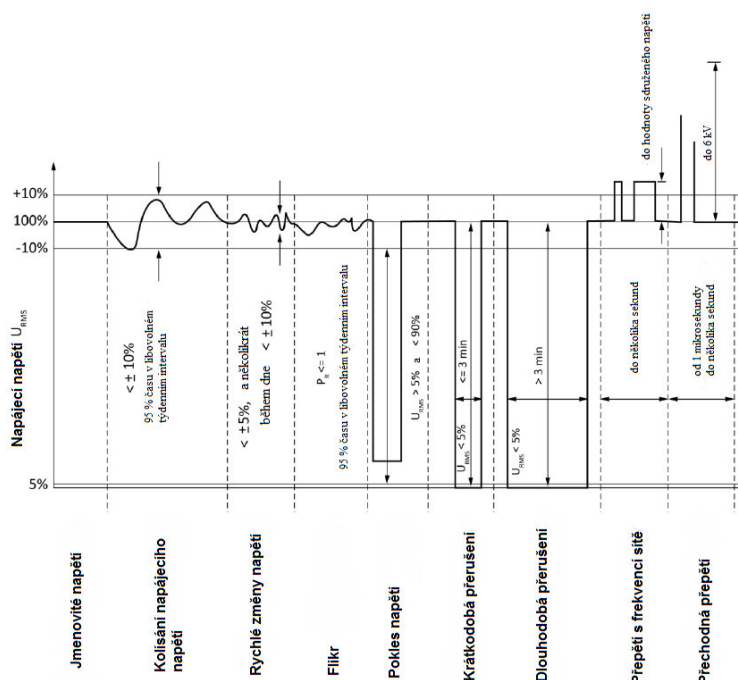
Mezi zdroje vyšších harmonických, respektive mezi příčiny zkreslení napětí, řadíme zařízení, která nemají sinusový průběh. Mezi taková zařízení můžeme řadit například usměrňovače, pohony s frekvenčními měniči, obloukové pece, zářivky a v neposlední řadě také plynové výbojky, indukčnosti či malé transformátory. Zdroje vyšších harmonických napětí bývají převážně alternátory či asynchronní motory. Naopak mezi zdroje vyšších harmonických proudů patří zářivky, domácí spotřebiče, obloukové pece, usměrňovače a měniče, transformátory či například koróna.

Mezi základní negativní účinky vyšších harmonických řadíme především přídavné ztráty v síti a s nimi související zhoršení účinnosti přenosu elektřiny a omezené využití daného zařízení, dále pak chyby při měření elektrické energie či chybné funkce elektrických ochranných zařízení. Při zvýšení velikosti průchozího proudu často dochází k tepelnému přetěžování daného zařízení a tím pádem i ke zkrácení doby životnosti transformátorů, motorů a kondenzátorů. Díky vyšším harmonickým se rovněž zaznamenávají vlivy rušení na komunikačních zařízeních.

Opatřením pro omezení harmonického zkreslení napětí může být například vhodná volba vhodného připojení a projektu rozvodných sítí, dále pak také použití vhodného zapojení vinutí napájecího transformátoru a pasivní či aktivní filtry. Tyto posledně jmenované filtry je možné společně kombinovat. Aktivní filtr odděluje harmonické složky zdroje a zátěže, tímto jsou chráněny zapojené kompenzační kondenzátory a pasivní filtry. Aktivní filtr rovněž odstraňuje nebezpečí rezonance.

Meziharmonické, neboli také mezilehlé harmonické, jsou takové sinusové průběhy napětí a proudu nemající frekvenci, která by byla celočíselným násobkem frekvence sítě, tj. 50 Hz. Mezi zdroje meziharmonických řadíme měniče frekvence či elektronická cyklová zařízení, která se vyznačují přepínáním a odpínáním jednotlivých sinusových průběhů napětí na spotřebič – jedná se například o tepelná zařízení. Jedním z řešení, jak se vyvarovat meziharmonických, je například vyvarování se při provozu zařízení kritickým otáčkám motorů, kdy převážně vznikají poruchy.

Na obrázku č. 2.1 jsou znázorněny významné parametry napájecího napětí a podmínky jeho narušení.



Obr. 2.1 Nejvýznamnější parametry napájecího napětí [16]

2.3.2 Charakteristiky dodávky elektrické energie dle ČSN EN 50 160 [2]

Norma rozděluje charakteristiky dodávky na jevy průběžné a napět'ové. Průběžné jevy se vyskytují v průběhu času a jsou ovlivněny zejména druhem zatížení (např. nelineárním), nebo také elektrizační soustavou, ke které je odběrné místo připojeno. Napět'ové jevy zahrnují události související s poruchami nebo vnějšími vlivy. Zahrnují přerušení napájení nebo náhlé poklesy či zvýšení napětí.

Nejprve se budeme zabývat *hladinou nízkého napětí*. Za normálních provozních podmínek (kromě období s přerušením) odchylka napájecího napětí by neměla přesáhnout $\pm 10\%$ jmenovitého napětí. V případech, kdy elektrické napájení není připojeno k přenosovým sítím nebo pro speciální dálkově ovládané uživatele, by odchylky napájecího napětí neměly přesáhnout $+10\%/-15\%$ jmenovitého napětí.

Za normálních provozních podmínek musí být během týdne 95 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřicím intervalu 10 minut v rozsahu $\pm 10\%$ jmenovitého napětí a zároveň musí být všechny průměrné hodnoty napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut v rozsahu $+10\% / -15\%$ jmenovitého napětí.

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

V případě nesymetrie napájecího napětí musí být za normálních provozních podmínek v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 až 2 % sousledné složky. Tato norma uvádí pouze hodnoty pro zpětnou složku napájecího třífázového proudu, protože ta je rozhodující pro možné rušení spotřebičů. Jednotlivé napěťové úrovně mají z hlediska nesymetrie napájecího napětí svá specifika, tj. v odběrných místech elektrizační soustavy například s jednofázovými či dvoufázovými odběry je přípustná míra nesymetrie až 3 %.

V libovolném týdenním období za normálních provozních podmínek musí být 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě uvedené v tabulce č. 2.1. Rezonance u jednotlivých harmonických mohou být příčinou vyššího napětí. Celkový činitel harmonického zkreslení napájecího napětí (THD) musí být menší nebo roven 8 %. Tento činitel zahrnuje všechny harmonické až do řádu 40 (dle stanovené dohody).

Tab. 2.1 Úrovně jednotliv. harm. napětí v předávacím místě v % U_n pro řády harmonických až do 25 [2]

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

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

Vliv meziharmonických napětí může v některých případech způsobovat flikr či rušení v systémech hromadného dálkového ovládání (HDO). Vlivy meziharmonických jsou stále předmětem studia a výzkumu.

Poklesy napětí bývají zapříčiněny poruchami v instalacích uživatelů či ve veřejné distribuční soustavě. Avšak dočasná zvýšení napájecího napětí jsou důsledkem provozního

spínání, odpojením zátěže atp. Poklesy i dočasná zvýšení napájecího napětí jsou jevy nepředvídatelné, mají většinou náhodné. Jejich četnost výskytu během roku nelze tak snadno určit, neboť se mění dle typu napájecí sítě a místa jejich sledování. Všeobecně se prahová hodnota pro pokles napájecího napětí rovná 90 % jmenovitého napětí a prahová hodnota přechodného přepětí 110 % jmenovitého napětí. Zpoždování bývá 2 %. Pokud jsou shromážděny statistické údaje, musí se poklesy napájecího napětí rozdělovat dle tabulky č. 2.2. Čísla, která jsou zapsaná v jednotlivých kolonkách, souvisí s počtem ekvivalentních událostí.

Tab. 2.2 Klasifikace poklesů napětí podle zbytkového napětí a doby trvání [2]

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

Podobně je tomu tak i u klasifikace přechodných zvýšení napětí. Pokud jsou shromážděny statistické údaje, musí se přechodná zvýšení napájecího napětí rozdělovat dle tabulky č. 2.3. Čísla, která jsou zapsaná v jednotlivých kolonkách, souvisí s počtem ekvivalentních událostí.

Tab. 2.3 Klasifikace přechodných zvýšení napětí podle maximálního napětí a doby trvání [2]

Přechodné zvýšení napětí u [%]	Doba trvání t [ms]		
	$10 \leq t \leq 500$	$500 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60000$
$u \geq 120$	CELL S1	CELL S2	CELL S3
$120 > u > 110$	CELL T1	CELL T2	CELL T3

Dočasná zvýšení napájecího napětí v předávacím místě jsou obvykle důsledkem atmosférického přepětí nebo spínání v distribuční soustavě.

Další hladina, která nás bude zajímat, je *hladina vysokého napětí*. Za normálních provozních podmínek (kromě období s přerušením) by odchylka napájecího napětí neměla přesáhnout hodnotu dohodnutého napětí $U_C \pm 10\%$. V případech, kdy elektrické napájení není

připojeno k přenosovým sítím nebo pro speciální dálkově ovládané uživatele, by odchylky napájecího napětí neměly přesáhnout +10 % / -15 % dohodnutého napětí.

Za normálních provozních podmínek s vyloučením přerušení napájení musí být během každého týdne 99 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřicím intervalu 10 minut v rozsahu ± 10 % dohodnutého napětí a zároveň musí být všechny průměrné hodnoty napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut v rozsahu +15 % / -15 % dohodnutého napětí.

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

V případě nesymetrie napájecího napětí musí být za normálních provozních podmínek v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 až 2 % sousledné složky. Tato norma uvádí pouze hodnoty pro zpětnou složku napájecího třífázového proudu, protože ta je rozhodující pro možné rušení spotřebičů. Jednotlivé napěťové úrovně mají z hlediska nesymetrie napájecího napětí svá specifika, tj. v odběrných místech elektrizační soustavy je přípustná míra nesymetrie až 3 %.

V libovolném týdenním období za normálních provozních podmínek musí být 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě uvedené v tabulce č. 2.1. Rezonance u jednotlivých harmonických mohou být příčinou vyššího napětí. Celkový činitel harmonického zkreslení napájecího napětí (THD) musí být menší nebo roven 8 %. Tento činitel zahrnuje všechny harmonické až do řádu 40 (dle stanovené dohody). V závislosti na druhu sítě mohou být hodnoty harmonického napětí 3. harmonické mnohem nižší.

Vliv meziharmonických napětí může v některých případech způsobovat flikr či rušení v systémech hromadného dálkového ovládní (HDO). Vlivy meziharmonických jsou stále předmětem studia a výzkumu.

