

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektroenergetiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Aplikace norem EN61000-3-2 do 16A, EN61000-3-3 do  
75A ve vztahu k provozování elektrických zařízení s DS**

**vedoucí práce: doc. Ing. Zbyněk Martínek, CSc.  
autor: Bc. Miroslav Homolka**

**2012**

## **Anotace**

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na aplikace norem EN61000-3-2 do 16A, EN61000-3-3 do 75A ve vztahu k provozování elektrické zařízení s distribuční soustavou. Jsou zde rozebrány teoretické problémy týkající se flikru a harmonického zkreslení v návaznosti na možnost připojení do elektrické distribuční sítě. Celý problém je řešen jak teoreticky tak i prakticky pomocí vybraných reálných distribučních soustav. Distribuční sítě jsou simulovány v simulačním softwaru E-Vlivy a následně jsou vyhodnocovány jejich provozní parametry.

## **Klíčová slova**

Flikr, vyšší harmonické, distribuční soustava, e-vlivy, kolísání napětí, připojitelnost, ČSN EN 61000-3-2/3, provozovatel distribuční soustavy, kvalita energie, společný napájecí bod, parametry sítě.

## **Abstract**

This master's thesis is focusing on the application of the standards EN61000-3-2 up to 16A and EN1000-3-3 up to 75A in relation to operating electrical devices with distribution system. The theoretical issues of flicker and harmonic distortion in continuity to the possibility of connecting to the distribution network are analyzed there. The whole issue is being solved theoretically and practically in selected real distribution networks. The distribution networks are simulated in the E-Vlivy simulation software and their operational parameters are being evaluated.

## **Key words**

flicker, higher harmonic, distribution network, e-vlivy, voltage fluctuation, connectivity, ČSN EN 61000-3-2/3, operator of the distribution network, quality of energy, common power point, network parameters

## **Prohlášení a poděkování**

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

Tímto způsobem bych ještě rád poděkoval doc. Ing. Zbyňku Martínkovi CSc. a Ing. Václavu Kropáčkovi Ph.D. za jejich cenné rady a vedení v průběhu celé diplomové práce.

V Plzni dne 7.5.2012

Miroslav Homolka

.....

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>5</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>6</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>1 KVALITA ELEKTRICKÉ ENERGIE</b> .....	<b>9</b>
<b>2 ZKOUMANÉ ČÁSTI VYBRANÉ DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY</b> .....	<b>10</b>
2.1 Nový DVŮR .....	10
2.1.1 Zadané parametry a výpočet jednotlivých prvků sítě.....	11
Impedance přírodního vedení .....	12
2.2 TŘEBÍŠOV .....	14
2.2.1 Zadané parametry a výpočet jednotlivých prvků sítě.....	15
<b>3 FLIKR A HARMONICKÉ ZKRESLENÍ</b> .....	<b>17</b>
3.1 FLIKR.....	17
3.1.1 Teoretický rozbor úbytku napětí.....	17
3.1.2 Šíření flikru v síti.....	18
3.1.3 Výpočet flikru .....	20
3.2 HARMONICKÉ ZKRESLENÍ .....	22
3.2.1 Problémy způsobené vyššími harmonickými .....	25
<b>4 MOŽNOST PŘIPOJENÍ DO DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY</b> .....	<b>26</b>
4.1 MEZE PRO PŘIPOJENÍ BEZ DOTAZU U PDS .....	29
4.2 MOŽNOST PŘIPOJENÍ VE VZTAHU K ČSN EN 61000-3-3 .....	31
4.2.1 Meze EMC zařízení z hlediska kolísání napětí a flikru .....	31
4.3 MOŽNOST PŘIPOJENÍ VE VZTAHU K EN61000-3-2 .....	35
4.3.1 Druhy řízení vyvolávající vyšší harmonické.....	35
4.3.2 Meze EMC z hlediska emisí proudu harmonických.....	35
4.4 POSUZOVÁNÍ PROVOZOVATELEM DS .....	38
4.4.1 Posuzování EMC ve vztahu k flikru .....	38
4.4.2 Posuzování EMC ve vztahu k vyšším harmonickým .....	39
<b>5 SIMULACE V PROGRAMU E-VLIVY</b> .....	<b>40</b>
5.1 DS VÍTINKA – NOVÝ DVŮR .....	41
5.2 DS TŘEBÍŠOV .....	43
5.2.1 Třebíšov – zlepšení stávajícího stavu.....	44
5.3 POROVNÁNÍ MOŽNOSTI PŘIPOJENÍ DALŠÍCH ZAŘÍZENÍ DO STÁVAJÍCÍ DS .....	47
<b>6 ZÁVĚR</b> .....	<b>49</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>51</b>

## Seznam symbolů a zkratk

Značka	Veličina	Jednotka
$S''_{ksmin,max}$	minimální a maximální zkratový výkon nadřazené sítě	VA
$I''_{ksmin,max}$	minimální a maximální zkratový proud nadřazené sítě	A
$X_{smin,max}$	minimální a maximální impedance nadřazené sítě	$\Omega$
$Z_T$	impedance transformátoru	$\Omega$
$u_k$	napětí nakrátko	$\Omega$
$U_N$	jmenovité napětí	V
$I_N$	jmenovitý proud	A
$S_N$	jmenovitý zdánlivý výkon	VA
$P_N$	jmenovitý činný výkon	W
$\cos\varphi$	jmenovitý účinník	-
$\cos\varphi_k$	účinník při rozběhu motoru	-
$p$	převod transformátoru	-
$S''_{kPCCmax,min}$	max. a minimální zkratový výkon do přípojného místa	VA
$Z_{AES\ 4x70}$	impedance lana AES o průřezu 70mm <sup>2</sup>	$\Omega$
$Z_{AlFe\ 4x70}$	impedance lana AlFe o průřezu 70mm <sup>2</sup>	$\Omega$
$Z_{AlFe\ 3x50+30}$	impedance lana AES o průřezu 50mm <sup>2</sup>	$\Omega$
$Z_{AlFe\ 4x35}$	impedance lana AES o průřezu 35mm <sup>2</sup>	$\Omega$
$Z_{AYKYZ}$	impedance kabelu AYKYZ	$\Omega$
$Z_c$	celková impedance vedení	$\Omega$
$\partial P$	změna činného výkonu	-
$\partial Q$	změna jalového výkonu	-
$R_s$	podélný parametr vedení – odpor	$\Omega$
$X_s$	podélný parametr vedení – reaktance	$\Omega$
$U_1$	napětí na začátku vedení	V
$U_2$	napětí na konci vedení	V
$I_\varepsilon$	činný proud	A
$I_j$	jalový proud	A
$U_{Fi}$	rušení způsobené zař. zapojeném do bodu i	%
$S''_k^i$	zkratový výkon v bodě i	VA
$P_{ST}$	krátkodobá míra vjemu flikru	-

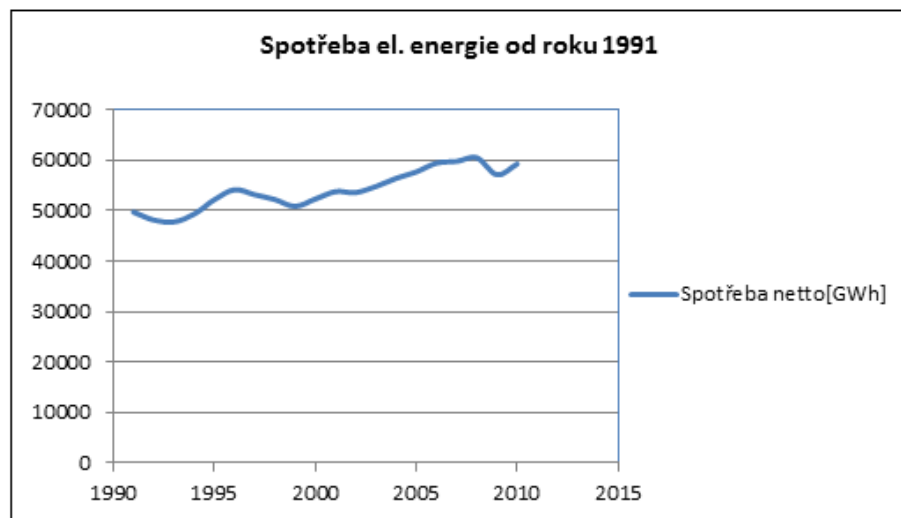
---

<b>Značka</b>	<b>Veličina</b>	<b>Jednotka</b>
$P_{LT}$	dlouhodobá míra vjemu flikru	-
$t_f$	doba míry vjemu flikru	s
$T_p$	perioda sledování	s
$THD_U$	celkový činitel zkreslení	%
$\Delta f$	změna frekvence	Hz
$d_c$	trvalý pokles napětí	%
$d_{cmax}$	maximální pokles napětí	%

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
DS	distribuční síť
PPC	společný napájecí bod
PDS	provozovatel distribuční soustavy
NN	nízké napětí
VN	vysoké napětí
VVN	velmi vysoké napětí
HDO	hromadné dálkové ovládání
AS	asynchronní stroj
VH	vyšší harmonické
VF	vysokofrekvenční
ERU	energetický regulační úřad

## Úvod

Dnešní moderní a technicky vyspělá doba má za následek stále větší a větší nároky na spotřebu elektrické energie. Přenosové a distribuční soustavy ČR musejí proto zvládat stále větší výkonové přenosy, pokud možno se zachováním stávající kvality energie.



Obrázek 0-1 - Spotřeba el. energie od roku 1991

Důvodem tohoto jevu je mimo jiné stále větší počet přípojných míst, připojování spotřebičů o větším výkonu, případně roste kvantita el. spotřebičů. Připojení nových spotřebičů nebo navýšení jmenovité spotřeby uživatele připojeného do sítě distribuční soustavy musí náležitě prozkoumat daný provozovatel distribuční soustavy a to z třech hlavních důvodů:

- zachování kvality el. energie ostatních uživatelů
- zachování kvality el. energie připojovaného uživatele
- zaručení bezpečnosti a bezporuchovosti dané distribuční soustavy

Provozováním distribuční soustavy se v ČR zabývají tři významné společnosti. Jedná se o ČEZ, EON a PRE. Právě do jejich kompetence spadá také bezproblémové řízení distribuční soustavy a kvalita elektrické energie touto soustavou poskytována.

V mé diplomové práci jsem se zaměřil na nežádoucí vlivy ovlivňující právě kvalitu el. energie v DS a s tím související možnost připojení dalších spotřebitelů (znečišťovatelů) do téže soustavy.



## 1 Kvalita elektrické energie

Každý koncový uživatel má právo požadovat od svého distributora elektrickou energii v určitém čase, o určitém množství a v určité kvalitě. Parametry kvality elektrické energie jsou:

- frekvence
- velikost napětí

Než však elektrická energie doputuje z elektrárny přes přenosovou a distribuční soustavu k odběrateli, je její kvalita silně ovlivňována vlivy jako např.:

- atmosférické vlivy
- nutné provozní manipulace v síti
- zkratky
- působení ochran a automatizačních prostředků k omezení poruchových stavů
- spínání velkých spotřebičů

Provozovatel sítě je povinen zaručit jednotlivé provozní hodnoty parametrů elektrické energie během normálního (bezporuchového) stavu elektrizační soustavy. Jedná se o:

- kmitočet sítě
- velikost napájecího napětí
- odchylky napájecího napětí
- rychlé změny napětí (míra vjemu flikru)
- nesymetrie napájecího napětí
- harmonická napětí
- meziharmonická napětí

Pro výše jmenované provozní hodnoty, které platí pro odběrná místa DS se stanovují tzv. zaručovací hodnoty, měřicí intervaly, doby pozorování a mezní pravděpodobnosti splnění stanovených limitů.

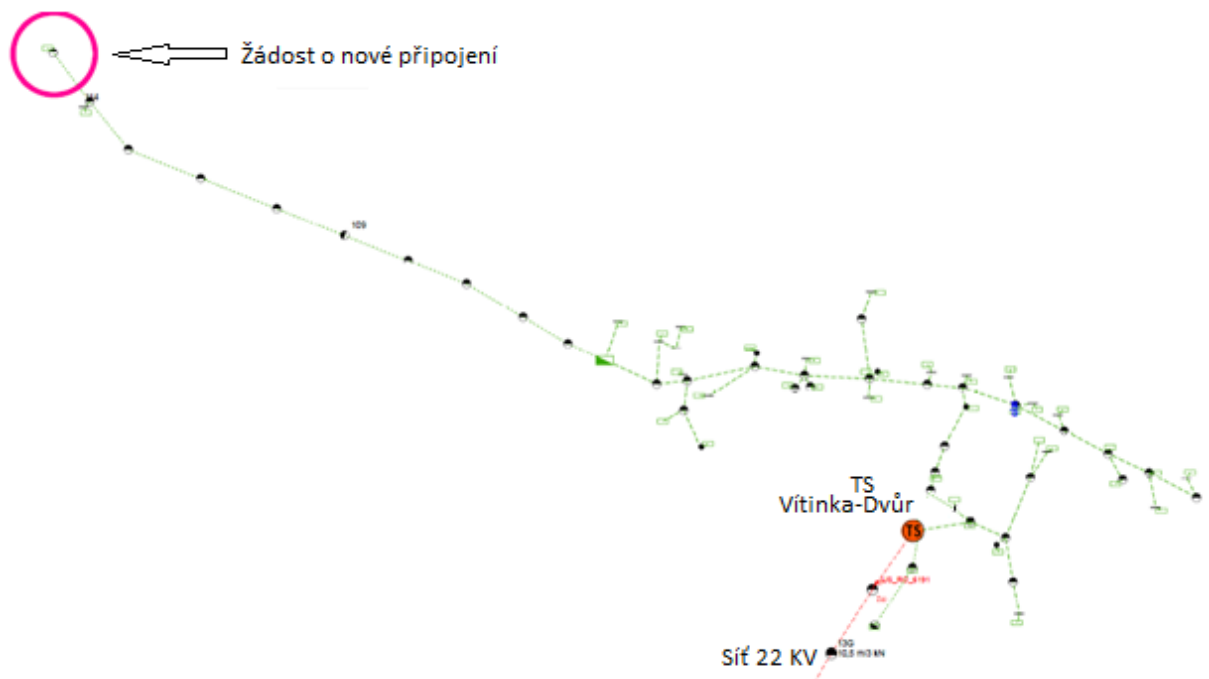
Jednotlivé provozní hodnoty jsou pro spotřebitele definovány v tzv. společném napájecím bodě PPC (point of common coupling), což je místo elektricky nejbližší příslušnému odběrateli, kde může být i jiný odběratel. Jak jsem již řekl, tak každý nově připojený zákazník může negativně ovlivňovat ostatní odběratele snížením kvality elektrické energie. Nastává tomu například při spínání velkých výkonů (flikr) a například při elektronickém řízení (injektování vyšších harmonických). Právě těmito dvěma negativním jevům vyskytujícími se v DS se věnují normy EN 61000-3-2 do 16A a EN 61000-3-3.

## 2 Zkoumané části vybrané distribuční soustavy

Pro svoji diplomovou práci jsem se rozhodl použít reálné distribuční soustavy s reálnými parametry, délkami vedení a jejich průřezy. Budu zde představovat dvě sítě a dvě nové žádosti o připojení.

### 2.1 Nový Dvůr

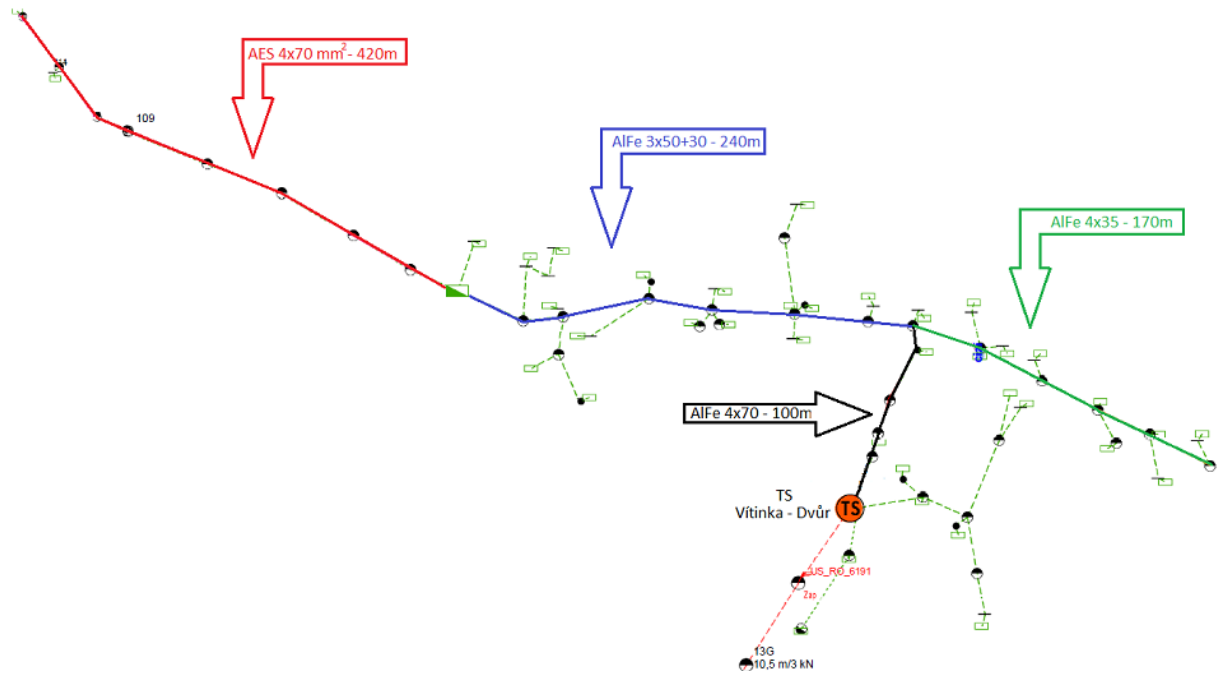
Jako první zkoumaný objekt jsem vybral žádost o připojení v obci Nový Dvůr. Jedná se o připojení tepelného čerpadla poháněného asynchronním motorem o výkonu 3KW. Motor má zabudovaný soft startér. Spotřebitel se nachází až na konci vedení 400V jak je patrné z obrázku 2-1.



