

<b>REAS ČR, ČEPS, ZSE , VSE</b>	<b>PARAMETRY KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE – ČÁST 1: HARMONICKÉ A MEZIHARMONICKÉ</b>	<b>PNE 33 3430-1</b>
		Druhé vydání
<p><b>Odsouhlasení normy</b></p> <p>Konečný návrh podnikové normy energetiky pro rozvod elektrické energie odsouhlasily tyto organizace: ČEPS, a.s., PRE Praha, a.s., STE Praha, a.s., JČE České Budějovice, a.s., ZČE Plzeň, a.s., SČE Děčín, a.s., VČE Hradec Králové, a.s., JME Brno, a.s., SME Ostrava, a.s. , ZSE Bratislava ,a.s. a VSE Košice a.s.</p> <p>Tato norma stanoví mezní hodnoty, výpočty a způsoby měření harmonických.</p> <p>Tato norma platí pro připojování a provozování elektrických zařízení z hlediska vlivu na elektrizační soustavu 50 Hz.</p> <p>Tato norma neplatí pro spotřebiče pro domácnost, pro které platí norma ČSN EN 61000-3-2.</p> <p>Tato norma neplatí pro řídicí signály hromadného dálkového ovládní, jejichž hodnoty jsou předepsány v PNE 38 2530.</p> <p><b>Nahrazení předchozích norem</b></p> <p>Touto normou se nahrazuje PNE 33 3430-1:1998.</p> <p><b>Změny proti předchozí normě</b></p> <p>Při revizi PNE 33 3430-1:1998 byl změněn název normy na Parametry kvality elektrické energie – Část 1: Harmonické a mezharmionické. Byly opraveny citované normy podle aktuálního stavu. S ohledem na mezharmionické byly opraveny termíny a definice, změněn název a obsah kapitoly 3 a doplněny informace o kompatibilních úrovních. V článku 3.6 byly uvedeny informace o měření a vyhodnocování úrovně harmonických v distribuční síti podle revidované ČSN EN 61000-4-7. Na závěr byla uvedena nová kapitola 8 o metodách měření harmonických a mezharmionických, o nové přístrojové technice určené k měření spektrálních složek v kmitočtovém rozsahu do 9 kHz, které jsou superponovány na základní složku napájecích soustav 50 Hz a o metodách měření kvality energie podle připravované ČSN EN 61000-4-30.</p>		
Ruší: PNE 33 3430-1 z 1998-12-01	Účinnost od: 2004-01-01	

## Předmluva

### Citované normy

ČSN IEC 50(161) Mezinárodní elektrotechnický slovník – Kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita.

ČSN EN 50160 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě

ČSN EN 61000-3-2 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3: Meze – Oddíl 2: Meze pro emise harmonického proudu (zařízení se vstupním fázovým proudem  $\leq 16$  A)

ČSN IEC 1000-1-1 Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 1: Všeobecně. Díl 1: Použití a interpretace termínů a definic.

ČSN IEC 1000-2-1 Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 2: Prostředí. Díl 1: Popis prostředí - elektromagnetické prostředí pro nízkofrekvenční vedené rušení a signály ve veřejných rozvodných sítích.

ČSN EN 61000-2-2 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 2-2: Prostředí – Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály v rozvodných sítích nízkého napětí

ČSN EN 61000-2-4 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 2-4: Prostředí – Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech

ČSN EN 61000-2-12 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 2-12: Prostředí – Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály v rozvodných sítích vysokého napětí<sup>1</sup>

IEC 61000-3-6 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3: Meze – Oddíl 6: Určování emisních mezí pro zátěže deformující napětí v sítích vn a vvn - Základní norma EMC (do ČSN nezavedena)

IEC 61000-3-7 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 3: Meze – Oddíl 7: Určování emisních mezí pro kolísající zátěže v sítích vn a vvn – Základní norma EMC (do ČSN nezavedena)