Poklesy napětí bývají zapříčiněny poruchami v instalacích uživatelů či ve veřejné distribuční soustavě. Avšak dočasná zvýšení napájecího napětí jsou důsledkem provozního spínání, odpojením zátěže atp. Poklesy i dočasná zvýšení napájecího napětí jsou jevy nepředvídatelné, mají většinou náhodné. Jejich četnost výskytu během roku nelze tak snadno určit, neboť se mění dle typu napájecí sítě a místa jejich sledování. Všeobecně se prahová hodnota pro pokles napájecího napětí rovná 90 % jmenovitého napětí a prahová hodnota přechodného přepětí 110 % jmenovitého napětí. Zpoždování bývá 2 %. Pokud jsou shromážděny statistické údaje, musí se poklesy napájecího napětí rozdělovat dle tabulky

č. 2.2. Čísla, která jsou zapsaná v jednotlivých kolonkách, souvisí s počtem ekvivalentních událostí. Podobně je tomu tak i u klasifikace přechodných zvýšení napětí. Pokud jsou shromážděny statistické údaje, musí se přechodná zvýšení napájecího napětí rozdělovat dle tabulky č. 2.3. Čísla, která jsou zapsaná v jednotlivých kolonkách, souvisí s počtem ekvivalentních událostí.

Dočasná zvýšení napájecího napětí v předávacím místě jsou obvykle důsledkem atmosférického přepětí nebo spínání v distribuční soustavě. Spínací přepětí má zpravidla nižší amplitudu, než má atmosférické přepětí, avšak může mít kratší dobu čela či delší dobu trvání.

Poslední hladina, o které se zde chci zmínit, je *hladina velmi vysokého napětí*. Z důvodu omezeného počtu uživatelů napájených ze sítí velmi vysokého napětí, kteří mají obvykle individuální smlouvy, neuvádí tato norma žádné limity pro odchylky napětí.

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

V případě nesymetrie napájecího napětí musí být za normálních provozních podmínek v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 až 2 % sousledné složky. Tato norma uvádí pouze hodnoty pro zpětnou složku napájecího třífázového proudu, protože ta je rozhodující pro možné rušení spotřebičů. Jednotlivé napěťové úrovně mají z hlediska nesymetrie napájecího napětí svá specifika, na této hladině platí, že hodnoty nesymetrie, které jsou uvedené v této normě, jsou pouze informativního charakteru.

V libovolném týdenním období za normálních provozních podmínek musí být 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě uvedené v tabulce č. 2.4. Rezonance u jednotlivých harmonických mohou být příčinou vyššího napětí. Omezení pro každé harmonické napětí je předmětem zkoumání. Naopak omezení pro harmonické napájecího napětí (i všech harmonických do řádu 40) je předmětem dohody.

Tab. 2.4 Informativní hodnoty jednotliv. harm. napětí v předávacím místě v % U_n pro řady harmonických až do 25 [2]

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

V závislosti na druhu sítě mohou být hodnoty harmonického napětí 3. harmonické mnohem nižší. Úrovně pro harmonické vyšších řádů než 25 se neuvádějí, protože jsou obvykle malé, avšak vlivem rezonančních jevů obtížně předvídatelné. Uvažujeme Informativní hodnoty harmonických (ne-násobky tří) řádu vyššího než 13.

Z důvodu nízké rezonanční frekvence sítí velmi vysokého napětí je vliv meziharmonických napětí minimální.

Poklesy napětí bývají zapříčiněny poruchami v instalacích uživatelů či ve veřejné distribuční soustavě. Avšak dočasná zvýšení napájecího napětí jsou důsledkem provozního spínání, odpojením zátěže atp. Poklesy i dočasná zvýšení napájecího napětí jsou jevy nepředvídatelné, mají většinou náhodné. Jejich četnost výskytu během roku nelze tak snadno určit, neboť se mění dle typu napájecí sítě a místa jejich sledování. Všeobecně se prahová hodnota pro pokles napájecího napětí rovná 90 % jmenovitého napětí a prahová hodnota přechodného přepětí 110 % jmenovitého napětí. Zpoždování bývá 2 %. Pokud jsou shromážděny statistické údaje, musí se poklesy napájecího napětí rozdělovat dle tabulky č. 2.2. Čísla, která jsou zapsaná v jednotlivých kolonkách, souvisí s počtem ekvivalentních událostí. Podobně je tomu tak i u klasifikace přechodných zvýšení napětí. Pokud jsou shromážděny statistické údaje, musí se přechodná zvýšení napájecího napětí rozdělovat dle tabulky č. 2.3. Čísla, která jsou zapsaná v jednotlivých kolonkách, souvisí s počtem ekvivalentních událostí.

Dočasná zvýšení napájecího napětí v sítích velmi vysokého napětí jsou obvykle důsledkem přímého spínání či spínání přes tlumivku nebo jsou dokonce důsledkem atmosférického přepětí. Spínací přepětí má zpravidla nižší amplitudu, než má atmosférické přepětí, avšak může mít kratší dobu náběhu či delší dobu trvání.

3 Metodika pro posouzení připojitelnosti zařízení k DS

3.1 Pravidla provozování DS (PPDS) – Příloha č. 3: Kvalita napětí v DS, způsoby jejího zjišťování a hodnocení [5]

Cílem této přílohy Pravidel provozování distribučních soustav (DS) je definovat kvalitu napětí, která je jedním ze standardů kvality dodávek elektrické energie a souvisejících služeb v elektroenergetice, a to stanovením řady parametrů závazných nebo doporučených pro jednotlivé uživatele distribuční soustavy, způsoby zjišťování jednotlivých parametrů a požadavky na měřicí soupravy pro jejich zjišťování. Dalším cílem je definovat způsoby možného uplatnění parametrů kvality ve smlouvách o distribuci elektřiny.

V části č. 4 této přílohy Pravidel provozování distribuční soustavy jsou popsány charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z přenosové a distribuční soustavy. Vycházejí z normy ČSN EN 50 160 pro síť nízkého a vysoké napětí. Jelikož norma ČSN EN 50160 podrobně stanovuje charakteristiky napětí pro nízké a vysoké napětí, nejsou v tomto dokumentu podrobně rozepisovány. Charakteristiky napětí na hladině velmi vysokého napětí nejsou v normě ČSN EN 50 160 podrobně rozepsány, proto jsou řešeny obsáhleji.

Část č. 5 této přílohy pojednává o způsobech hodnocení parametrů kvality napětí. Vychází se především z normy ČSN EN 50 160. Z tohoto důvodu nebudu tuto kapitolu podrobněji rozepisovat.

V další, tj. 6. části této přílohy jsou uvedeny požadavky na měřicí přístroje. Je požadováno, aby analyzátory mezi předávacími místy ČEPS a distribučními soustavami byly ve třídě A podle normy ČSN EN 61000-4-30. Tyto analyzátory musí být schopny měřit v trojfázové síti a vyhodnocovat činný, jalový a zdánlivý výkon, vyšší harmonické. Pro analyzátory kvality napětí v místech připojení regionálních výrobců se mohou použít analyzátory třídy S.

V části č. 7 „Měření parametrů kvality a smluvní vztahy“ se upravují smluvní vztahy mezi účastníky trhu s elektrickou energií.

Kvalita napětí je stanovena na základě porovnání mezi výsledky měření kvality a limity uvedenými (dohodnutými) v kontraktu na dodávku elektrické energie. Naměřené hodnoty by měli reprezentovat skutečný provoz zařízení. Mělo by se zvážit přihlídnutí ke vzorkům, které byly naměřeny při výjimečných podmínkách, kterými jsou extrémní síla

větru, cizí zásah, průmyslová činnost (stávky v mezích zákona), nařízení správních orgánů, vyšší moc či výpadky napájení způsobené vnějšími vlivy.

Měření kvality zajišťuje ta strana, která potřebu měření vyvolala. V kontraktu o provedení měření by mělo být uvedeno, které veličiny se budou měřit, po jakou dobu, jaký typ přístroje má být použit, jak bude měřicí přístroj zapojen, v kterém bodě elektrizační soustavy bude měření provedeno a jak se rozdělí finanční náklady na měření, specifikaci, metodu stanovení náhrad pro případ, že by některá ze zúčastněných stran odmítla splnit své závazky. Dále by mělo být uvedeno, jak postupovat v případě, že některá ze smluvních stran bude mít námitky k interpretaci výsledků měření. Také je vhodné upřesnit ve smlouvě o provedení měření způsob přístupu k naměřeným datům, jelikož strana provádějící měření nemusí analyzovat naměřená data a posuzovat, zda odpovídají smlouvě o dodávce elektrické energie.

V dalším textu je uveden způsob provedení měření a určení shody s kontraktem o dodávce elektrické energie pro jednotlivé kategorie nekvality.

3.2 Pravidla provozování DS (PPDS) – Příloha č. 4: Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele DS [6]

Tento dokument řeší připojování zdrojů do distribuční soustavy. V dokumentu je řešena zejména problematika požadavků pro způsob připojení zdrojů, dálkové řízení, vybavení ochranami, měřicí techniku, chování výroben v síti z hlediska řízení dodávky činného a jalového výkonu a napětí, zpětné vlivy na síť a podmínky připojení. Pro tuto práci jsou nejdůležitější kapitoly č. 10 o podmínkách připojení zdrojů k distribuční síti a kapitola č. 11 o zpětných vlivech na síť.

Podmínkou pro připojení může být například zvýšení napětí vyvolané provozem zařízení. Pro síť vysokého a velmi vysokého napětí je dovolené zvýšení napětí při provozu zařízení $\Delta u_{vn,vvn} \leq 2\%$ z napětí bez připojení výrobní. Pro síť nízkého napětí je dovolené zvýšení napětí při provozu zařízení $\Delta u_{vn,vvn} \leq 3\%$ z napětí bez připojení výrobní. Úroveň napětí musí být posouzena s ohledem na skutečné napětí v přípojném bodě. Pro jedno přípojné místo je možné tuto podmínku posoudit podle poměru zkratových výkonů:

$$k_{k1} = \frac{S_{kV}}{\sum S_{Amax}},$$

kde S_{kV} je zkratový výkon v přípojném bodě a $\sum S_{Amax}$ je součet všech maximálních zkratových výkonů připojených/plánovaných výroben.

V případě jediného přípojného bodu bude podmínka pro zvýšení napětí v síti splněna vždy, když zkratový poměr k_{k1vn} bude:

$$k_{k1vn} \geq 50$$

a pro výrobní připojené do sítě NN bude:

$$k_{k1vn} \geq 33.$$

V další části této kapitoly je řešen případ pro silně induktivní síť, který je ovšem nad rámec této práce.

Další podmínkou pro připojení mohou být rovněž i změny napětí při spínání. Připojované nebo odpojované jednotlivé generátory nesmí na hladině nízkého napětí vyvolat změnu napětí vyšší než 3%:

$$\Delta u_{nn \max} \leq 3\%.$$

Připojované nebo odpojované jednotlivé generátory nesmí na hladině vysokého napětí vyvolat změnu napětí vyšší než 2%:

$$\Delta u_{VN \max} \leq 2\%.$$

Připojované nebo odpojované jednotlivé generátory nesmí na hladině velmi vysokého napětí vyvolat změnu napětí.

Při spínání jednoho generátoru:

$$\Delta u_{VVN \max} \leq 0,5\%.$$

Při spínání celého zařízení (např. větrného parku):

$$\Delta u_{VVN \max} \leq 2,0\%.$$

Pokud spínání probíhají v intervalech delších než 1,5 minuty, tak je přípustná větší změna napětí při sepnutí.