Obrázek 2-1 - schéma DS Nový Dvůr

Nejdůležitější pro správné posouzení možnosti připojení je znát parametry jednotlivých prvků nacházejících se v síti. Tímto mám na mysli jednotlivé složení vedení, které napájí spotřebitele, tj. délku, průřez, typ lana popřípadě kabelu. Dále pak typ transformátoru pro zjištění jeho štítkových hodnot a zkratový výkon nadřazené sítě počítané distribuční soustavy. Zkratový výkon se udává pro nejpříznivější a nejnepříznivější podmínky v elektrizační soustavě, tj. maximum a minimum zkratového výkonu.

Nově žádající spotřebitel v obci Nový Dvůr je napájen systémem venkovního vedení viz obrázek 2-2. Jedná se o lana typu AlFe a AESR s celkovou délkou 760 metrů.



Obrázek 2-2 - DS Nový Dvůr

### 2.1.1 Zadané parametry a výpočet jednotlivých prvků sítě

#### Impedance nadřazené sítě

Zadané hodnoty			
$S''_{ksmin}$ [MVA]	293	$I''_{ksmin}$ [KA]	7,69
$S''_{ksmax}$ [MVA]	739	$I''_{ksmax}$ [KA]	19,4

$$S''_{ksmin} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 22000 \cdot 7690 = 293MVA \quad (2.1.1.1)$$

$$X_S = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot I_K} \quad (2.1.1.2)$$

$$X_{Smax} = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot I_{KSmin}} = \frac{1,1 \cdot 22000}{\sqrt{3} \cdot 7690} = 1,812\Omega \quad (2.1.1.3)$$

$$X_{Smin} = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot I_{KSmax}} = \frac{1,1 \cdot 22000}{\sqrt{3} \cdot 19400} = 0,72\Omega \quad (2.1.1.4)$$

Pozn. Pro hladinu 22KV je c=1,1

## Impedance transformátoru

Jedná se třífázový olejový transformátor o výkonu 100KVA a napětím nakrátko 4%. Další údaje od výrobce jsou uvedeny v tabulce 2-1.

Tabulka 2-1-Štítkové hodnoty transformátoru, [10]

Název údaje	Hodnoty garantované prodávajícím
Maximální ztráty naprázdno	210 W
Maximální ztráty nakrátko při 75 °C	1750 W
Napětí nakrátko ± 10% při 75 °C	4 %
Zapojení vinutí	Yzn1
Vývody primárního vinutí	svorníky M12
Vývody sekundárního vinutí	svorníky M12
Maximální hladina akustického výkonu L <sub>WA</sub>	47 dB
Rozchod koleček (čtvercový)	520 mm
Svorníková oka na vývody sekundárních vinutí vhodná pro připojení hliníkových kabelových ok včetně šroubů z nerezové oceli odpovídající délky a včetně podložek pro proudovodný spoj	svorníková oka s 1 šroubem M12 na fázi
Maximální celková váha	650 kg
Maximální rozměry	900 x 670 x 1400 mm

$$Z_T = \frac{u_K}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} = \frac{4}{100} \cdot \frac{400}{100000} = 0,0016\Omega \quad (2.1.1.5)$$

## Impedance přívodního vedení

Objekt je napájen třemi druhy venkovního vedení. Jejich délky a impedance jsou uvedené v tabulce 2-2.

Tabulka 2-2-Délky a impedance jednotlivých vedení

Typ lana	Délka [m]	Impedance [ $\Omega$ /km]
AES 4x70mm <sup>2</sup>	420	0,4482
AlFe 3x50+30 mm <sup>2</sup>	240	0,7810
AlFe 4x70 mm <sup>2</sup>	100	0,5734

$$Z_{AES\ 4x70} = l \cdot Z = 0,420 \cdot 0,4482 = 0,1182\ \Omega \quad (2.1.1.6)$$

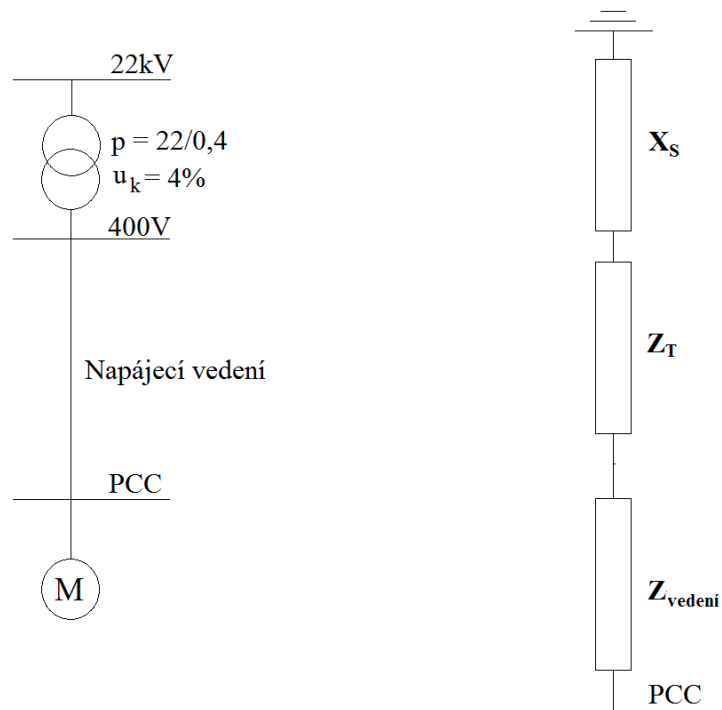
$$Z_{AlFe\ 3x50+30} = l \cdot Z = 0,240 \cdot 0,7810 = 0,1881\ \Omega \quad (2.1.1.7)$$

$$Z_{AlFe\ 4x70} = l \cdot Z = 0,100 \cdot 0,5734 = 0,0573\ \Omega \quad (2.1.1.8)$$

$$Z_{vedení} = Z_{AES\ 4x70} + Z_{AlFe\ 3x50+30} + Z_{AlFe\ 4x70} = 0,3637\ \Omega \quad (2.1.1.9)$$

### Výpočet zkratového výkonu v místě připojení

Celková impedance do místa připojení nového spotřebiče, je dána součtem dílčích impedancí pro nadřazení síť, transformátor a napájecí vedení. Při výpočtu transformátoru byla jeho impedance již stanovena na hladinu 400V, impedanci nadřazené soustavy je ještě nutné přepočítat přes převod transformátoru. Je nutné spočítat impedanci jak pro minimální zkratový výkon sítě, tak i pro maximální.



Obrázek 2-3- Náhradní schéma sítě

$$Z_c = Z_{vedení} + Z_T + X_{Smax,min} \cdot \frac{1}{p^2} \quad (2.1.1.10)$$

$$Z_{cmin} = 0,3637 + 0,0016 + 0,72 \cdot \frac{1}{\left(\frac{22}{0,4}\right)^2} = 0,3656 \Omega \quad (2.1.1.11)$$

$$Z_{cmax} = 0,3637 + 0,0016 + 1,812 \cdot \frac{1}{\left(\frac{22}{0,4}\right)^2} = 0,366 \Omega \quad (2.1.1.12)$$

$$S''_{kPCC} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_k = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{cmax,min}} \quad (2.1.1.13)$$

$$S''_{kPCCmin} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot I''_{kmin} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot \frac{1,1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,3656} = 481,411 \text{ kVA} \quad (2.1.1.14)$$

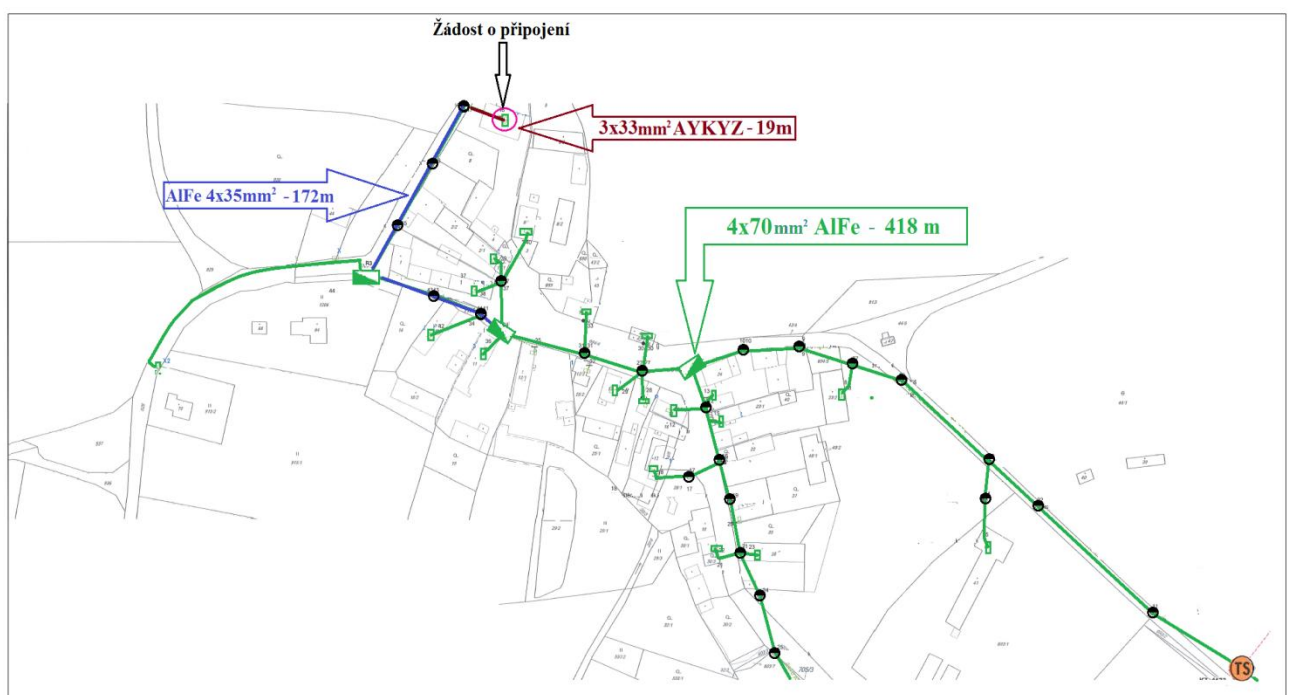
$$S''_{kPCCmax} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot I''_{kmax} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot \frac{1,1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,3660} = 480,874 \text{ kVA} \quad (2.1.1.15)$$

Jak plyne z výsledků, tak zkratový výkon nadřazené sítě pro nejpříznivější a nejnepříznivější stav nikterak zásadně neovlivňuje zkratový výkon v místě připojení. Jelikož v tomto případě připojení došlo ke změně charakteru odběru, tak je dotaz u PDS nutný, jak plyne z vývojového diagramu 4-1.

## 2.2 Třebíšov

Druhým zkoumaným připojením je malý katr v obci Třebíšov. Katr je poháněn asynchronním motorem o výkonu  $P_n = 15\text{kW}$  a účinníku  $\cos\varphi = 0,85$ . Převáděcí cesta elektrické energie od transformační stanice vede přes venkovní AlFe lana a kabel viz obrázek.

Rozběhový proud je  $4 \cdot I_n$  a účinník při rozběhu je  $\cos\varphi_k = 0,32$ . Katr z hlediska zpětných vlivů na síť generuje flickr, jedná se o sinusové kývání s frekvencí 6 - 8Hz.



Obrázek 2-4 - Distribuční schéma obce Třebíšov

## 2.2.1 Zadané parametry a výpočet jednotlivých prvků sítě

### Impedance nadřazené sítě

Zadané hodnoty			
$S''_{ks}$ [MVA]	50	$I''_{ks}$ [KA]	1,312

$$S''_{ks} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = \sqrt{3} \cdot 22000 \cdot 1312 = 50 \text{ MVA} \quad (2.2.1.1)$$

$$X_S = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot I_K} \quad (2.2.1.2)$$

$$X_S = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot I_{K\text{min}}} = \frac{1,1 \cdot 22000}{\sqrt{3} \cdot 1312} = 10,65 \Omega \quad (2.2.1.3)$$

### Impedance transformátoru

Jedná se o stejný typ transformátoru jako u minulého připojení v obci Vítinka. Celková impedance transformátoru je tedy  $Z_T = 0,0016 \Omega$

### Impedance přírodního vedení

Jak jsem již uvedl tak objekt je od transformační stanice napájen pomocí kabelu a AlFe lan uvedených v tabulce 2-3.

Tabulka 2-3 - Impedance vedení

Typ lana/kabelu	Délka [m]	Impedance [ $\Omega$ /km]
AYKYz 3x35 mm <sup>2</sup>	19	0,8884
AlFe 4x35 mm <sup>2</sup>	172	1,016
AlFe 4x70 mm <sup>2</sup>	418	0,5734

$$Z_{AYKYz} = l \cdot Z = 0,019 \cdot 0,8884 = 0,0169 \Omega \quad (2.2.1.4)$$

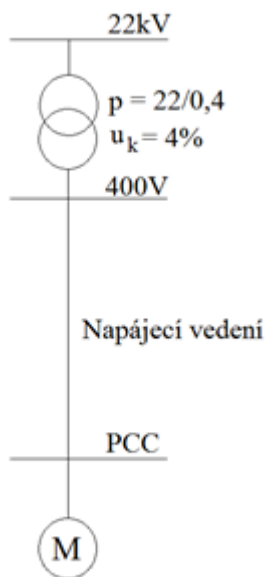
$$Z_{AlFe 3x35} = l \cdot Z = 0,172 \cdot 1,016 = 0,1747 \Omega \quad (2.2.1.5)$$

$$Z_{AlFe 4x70} = l \cdot Z = 0,418 \cdot 0,5734 = 0,2397 \Omega \quad (2.2.1.6)$$

### Výpočet zkratového výkonu v místě připojení

Opět je nutné přepočítat reaktanci sítě přes převod transformátoru. Díky dřívější zkušenosti mohu říct, že reaktance nadřazené sítě nijak zásadně neovlivní celkovou impedanci do místa připojení, a proto ji lze zanedbat. Pro přesnější výpočet jí zde ale uvažují.

Náhradní schéma je stejné jako na obrázku 2-3, opět nesmíme zapomenout přepočítat reaktanci sítě přes převod transformátoru.



$$Z_c = Z_{vedeni} + Z_T + X_S \cdot \frac{1}{p^2}$$

$$Z_c = 0,4313 + 0,0016 + 10,65 \cdot \frac{1}{\left(\frac{22}{0,4}\right)^2} = 0,4364 \Omega$$

$$S''_{kPCC} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_k = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_c}$$

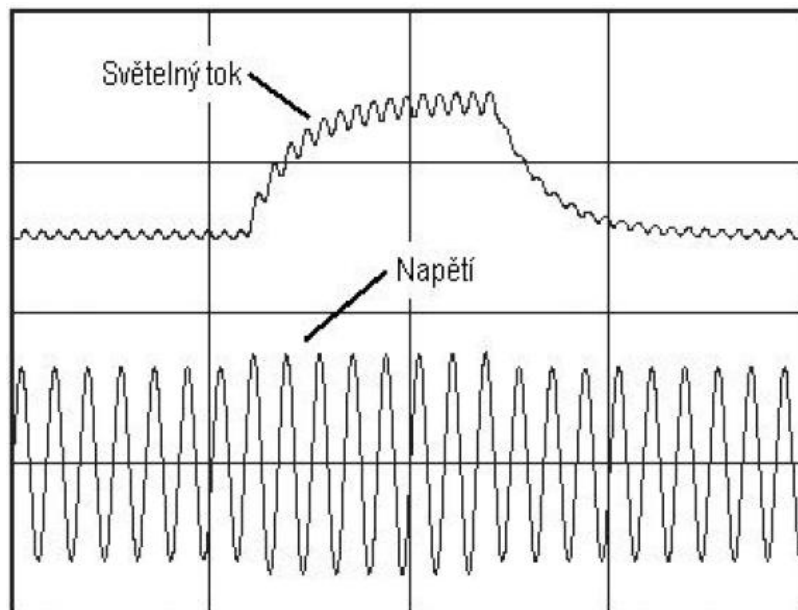
$$S''_{kPCC} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot I''_k = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot \frac{1,1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,4364} = 403,3kVA$$



### 3 Flickr a harmonické zkreslení

#### 3.1 Flickr

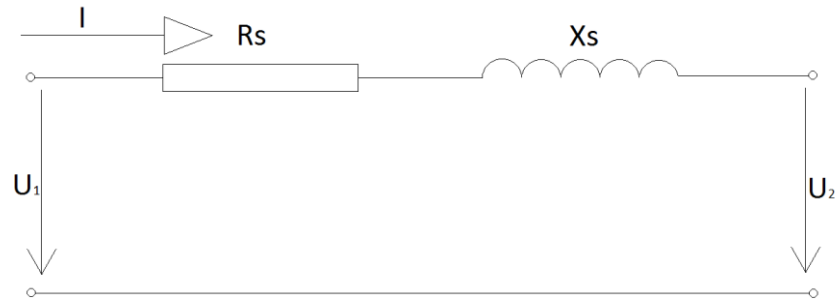
Flickr je nežádoucí jev zkoumaný především v sítích nízkého napětí. Pro správnou funkčnost elektrických spotřebičů zapojených do veřejné distribuční soustavy, jako jsou například žárovky, je nutné zachovat konstantní napětí. Do distribuční soustavy jsou ale zapojeni také odběratele s proměnlivým odběrovým výkonem, kteří svým rychle se měnícím odběrem způsobují měnící se úbytky napětí, což následně vyvolá změnu světelného toku u zmíněných žárovek. Člověk tuto změnu vnímá jako velice rušivý element.