ČSN EN 61000-4-7 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-7: Zkušební a měřicí technika – Všeobecná směrnice o měření a měřicích přístrojích harmonických a meziharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich – Základní norma EMC

ČSN EN 61000-4-30 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-30: Zkušební a měřicí technika – Metody měření kvality energie<sup>1</sup>

ČSN 33 0050-604 Mezinárodní elektrotechnický slovník – Kapitola 604: Výroba, přenos a rozvod elektrické energie – Provoz

PNE 33 3430-0 Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů distribučních soustav

PNE 38 2530 Hromadné dálkové ovládání

### Vypracování normy

Zpracovatel: Ing. Jaroslav Šmíd, CSc. - NELKO TANVALD, IČO-63136791

Pracovník ONS odvětví energetiky: Ing. Jaroslav Bárta

---

<sup>1</sup> Připravuje se

## Obsah

	Strana
1	Předmět normy ..... 4
2	Definice ..... 4
3	Úrovně harmonických a meziharmonických ..... 6
3.1	Třídy elektromagnetického prostředí ..... 6
3.2	Kompatibilní úrovně harmonických ..... 6
3.3	Kompatibilní úrovně meziharmonických ..... 9
3.4	Harmonické jako charakteristický parametr napětí distribuční soustavy ..... 10
3.5	Plánovací úrovně harmonických ..... 10
3.6	Měření a vyhodnocování úrovně harmonických v distribuční síti ..... 11
3.7	Určování úrovně emise harmonických proudu ..... 12
3.8	Superpozice harmonických ..... 12
4	Meze harmonických emitovaných instalací odběratele do soustavy nn - připojovací podmínky ..... 13
4.1	Požadavky a mezní hodnoty ..... 13
4.2	Požadavky na výrobce zařízení ..... 15
5	Meze harmonických emitovaných instalací odběratele do soustavy vn - připojovací podmínky ..... 16
5.1	Etapa 1: Připojení v závislosti na zkratovém výkonu soustavy ..... 16
5.2	Etapa 2: Připojení v závislosti na rezervovaném příkonu odběratele ..... 16
5.3	Etapa 3: Připojování za mimořádných okolností ..... 19
6	Meze harmonických emitovaných rušícím zařízením připojeným do soustavy vvn - připojovací podmínky.. 19
6.1	Etapa 1: Připojení v závislosti na zkratovém výkonu soustavy ..... 19
6.2	Etapa 2: Připojení v závislosti na rezervovaném příkonu odběratele ..... 19
6.3	Etapa 3: Připojování za mimořádných okolností ..... 22
7	Postup schvalovacího řízení o připojení rušícího zařízení do distribučních soustav vn a vvn ..... 22
8	Měření harmonických a meziharmonických ..... 23
8.1	Měření a měřicí přístroje pro rozvodné soustavy a zařízení připojovaná do nich podle ČSN EN 61000-4-7 23
8.2	Metody měření kvality energie podle ČSN EN 61000-4-30 ..... 24

## 1 Předmět normy

Tato část PNE se týká charakteristik harmonických v distribučních soustavách nn, vn a vvn. Dále se týká omezování jejich vlivu na funkční spolehlivost zařízení odběratelů i dodavatele elektrické energie.

Předmětem tohoto dílu PNE je vytvoření všeobecného podkladu pro vyhodnocování a omezování harmonických napětí a proudů. V souladu s harmonizovanou normou ČSN IEC 1000-2-2 jsou mezní hodnoty harmonických odvozeny od kompatibilních úrovní a za účelem určení dovolené emise harmonických jednotlivými zařízeními nebo sítěmi odběratelů se berou v úvahu další parametry soustavy, jako např. kmitočtová charakteristika impedance soustavy.

Předmětem tohoto dílu PNE nejsou výpočty kmitočtových charakteristik impedancí distribuční soustavy i průmyslové soustavy ani postupy výpočtu úrovní harmonických v těchto soustavách, které jsou předmětem PNE 33 3430-0.