Dalším důležitým podtématem jsou zpětné vlivy na napájecí síť. Bez kontroly zpětných vlivů jsou připojovány pouze zdroje, které jsou připojovány v bodě, kde zkratový výkon S_{kV} je více než 500krát vyšší než jmenovitý zdánlivý výkon zdroje S_{rA} . Pokud výrobce nechá své zařízení prověřit v uznávaném institutu, pak lze zvolit příznivější činitel $S_{kV}/S_{rG} < 500$.

Pro individuální posouzení připojitelnosti zdroje je nutné vycházet z následujících podmínek, které se týkají změny napětí, dlouhodobé míry vjemu flikru a proudů harmonických.

Pro společný napájecí bod v sítích nízkého napětí je možná tato změna napětí:

$$\Delta U \leq 3\% U_n$$

a pro společný napájecí bod v sítích vysokého a velmi vysokého napětí:

$$\Delta U \leq 2\% U_n .$$

Další podmínkou je tedy již zmíněná dlouhodobá míra vjemu flikru. Pro posouzení jedné nebo více výroben v jednom předávacím místě je zapotřebí se zřetelem na kolísání napětí vyvolávající flikr dodržet ve společném napájecím bodě nízkého a vysokého napětí mezní hodnotu:

$$P_{lt} \leq 0,46$$

a ve společném předávacím místě 110 kV mezní hodnotu:

$$P_{lt} \leq 0,37.$$

V této příloze Pravidel provozování distribuční soustavy jsou dále popsány možnosti určení dlouhodobé míry vjemu flikru podle zkratového výkonu v přípojném bodě nebo další výpočet se zahrnutím fázových úhlů impedance sítě. Dlouhodobá míra vjemu flikru pro výrobní s více generátory se určuje podle následujícího vztahu:

$$P_{ltres} = \sqrt{\sum_i P_{lti}^2},$$

kde P_{lti} je míra vjemu flikru pro jednotlivé výrobní.

Posledním tématem, kterým se chci v této podkapitole zabývat, jsou proudy harmonických. Nejprve bych dle normy začala výrobny v síti nízkého napětí. Pokud výrobní splňují požadavky na velikost emise harmonických dle PNE 33 3430-6 a PNE 33 3430-7, lze považovat vliv emitovaných harmonických proudů na distribuční soustavu za přípustný. Pokud nejsou meze v těchto normách dodrženy, postupuje se podle vztahu:

$$I_v = i_v \frac{S_{kV}}{\sin \psi_{kV}},$$

kde I_v je přípustný proud dané harmonické, i_v je vztažný proud dané harmonické, $\sin \psi_{kV} = X_k/Z_k$. Vztažné proudy jsou uvedeny pro hladinu nízkého napětí v tab. č. 4 v této příloze Pravidel provozování distribuční soustavy.

Dále se norma zabývá výrobny v síti vysokého napětí. Pro jediné předávací místo v síti vysokého napětí se určuje přípustný proud harmonických tak, že vztažný proud uvedený v tab. č. 5 této přílohy Pravidel provozování distribučních soustav násobíme zkratovým výkonem v předávacím bodě:

$$I_{vpř} = i_{vpř} \cdot S_{kV},$$

kde: $I_{vpř}$ je přípustný proud dané harmonické, $i_{vpř}$ je vztažný proud dané harmonické a S_{kV} je zkratový výkon v předávacím místě.

Pokud je do přípojného bodu připojeno více zařízení, určuje se přípustná hodnota harmonických proudů pro jednotlivá zařízení podle poměru zdánlivého výkonu jednoho

zařízení ku zdánlivému výkonu všech zařízení připojených do předávacího bodu. V dalších odstavcích jsou popsány pravidla pro sčítání harmonických proudů pro více odběratelů.

U výroben připojených do sítí velmi vysokého napětí se přípustné proudy harmonických do řádu 13 jednoho výrobního zařízení získávají dle vztahu:

$$I_{v\ zul} = i_{v,\mu\ zul} \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_A}{S_0}.$$

Pro harmonické vyšší než 13 a pro meziharmonické:

$$I_{v,\mu\ zul} = i_{v,\mu\ zul} \cdot S_{kV} \cdot \sqrt{\frac{S_A}{S_0}},$$

kde $I_{v,\mu\ zul}$ je přípustný proud harmonické výrobního zařízení, $i_{v,\mu\ zul}$ je přípustný vztahný proud harmonické uvedený v tab. č. 6 ve 4. příloze Pravidel provozování DS, S_{kV} je zkratový výkon v přípojním bodě, S_A je připojený výkon výrobního zařízení a S_0 je referenční výkon.

Co se týče ovlivnění zařízení HDO neboli zařízení hromadného dálkového ovládání, tak jsou tato zařízení obvykle provozována s frekvencemi v rozmezí 183,3 – 283,3 Hz. Místně použitou frekvenci HDO je nutné zjistit u provozovatele DS. Vysílací úroveň je obvykle 1,6 až 2,5 % U_n . Výrobní, případně kompenzační zařízení připojené do přípojnice, do níž se vysílá signál HDO, ovlivňují přidavným zatížením vysílače HDO. V těchto případech je nutné posoudit vliv výrobní na zatížení příslušného vysílače HDO. Vychází se z informace o jeho zatížení, kterou poskytne provozovatel DS. Pokud je toto blízké maximu zatížení, je připojení bez opatření nepřipustné. Pokud tomu tak není, je přípustné následující zvýšení zatížení vysílače:

- do 5 A pro vysílače do 110 kV
- do 2 A u vysílače do VN.

Výrobní elektrické energie a případně kompenzační zařízení připojované mimo přípojnici, do níž se vysílá signál HDO, smí způsobit snížení úrovně signálu HDO maximálně o 5 % za předpokladu, že i po tomto snížení bude dodržena minimální přípustná úroveň signálu HDO určená týdenním měřením.

Technickými opatřeními pro nepřipustné snížení hladiny signálu HDO jsou hradicí členy. Výrobní zařízení, která mají z hlediska impedancí na frekvenci HDO charakter točivých strojů (větrné výrobní, kogenerace, turbogenerátory atp.), připojované k sítím vysokého napětí, musí být od instalovaného výkonu 1 MW paušálně vybaveny hradicími členy.

3.3 Podniková norma energetiky pro rozvod el. energie: PNE 33 3430-0 [8]

Jak již bylo v předchozích kapitolách řečeno, tato norma platí pro plánování a provozování elektrických zařízení distribučních soustav nízkého napětí, vysokého napětí a 110 kV z hlediska vlivu na elektrizační soustavu 50 Hz a zařízení hromadného dálkového ovládání. Tato norma se nevztahuje na spotřebiče pro domácnost, pro které platí ČSN EN 61000-3-2 a ČSN EN 61000-3-3.

Dále pak tato norma ve druhé části popisuje výpočet zkratového výkonu v jednotlivých soustavách. Zabývá se příspěvky jednotlivých částí soustavy, jako jsou asynchronní a synchronní stroje, nadřazené soustavy. Výpočty jsou doplněny několika příklady.

Ve třetí části normy jsou popsány změny napětí, flickr a nesymetrie. Zejména je řešen vliv zatížení, nesymetrie zátěže na změnu napětí. Také jsou zde řešeny speciální případy, jako je rozběh asynchronního motoru, poklesy napětí vyvolané odporovou svářečkou, spínání kondenzátorů a indukčností nebo transformátorů naprázdno.

Z hlediska flickru norma popisuje zákon o superpozici více nesynchronních zdrojů flickru, jeho šíření v distribuční soustavě a posouzení připojitelnosti do soustav nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí.

Dalším jevem podrobně popsaným jsou nesymetrie napájecího napětí způsobené připojením zátěže na dvě fáze nebo mezi jednu fázi a střední vodič. Nesymetrie jsou popsány z hlediska zdrojů, výpočtů a jejich účinků na elektrizační soustavu a jiná zařízení připojená k této soustavě. Dále je uvedeno několik možných nápravných opatření a několik příkladů výpočtů.

Vyšší harmonické jsou v normě řešeny v kapitole č. 4. Je zde uvedeno stručné uvedení do problematiky vyšších harmonických. To zahrnuje výpočty impedancí na tónových kmítočtech a mezní hodnoty, které jsou převzaty z normy ČSN EN 50 160. Je zde také uvedena podmínka pro celkové harmonické zkreslení, která je dána THD_{iA} . Důležitou kapitolou je posouzení vlivu harmonických na síť. Podle této normy se posuzuje vliv vyšších harmonických na síť podle poměru zkratového výkonu v přípojném bodě a zdánlivého příkonu připojovaného zařízení. Přesný postup posouzení je uveden pomocí diagramu. Z opatření pro snížení vlivu vyšších harmonických jsou uvedeny sací obvody a aktivní kompenzační zařízení.

Další kapitola se zabývá komutačními poklesy napětí. V úvodu vysvětluje jejich vznik a teoretický průběh. Poté jsou uvedeny mezní emisní hodnoty a nápravná opatření

jako například předřazení tlumivky usměrňovači, zvýšení zkratového výkonu nebo volba jiného druhu usměrňovače.

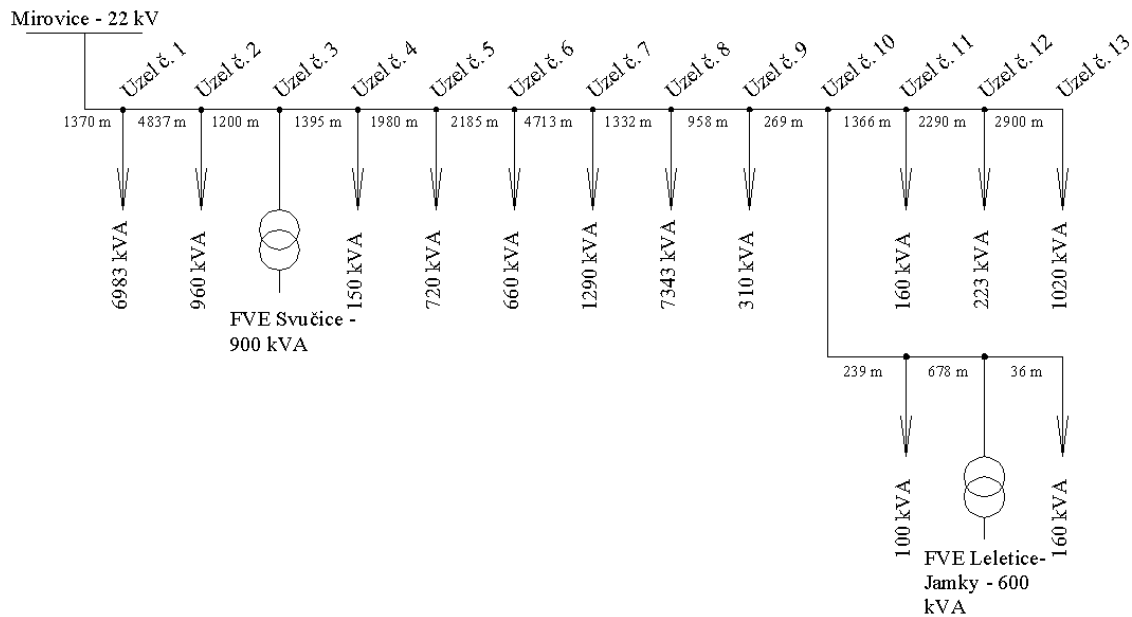
Posledním uvedeným druhem rušení v distribuční soustavě jsou mezipharmonické. Tento pojem zahrnuje všechna sinusová napětí a proudy, jejichž frekvence není celočíselným násobkem základní frekvence síťového napětí. Ty je nutné sledovat a případně omezovat s ohledem na přijímače HDO. V normě jsou vyjmenovány zdroje mezipharmonických napětí a proudů. Mezní hodnoty norma definuje jako poměr napětí mezipharmonické ku jmenovitému napětí.