Obrázek 3-1: Vliv kolísání napětí na světelný tok [6]

#### 3.1.1 Teoretický rozbor úbytku napětí

Na obrázku 3-2 je náhradní schéma elektrické sítě. Pro síť jsou uvažované pouze podélné parametry  $R_s$  a  $X_s$ . Z níže popsaného odvození vyplývá, že změny napětí závisí na změnách činného a jalového výkonu  $\partial P$ ,  $\partial Q$ .



Obrázek 3-2: Náhradní schéma sítě

$$U_2 = U_1 - (R_s \cdot I_{\check{c}} + X_s \cdot I_j) \quad (3.1.1.1)$$

Kde:  $P = 3 \cdot U \cdot I_{\check{c}}$

$Q = 3 \cdot U \cdot I_j$

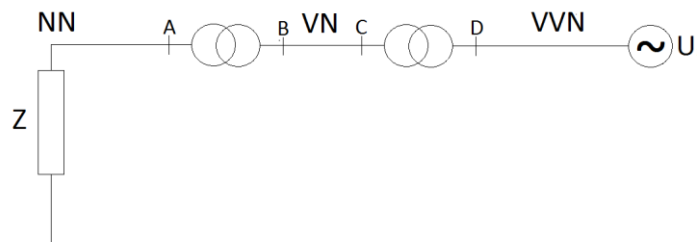
$$U_2 = U_1 - \left( \frac{R_s \cdot P}{3 \cdot U_2} + \frac{X_s \cdot Q}{3 \cdot U_2} \right)$$

$$\partial U_2 \cong \frac{1}{3 \cdot U_2} (R_s \cdot \partial P + X_s \cdot \partial Q)$$

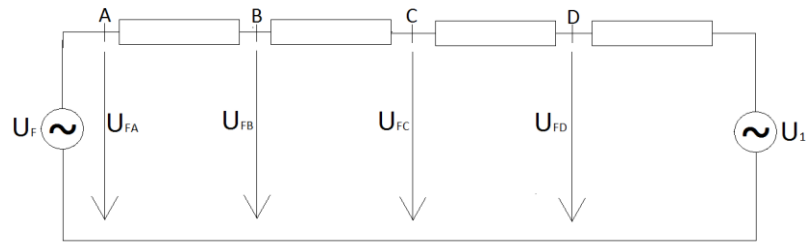
$$\Delta U_2 = R_s \cdot \Delta I_{\check{c}} + X_s \cdot \Delta I_j \quad (3.1.1.2)$$

Zde je vidět, že pokud by byla změna P a Q v čase rovna nule, tak by byla změna napětí rovna nule, nedocházelo by tedy k proměnlivému úbytku napětí.

### 3.1.2 Šíření flikru v síti



Obrázek 3-3: Zdroj flikru v síti NN



**Obrázek 3-4: Náhradní schéma se zdrojem flikru v NN**

Vlastní síť a její náhradní schéma jsem znázornil na obrázcích 3-3 a 3-4. Napětí  $U_f$  je rušení způsobené zařízením s proměnlivým výkonem, v tomto případě zapojeného do hladiny NN. S postupem do vyšších napěťových hladin bude efekt rušení slábnout, protože napětí  $U_f$  se rozdělí v poměru sériových impedancí.

$$U_{FA} : U_{FB} : U_{FC} : U_{FD} = \frac{1}{S_k^A} : \frac{1}{S_k^B} : \frac{1}{S_k^C} : \frac{1}{S_k^D} \quad (3.1.2.1)$$

$$\frac{U_{FA}}{U_{FB}} = \frac{S_k^B}{S_k^A}$$

$$U_{FB} = U_{FA} \cdot \frac{S_k^A}{S_k^B}$$

Krátkodobá míra vjemu flikru  $P_{st}$  je úměrná změně napětí a platí tedy:

$$P_{st}^B = P_{st}^A \cdot \frac{S_k^A}{S_k^B} \quad (3.1.2.1)$$

Tyto vztahy potvrzují, že rušení vyskytující se v síti NN se redukuje v síti VN. Jejich vliv je tedy pouze lokální a není nutné zkoumat jeho účinky na vyšších hladinách napětí, než je hladina NN. Pokud je ovšem zdroj rušení umístěn na vyšší napěťové hladině, tak se jeho hodnota přenosem do nižších hladin takřka nezmění.

### 3.1.3 Výpočet flikru

#### 3.1.3.1 Krátkodobá míra vjemu flikru

Vyhodnocení krátkodobé míry vjemu flikru je možné provést metodami:

- Přímé měření flikrmetrem
- Simulování
- Analytická metoda
- Křivka  $P_{st} = 1$

Přímé měření  $P_{ST}$  je možné provést s využitím flikrmetru. Pouze je-li znám tvar změny napětí, můžeme využít metody simulování. V případě, že změny napětí odpovídají změnám napětí uvedených na obr. 3-6 a jejich četnost je menší než 1s, uijeme analytickou metodu určování  $P_{ST}$ . Přesnost určování krátkodobé míry vjemu flikru touto metodou očekáváme  $\pm 10\%$ . Zvláštním případem jsou pravoúhlé změny napětí o stejné amplitudě  $d$ , které mají mezi spínáním stejné časové intervaly. Pro tyto změny lze použít křivku  $P_{ST} = 1$  uvedenou na obr. 3-5. Perioda sledování pro vyhodnocení je 10 minut.

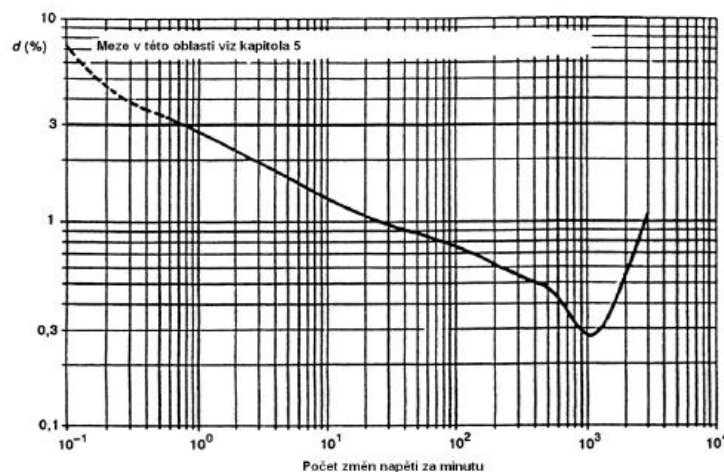
Již zmíněná analytická metoda vychází z doby míry vjemu flikru  $t_f$  vypočtené v sekundách.

$$t_f = 2,3 \cdot (F \cdot d_{max})^{3,2} \quad (3.1.3.1.1)$$

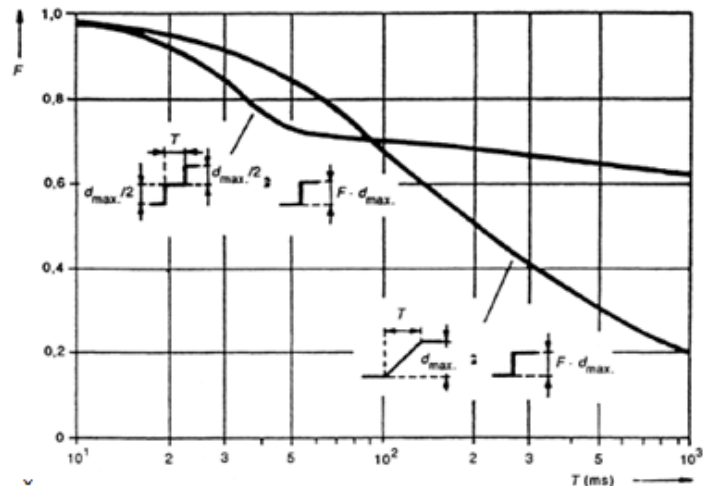
Činitel tvaru  $F$  je dán tvarem charakteristiky změny napětí, jeho hodnotu odečteme z příslušného obrázku níže a  $d_{max}$  je maximální relativní změna napětí v procentech.

Krátkodobá míra vjemu flikru se pak vypočte podle vztahu 3.1.3.1.1, kde  $\sum t_f$  je součet všech dob míry vjemu flikru ze všech period sledování  $T_p$ .

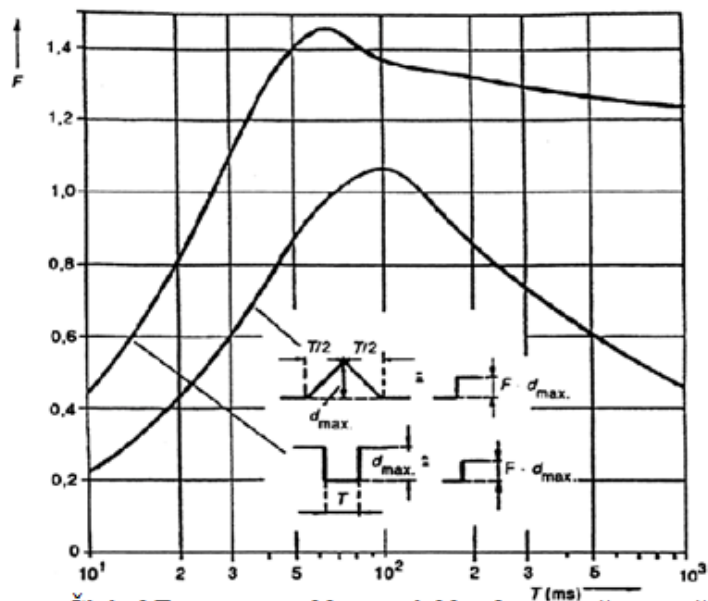
$$P_{st} = \left( \frac{\sum t_f}{T_p} \right)^{\frac{1}{3,2}} \quad (3.1.3.1.1)$$



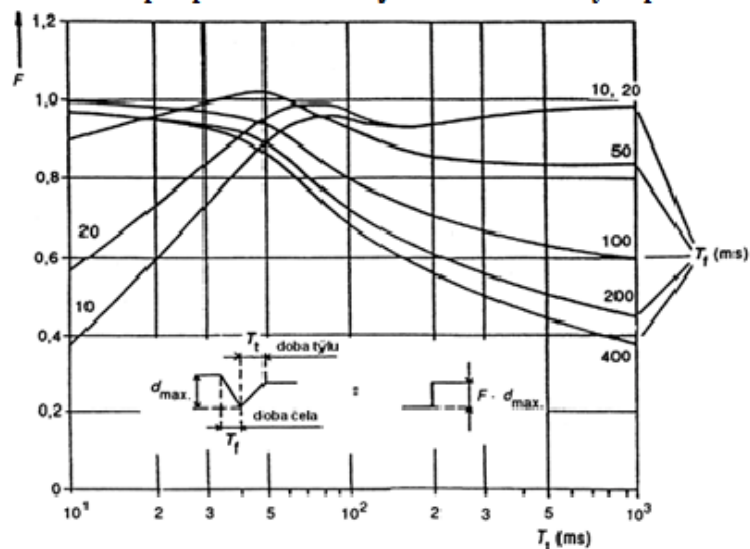
Obrázek 3-5 - Křivka  $P_{st} = 1$ , [1]



Činitel F pro dvojestupňové a lineárně stoupající char. napětí



Činitel F pro pravouhlé a trojúhelníkové změny napětí



Činitel F pro rozběh motoru s různými doby čela

Obrázek 3-6 - Činitele F pro různé změny napětí, [1]

### 3.1.3.2 Dlouhodobá míra vjemu flikru

Dlouhodobá míra vjemu flikru vychází také z  $P_{ST}$ . Přičemž její hodnota je vyjádřena vztahem

$$P_{LT} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N P_{STi}^3}{N}} \quad (3.1.3.2.1)$$

Pro hodnotu  $N$  se používá  $N = 12$ . Plyne to z minimální periody sledování, která je u dlouhodobé míry vjemu flikru 120 min. Tedy  $12 \cdot P_{ST}$ . Je-li provozní cyklus zařízení kratší než 2 hodiny, změří se pouze  $P_{ST}$  každých 10 minut během cyklu a ostatní hodnoty do 120 minut jsou považovány za nulové. Určování hodnoty je nutné vždy, pokud je zařízení v provozu déle než 30 minut.

## 3.2 Harmonické zkreslení

Jelikož ne každý spotřebič zapojený do veřejné elektrické sítě je lineárního typu (při sinusovém napětí odebírá sinusový proud), tak se především v distribučních sítích objevují takzvané vyšší harmonické. Spotřebič připojený například do hladiny NN je v ideálním případě napájen téměř dokonale vyhlazenou sinusoidou napětí. Pokud je to ovšem spotřebič nelineární, tak jeho odebíraný proud je sice periodický, již ale není sinusový. Tento proud lze popsat jako nekonečný součet sinových a kosinových členů.

Harmonickou analýzu zařízení lze provést pomocí tzv. Fourierovi transformace, kdy výsledný signál je dán vztahem

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cdot \cos(k\omega t) + b_k \cdot \sin(k\omega t)] \quad (3.2.1)$$

kde:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (3.2.2)$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \cdot \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) dt = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} x(\omega t) d(\omega t) \quad (3.2.3)$$

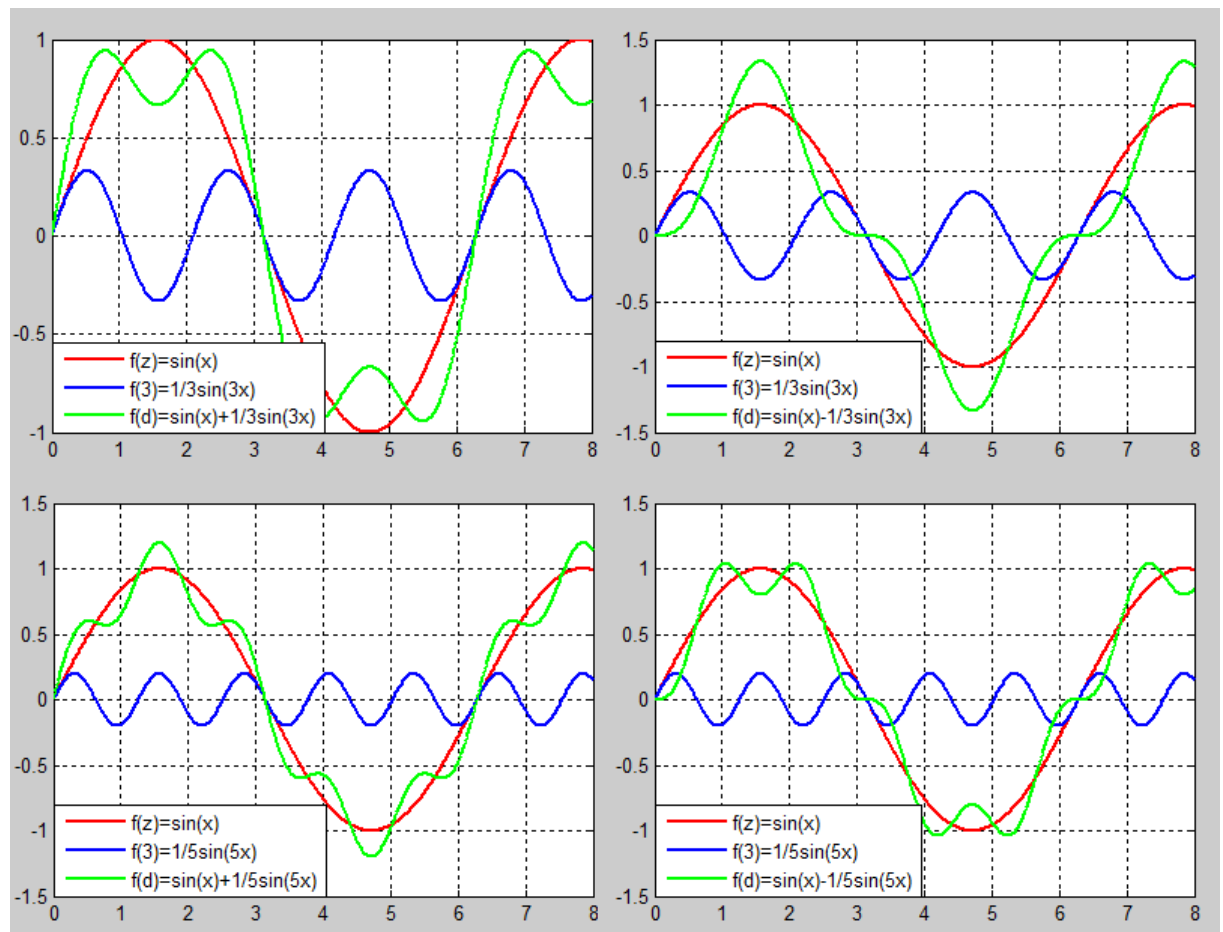
$$a_k = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} x(\omega t) \cdot \cos(k\omega t) d(\omega t) \quad (3.2.4)$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} x(\omega t) \cdot \sin(k\omega t) d(\omega t)$$

[6]

V České republice je síťový kmitočet 50Hz, tuto frekvenci nazýváme základní harmonická. Všechny ostatní frekvence jsou tzv. vyšší harmonické a jsou charakterizovány násobkem vůči základní harmonické. Třetí harmonická se tedy rovná 150Hz. Problém, který způsobují v síti vyšší harmonické, je ten, že při nelineární zátěži tečou harmonické proudy zpět do sítě, kde se superponují na čistý sinusový průběh a zdeformují ho.