Uvedená nápravná opatření jsou zvýšení zkratového výkonu, přeložení připojení do místa s vyšším zkratovým výkonem nebo zlepšení filtrace v meziobvodu měničů.

4 Posouzení zpětných vlivů fotovoltaických elektráren na napětí v distribučním vývodu 22 kV

4.1 Popis řešeného distribučního vývodu

Vývod „Kasejovice“ je označení pro venkovní vedení 22 kV vycházející jihozápadním směrem ze stanice Mirovice, situované 9 km od Březnice a 42 km od Písku. Tímto vedením je napájena převážně občanská zástavba s určitým podílem zemědělství a minimem průmyslu. Přibližně od roku 2010 jsou k tomuto vedení připojené dvě fotovoltaické elektrárny. První elektrárna byla vystavěna v obci Svučice s instalovaným výkonem 900 kVA a druhá elektrárna byla vystavěna u obce Leletice v lokalitě Jamky s instalovaným výkonem 600 kVA. Významnější odběry co do velikosti představují města Kasejovice, Bělčice a Lnáře. Mapa vývodu je přiložena v příloze č. 1 této práce. Zjednodušené schéma vývodu „Kasejovice“ je na obrázku č. 4.1.



Obr. 4.1 Zjednodušené schéma vývodu 22 kV „Kasejovice“

K vývodu je připojeno 95 transformátorů různých velikostí. Pro výpočet byl vývod zjednodušen tak, že byl uvažován hlavní kmen od stanice Mirovice až za úsečník č. 349 s celkovou délkou 26,795 km. V rámci této práce je kilometráž vedení určena od stanice Mirovice. Podél tohoto kmene bylo uvažováno 13 uzlů, do nichž jsou připojeny odběry reprezentující instalovaný zdánlivý výkon přilehlých transformátorů a také obě zmíněné elektrárny. Skutečný odběr je ve výpočtech uvažován jako 40% výkonu instalovaného. Rozdělení transformátorů mezi jednotlivé odběry je popsáno v příloze č. 2. V uzlu č. 3 ve vzdálenosti 7,407 km je připojena FVE Svučice. Od stanice Mirovice až po připojení této elektrárny je kmen vedení proveden průřezem $\text{AlFe6 } 120 \text{ mm}^2$. Od vzdálenosti 7,407 km až po uzel č. 8 ve vzdálenosti 19,012 km je kmen proveden vodičem $\text{AlFe6 } 95 \text{ mm}^2$ a od vzdálenosti 19,012 km až do konce vedení (uzel č. 13) je kmen proveden vodičem $\text{AlFe6 } 70 \text{ mm}^2$.

V uzlu č. 10 ve vzdálenosti 20,239 km odbočuje z hlavního kmene odbočka, která je provedena vodičem $\text{AlFe6 } 35 \text{ mm}^2$ a jsou na ni připojeny dva transformátory a FVE Leletice – Jamky. Celková délka této odbočky je 0,645 km. Transformátory a elektrárna k této odbočce připojené jsou ve výpočtech uvažovány samostatně.

V této kapitole je řešeno splnění podmínek připojitelnosti obou elektráren. Mezi tyto řešené podmínky patří změna napětí vyvolaná elektrárnami a splnění kritéria pro emisi

vyšších harmonických. Pro výpočet dovolených emisních proudů pro jednotlivé harmonické je nutné znát zkratové výkony v přípojovacím bodu obou elektráren.

4.2 Výpočet napěťových profilů vedení 22 kV a procentní změny napětí při připojení dvou FVE v programu MS Excel

Výpočet v programu MS Excel je v podstatě zautomatizovaný ruční výpočet. Účelem tohoto výpočtu je zjistit rozložení napětí podél vedení a vyhodnocení, zda-li je dodržen požadavek uvedený v [5] v kap. 11.1 Změna napětí. Výpočet napěťového profilu vedení byl proveden pro tyto případy:

- Zatížený vývod Kasejovice s maximální dodávkou výkonu z obou FVE Svučice a Leletice – Jamky
- Zatížený vývod Kasejovice bez dodávky výkonu z FVE Svučice a Leletice – Jamky
- Nezatížený vývod Kasejovice s maximální dodávkou výkonu z FVE Svučice a Leletice-Jamky
- Nezatížený vývod Kasejovice s maximální dodávkou výkonu z FVE Svučice
- Nezatížený vývod Kasejovice s maximální dodávkou výkonu z FVE Leletice – Jamky.

Skutečný odebíraný výkon S_p je uvažován 40% ze zdánlivého instalovaného výkonu S_{inst} transformátorů. Výpočet byl proveden pro $\cos \varphi = 0,95$ u odběrů. Zdánlivý výkon odebíraný přes transformátory je uvažován jako kladný a výkon dodávaný z fotovoltaických elektráren je uvažován jako záporný.

Ze skutečného zatížení byl vypočítán proud v každém odběru i proud dodávaný z obou elektráren podle rovnice:

$$I_P = \frac{1000 \cdot 0,4 \cdot S_{inst}}{\sqrt{3} \cdot U_S \cdot \cos \varphi} \quad [A; \text{kVA}; V].$$

Dále byl kmen řešen jako jednoduché vedení jednostranně napájené s osamělými odběry v uzlech. Úbytek napětí byl počítán jako součet úbytků napětí na jednotlivých úsecích mezi uzly vyvolaných procházejícím proudem odběrů připojených za tímto úsekem. Je-li počet odběrů n , kde první odběr je nejbližší napájecímu zdroji a odběr na konci vedení je označen n , můžeme matematicky vyjádřit proud procházející k -tým úsekem jako součet proudů I_k až I_n :

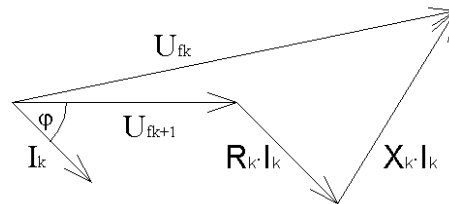
$$I_k = \sum_{y=k}^n I_y \quad [A; A]$$

Fázová hodnota úbytku napětí v k-tém úseku vedení U_{fk} je vypočítána podle rovnice pro úbytek napětí s procházejícím proudem I_k induktivního charakteru a $\cos \varphi > 0,5$:

$$U_{fk} = R_v \cdot I_k \cdot I_k \cdot \cos \varphi + X_v \cdot I_k \cdot I_k \cdot \sin \varphi \quad [V; \Omega/\text{km}; \text{km}; A; \Omega/\text{km}; \text{km}; A].$$

Sdružená hodnota úbytku napětí je dána rovnicí:

$$U_{sk} = \sqrt{3} \cdot U_{fk} \quad [V; V].$$



Obr. 4.2 Fázorový diagram úbytku napětí na úseku vedení

Velikost efektivní hodnoty napětí U_k v k-tém uzlu je dána rovnicí:

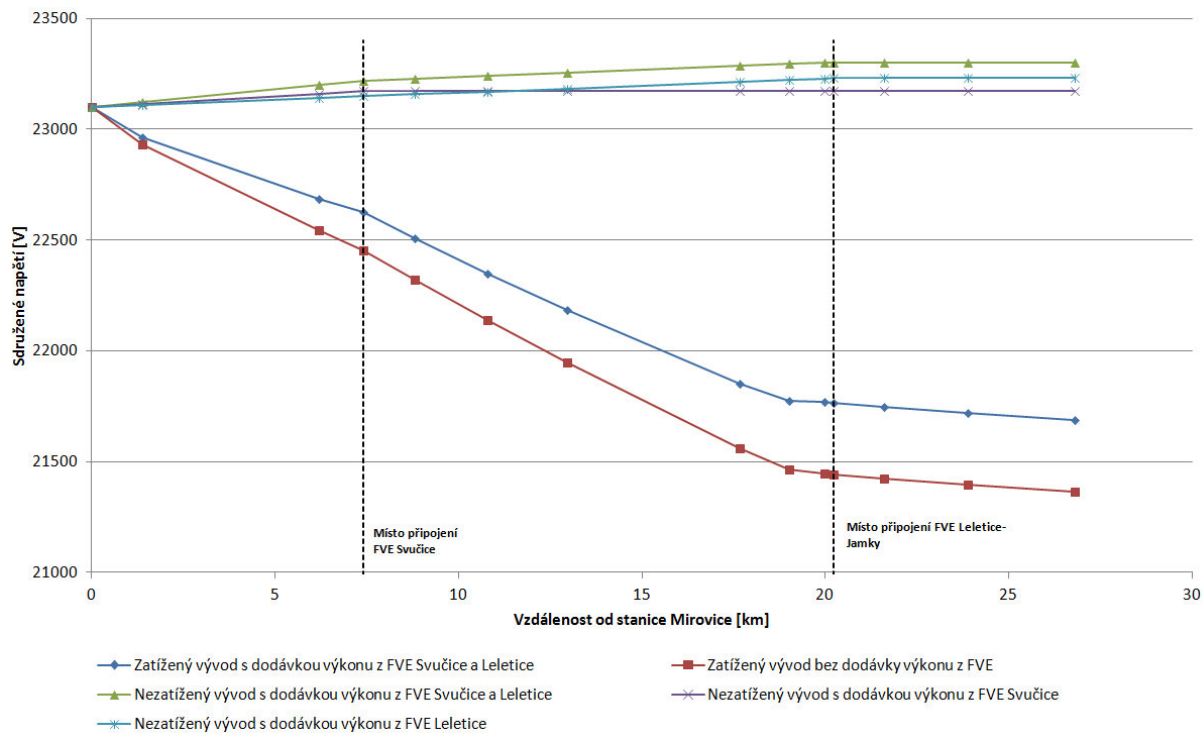
$$U_k = U_z - \sum_{k=1}^k U_{sk} \quad [V; V],$$

kde U_z je napětí na svorkách napájecího transformátoru 110/22 kV ve stanici Mirovice.