V soustavách NN najdeme sítě znečištěné především třetí a pátou harmonickou. Je to z toho důvodu že pro spotřebiče určené pro použití v domácnosti s menším odběrovým proudem než 16A, se stále častěji používá jako napájení impulzní napájecí jednotka, generující s největší amplitudou právě třetí a pátou harmonickou. To jak vypadá síť znečištěná těmito složkami je vidět na obrázku 3-7.

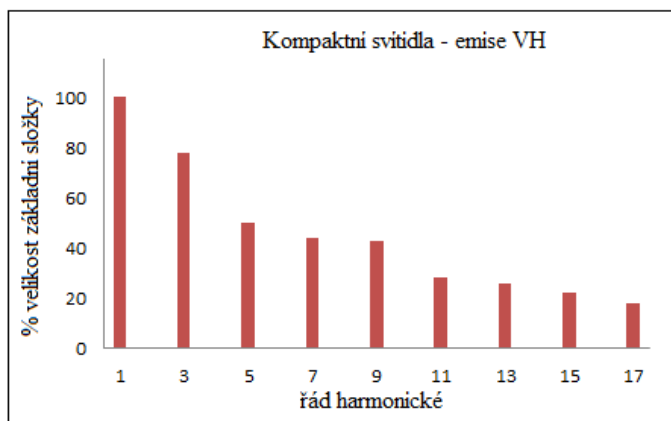


Obrázek 3-7 - Znečištění třetí a pátou harmonickou

Spotřebiče vyskytujícími se v soustavě NN a produkující vyšší harmonické jsou například elektronické předřadníky kompaktních svítidel nebo elektronické regulátory otáček. Svítidla s elektronickým předřadníkem jsou v dnešní době velmi populární a to z mnoha důvodů:

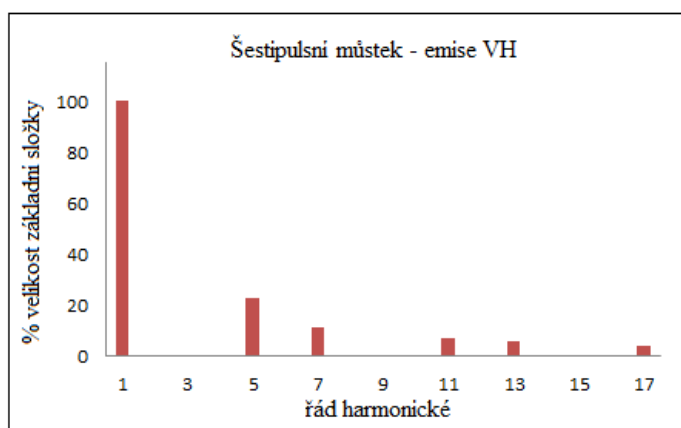
- asi třetinová spotřeba oproti klasické zářivce při stejném osvětlení
- možnost plynulého stmívání
- VF napájení způsobující nechvějící se světlo
- nekolísající intenzita světla i při změnách napětí

Jelikož je předřadník tvořen usměrňovačem a střídačem se SS obvodem, je také zdrojem vyšších harmonických. Frekvenční spektrum je uvedeno na obrázku 3-8, problém nastane, pokud jsou tato svítidla využívána ve větší míře, což mohou být například administrativní budovy nebo hotely.



Obrázek 3-8 - Emise kompaktních svítidel

Druhým jmenovaným spotřebičem mohou být například motory s elektronickou regulací otáček. Tyto pohony můžeme najít například u soustruhů, brusek a podobných spotřebičů, kde je tato schopnost výhodou. Regulace je zde většinou provedeno pomocí trojfázového (šestipulsního) můstku. Nutno podotknout, že tyto druhy spotřebičů mají mnohem větší odběr oproti tzv. úsporným svídlům, a tudíž i větší emitované proudy vyšších harmonických. Na druhou stranu nejsou tak časté, a jejich frekvenční spektrum je také příznivější.



Obrázek 3-9 - Emise šestipulsního můstku



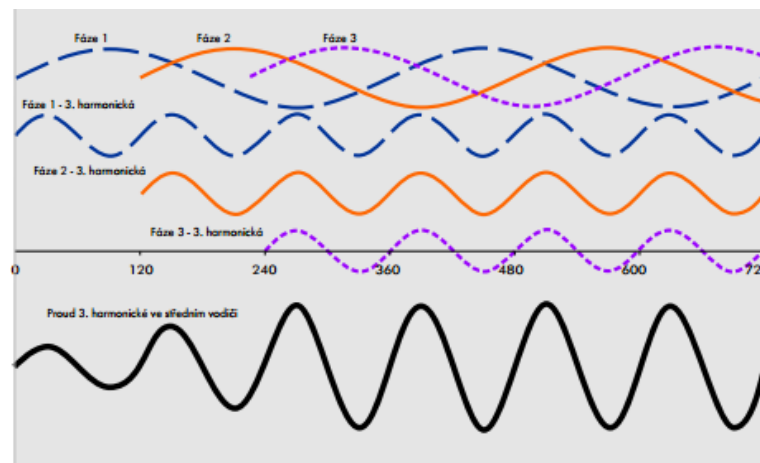
Obsah vyšších harmonických lze stanovit dle dvou hledisek. Jednak lze pomocí tabulky jednotlivě určit pro každou harmonickou je procentní podíl k základní složce, nebo souhrnně pomocí celkového činitele zkreslení  $THD_U$ .

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2}}{U_1} \cdot 100 \quad (3.2.5)$$

### 3.2.1 Problémy způsobené vyššími harmonickými

#### Přehřívání středního vodiče v elektroinstalacích

Pro třífázové napájení platí, že napětí v jednotlivých fázích jsou vzájemně posunuta o  $120^\circ$ . Pro symetrickou zátěž tedy platí, že středním vodičem nebude protékat žádný proud, pro nesymetrickou zátěž bude tento proud vektorovým součtem proudů jednotlivých fází, přičemž bude menší než proud fázový. S tímto ohledem jsou také projektované střední vodiče, kdy je volen menší průřez. Bohužel problém nastává, pokud se v elektroinstalaci objeví třetí harmonická a její násobky. Z obrázku 3-10 je vidět, že proudy třetí harmonické se ve středním vodiči sčítají a jejich ovlivňování je tedy trojnásobné. [7]



Obrázek 3-10 - Sčítání harm. Proudů [7]

#### Rušení systému HDO

Informace HDO je vysílána pomocí impulzního kódu a superponuje se na základní harmonickou. Pokud je síť, tento signál přenášející, nadměrně znečištěná, tak může dojít ke ztrátě informace nebo k jejímu zkreslení.

### **Skin efekt**

Skin efekt je jev, kdy dochází k vytlačování elektrického proudu k okrajům vodiče. Tím se snižuje aktivní průřez vodiče a dochází k jeho oteplení. Tato skutečnost se na základní frekvenci 50Hz téměř neprojeví, pro vyšší harmonické už však význam má a při projektování musí být zohledněn.

### **Přetěžování transformátorů**

Problém s VH je zde dvojího druhu. Jednak se zvyšují ztráty vířivými proudy a také dochází (při zapojení do trojúhelníku) k cirkulaci třetí harmonické. Ztráty vířivými proudy, tedy ztráty naprázdno jsou úměrné kvadrátu frekvence. Díky vyšším harmonickým tyto ztráty tedy rychle rostou. Při zmíněném zapojení do trojúhelníku funguje transformátor jako zádrž třetí harmonické a jejího násobku. Tyto cirkulující proudy musejí pak být zohledněny při návrhu. Celkové přetěžování transformátorů má neblahý účinek na jejich životnost a může to zkrátit životnost o desítky let.

## **4 Možnost připojení do distribuční soustavy**

Postup pro připojení spotřebiče do distribuční soustavy upravuje vyhláška ERÚ č.51/2005 Sb. Jedná se o to, že žadatel musí podat žádost o připojení, následně předložit studii proveditelnosti (pokud je vyžadována), a na konec uzavřít smlouvu o připojení s provozovatelem distribuční soustavy.

Pokud jsou součástí odběrného místa třífázové spotřebiče, popřípadě spotřebiče s vyšší náročností na kvalitu elektrické energie, je třeba ověřit, zda jsou tyto spotřebiče chráněny proti negativním vlivům některých jevů v distribuční soustavě. Tímto mám na mysli především:

- ztráta napětí jedné fáze u třífázových spotřebičů
- přepětí a podpětí u spotřebičů citlivých na velikost napětí
- změna frekvence u spotřebičů citlivých na  $\Delta f$

Typicky můžeme za tyto spotřebiče označit např. počítače, satelity, tel. ústředny (přepětí), ledničky a ovládací relé (podpětí).

Pro připojení do sítě o úrovni NN, jak už jsem řekl, rozhoduje provozovatel distribuční soustavy o podmínkách připojení. Hlavními zjišťovacími údaji jsou:

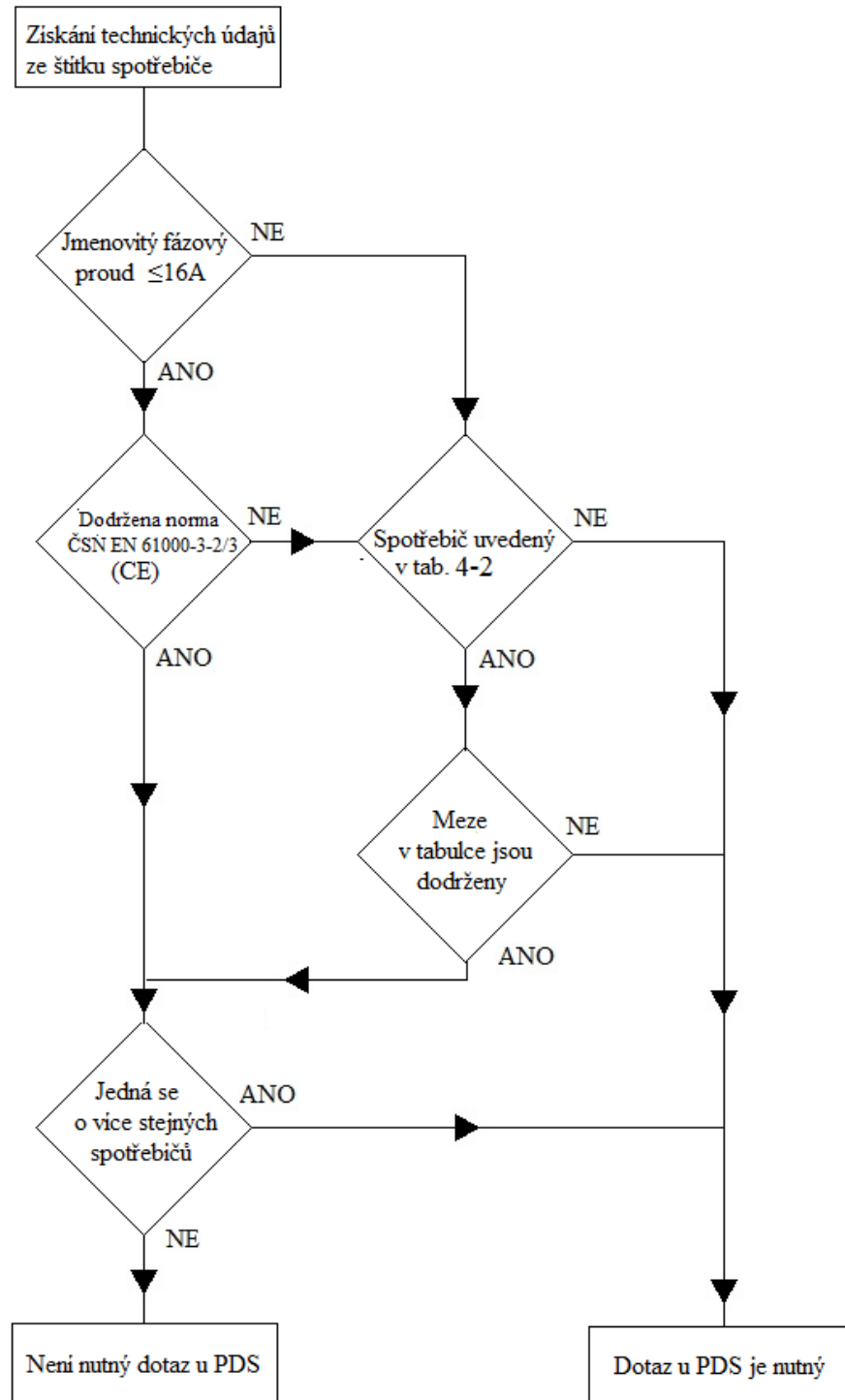
- adresa odběrného místa, situační plánec
- rezervovaný příkon, požadovaná hodnota hlavního jističe
- požadovaná kvalita elektřiny, spolehlivost a max. doba přerušení dodávky
- požadované datum připojení
- charakter odběru

Charakterem odběru je myšleno, zda se jedná o domácnost typu A-D nebo o maloodběratele el. energie (mimo domácnosti) MOP viz tabulka 4-1.

**Tabulka 4-1 - Typy domácností [10]**

A	STANDARDNÍ SPOTŘEBIČE DO 16 A, KTERÉ MAJÍ OZNAČENÍ CE A SPLŇUJÍ ČSN EN 61000-3-2/3, ČSN EN 61000-3-2, ČSN EN 61000-3-3, OHŘEV VODY (MIMO PRŮTOKOVÉ OHŘÍVAČE), OSVĚTLENÍ A EL. SPOTŘEBIČE PŘIPOJOVANÉ POHYBLIVÝM PŘÍVODEM (NA ZÁSUVKY) NEBO PEVNĚ PŘIPOJENÉ, PŘIČEMŽ PŘÍKON ŽÁDNÉHO SPOTŘEBIČE NEPŘESAHUJE 3,5 KVA
B	ELEKTRICKÉ VYBAVENÍ JAKO U STUPNĚ „A“, KDE SE K VAŘENÍ A PEČENÍ POUŽÍVAJÍ EL. SPOTŘEBIČE O PŘÍKONU VĚTŠÍM NEŽ 3,5 KVA
C	ELEKTRICKÉ VYBAVENÍ JAKO U „A“ NEBO „B“ KDE SE PRO VYTÁPĚNÍ (AKUMULAČNÍ, TEPELNÉ ČERPADLO, PŘÍMOTOPNÉ) NEBO KLIMATIZACI POUŽÍVAJÍ ELEKTRICKÉ SPOTŘEBIČE JEJICHŽ SPOTŘEBA JE MĚŘENA U JEDNOTLIVÝCH ODBĚRATELŮ
D	ELEKTRICKÉ VYBAVENÍ JAKO U „A“, „B“ NEBO „C“ S DALŠÍMI ELEKTRICKÝMI SPOTŘEBIČI, KTERÉ MOHOU OVLIVNIT CHOD SÍTĚ
MOP	ÚDAJE OBDOBNĚ JAKO PRO DOMÁCNOSTI, JMENOVITĚ PAK ZAŘÍZENÍ/SPOTŘEBIČE S OZNAČENÍM CE A S PROUDY $>16A$ A $\leq 75A$ , KTERÉ SPLŇUJÍ ČSN EN 61000-3-11 a ČSN EN 61000-3-12 A DÁLE JMENOVITĚ OSTATNÍ ZAŘÍZENÍ, KTERÁ NESPLŇUJÍ TYTO PŘEDPOKLADY

Ověřit si nutnost dotazovat se u provozovatele DS na připojení nového spotřebiče, lze z vývojového diagramu na obrázku. Jen je nutné dodat, že pro změnu druhu odběru a pro zvyšování rezervovaného příkonu (jistice), je dotaz u PDS nutný.



Obrázek 4-1 - Dotazování u PDS

## 4.1 Meze pro připojení bez dotazu u PDS

Evropská i mezinárodní normalizace pokrývá jednotlivé spotřebiče s proudem do 16 A. Tyto spotřebiče mají označení CE. I přes toto označení však může dojít (při nakoupení více spotřebičů s označením CE) ke zpětným rušivým vlivům na síť. Zda je dotaz u provozovatele distribuční soustavy nutný nebo ne je naznačeno na obrázku 4-1.

V další části je k vidění tabulka pro různé spotřebiče s jejich mezními parametry, kdy ještě není nutné dotazovat se pro připojení u provozovatele distribuční soustavy. Spotřebiče v této tabulce uvedené, jsou zde z důvodu jejich širokého rozšíření.

Pro doplnění tabulky ještě uvádím maximální přípojné výkony pro elektrické osvětlení.