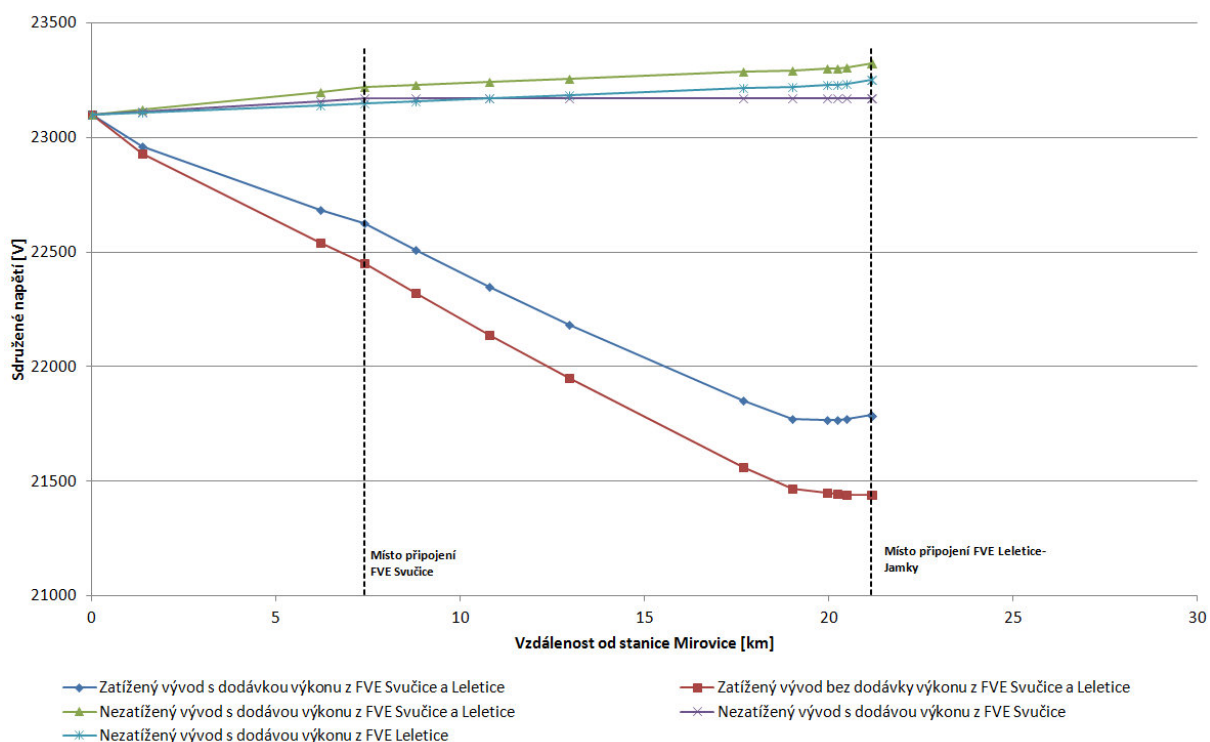
Procentní úbytek napětí na úseku vedení je vypočítán podle vztahu:

$$\Delta u_{\%} = 100 \cdot \frac{U_{sk}}{U_n} \quad [%; V; V].$$

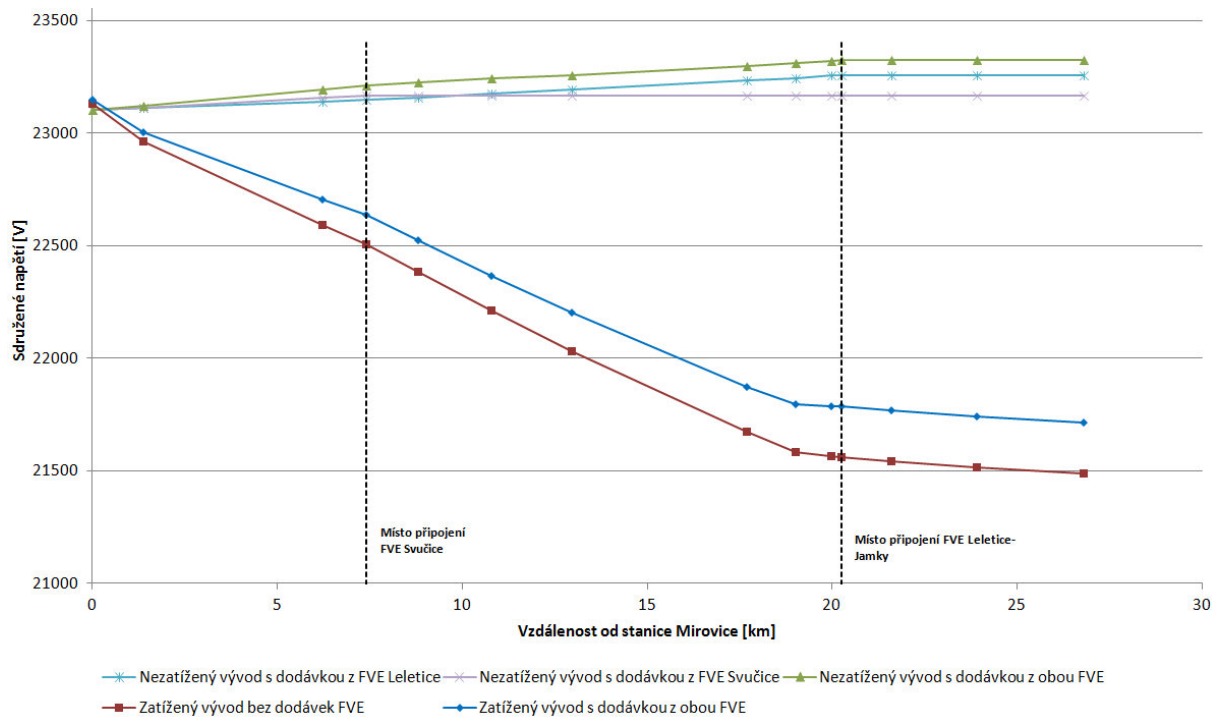
Napěťové profily uvažovaného vedení byly řešeny v programech MS Excel a E-vlivy pomocí výše uvedených rovnic. Výsledky jsou v grafické podobě shrnuty v následujících grafech.



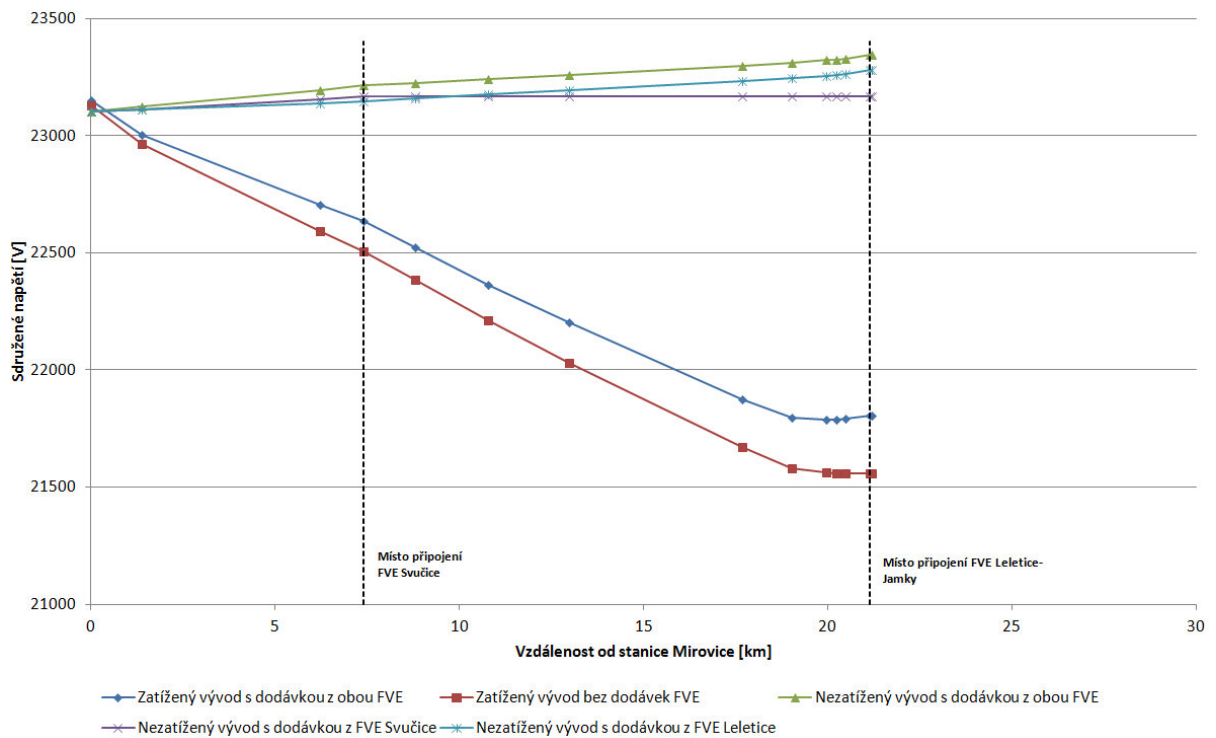
Obr. 4.3 Napěťové profily hlavního kmenu vedení 22 kV vypočítané v programu MS Excel



Obr. 4.4 Napěťové profily hlavního kmenu vedení a odbočky k FVE Leletice – Jamky odbočující v uzlu č. 10 na hlavním kmenu vypočítané v programu MS Excel



Obr. 4.5 Napěťové profily hlavního kmenu vedení 22 kV vypočítané v programu E-vlivy



Obr. 4.6 Napěťové profily hlavního kmenu vedení a odbočky k FVE Leletice – Jamky odbočující v uzlu č. 10 na hlavním kmenu vypočítané v programu E-vlivy

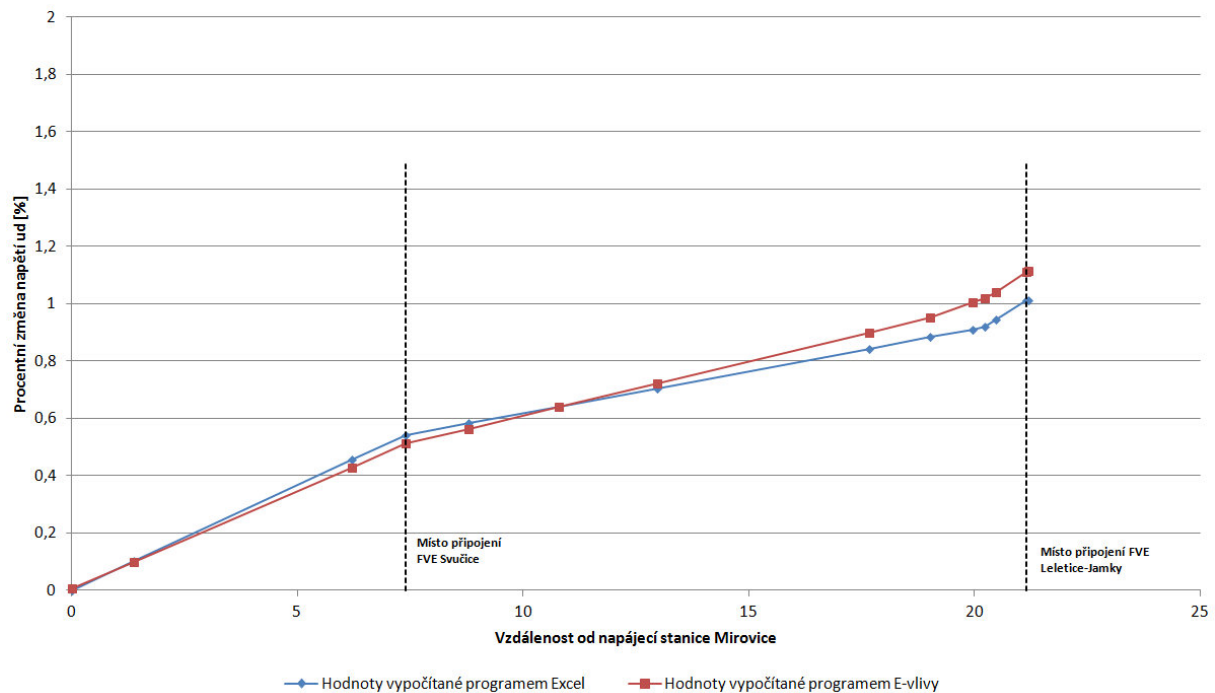
Výpočty provedené v MS Excelu korespondují s výpočty v E-vlivech. Ve výpočtech v Excelu byl uvažován napájecí bod na sekundárním vinutí napájecího transformátoru ve stanici Mirovice s konstantním napětím 23100 V. Proto se všechny křivky rozbíhají z jednoho bodu na svislé ose. Kdežto při výpočtech v programu E-vlivy byl uvažován napájecí bod s konstantním napětím 110 kV na primárním vinutí výše zmíněného transformátoru. Vzniklý úbytek napětí na transformátoru při zatížení byl částečně korigován pomocí přenastavení odbočky na transformátoru 110/22 kV. Byl zvolen napěťový krok mezi odbočkami 2 %. Korekce napětí na sekundárním vinutí transformátoru byla provedena přenastavením transformátoru na -1 odbočku při zatíženém vedení. V nezatíženém vedení s dodávkou z FVE byla ponechána střední odbočka.