- Žárovky a halogenová svítidla
  - Bez řízení svítivosti 12 kW (max. 4 kW/fáze)
  - S řízením svítivosti 1,8 kW/zařízení
- Zářivky 5 kW/zařízení
- Světelné varhany 1,8 kW/zařízení (max. 0,6 kW/fáze)

**tabulka 4-2 - Maximální přípojný výkon různých zařízení, hodnoty použity z [10]**

Zařízení s částmi výkonové elektroniky			
Způsob připojení	Max. přípojný výkon		
L-N	1,3 kVA		
L-L	1,9 kVA		
L-L-L-(N)	3,8 kVA		
Zařízení s proměnným odběrem			
četnost $r$ [1/min]	způsob připojení		
	L-N	L-L	L-L-L-(N)
$500 < r \leq 1000$	0,4 kW	1 kW	2 kW
$100 < r \leq 500$	0,6 kW	1,5 kW	3,2 kW
$50 < r \leq 100$	1 kW	2,4 kW	4,8 kW
$10 < r \leq 50$	1,2 kW	2,9 kW	5,8 kW
$5 < r \leq 10$	1,7 kW	4,3 kW	8,7 kW
$2 < r \leq 5$	2,3 kW	5,6 kW	11,3 kW
$1 < r \leq 2$	2,9 kW	7,3 kW	14,7 kW
$r \leq 1$	4 kW	10 kW	20 kW
Elektrotepelná zařízení s $r \leq 1$			
Způsob připojení	Max. přípojný výkon		
L-N	4 kW		
L-L	10 kW		
L-L-L-(N)	20 kW		
Elektrické pohony			
Způsob připojení	Max. přípojný výkon		
L-N	1,3 kVA		
L-L-L-(N)	3,8 kVA		
Mezní hodnoty pro rozběhový proud			
četnost $r$ [1/hod]	způsob připojení		
	L-N	L-L-L-(N)	
$r \leq 1$	24 A	41 A	
$1 < r \leq 25$	20 A	33 A	
$25 < r \leq 50$	16 A	26 A	
$50 < r \leq 100$	12 A	21 A	
Motory přímo připojované do sítě			
četnost $r$ [1/hod]	způsob připojení		
	L-N	L-L-L-(N)	
$r \leq 1$	1,1 kW	3 kW	
$1 < r \leq 25$	0,75 kW	2,2 kW	
$25 < r \leq 100$	0,55 kW	1,5 kW	
Elektrosvářečky			
Způsob připojení	Nejvyšší zdánlivý výkon při sváření		
L-N	2 kVA		
L-L	5 kVA		
L-L-L-(N)	9 kVA		

## 4.2 Možnost připojení ve vztahu k ČSN EN 61000-3-3

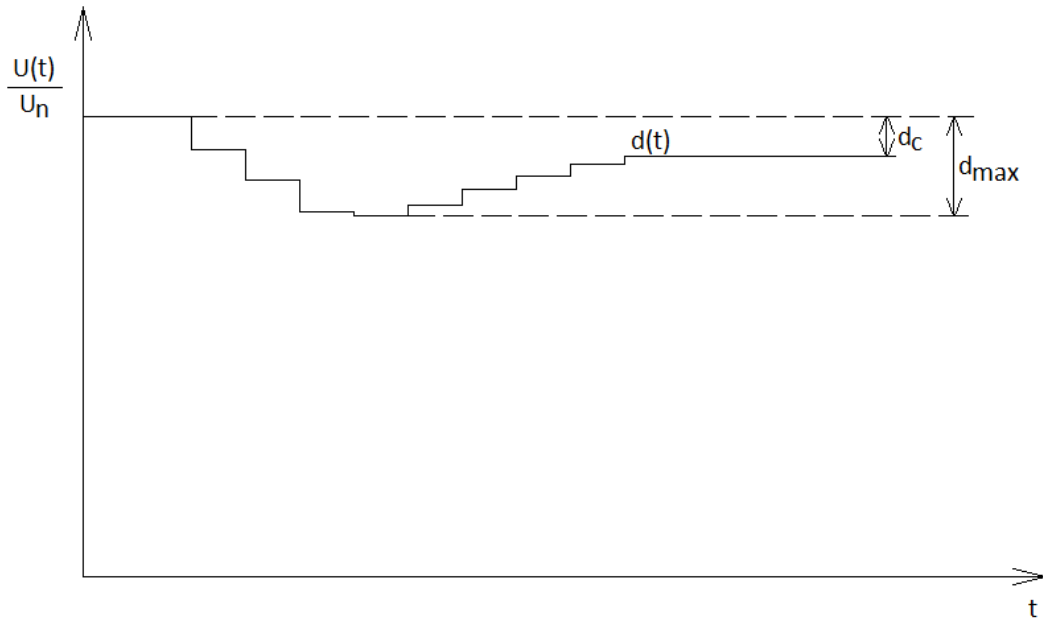
V tomto bodě bych rád provedl rozbor normy EN61000-3-3. Norma se zabývá omezováním napětí a flikru v distribuční soustavě. Přesněji řečeno, uvádí meze změn napětí, které mohou vyvolat zařízení připojená do veřejné distribuční sítě. Zde mám na mysli elektrické spotřebiče se vstupním fázovým proudem  $\leq 16A$  připojených na fázovou hodnotu napětí 230-250V. Ovšem pro potřeby mé diplomové práce potřebuji zkoumat zařízení s fázovým proudem  $\leq 75A$ . Těmto zařízením vyhovuje norma ČSN EN 61000-3-11, a proto se budu odkazovat především na ní.

### 4.2.1 Meze EMC zařízení z hlediska kolísání napětí a flikru

V tabulce 4-3 jsem uvedl mezní hodnoty pro zařízení, aby výrobce zařízení mohl prohlásit shodu s normou IEC 61000-3-3. Tyto hodnoty jsou měřeny na svorkách zkoušeného zařízení.  $P_{ST}$  a  $P_{LT}$  jsou již zmíněné krátkodobá a dlouhodobá míra vjemu flikru a ostatní údaje jsou popsány v obrázku 4-2.

Tabulka 4-3 - Meze EMC, hodnoty čerpány z [3]

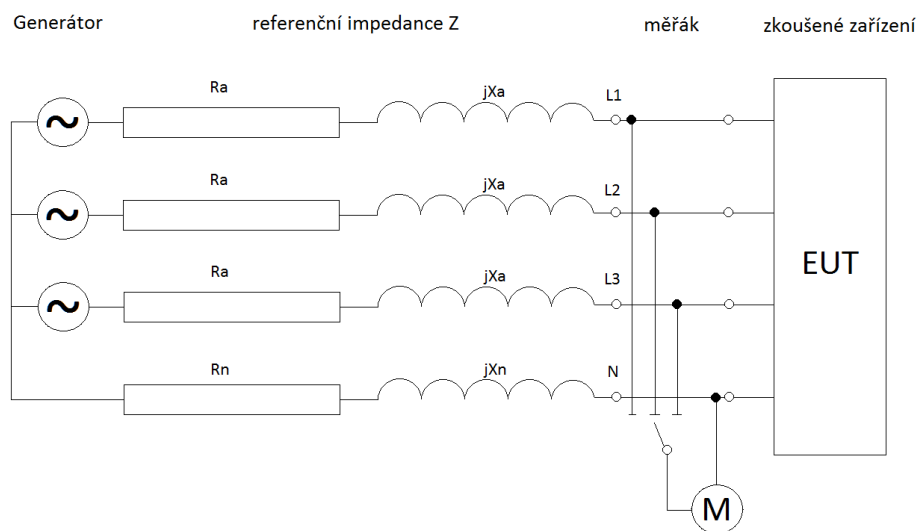
$P_{ST}$	$\leq 1$	
$P_{LT}$	$\leq 0,65$	
$d_{(t)}$	$\leq 3,3\%$ po dobu delší než 0,5s	
$d_{(c)}$	$\leq 3,3\%$	
$d_{MAX}$	$\leq 4\%$	
	$\leq 6\%$	ruční spínání
		- aut. spínání častěji než 2xdenně se zpožděným opětovným zapnutím nebo ručním opětovným zapnutím
		- ruční spínání
$\leq 7\%$	zařízení obsluhované pokud je zapnuté	
	Zařízení automaticky nebo ručně zapínané ne častěji než 2xdenně	



Obrázek 4-2 - Ilustrativní graf  $d_c$ ,  $d_{max}$

Hodnoty  $P_{ST}$  a  $P_{LT}$  se neuvažují pro ruční spínání a požadavky se nevztahují na změnu napětí způsobenou nouzovým spínáním a nouzovým přerušením.

Na výše zmíněné hodnoty je zařízení zkoušeno dle schématu uvedeném na obr. 4-3. Zařízení musí být zkoušeno za nejnepříznivějších podmínek na ovlivňování sítě, přičemž ale nesmíme použít jiné nastavení, než je uvedeno v návodu k použití.



Obrázek 4-3 - Zkušební schéma [3]

Generátor má 230V fázového napětí, přičemž tato hodnota je udržována v rozmezí  $\pm 2\%$ . Frekvence je 50 Hz s tolerancí  $\pm 0,5$  Hz. Jednotlivé složky referenční impedance jsou:

$$R_a = 0,24\Omega \quad jX_a = 0,15\Omega \quad (50\text{Hz})$$

$$R_N = 0,16\Omega \quad jX_N = 0,1\Omega \quad (50\text{Hz})$$



Pro zařízení se jmenovitým proudem větším než 16 A platí pravidlo, že referenční impedanci nahradíme tzv. testovou impedancí  $Z_{test}$ , která může být nižší než referenční impedance. Děláme to proto, abychom našli optimální zkušební impedanci pro měřené zařízení. Při hledání testové impedance musíme brát zřetel na to, že úbytek napětí, které dané zařízení způsobí, musí být v rozsahu 3-5%. Dále pak musíme zachovat poměr induktivní složky impedance k reaktivní složce, stejný jako je u referenční impedance tj. 0,5 až 0,75.

Pokud jsme pro měření použili jinou než referenční impedanci, je nutné provést přepočítání naměřených hodnot dle vztahů 4.2.1-4.

$$d_c = d_{ctest} \cdot \frac{Z_{ref}}{Z_{test}} \quad (4.2.1)$$

$$d_{max} = d_{maxtest} \cdot \frac{Z_{ref}}{Z_{test}} \quad (4.2.2)$$

$$P_{ST} = P_{STtest} \cdot \frac{Z_{ref}}{Z_{test}} \quad (4.2.3)$$

$$P_{LT} = P_{LTtest} \cdot \frac{Z_{ref}}{Z_{test}} \quad (4.2.4)$$

Jestli-že však nastane situace, že zařízení nevyhoví mezím uvedeným v tabulce 4-3, musí výrobce určit maximální hodnotu impedance sítě, do které bude zařízení připojováno. Minimální hodnota ze čtyř níže uvedených vztahů je maximální přípustná hodnota impedance DS.

$$Z_{s1} = Z_{ref} \cdot \frac{\text{přípustná mez } d_{max}}{d_{max}} \quad (4.2.5)$$

$$Z_{s2} = Z_{ref} \cdot \frac{3,3\%}{d_c} \quad (4.2.6)$$

$$Z_{s3} = Z_{ref} \cdot \left( \frac{1}{P_{ST}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (4.2.7)$$

$$Z_{s4} = Z_{ref} \cdot \left( \frac{0,65}{P_{LT}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (4.2.8)$$

Druhá možnost je zkoušet zařízení s impedancí:

$$Z_{test} = 0,25 + j0,25 \quad \text{pro jednofázové připojení}$$

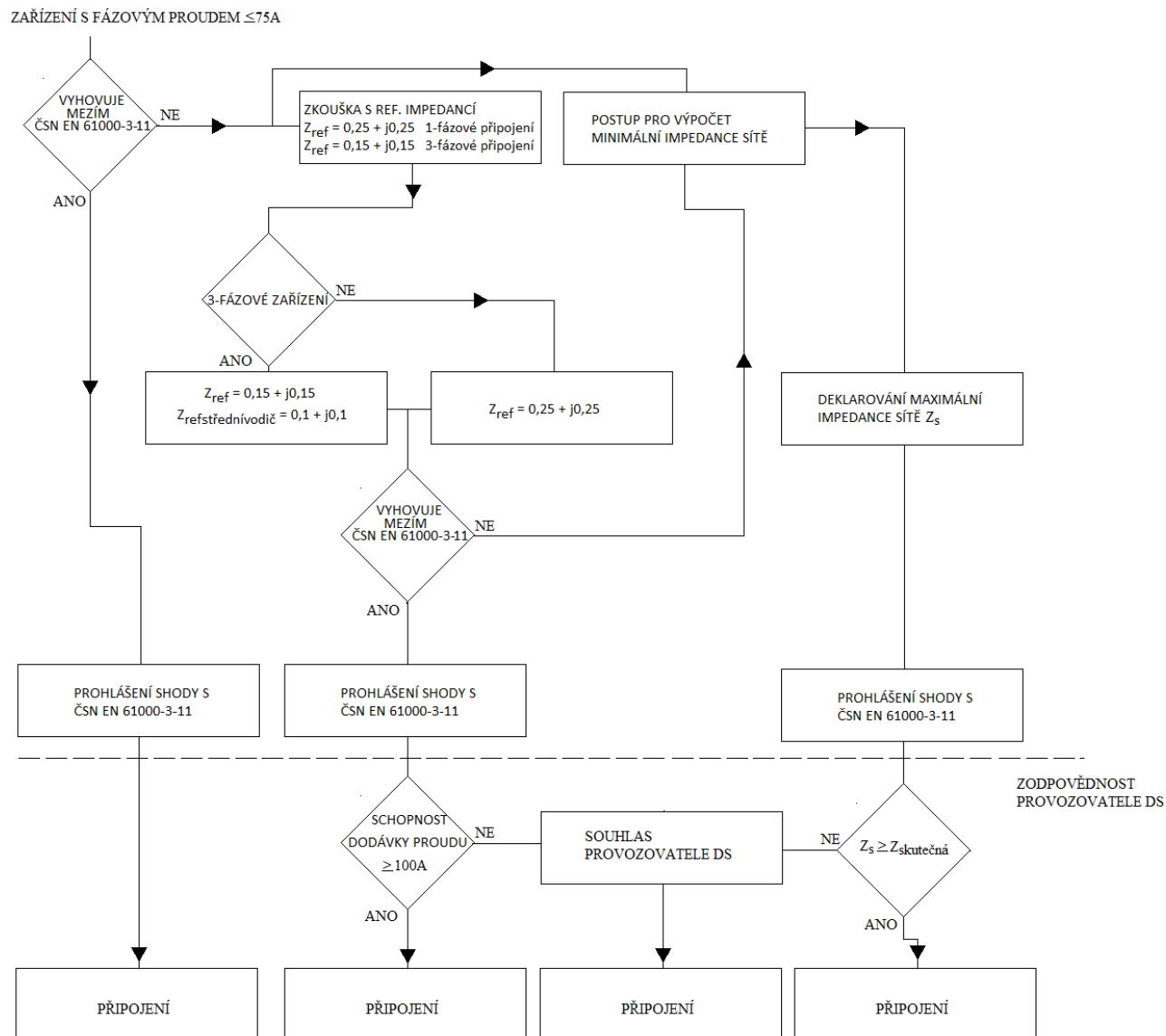
$$Z_{test} = 0,15 + j0,15 \quad \text{pro třífázové připojení}$$

$$Z_{test} = 0,1 + j0,1 \quad \text{pro střední vodič}$$

Distribuční síť, do které se bude zařízení zkoušené podle této impedance připojovat, musí ovšem mít schopnost dodávky fázového proudu větší než 100A. [3]

Pokud se využije těchto dvou principů pro prohlášení shody s normou ČSN EN61000-3-3, musí to být uvedeno v návodu pro použití. Zařízení pak může být do sítě připojeno na základě konzultace s provozovatelem DS, pokud je to ovšem požadováno.

Pro názornost jsem vypracoval vývojový diagram k prokázání shody s ČSN EN 61000-3-11.



Obrázek 4-4 - Vývojový diagram pro posouzení shody s ČSN EN 61000-3-11

### 4.3 Možnost připojení ve vztahu k EN61000-3-2

Tato norma se zabývá ovlivňováním sítě vyššími harmonickými, kterou jsou emitovány od jednotlivých spotřebičů zpět do sítě. Pokud zařízení není v souladu s touto normou, je nutný souhlas s připojením u provozovatele distribuční soustavy.

#### 4.3.1 Druhy řízení vyvolávající vyšší harmonické

Norma přesně specifikuje, v jakém případě lze dané řízení el. spotřebiče uskutečnit. Vycházíme zde ze symetrického a nesymetrického řízení a půlvlnného usměrnění.

Půlvlnné usměrnění a nesymetrické řízení je možné provést jen za splnění jedné z následujících tří podmínek.

- Jedná se o jediné možné řešení, odhalující možné nebezpečné podmínky
- Řízený příkon  $\leq 100W$
- Řízený spotřebič je připojen dvoužilovou ohebnou šňůrou, je přenosný a určený pro krátkodobé použití

I po splnění jedné z těchto třech podmínek však můžeme užít nesymetrické řízení pouze k řízení motorů.

Symetrické řízení je možné užít pro řízení příkonu topných článků, kdy příkon sinusového průběhu  $\leq 200W$ , dále pak pro profesionální zařízení za splnění určitých podmínek. Pro symetrické řízení profesionálního zařízení musí být splněna buď jedna z výše uvedených podmínek, nebo nesmí být překročeny příslušné meze za předpokladu, že je nutné přesně řídit teplotu ohříváče s časovou konstantou  $\leq 2s$  a není jiná ekonomicky dostupná možnost.

Za předpokladu splnění jednoho z výše definovaných způsobů řízení je možné pokračovat v postupu k nalezení shody s ČSN EN61000-3-2. Zařízení musí dále vyhovět mezím uvedeným v další kapitole.

#### 4.3.2 Meze EMC z hlediska emisí proudu harmonických

Pro správné určení mezních hodnot harmonických jsou všechna zařízení rozdělena do čtyř skupin A až D. Pro každou skupinu jsou pak stanoveny maximální hodnoty vyšších harmonických, které zaručují, že zařízení nebude nepřiměřeně znečišťovat síť po jeho připojení. Rozdělení jednotlivých zařízení spolu s jejich limitními hodnotami jsem uvedl v tabulce 4-4.