Z grafů je patrné, že při odlehčené síti a dodávce z FVE může docházet ke zvýšení napětí nad dovolenou mez + 5 % od jmenovité hodnoty napětí. Proto je nutný zásah regulátoru napětí na transformátoru 110/22 kV, bylo by nutné přenastavit odbočku.

Jednou z nutných podmínek, které musí připojené elektrárny splnit je nezpůsobit změnu napětí při jejich připojení nebo odpojení (uvažován maximální dodávaný výkon) o více než 2 % z napětí před změnou stavu. Splnění této podmínky bylo počítáno podle rovnice:

$$\Delta u_{\%} = \frac{U_{s,FVE} - U_{bez,FVE}}{U_{ns}} \quad [%; \text{kV}; \text{kV}; \text{kV}].$$

Výsledky výpočtů jsou zobrazeny v grafu na obrázku č. 4.7. V obou případech byla změna napětí počítána pro hlavní kmen vedení až do uzlu č. 10 a dále pak pro odbočku k druhé elektrárně Leletice – Jamky, kde je předpokládána vyšší změna napětí než na zbytku hlavního kmenu. Dle předpokladů i výpočtů dojde k nejvyšší změně napětí v předávacím místě druhé elektrárny Leletice – Jamky, a to o 1,2 %. Elektrárny tedy tuto podmínku splňují.



Obr. 4.7 Relativní změna napětí při připojení obou FVE na zatížené vedení

4.3 Modelování vývodu „Kasejovice“ pomocí programu E-vlivy

V programu E-vlivy byl vývod modelován dle schématu uvedeného na obrázku č. 4.1. Délky úseků, instalované odběry (skutečný odebíraný výkon je uvažován 40 % z výkonu instalovaného) a jejich $\cos \varphi$, instalované výkony elektráren jsou uvažovány stejně jako ve výpočtech v programu MS Excel. Obě elektrárny i všechny odběry jsou připojené k hlavnímu vedení přes vypínač, který slouží pro snadnější odpínání FV elektráren nebo odběrů při různých variantách provozu uvažovaných při výpočtu napěťového profilu vedení.

Na rozdíl od výpočtů napěťového profilu v programu MS Excel je v programu E-vlivy zahrnut i transformátor 110/23 kV. Tento transformátor vnáší do výpočtů mírné difference oproti výpočtům provedených v programu MS Excel. Tyto difference jsou korigovány pomocí přepnutí odbočky na transformátoru 110/22 kV.

V příloze č. 3 je zobrazeno schéma vedení sestavené v programu E-vlivy. Transformátory jsou modelovány pomocí jmenovitých napětí na primární i sekundární straně, napětím nakrátko a Joulovými ztrátami ve vinutí. Vedení je modelováno pomocí měrného elektrického odporu a indukční reaktance a délky vedení. Odběry v uzlech jsou modelovány napěťovou hladinou, kladným zdánlivým výkonem (výkon odebíraný ze sítě) a $\cos \varphi$.

Elektrárny jsou modelovány napět'ovou hladinou, záporným zdánlivým výkonem (výkon dodávaný do sítě) a $\cos \varphi$. U všech odběrů byl uvažován $\cos \varphi = 0,95$ a u elektráren byl uvažován $\cos \varphi = 1,0$.

4.4 Výpočet zkratových výkonů v předávacích bodech FVE Svučice a Leletice-Jamky

Pro zjištění dovolených emisních hodnot harmonických proudů v tomto vývodu emitovaných oběma fotovoltaickými elektrárnami je nutné vypočítat zkratové výkony v předávacích bodech obou elektráren na napět'ové hladině 22 kV. Příspěvek ke zkratovému výkonu od fotovoltaických elektráren nebyl uvažován. Vstupními daty pro výpočet jsou:

Nadřazená síť 110 kV:

$$S_{k3}'' = 850 \text{ MVA}, X_{\text{sit}} = 0,995 \cdot Z, R_{\text{sit}} = 0,1 \cdot X_{\text{sit}}, U_n = 110 \text{ kV}$$

Napájecí transformátor T1 ve stanici Mirovice:

$$S_{nT1} = 25 \text{ MVA}, u_{kT1} = 11 \%, \Delta P_{kT1} = 160 \text{ kW}, \text{převod } p = 110/23 \text{ kV}$$

Tab. 4.1 Elektrické parametry venkovního vedení použitého na vývod „Kasejovice“

Průřez mm ²	Veličina	Hodnota	Jednotka
120	R ₁₂₀	0.225	Ω/km
	X ₁₂₀	0.339	Ω/km
95	R ₉₅	0.301	Ω/km
	X ₉₅	0.374	Ω/km
70	R ₇₀	0.431	Ω/km
	X ₇₀	0.383	Ω/km
35	R ₃₅	0.778	Ω/km
	X ₃₅	0.389	Ω/km

Výpočet zkratových proudů a zkratových výkonů byl proveden na hladině 22 kV.

Výpočet pasivních parametrů sítě:

Parametry sítě 110 kV přepočtené na hladinu 22 kV:

Impedance sítě (na hladině 110 kV):

$$Z_{\text{sit110}} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{k3}''} = \frac{1,1 \cdot 110^2}{850} = 15,659 \Omega$$

Impedance sítě:

$$Z_{sit} = Z_{sit110} \cdot \frac{U_{n1}^2}{U_{n2}^2} = 15,659 \cdot \frac{23^2}{110^2} = 0,6846\Omega$$

Reaktance sítě:

$$X_{sit} = 0,995 \cdot Z_{sit} = 0,995 \cdot 0,6846 = 0,6812\Omega$$

Činný odpor sítě:

$$R_{sit} = 0,1 \cdot X_{sit} = 0,1 \cdot 0,6812 = 0,0681\Omega$$

Parametry transformátoru 110/22 kV na hladině 22 kV:

Impedance transformátoru T1:

$$Z_{T1} = \frac{u_{kT1}}{100} \cdot \frac{U_{nT1}^2}{S_{nT1}} \cdot \left(\frac{23}{110}\right)^2 = \frac{11}{100} \cdot \frac{110^2}{25} \left(\frac{23}{110}\right)^2 = 2,3276\Omega$$

Elektrický odpor vinutí transformátoru T1:

$$R_{T1} = \Delta P_{kT1} \cdot \frac{U_{nT1}^2}{S_{nT1}^2} \cdot \left(\frac{23}{110}\right)^2 = 0,16 \cdot \frac{110^2}{25^2} \left(\frac{23}{110}\right)^2 = 0,1354\Omega$$

Induktivní reaktance transformátoru T1:

$$X_{T1} = \sqrt{Z_{T1}^2 - R_{T1}^2} = \sqrt{2,3276^2 - 0,1354^2} = 2,3237\Omega$$

Za účelem výpočtu zkratových proudů v předávacích místech obou elektráren Svučice a Leletice – Jamky je vedení 22 kV rozděleno na čtyři úseky podle průřezu vodičů:

1. úsek – mezi napájecí stanicí Mirovice a uzlem č. 3 ve vzdálenosti 7,407 km. Vedení v tomto úseku je provedeno z drátu AlFe6 120 mm². Délka úseku je 7,407 km.
2. úsek – mezi uzly č. 3 a č. 8. Délka tohoto úseku je 11,605 km a je proveden vodiči AlFe6 95 mm².
3. úsek – mezi uzly č. 8 a č. 10. Délka tohoto úseku je 1,227 km a je proveden vodiči AlFe6 70 mm².
4. úsek – odbočka z uzlu č. 10 na hlavním kmenu k FVE Leletice – Jamky o délce 0,645 km v provedení vodiče 35 mm².

$$Z_{kLJ} = \sqrt{R_{kLJ}^2 + X_{kLJ}^2} = \sqrt{6,6054^2 + 10,6828^2} = 12,5600\Omega$$

Výpočet zkratového proudu a výkonu v předávacích bodech elektráren:

Výpočtové napětí:

$$U_{výp} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}} = \frac{1,1 \cdot 22}{\sqrt{3}} = 13,972 \text{ kV}$$

Elektrárna Svučice:

$$I_{k3Sv}'' = \frac{U_{výp}}{Z_{kSv}} = \frac{13,972}{5,8243} = 2,399 \text{ kA}$$

$$S_{k3Sv}'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{k3Sv}'' = 91,41 \text{ MVA}$$

Elektrárna Leletice – Jamky:

$$I_{k3LJ}'' = \frac{U_{výp}}{Z_{kSv}} = \frac{13,972}{12,5600} = 1,112 \text{ kA}$$

$$S_{k3LJ}'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{k3LJ}'' = 42,388 \text{ MVA}$$

4.5 Porovnání vypočtených zkratových výkonů v programu MS Excel a E-vlivy

V níže uvedených tabulkách č. 4.2 a č. 4.3 jsou vypsány zkratové impedance Z_{kSv} , proudy I_{k3Sv}'' a zkratové výkony S_{k3Sv}'' v předávacím místě elektrárny Svučice a stejně tak i impedance Z_{kLJ} , proudy I_{k3LJ}'' a zkratové výkony S_{k3LJ}'' v předávacím místě u elektrárny Leletice - Jamky.

Tab. 4.2 Hodnoty zkratového výkonu a zkratové impedance v elektrárně Svučice získané v programu MS Excel a E-vlivy

Výpočet v programu Excel			Výpočet v programu E-vlivy		
Z_k	5.824	Ω	Z_k	5.716	Ω
I_{k3Sv}''	2.399	kA	I_{k3Sv}''	-	kA
S_{k3Sv}''	91.41	MVA	S_{k3Sv}''	93.14	MVA

Tab. 4.3 Hodnoty zkratového výkonu a zkratové impedance v elektrárně Leletice-Jamky získané v programu MS Excel a E-vlivy

Výpočet v programu Excel			Výpočet v programu E-vlivy		
Z_{kLJ}	12.560	Ω	Z	12.486	Ω
I_{k3LJ}''	1.112	kA	I_{k3LJ}''	-	kA
S_{k3LJ}''	42.39	MVA	S_{k3LJ}''	42.64	MVA

Porovnáním výsledků výpočtů provedených v MS Excelu a v programu E-vlivy zjistíme malý rozdíl v hodnotách. Program E-vlivy neuvádí ve výsledcích výpočtů hodnoty zkratových proudů v uzlech, proto jsou proudy I_{k3Sv}'' a I_{k3LJ}'' proškrtnuty. Odchyly ve výsledných hodnotách zkratových proudů a výkonů jsou s největší pravděpodobností dány zaokrouhlováním mezivýsledků a také rozdílnou metodou výpočtu.

4.6 Harmonické proudy emitované elektrárnami

Pro tento výpočet využijeme technická data od výrobce střídačů SolarMax 300C instalovaných v obou elektrárnách pro přeměnu stejnosměrného napětí a proudu na střídavé. Elektrárna Svučice má instalované tři střídače SolarMax 300C a elektrárna Leletice – Jamky má instalované dva střídače. Celkový proud každé harmonické v elektrárně je dán součtem proudu dané harmonické od všech střídačů. Jelikož jsou střídače stejného typu a výkonu je celkový proud harmonické od všech střídačů dohromady dán proudem harmonické násobeném počtem paralelně pracujících střídačů. Předávací místo, ve kterém nesmí proud harmonických překročit limity stanovené Pravidly provozu distribuční soustavy, je na hladině 22 kV, proto je nutné harmonické proudy udávané výrobcem pro napěťovou hladinu 400 V přepočítat přes transformátory 22/0,4 kV, které propojují elektrárny se sítí 22 kV. Emitované proudy jsou uvedené v následující tabulce.

Tab. 4.4 Emisní hodnoty harm. proudů střídačů SolarMax 300C a jejich přepoččet na hladinu 22 kV

Parametry střídače SM300C			Emisní proudy harmonických [A] na výstupu 22 kV z elektráren	
Řád harmonické	Emisní proud [A] (400 V)	Proud přepočtený na hladinu 22 kV	Elektrárna Svučice	Elektrárna Leletice
1	434,78	7,9051	23,7154	15,8103
2	7,58	0,1379	0,4137	0,2758
3	3,92	0,0713	0,2138	0,1426
4	2,71	0,0493	0,1478	0,0985
5	5,82	0,1058	0,3175	0,2116
6	0,49	0,0089	0,0267	0,0178
7	2,08	0,0378	0,1135	0,0756
8	0,77	0,0140	0,0420	0,0280
9	0,50	0,0091	0,0273	0,0182
10	0,56	0,0102	0,0305	0,0204
11	0,51	0,0093	0,0278	0,0185
12	0,64	0,0116	0,0349	0,0233
13	0,57	0,0104	0,0311	0,0207
14	0,55	0,0100	0,0300	0,0200
15	0,53	0,0096	0,0289	0,0193
16	0,51	0,0093	0,0278	0,0185
17	0,65	0,0118	0,0355	0,0236
18	0,55	0,0100	0,0300	0,0200
19	0,49	0,0089	0,0267	0,0178
20	0,61	0,0111	0,0333	0,0222
21	0,65	0,0118	0,0355	0,0236
22	0,61	0,0111	0,0333	0,0222
23	0,56	0,0102	0,0305	0,0204
24	0,46	0,0084	0,0251	0,0167
25	0,51	0,0093	0,0278	0,0185
26	0,55	0,0100	0,0300	0,0200
27	0,49	0,0089	0,0267	0,0178
28	0,48	0,0087	0,0262	0,0175
29	0,83	0,0151	0,0453	0,0302
30	0,67	0,0122	0,0365	0,0244
31	0,73	0,0133	0,0398	0,0265
32	0,57	0,0104	0,0311	0,0207
33	0,7	0,0127	0,0382	0,0255
34	0,58	0,0105	0,0316	0,0211
35	0,48	0,0087	0,0262	0,0175
36	0,51	0,0093	0,0278	0,0185
37	0,53	0,0096	0,0289	0,0193
38	0,55	0,0100	0,0300	0,0200
39	0,39	0,0071	0,0213	0,0142
40	0,56	0,0102	0,0305	0,0204

4.7 Výpočet dovolených harmonických proudů emitovaných elektrárnami

Tento výpočet je proveden podle [5] str. 35, 36, 37 kapitola 11.2.2 – Proudů harmonických – Výrobní v sítích vn. Pro zařízení připojované do distribuční sítě se v praxi vyhodnocují vyšší harmonické pouze do řádu č. 25.

V této kapitole vyjdeme z rovnice č. 22:

$$I_{vpř} = i_{vpř} \cdot S_{kv} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} \quad [A; A/MVA; MVA; MVA; MVA]$$

kde $I_{vpř}$ je přípustný proud pro harmonickou v , $i_{vpř}$ je vztažný proud pro harmonickou proud v , S_{kv} je zkratový výkon třífázového souměrného zkratu v předávacím místě, S_A je instalovaný výkon elektrárny a S_{AV} je celkový instalovaný výkon elektráren v uvažovaném vývodu. Vztažný proud $i_{vpř}$ je uveden v Tab. č.5 v [5]. V této tabulce nejsou uvedeny proudy vyšších harmonických, které jsou násobky třetí harmonické, protože tyto harmonické se uzavírají středním vodičem v napěťové soustavě nn a v primárním vinutí transformátoru 22/0,4 kV, který je zapojen do trojúhelníka. Nepronikají tedy do napěťové soustavy 22 kV.

Například pro 5. harmonickou proudů v elektrárně Svučice platí:

$$I_{vpř} = i_{vpř} \cdot S_{kv} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} = 0,058 \cdot 91,410 \cdot \frac{900}{1500} = 3,1811A$$

Ostatní přípustné proudy v elektrárně Svučice i Leletice – Jamky jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 4.5 Příпустné proudy harmonických pro elektrárny Svučice a Leletice – Jamky. Červenou barvou jsou vyznačeny ty harmonické, které jsou překračovány.

Řád harmonické	Příпустný vztahný proud	Příпустné proudy VH emitované elektrárnami na napěťové hladině 22 kV		Skutečné proudy emitované elektrárnami na hladině 22 kV	
		El. Svučice - 900 kVA	El. Leletice - 600 kVA	El. Svučice - 900 kVA	El. Leletice - 600 kVA
	[A/MVA]	[A]	[A]	[A]	[A]
2	0,030	1,6454	0,5087	0,4137	0,2758
4	0,015	0,8227	0,2543	0,1478	0,0985
5	0,058	3,1811	0,9834	0,3175	0,2116
6	0,010	0,5485	0,1696	0,0267	0,0178
7	0,041	2,2487	0,6952	0,1135	0,0756
8	0,008	0,4114	0,1272	0,0420	0,0280
10	0,006	0,3291	0,1017	0,0305	0,0204
11	0,026	1,4260	0,4408	0,0278	0,0185
12	0,005	0,2742	0,0848	0,0349	0,0233
13	0,019	1,0421	0,3222	0,0311	0,0207
14	0,004	0,2351	0,0727	0,0300	0,0200
16	0,004	0,2057	0,0636	0,0278	0,0185
17	0,011	0,6033	0,1865	0,0355	0,0236
18	0,003	0,1828	0,0565	0,0300	0,0200
19	0,009	0,4936	0,1526	0,0267	0,0178
20	0,003	0,1645	0,0509	0,0333	0,0222
22	0,003	0,1496	0,0462	0,0333	0,0222
23	0,006	0,3291	0,1017	0,0305	0,0204
24	0,003	0,1371	0,0424	0,0251	0,0167
25	0,005	0,2742	0,0848	0,0278	0,0185

Porovnáním hodnot v příslušných sloupcích v tabulce č. 4.4 s hodnotami v tabulce č. 4.5 zjistíme, že elektrárna Svučice elektrárna Leletice - Jamky vyhovuje z hlediska emise vyšších harmonických. V případě, že by elektrárna nevyhověla bylo by možným technickým opatřením například zvýšení zkratového výkonu v přípojném bodě elektrárny například pomocí výměny vodičů na vedení 22 kV s vyšším průřezem nebo instalací výkonnějšího transformátoru ve stanici Mirovice. Dalším možným řešením by mohla být instalace filtračního zařízení mezi střídače SolarMax 300 C a transformátor 22/0,4 kV.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit přehled legislativy související s kvalitou elektrické energie v distribučních sítích. Legislativa související s kvalitou napětí v distribuční síti garantuje všem odběratelům elektrické energie stejnou kvalitu. Na druhou stranu přesně vymezuje meze rušení vyvolané provozem odběrných zařízení i provozem zdrojů stejně tak, jako vymezuje i případné sankce za jejich nedodržení.

Pro projektanty distribučních sítí, ale i samotných odběrných nebo výrobních zařízení je uvedená legislativa důležitým podkladem pro tvorbu projektové dokumentace i pro vytvoření ekonomické rozvahy a tím nepřímo ovlivňuje i ekonomickou výhodnost investičního záměru v elektroenergetice.

Ve výpočtové části práce bylo hlavním cílem vyhodnotit splnění podmínek připojitelnosti dvou fotovoltaických elektráren k síti 22 kV. Výpočet byl proveden metodou výpočtu jednostranně napájeného vedení s osamocenými odběry. Tento „ruční“ výpočet byl zautomatizován v programu MS Excel. Dále byl použit pro kontrolu výpočtů profesionální program E-vlivy. Výsledky získané z obou výpočtových metod vykazují minimální diference. Na základě provedených výpočtů bylo zjištěno, že obě elektrárny splňují podmínky připojitelnosti k síti 22 kV z hlediska změny napětí. Dovolená změna napětí podle [5] je 2 % ze jmenovitého napětí. Podle provedených výpočtů je změna napětí na řešeném vývodu s a bez fotovoltaických elektráren 1,1 % ze jmenovitého napětí. Tato změna je nejvyšší v přípojném bodě u FVE Leletice – Jamky. Byl také potvrzen předpoklad, že nejvyšší změna napětí je vyvolána v elektricky vzdálenějších místech s nižším zkratovým výkonem.

Elektrárny také podle provedených výpočtů splňují podmínku připojitelnosti z hlediska emise vyšších harmonických, které jsou v této práci řešeny až do řádu č. 25. Pro podrobnější analýzu emitovaných harmonických proudů by bylo nutné provedení podrobnějšího výpočtu se zahrnutím přesného modelu transformátorů 22/0,4 kV, přes které jsou elektrárny připojeny.