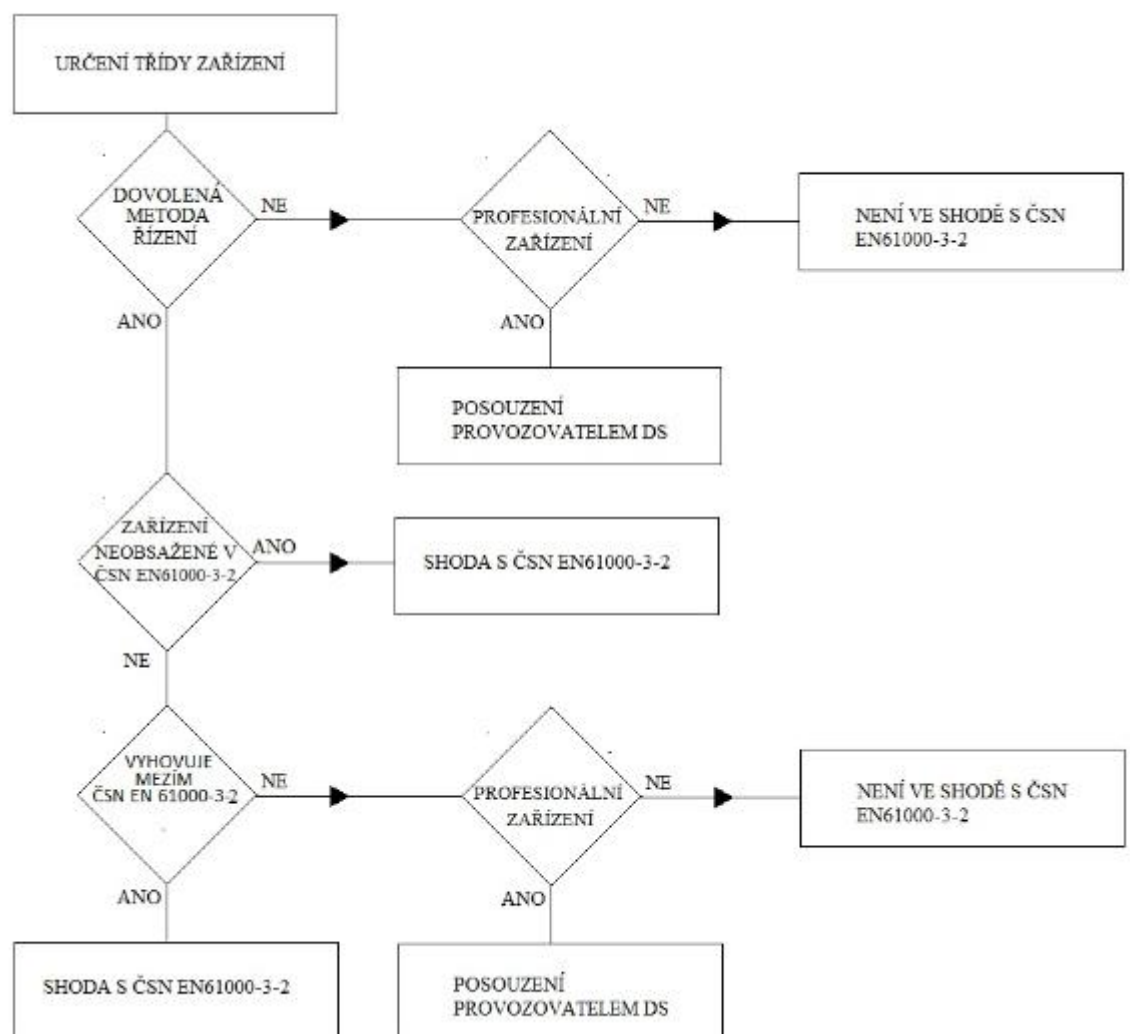
Tabulka 4-4 - Limitní hodnoty z hlediska EMC, hodnoty použity z [2]

A		B		
symetrická trojfázová zařízení		přenosná nářadí		
domácí spotřebiče, kromě spotřebičů třídy D		oblouková svářečka, která není profesionálním		
nářadí kromě přenosných nářadí				
stmívače pro žárovky				
zvuková zařízení				
řád harmonické n	max. dovolený proud [A]	řád harmonické n	max. dovolený proud [A]	
2	1,08	2	1,62	
3	2,3	3	3,45	
4	0,43	4	0,645	
5	1,14	5	1,71	
6	0,3	6	0,45	
7	0,77	7	1,155	
9	0,4	9	0,6	
11	0,33	11	0,495	
13	0,21	13	0,315	
15 ≤ n ≤ 39 liché harmonické	0,15 · 15/n	15 ≤ n ≤ 39 liché harmonické	0,225 · 15/n	
8 ≤ n ≤ 40 sudé harmonické	0,23 · 8/n	8 ≤ n ≤ 40 sudé harmonické	0,345 · 8/n	
C		D		
světelná zařízení		osobní počítače a monitory		
		televizní přijímače		
řád harmonické n	max. proud vyjádření ze vstupního proudu základní složky [%]	řád harmonické n	max. proud na watt [ma/W]	max. proud [A]
2	2	3	3,4	2,3
3	30 · λ	5	1,9	1,14
5	10	7	1	0,77
7	7	9	0,5	0,4
9	5	11	0,35	0,33
11 ≤ n ≤ 39 liché harmonické	3	13 ≤ n ≤ 39 liché harmonické	3,85/n	viz. A

V běžné praxi najdeme také zařízení, které tato norma neobsahuje. Nejsou pro ně tedy žádné limitní hodnoty v této normě specifikované. Jedná se o:

- Zařízení s jmen. výkonem ≤ 75W, jiné než světelné
- Profesionální zařízení se jmenovitým celkovým výkonem ≥ 1kW
- Symetricky řízené ohřívací prvky se jmenovitým výkonem ≤ 200W
- Nezávislé stmívače se jmenovitým výkonem ≤ 1kW

Norma dále stanovuje přesné zkoušecí postupy pro různá zařízení, jejich zkušební konfiguraci, dobu sledování a podobně. Pro jednodušší reprodukci schvalovacího procesu v souladu s ČSN EN61000-3-2 jsem vypracoval zkrácený vývojový diagram. Jak z něj plyne tak profesionální zařízení nemusí pro připojení splnit žádnou z výše jmenovaných mezí. Pokud jí ovšem nesplní, musí mít toto zařízení v návodu na použití uvedený požadavek na vyžádání souhlasu s připojením od dodavatele elektřiny. Tento krok musí zákazník samozřejmě splnit.



Obrázek 4-5 – Vývojový diagram pro shodu s ČSN EN 61000-3-2

## 4.4 Posuzování provozovatelem DS

Pokud nastane situace, že dotaz u provozovatele distribuční soustavy na připojení nového zařízení je nutný (viz vývojový diagram), tak je na řadě postup pro posouzení zpětných vlivů na síť. V praxi probíhá vše ve vývojovém programu E-Vlivy, který má ve své struktuře zaimplementované všechny nutné podmínky pro připojení, a na jehož základě vlastně PDS rozhodne. Pro názornost jsem zde uvedl postup pro připojení početní metodou.

### 4.4.1 Posuzování EMC ve vztahu k flickru

Při posuzování flickru lze vycházet z hodnot uvedených v tabulce 4-5. Tato tabulka byla zhotovena na základě dlouholetých zkušeností s přístroji v této tabulce uvedenými. Musíme samozřejmě zohlednit, zda už v síti neexistuje problém s flickrem. Poměr  $S_{kv}/S_r$  je poměr zkratového výkonu v místě připojení k zdánlivému příkonu spotřebiče.

Tabulka 4-5 - Posuzování flickru dle zkratových výkonů [4]

Typ přístroje/zařízení		Příklad	Potřebný poměr $S_{kv}/S_r$ při připojení k			
			1~230V (1~400V)		3~400V	
Elektrické teplo	s malou četností spínání	topení, zkoušené průtokové ohřivače, svářečky <sup>1)</sup>	>120 >600 (>400)	>150	>30 >250	
	s velkou četností spínání	bodové svářečky <sup>2)</sup> kopírky, laserové tiskárny, faxy, řízení spínáním na určitý počet period	>1000 (>500)		>250	
Osvětlovací zařízení	ručně spínané	osvětlení hal, osvětlení sálů	>400		>100	
	stálá změna světla	světelné varhany, disco	>1000		>250	
Motory <sup>3)</sup>	ručně spínané	přenosné nářadí	přímé sepnutí >500	rozběhové zařízení >250	přímé sepnutí >125	rozběhové zařízení >70
	automat. spínané s malou četností	chladicí přístroje, tepelná čerpadla, výtahy v obytných domech	>600	>300	>150	>75
	automat. spínané s velkou četností	výtahy v komerční oblasti	>1000	>500	>250	>125
		katry, řezací stolice			>500 (až 1500) >250 (až 750)	

Pokud v této tabulce není spotřebič uveden nebo jí nevyhovuje, jsou limity krátkodobé a dlouhodobé míry vjemu flickru uvedeny v tabulce 4-6. Postup pro jeho určování jsem již uvedl v kapitolách krátkodobá a dlouhodobá míra vjemu flickru.

Tabulka 4-6 - Limitní hodnoty EMC

Přípustné limity rušení	$P_{lt}$	$P_{st}$	$d/d_{max}$
Síť	0,8	1	-
Příspěvek všech odběratelů	0,5	0,72	-
Příspěvek jednoho odběratele	0,4	0,6	0,03/0,04

#### 4.4.2 Posuzování EMC ve vztahu k vyšším harmonickým

Toto posuzování lze rozdělit do tří částí. Pokud se jedná o relativně malé zařízení vyhovující vztahu, že poměr zkratových výkonů v místě připojení k zdánlivému příkonu spotřebiče nepřekročí hodnotu 33, a současně vyhovuje mezím uvedeným v tabulce 4-7, pak lze spotřebič připojit.

$$\frac{S}{S_k} \leq 0,03$$

Tabulka 4-7 - Maximální proud VH [4]

Řád harmonické n	Přípustný harmonický proud %	Řád harmonické n	Přípustný harmonický proud %	Řád harmonické n	Přípustný harmonický proud %
3	21,6	15	0,7	27	0,6
5	10,7	17	1,2	29	0,7
7	7,2	19	1,1	31	0,7
9	3,8	21	0,6	≥33	0,6
11	3,1	23	0,9		
13	2	25	0,8	sudé	≤8/n nebo ≤0,6

Přípustný harmonický proud je definován vztahem 4.2.2.1

$$I_{h\%} = \frac{I}{I_h} \cdot 100 \quad (4.2.2.1)$$

Jestli-že zařízení dle této podmínky nevyhoví, tak je posuzováno dle parametrů uvedených v tabulkách 4-8 a 4-9, podle toho zda se jedná o jednofázové nebo třífázové zařízení. Pro jednofázová zařízení musíme ještě respektovat, že pro připojení jednofázového zařízení na fázové napětí je zkratový poměr brán jako  $S_k/3S$  a pro jednofázové zařízení připojené na sdružené napětí je poměr  $S_k/2S$ .

Tabulka 4-8 - Tabulka pro jednofázové zařízení [4]

zkratový poměr je větší než	Přípustný činitel zkreslení % THD	Přípustný harmonický proud %					
		$I_3$	$I_5$	$I_7$	$I_9$	$I_{11}$	$I_{13}$
120	29	25	12	10	7	6	5
175	33	29	16	11	8	7	6
250	39	34	18	12	10	8	7
350	46	40	24	15	12	9	8
450	51	40	30	20	14	12	10
>600	57	40	30	20	14	12	10

**Tabulka 4-9 - Tabulka pro třífázové zařízení [4]**

zkratový poměr je větší než	Přípustný činitel zkreslení %  THD	Přípustný harmonický proud %			
		I <sub>5</sub>	I <sub>7</sub>	I <sub>11</sub>	I <sub>13</sub>
120	18	15	12	12	8
175	25	20	14	12	8
250	35	30	18	13	8
350	48	40	25	15	10
450	58	50	35	20	15
>600	70	60	40	25	18

Pokud emisní hodnoty nepřekročí meze v příslušné tabulce pro jednofázová a třífázová zařízení, a relativní hodnoty sudých harmonických jsou  $\leq (16/n)$ , pak lze dát souhlas s připojením. Jestli-že ale tento souhlas není možný, je nutná filtrace harmonických a ustanovení zvláštní smlouvy mezi dodavatelem a odběratelem. Mezní hodnoty se pak vztahují k rezervovanému příkonu odběratele, tj. k činnému proudu tomuto příkonu odpovídající.

Posledním aspektem, který musí provozovatel distribuční soustavy zohlednit je, zda již síť nebyla nadměrně znečištěna ostatními spotřebiteli.

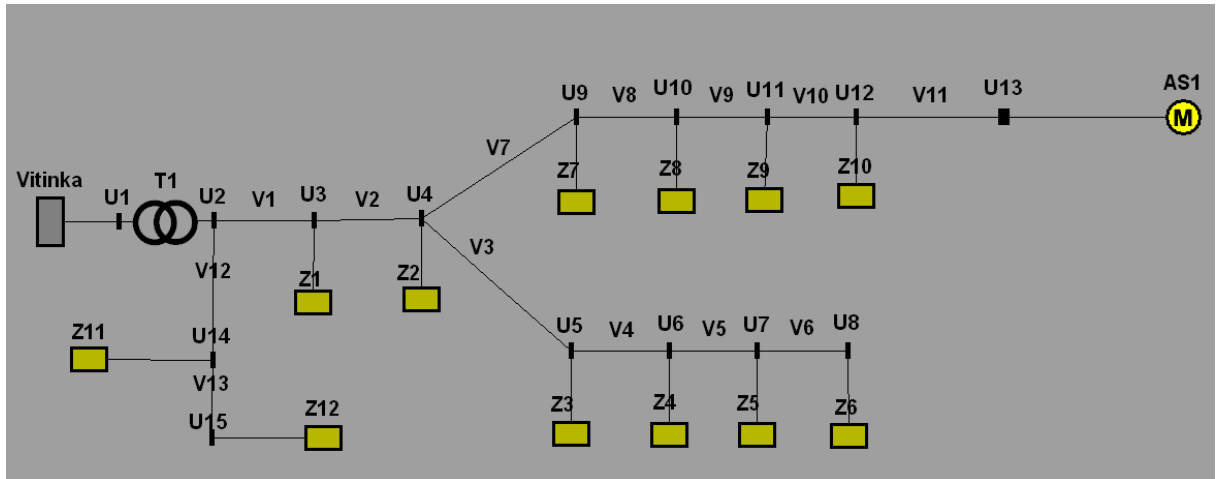
## 5 Simulace v programu E-Vlivy

Při posuzování zpětných vlivů na síť se dnes takřka všude využívá softwarových nástrojů. Jedním z nejrozšířenějších simulačních programů jsou E-Vlivy. Tento software má v sobě zaimplementovány základní normy jakou jsou např. ČSN IEC 1000-2-2, ČSN EN 61000-3-2, ČSN EN 50160 podnikové normy PNE 33 3430. Grafické rozhraní umožňuje bezproblémovou simulaci a její vyhodnocení. Pro zadávání parametru sítě je zde také dostačující knihovna se jmenovitými hodnotami jednotlivých prvků.



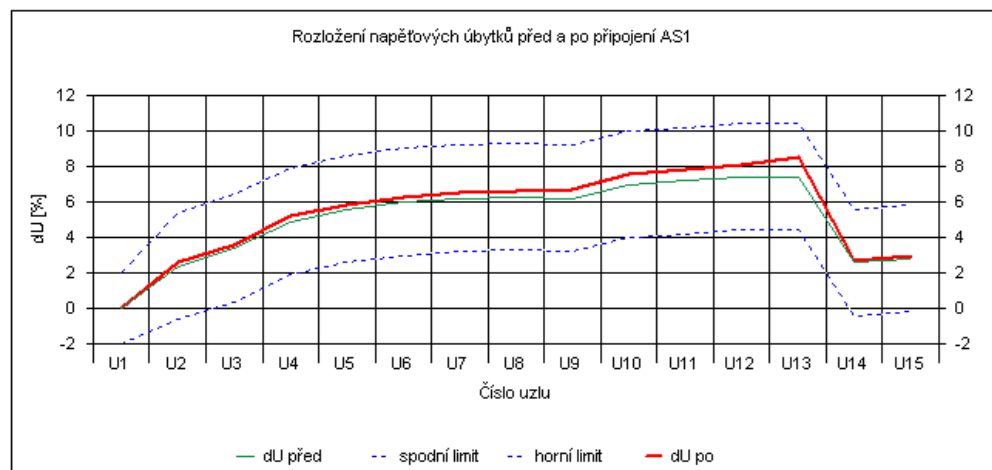
## 5.1 DS Vítinka – Nový Dvůr

Jak jsem již řekl, tak v obci Vítinka byl dotaz u provozovatele distribuční soustavy nutný z důvodu změny charakteru odběru. Tepelné čerpadlo má zabudovaný soft startér, takže úbytky napětí vzniklé jeho spínáním zde také nehrozí a z hlediska vyšších harmonických nemělo smysl tento jev modelovat, neboť k němu dochází jen zřídka a v krátkém časovém úseku. Namodelované schéma je ukázáno na obrázku 5-1.



Obrázek 5-1 - Schéma Vítinka

Graf 5-2 reprezentuje úbytky na jednotlivých prvcích v dané síti. Červená křivka značí, jak se změní úbytky v daných uzlech při připojení nového zařízení, modrá jejich mez. Z grafu je také patrné, že největší úbytek napětí pociťuje odběratel Z10 který je připojen na konci vedení. Pro ilustraci jsem ještě uvedl tabulku proudů a výkonů v jednotlivých uzlech.



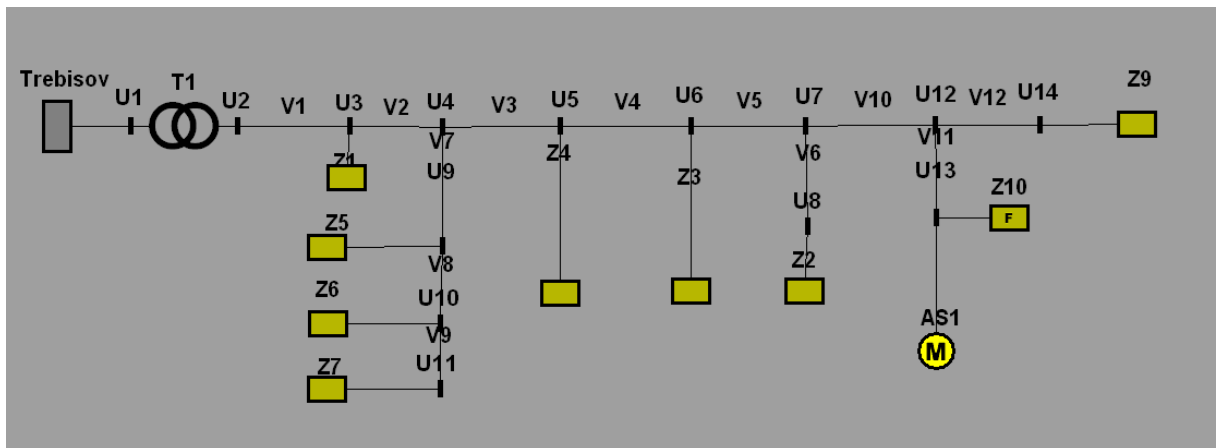
Obrázek 5-2 - Rozložení napětí

**Tabulka 5-1- Proudy a výkony v jednotlivých větvích**

Proudy a výkony - konstantní P								
Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
<b>Vitinka</b>	U1	2,110	152,738	0,727	90,000	-71,458	-36,813	80,383
<b>T1</b>	U1	2,110	152,742	0,064	64,056	-71,458	-36,807	80,380
	U2	116,025	152,742	0,064	64,056	70,327	34,483	78,326
<b>V1</b>	U2	106,127	152,712	0,023	29,165	-64,311	-31,574	71,644
	U3	106,127	152,712	0,023	29,165	63,634	31,196	70,870
<b>Z1</b>	U3	0,336	-25,616	662,085	24,444	0,204	0,093	0,225
<b>V2</b>	U3	105,791	152,707	0,034	29,165	-63,430	-31,103	70,645
	U4	105,791	152,707	0,034	29,165	62,420	30,540	69,491
<b>Z2</b>	U4	5,386	-27,136	40,653	25,914	3,182	1,546	3,538
<b>V3</b>	U4	43,128	153,027	0,036	17,272	-25,516	-12,308	28,330
	U5	43,128	153,027	0,036	17,272	25,327	12,249	28,133
<b>Z3</b>	U5	9,676	-26,972	22,471	25,809	5,683	2,748	6,312
<b>V4</b>	U5	33,452	153,026	0,033	17,272	-19,644	-9,501	21,821
	U6	33,452	153,026	0,033	17,272	19,540	9,469	21,713
<b>Z4</b>	U6	22,166	-26,982	9,761	25,862	12,947	6,276	14,388
<b>V5</b>	U6	11,285	153,042	0,029	17,272	-6,593	-3,192	7,325
	U7	11,285	153,042	0,029	17,272	6,582	3,189	7,314
<b>Z5</b>	U7	4,439	-26,893	48,672	25,786	2,590	1,251	2,877
<b>V6</b>	U7	6,847	153,000	0,061	17,272	-3,992	-1,938	4,438
	U8	6,847	153,000	0,061	17,272	3,984	1,935	4,429
<b>Z6</b>	U8	6,847	-27,000	31,492	25,909	3,984	1,935	4,429
<b>V7</b>	U4	57,278	152,452	0,060	22,949	-33,722	-16,685	37,624
	U9	57,278	152,452	0,060	22,949	33,179	16,455	37,035
<b>Z7</b>	U9	10,778	-27,029	19,997	25,861	6,271	3,040	6,969
<b>V8</b>	U9	46,501	152,331	0,045	22,949	-26,908	-13,416	30,067
	U10	46,501	152,331	0,045	22,949	26,639	13,302	29,776
<b>Z8</b>	U10	23,478	-26,971	9,091	25,837	13,531	6,552	15,033
<b>V9</b>	U10	23,026	151,620	0,022	22,949	-13,108	-6,750	14,744
	U11	23,026	151,620	0,022	22,949	13,075	6,736	14,709
<b>Z9</b>	U11	2,589	-27,030	82,241	25,907	1,488	0,723	1,654
<b>V10</b>	U11	20,438	151,449	0,037	22,949	-11,588	-6,014	13,055
	U12	20,438	151,449	0,037	22,949	11,545	5,995	13,009
<b>Z10</b>	U12	14,927	-26,967	14,213	25,859	8,550	4,144	9,501
<b>V11</b>	U12	5,532	147,169	0,184	8,868	-2,995	-1,851	3,521
	U13	5,532	147,168	0,184	8,868	2,978	1,849	3,505
<b>AS1</b>	U13	5,532	-32,832	38,184	31,831	2,978	1,849	3,505
<b>V12</b>	U2	9,899	153,056	0,030	17,272	-6,016	-2,909	6,683
	U14	9,899	153,056	0,030	17,272	6,008	2,906	6,674
<b>Z11</b>	U14	1,313	-27,144	171,174	26,017	0,795	0,388	0,885
<b>V13</b>	U14	8,586	153,086	0,081	17,272	-5,212	-2,518	5,788
	U15	8,586	153,086	0,081	17,272	5,195	2,513	5,771
<b>Z12</b>	U15	8,586	-26,914	26,093	25,813	5,195	2,513	5,771

## 5.2 DS Třebíšov

Situaci v obci Třebíšov značně stěžuje připojení zmíněného katru. Vzhledem k délce a průřezům použitých vodičů dochází k velkým úbytkům napětí. Celý namodelovaný systém je vidět na obrázku 5-3. Připojovaný katr reprezentuje opět asynchronní motor AS1, generující flikr. Flikr se musí simulovat zvlášť jako další zátěž (zde Z10).

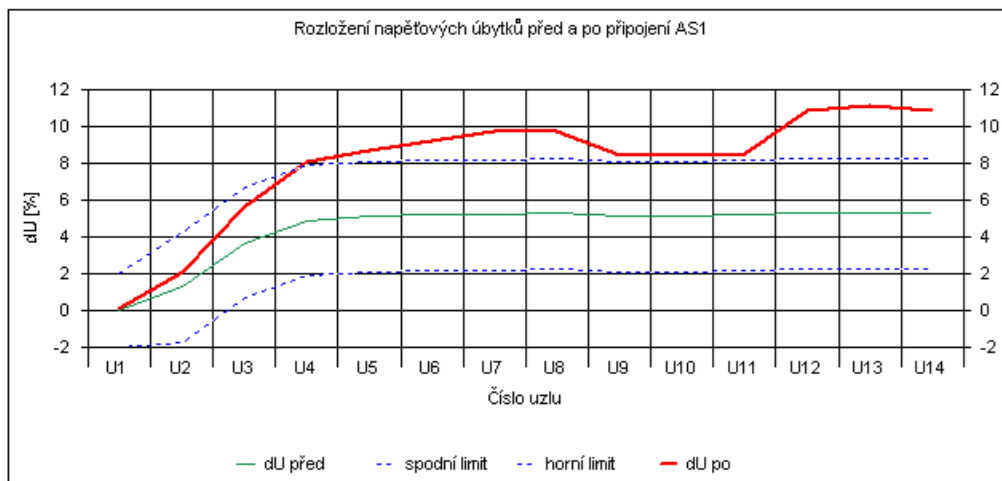


Obrázek 5-3 - Namodelované schéma Třebíšov

Po spuštění simulace, a vyhodnocení výsledků jsem došel k názoru, že současná situace je nevyhovující. S flikrem zde sice problém nebyl, ale úbytky napětí byl v uzlu U12 přes 10%. Vzhledem k tomu že do tohoto bodu je připojen ještě jiný odběratel elektrické energie docházelo by zde k omezení kvality el. energie a k následným stížnostem. Bohužel z historického hlediska je zde katr již dlouhá léta připojen a k opakovaným stížnostem opravdu dochází. Tomuto problému se budu dále věnovat v dalších bodech. Nasimulované hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5-2, grafický úbytek napětí je na obrázku 5-4.

Tabulka 5-2 - Flikr a napětí v uzlech sítě

Uzel	Pst	Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
U1	0,001	U1	21,985	-0,070	0,067	11,831	90,000	45,000
U2	0,029	U2	0,392	-0,925	2,102	0,068	65,507	2,606
U3	0,076	U3	0,377	-0,981	5,705	0,152	44,475	1,161
U4	0,124	U4	0,368	-0,994	8,090	0,244	38,600	0,721
U5	0,140	U5	0,365	-0,992	8,700	0,275	37,523	0,639
U6	0,154	U6	0,363	-0,990	9,175	0,301	36,809	0,585
U7	0,174	U7	0,361	-0,978	9,698	0,341	35,910	0,516
U8	0,174	U8	0,361	-0,972	9,730	0,398	31,857	0,442
U9	0,124	U9	0,367	-0,969	8,355	0,287	35,281	0,613
U10	0,124	U10	0,366	-0,966	8,387	0,331	32,834	0,532
U11	0,124	U11	0,366	-0,948	8,455	0,490	22,536	0,359
U12	0,221	U12	0,357	-0,788	<b>10,869</b>	0,433	31,829	0,406
U13	0,229	U13	0,356	-0,725	<b>11,065</b>	0,449	30,816	0,392
U14	0,221	U14	0,357	-0,786	<b>10,874</b>	0,469	29,410	0,375

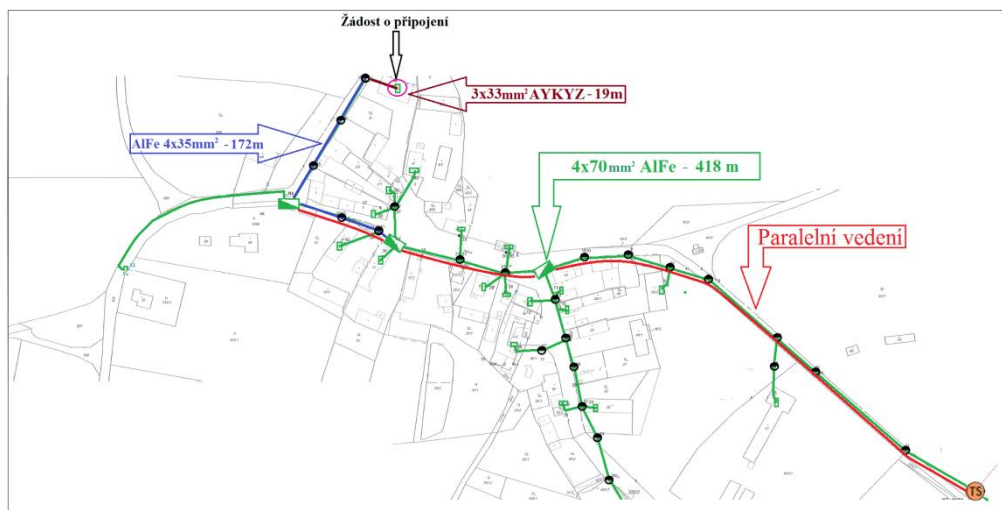


Obrázek 5-4 - Rozložení napětí

### 5.2.1 Třebíšov – zlepšení stávajícího stavu

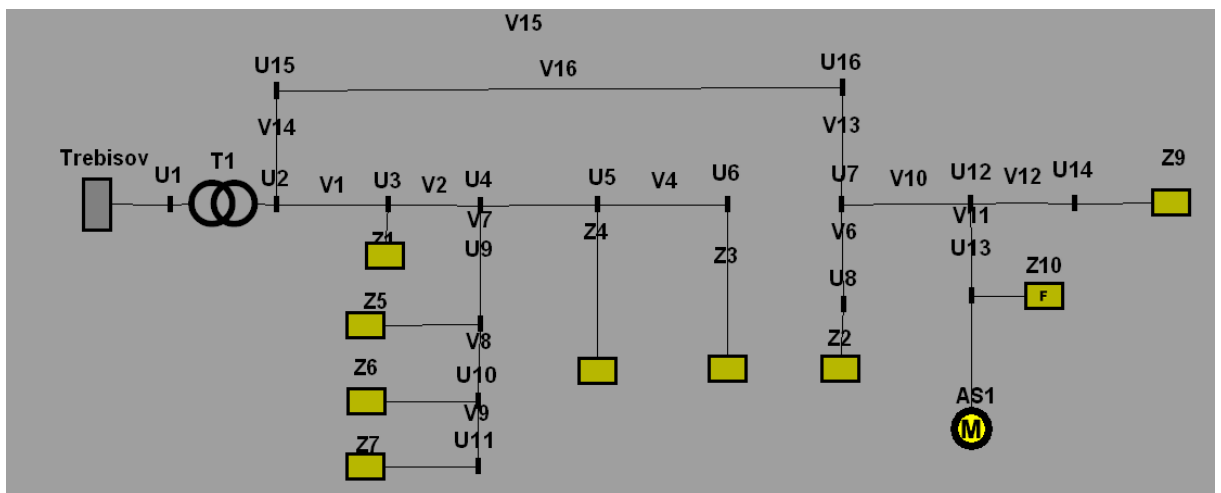
Z dřívějšího rozboru této napájecí sítě plyne, že revitalizace DS v této obci je více než nutná. Jako návrhy pro řešení jsem vybral paralelní napájecí vedení nebo stavbu posilující transformační stanice uprostřed vesnice.

První způsob, tedy paralelní vedení AlFe 70mm<sup>2</sup>, je asi nejlevnější možná varianta. Vedení by bylo zavěšeno na stávající sloupy bez nutnosti jejich vyztužení, s výjimkou koncových sloupů. Paralelní napájení začíná hned za transformační stanicí a končí uprostřed vesnice, viz obrázek 5-5.

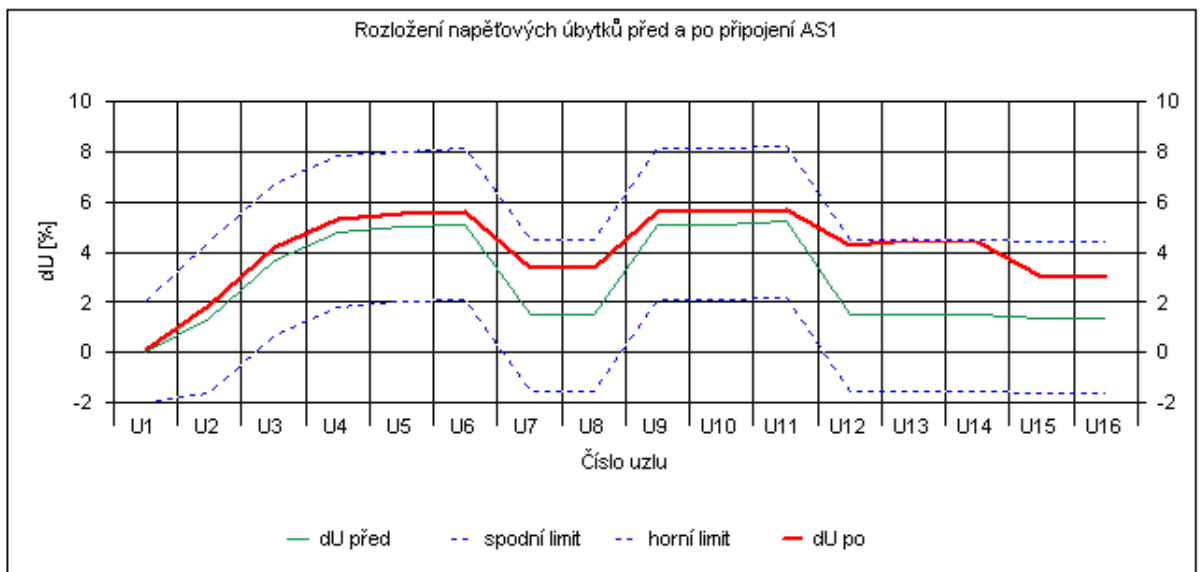


Obrázek 5-5 - paralelní vedení

Nasimulovaná síť je znázorněna na obrázku 5-6 a rozložení úbytků napětí je na grafu 5-7. Z grafu dále plyne, že došlo k markantnímu zlepšení. Za této situace by bylo možné katr připojit, aniž by hrozilo, že dojde k ztrátě kvality elektřiny ve společném napájecím bodě.