Dalším možným rozšířením této práce by mohlo být posouzení vlivu těchto elektráren na činnost regulace napětí v tomto distribučním vývodu.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Zákon č. 458/2000 Sb. O podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (Energetický zákon). Vyšlo ve Sbírce zákonů 29. 12. 2000.
- [2] ČSN EN 50 160: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí. 3. vyd. Praha : ÚNMZ, 2011. 32 str.
- [3] Pravidla provozování distribučních soustav (PPDS) – verze z roku 2011.
- [4] Pravidla provozování distribučních soustav (PPDS). Příloha č. 2: Metodika určování nepřetržitosti distribuce elektřiny a spolehlivosti prvků distribučních sítí. 2011.
- [5] Pravidla provozování distribučních soustav (PPDS). Příloha č. 3: Kvalita napětí v distribuční soustavě, způsoby jejího zjišťování a hodnocení. 2011.
- [6] Pravidla provozování distribučních soustav (PPDS). Příloha č. 4: Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy. 2011.
- [7] Vyhláška 540/2005 Sb. O kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. Platnost od 27. 2. 2010.
- [8] PNE 33 3430-0. Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav. 4. vyd. Platnost od 1. 1. 2009.
- [9] PNE 33 3430-1. Parametry kvality elektrické energie - Část 1: Harmonické a meziharmonické. 2. vyd. Platnost od 1. 1. 2004.
- [10] PNE 33 3430-2. Parametry kvality elektrické energie - Část 2: Kolísání napětí. 3. vyd. Platnost od 1. 1. 2010.
- [11] PNE 33 3430-3. Parametry kvality elektrické energie - Část 3: Nesymetrie a změny kmitočtu napětí. 3. vyd. Platnost od 1. 1. 2011.
- [12] PNE 33 3430-4. Parametry kvality elektrické energie - Část 4: Poklesy a krátká přerušení napětí. 3. vyd. Platnost od 1. 1. 2012.

- [13] PNE 33 3430-5. Parametry kvality elektrické energie - Část 5: Přejídná přepětí - impulzní rušení. 2. vyd. Platnost od 1. 1. 2008.
- [14] PNE 33 3430-6. Parametry kvality elektrické energie - Část 6: Omezení zpětných vlivů na hromadné dálkové ovládání. 3. vyd. Platnost od 1. 1. 2011.
- [15] PNE 33 3430-7. Parametry kvality elektrické energie - Část 7: Charakteristiky napětí elektrické energie ve veřejné distribuční síti. 4. vyd. 1. 7. 2011.
- [16] KLAJN, Antoni; BATKIEWICZ-PANTOLA, Marta. Standard EN 50 160 – Application note. Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks. ECI Publication No Cu0147. 2013.
- [17] TESAŘOVÁ, Miloslava; ŠTROBLOVÁ, Milada. Průmyslová elektroenergetika. 1. vyd. Plzeň : ZČU v Plzni, 2000. 154 s. ISBN 80-7082-703-3.
- [18] MARVAN, Miroslav; NĚMEČEK, Blahoslav; ŠOLC, Pavel; GASZCZYK, Jan; KANTA, Jan; BERAN, Hynek. Obchodování s elektřinou: Průvodce liberalizovaným trhem v České republice. Praha : PLEJÁDA, 2001. 144 s. ISBN 80-86431-21-5.
- [19] KAŠPÍREK, Martin; POLEDŇA, Marek. Kvalita napětí v distribuční síti a její vnímání z pohledu zákazníků. Konference ČK Cired 2011. Tábor: E.ON, s.r.o, 8. a 9. 11. 2011. První strana příspěvku.
- [20] KREJČÍ, Petr; ROZEHNAL, Petr; UNGER, Jan; ČUMPELÍK, Radim. Kvalita elektrické energie z pohledu stížností na dodávku elektrické energie. Konference ČK Cired 2012. Tábor: TU Ostrava, 6. a 7. 11. 2012. První až třetí strana příspěvku.

Příloha č. 2 - Přirazení transformátorů k jednotlivým odběrům ve zjednodušeném schématu vedení

Uzel č.1) Horosedly – 250 kVA; Mirovice (ČOV) – 400kVA; Mirovice (Výkup) – 160 kVA; Mirovice (Obec) – 400 kVA; Boješice (Obec) – 160 kVA; Ohař (Obec) – 63 kVA; Myslín (U lesa) – 100 kVA; Myslín (Zděná) – 160 kVA; Myslín ZD – 160 kVA; Holý vrch – 50 kVA; Plíškovice (Obec) – 160 kVA; Plíškovice ZD – 560 kVA; Mirovice (Mlýn) – 100kVA; Boješice ZD – 250 kVA; Mirovice (Tržiště) – 400 kVA; Mirovice (Bytovky) – 630 kVA; Škola – 630 kVA; Zámostí – 250 kVA; Tesla – 100 kVA; Drůbež – 2000 kVA.

Celkový součet výkonů v daném odběru je 6983 kVA.

Uzel č.2) Slavkovce – 160 kVA; Minice – 160 kVA; Pohoří – 160 kVA; Mišovice – 160 kVA; Sochovice – 160 kVA; Ráztely – 160 kVA.

Celkový součet výkonů v daném odběru je 960 kVA.

Uzel č.3) FVE Svučice – 0,9 MVA = 900 kVA.

Celkový součet výkonů v daném odběru je 900 kVA.

Uzel č.4) Draheničky – 100 kVA; Svučice (Chaty) – 50 kVA.

Celkový součet výkonů v daném odběru je 150 kVA.

Uzel č.5) Uzenice ZD – 100 kVA; Uzenice (Obec) – 160 kVA; Červínsko – 100 kVA; Drahenický Málkov (Chaloupky) – 100 kVA; Drahenický Málkov (Obec) – 100 kVA; Uzeničky – 160 kVA.

Celkový součet výkonů v daném odběru je 720 kVA.

Uzel č.6) Podruchlí – 160 kVA; Hůrka – 100 kVA; Hostišovice – 400 kVA.

Celkový součet výkonů v daném odběru je 660 kVA.

Uzel č.7) Slepíčí Hora – 160 kVA; Bělčice (Obec) – 250 kVA; Bytovky – 250 kVA; Bělčice (Benzina) – 630 kVA.

Celkový součet výkonů v daném odběru je 1290 kVA.

Uzel č.8) Bělčice ZD – 400 kVA; Bělčice (Blatenská) – 160 kVA; Bělčice MŠ – 400 kVA; Bělčice (Ovčín) – 50 kVA; Závišín (Obec) – 160 kVA; Závišín (Hutě) – 50 kVA; Závišín (Chaty) – 50 kVA; Závišín (Lopatárna) – 100 kVA; Hornosín – 160 kVA; Kocelovice (Nový Dvůr) – 163 kVA; Kocelovice 1 – 160 kVA; Kocelovice 2 – 250 kVA; Hajany 1 – 160 kVA; Hajany 2 – 100 kVA; Chlum (Obec) – 160 kVA; Chlum RD – 250 kVA; Tchořovice ZD – 400 kVA; Tchořovice (Obec) – 160 kVA; Tchořovice (Na Drahách) – 100 kVA; Lnáře (Cihelna) – 100 kVA; Lnáře ACHP – 100 kVA; Lnáře ČSSS – 100 kVA; Nemocnice Lnáře – 400 kVA; Zámek – 1260 kVA; Záhorčice (Obec) – 250 kVA; Řiště – 250 kVA; Rybáři – 100 kVA; Bytovky – 400 kVA; Škola – 250 kVA; Lnáře (Obec) – 400 kVA; ZD u zámku Lnáře - 250 kVA; Lnáře (Vodovod) – 50 kVA.

Celkový součet výkonů v daném odběru je 7343 kVA.

Uzel č.9) Záhrobí – 160 kVA; Újezdec (Obec) – 100 kVA; Mlýn – 50 kVA.

Celkový součet výkonů v daném odběru je 310 kVA.

Uzel č.10) FVE Leletice-Jamky – 0,6 MVA = 600 kVA.

Celkový součet výkonů v daném odběru je 600 kVA.

Uzel č.11) Tisov- 160 kVA.

Celkový součet výkonů v daném odběru je 160 kVA.

Uzel č.12) Březí (Obec) – 160 kVA; Březí (Rybník) – 63 kVA.

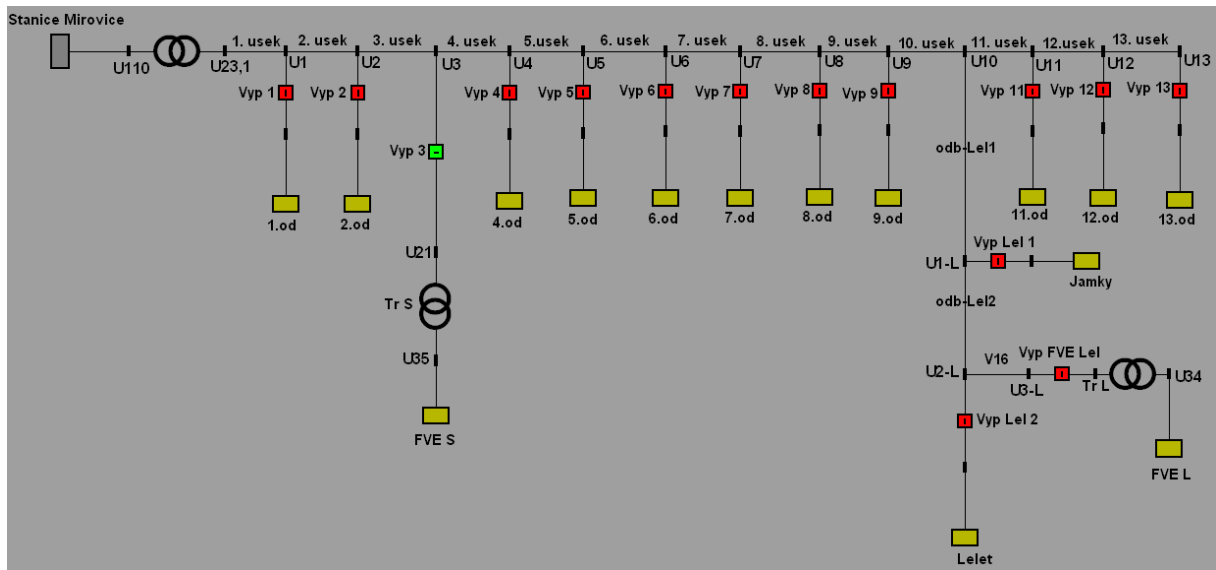
Celkový součet výkonů v daném odběru je 223 kVA.

Uzel č.13) Metly – 100 kVA; Předmíř ZD – 250 kVA; Předmíř (Obec) – 160 kVA; Předmíř RD – 250 kVA; Předmíř (Mlýn) – 50 kVA; Zámlyní (Mlýn Divák) – 50 kVA; Zamlýní – 160 kVA.

Celkový součet výkonů v daném odběru je 1020 kVA.

Příloha č. 3 - Schémata vývodu provedená v programu E-vlivy – ilustrativní příklady

Nezatížené vedení s dodávkou z FVE Svučice



Zatížené vedení bez dodávky z FVE