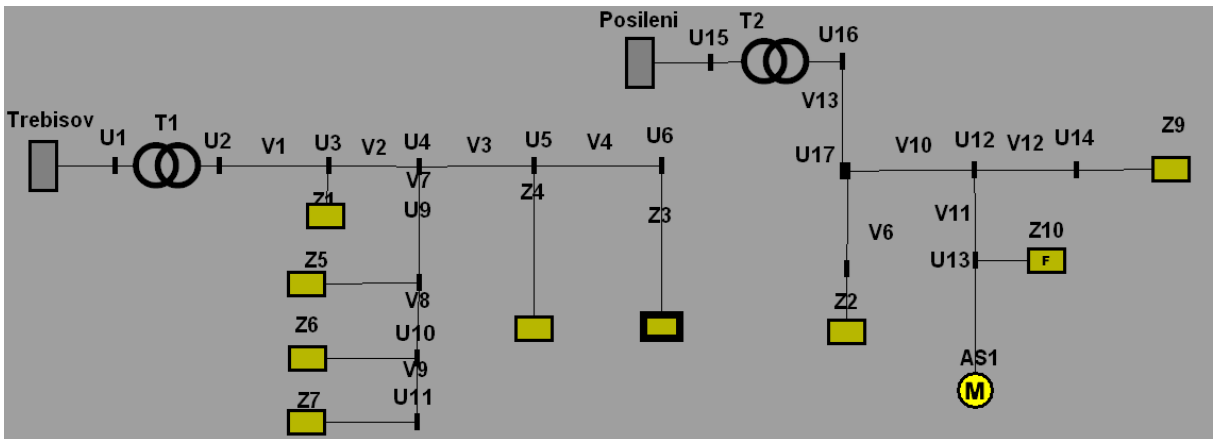


Obrázek 5-6 - Schéma DS Třebíšov, posílení

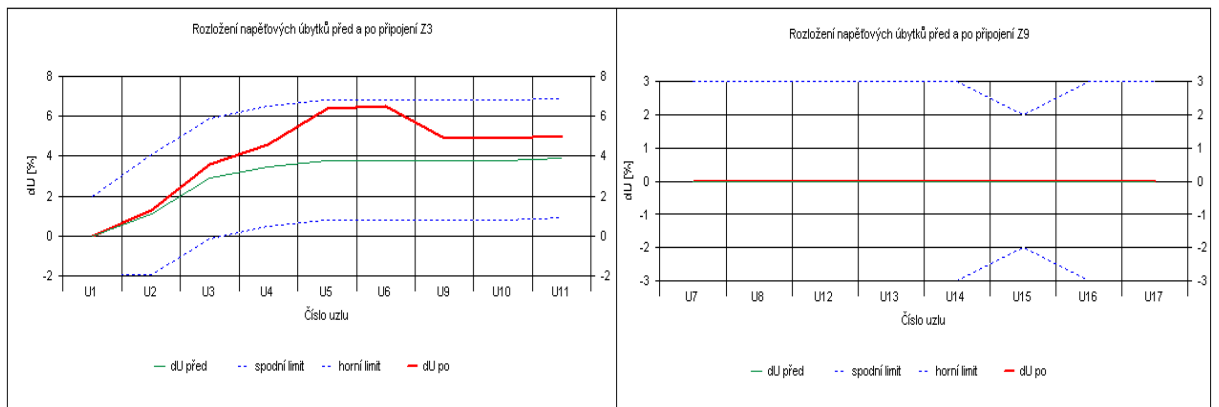


Obrázek 5-7 - Rozložení úbytku napětí - posílení

Druhý možný způsob je zmiňovaná stavba druhé transformační stanice. Její polohu jsem zkušebně nasimuloval do stejného místa, kde končilo paralelní vedení první varianty, vesnice by tedy byla napájena odděleně. Jak je vidět v grafu 5-9, tak opět došlo k vyřešení problému, ovšem umístění TS není optimální. V druhé části vesnice nedochází takřka k žádným úbytkům, kdežto v první části se pohybujeme někdo okolo šesti procent  $d_{max}$ . Proto by bylo lepší situovat TS více směrem k začátku vesnice.



Obrázek 5-8 - Schéma DS Třebíšov, posílení2

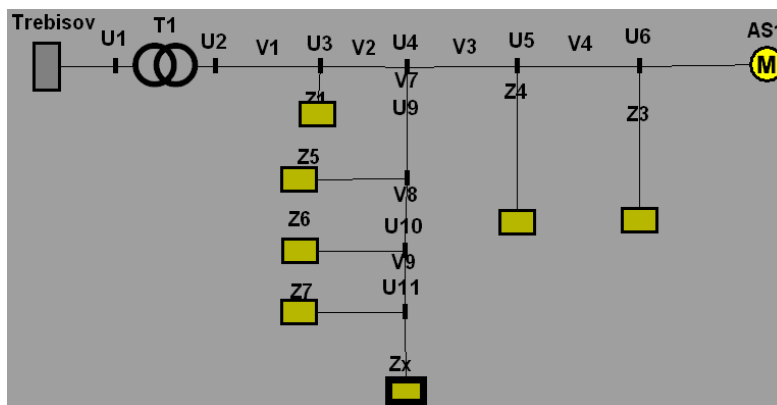


Obrázek 5-9 - Rozložení úbytků napětí - posílení2

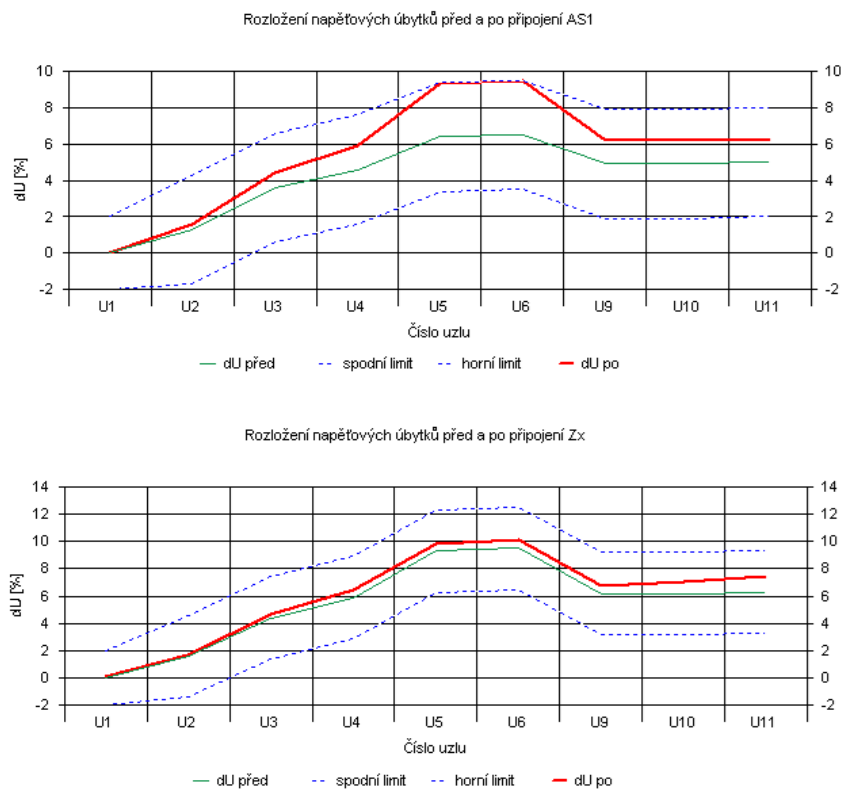
### 5.3 Porovnání možnosti připojení dalších zařízení do stávající DS

Ve zkoumaných obcích jsem zkoušel nasimulovat možnosti dalších budoucích připojení. U obce Třebíšov jsem předpokládal stav po revitalizaci, tj. postavení posilující transformační stanice napájející druhou část vesnice. Pro simulaci jsem si vybral první, problémovější část, kterou jsem doplnil o další možné odběry.

Nejprve jsem zkusil připojit asynchronní motor (AS1) nacházející se na konci sítě a reprezentující spotřebič s elektrickým pohonem. Motor má výkon 6kW a účinník 0,85. Po připojení motoru jsem ještě připojil další zátěž ( $Z_X$ ), konkrétně o výkonu 3,5kW a účinníku 0,95.



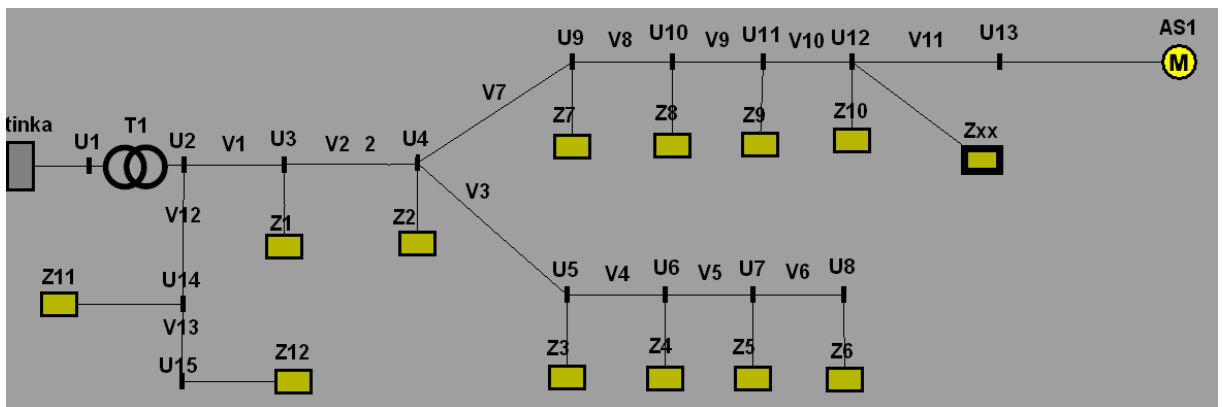
Obrázek 5-10- Třebíšov (nová připojení)



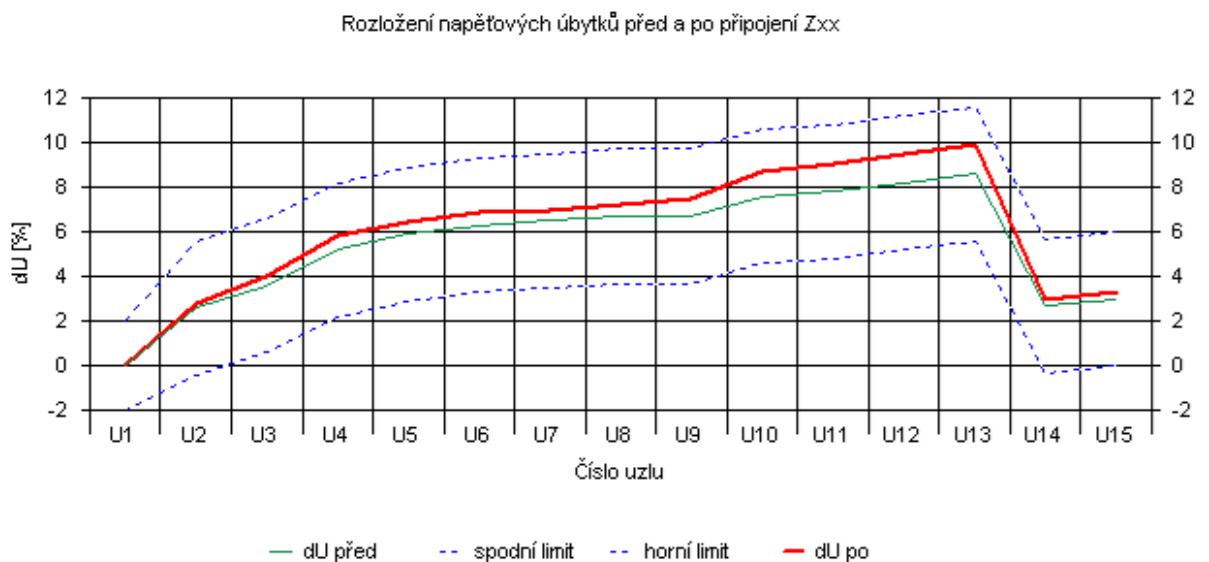
Obrázek 5-11 - Stav po připojení AS1 a Zx

Na obrázku 5-10 je vidět rozložení napěťových úbytků po vedení při připojení AS1 a následně AS1 spolu se  $Z_x$ . Jak je vidět, tak pro dané místo v síti je právě daný odběr tím maximálně možným připojitelným.

Dále jsem v obci Vítinka – Nový Dvůr našel maximální možný připojitelný výkon na rozhraní konce obce a vedení napájecího zmíněné tepelné čerpadlo. Zátěž  $Z_{xx}$  má maximální možný odběrný proud 10A při účinnosti 0,95. Na obrázku 5-12 je opět vidět rozložení napěťových úbytků před a po připojení.



Obrázek 5-12 - Vítinka - Nový Dvůr (nové připojení)



Obrázek 5-13 - stav po připojení  $Z_{xx}$



## 6 Závěr

Jak plyne z názvu, tak moje diplomová práce pojednává o možnostech připojení nových zařízení do distribuční soustavy. Jako hlavní faktory ovlivňující možnost připojení je zde zkoumám flickr a vyšší harmonické.

V teoretické části je podrobněji rozebrán flickr, jeho původ a šíření v síti. Také jsem zde uvedl možnosti zjištění velikosti krátkodobé a dlouhodobé míry vjemu flickru i s početně-grafickým řešením. Dále jsem popsal problém vyšších harmonických, jejich vznik a jejich negativní účinky na síť.

Další uvedená kapitola pojednává o vlastních možnostech připojení do distribuční soustavy. Jsou zde rozebrány normy ČSN EN 61000-3-2 a ČSN EN 61000-3-3 odpovídající vyšším harmonickým a flickru. Dále jsem ještě využil normu ČSN EN 61000-3-11 a to z důvodu, že jsem pro svou diplomovou práci potřeboval pracovat se jmenovitým fázovým proudem do 75A a ne do 16A čímž se zabývá zmíněná ČSN EN 61000-3-3. Pro spotřebitele el. energie jsem vypracoval postup jak si ověřit možnost, zda při připojování nového zařízení do DS je nutný souhlas provozovatele distribuční soustavy. Dále jsem se zaměřil na vlastního provozovatele distribuční soustavy a jeho vyhodnocování, zda zařízení lze připojit nebo ne. Tuto podkapitulu jsem opět rozdělil na flickr a vyšší harmonické. Uvedl jsem zde meze, kdy je připojení ještě přípustné.

Moje praktická část spočívá v tom, že jsem si vybral dvě reálné distribuční soustavy a v nich zkoumal možnost nového připojení. Do místa připojení jsem také počítal zkratový výkon, který vlastně tuto možnost připojení přímo ovlivňuje. Praktický postup při připojování nového zařízení do DS probíhá dnes téměř výlučně v simulačním programu E-Vlivy a proto jsem i já využil tento software.

První vybraná síť se nachází v obci Nový Dvůr-Vítinka. V této obci je nově připojované tepelné čerpadlo o výkonu 3kW, které se nachází až na konci vedení. V této síti jsem nezkoumal ani flickr ani vyšší harmonické a to z důvodu, že asynchronní motor pohánějící čerpadlo má zabudovaný soft-starter a tudíž negeneruje flickr. Účinek vyšších harmonických je vzhledem k rychlosti rozběhu motoru a jejich časovému působení zanedbatelný. Jediným sledovaným parametrem zde byl tedy úbytek napětí na vedení.

Motor svou velikostí spadá do možností připojení bez dotazu u provozovatele DS, ale díky změně charakteru odběru z 'A' na 'C' byl tento dotaz nutný. Po spočítání zkratového výkonu do místa připojení a po porovnání s minimálním možným poměrem zkratového výkonu ku příkonu spotřebiče (viz. tabulka 4-5), jsem vyhodnotil připojení jako možné. Celou

situaci jsem namodeloval také v E-vlivech, kde jsem došel ke stejnému výsledku.

Druhá síť se nachází v obci Třebíšov. Předmětem zájmu je zde již historicky připojený katr, který má neblahý vliv na kvalitu energie v této síti. Vzhledem k velikosti, umístění a funkci tohoto zařízení dochází ke generování flikru a velkým úbytkům napětí. Při vyhodnocení vzhledem ke zkratovému výkonu do místa připojení je tento odběr naprosto mimo limitní hodnoty. To samé se projevilo i při simulaci v E-vlivech. Hodnoty krátkodobé míry vjemu flikru jsou překvapivě v normě ale problém je s velkými úbytky napětí, které způsobuje právě tento odběr.

Pro zlepšení stávající situace jsem uvedl dvě možná řešení. Jedná se buď o paralelní vedení od transformační stanice až zhruba do půlky vesnice, nebo stavba posilující transformační stanice. Obě tyto metody jsem nasimuloval a jsou funkční. Z finančního hlediska by byla výhodnější metoda paralelního vedení, z hlediska kvality el. energie by to byla stavba posilující transformační stanice.

V obou distribučních sítích jsem vybral body, kde by se mohl vyskytnout problém při připojení dalších odběratelů, a do těchto míst jsem nasimuloval maximální možný připojitelný výkon.

## Použitá literatura

### Knihy a písemné zdroje

- [1] ČSN EN 61000-3-3. *Elektromagnetická kompatibilita – omezování změn napětí, kolísání napětí a flikru v rozvodných sítích NN pro zařízení se jmenovitým fázovým proudem  $\leq 16A$ .*
- [2] ČSN EN 61000-3-2. *Elektromagnetická kompatibilita – meze pro emise proudu harmonických (zařízení se jmenovitým fázovým proudem  $\leq 16A$ ).*
- [3] ČSN EN 61000-3-11. *Elektromagnetická kompatibilita – omezování změn napětí, kolísání napětí a flikru v rozvodných sítích NN pro zařízení se jmenovitým fázovým proudem  $\leq 75A$ .*
- [4] PNE 303430-1. *Parametry kvality elektrické energie. Část harmonické a meziharmonické.*
- [5] PNE 303430-2. *Parametry kvality elektrické energie. Část kolísání napětí.*
- [6] Hanzelka, Z.; Bien, A.: *Poruchy napětí, University of Science and Technology, 2005.*
- [7] András, D.: *Kvalita dodávané elektrické energie v sítích NN.*
- [8] Tesařová, M.; Štroblová, M.: *Průmyslová elektroenergetika, Západočeská univerzita 2000*

### www stránky

- [9] <http://home.pilsfree.net/fantom/FEL/MR/MR-kvalitaE-flikr.pdf>
- [10] <http://www.cezdistribuce.cz/cs/uvod.html>
- [11] <http://eru.cz/>