## 2 Definice

Pro účely této části PNE se používají následující definice týkající se harmonických (viz též ČSN IEC 50(161), čl. 161-O2-17 až 161-O2-23):

### **základní složka**

složka jejíž kmitočet je základním kmitočtem

### **kmitočet harmonické**

kmitočet, který je celočíselným násobkem základního kmitočtu; poměr kmitočtu harmonické a základního kmitočtu se nazývá řád harmonické

### **harmonická složka**

jakákoliv složka, která má harmonický kmitočet; její hodnota se normálně vyjadřuje jako efektivní hodnota

Pro zjednodušení se může na takovou složku odkazovat jako na harmonickou.

### **kmitočet mezipharmonické**

jakýkoliv kmitočet, který není celočíselným násobkem základního kmitočtu

POZNÁMKA 1 Obdobně jako pro řád harmonické je pro řád mezipharmonické poměr kmitočtu mezipharmonické a základního kmitočtu. Tento poměr není celočíselný. (Doporučené označení je „ $m$ “)

POZNÁMKA 2 V případě, kde  $m < 1$  může se použít termín subharmonický kmitočet.

### **mezipharmonická složka**

složka, která má mezipharmonický kmitočet; její hodnota se normálně vyjadřuje jako efektivní hodnota

Pro zjednodušení se může na takovou složku odkazovat jako na mezipharmonickou.

POZNÁMKA Pro účely této normy a v souladu s ustanovením v IEC 61000-4-7, časové okno při měření má šířku 10 základních period (pro soustavy 50 Hz tj. přibližně 200 ms). Kmitočtový interval mezi dvěma po sobě následujícími mezipharmonickými složkami je proto přibližně 5 Hz.

### **celkové harmonické zkreslení THD**

poměr efektivní hodnoty součtu všech harmonických složek až do stanoveného řádu (doporučené označení je „ $H^h$ “) a efektivní hodnoty základní složky

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left( \frac{Q_h}{Q_1} \right)^2}$$

kde

$Q$  představuje buď proud nebo napětí;

$Q_1$  je efektivní hodnota základní složky;

$h$  řád harmonické;

$Q_h$  efektivní hodnota harmonické složky řádu  $h$ ;

*H* všeobecně se rovná 50, může se však rovnat 25 je-li riziko rezonance na vyšších řádech nízké.

**POZNÁMKA** *THD* bere v úvahu jen harmonické. V případě, kde je třeba zahrnout meziharmonické platí následující definice.

#### **celkový obsah zkreslení**

veličina, která se získá odečtením základní složky od příslušné střídavé veličiny, kde obě jsou funkce času

**POZNÁMKA** Efektivní hodnota celkového obsahu zkreslení je:

$$TDC = \sqrt{Q^2 - Q_1^2}$$

kde

$Q_1$  je efektivní hodnota základní složky;

$Q$  celková efektivní hodnota;

$Q$  může představovat buď proud nebo napětí.

Toto zahrnuje jak harmonické tak i meziharmonické složky.

Viz také definice IEV 101-14-54 (IEC 60050-101) a IEV 551-20-11 (IEC 60050-551-20<sup>2</sup>).

#### **celkové zkreslení TDR**

poměr efektivní hodnoty celkového obsahu zkreslení střídavé veličiny a efektivní hodnoty základní složky této veličiny

[IEV 551-20-14, modifikováno]

$$TDR = \frac{TDC}{Q_1} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1}$$

#### **společný napájecí bod (PCC)**

bod veřejné rozvodné soustavy, elektricky nejbližší příslušnému odběrateli, ve kterém je nebo může být připojen jiný odběratel

#### **napájecí bod uvnitř závodu (IPC)**

napájecí bod uvnitř vyšetřované soustavy nebo instalace, elektricky nejbližší ke konkrétní zátěži, ve kterém jsou nebo mohou být připojeny jiné zátěže

#### **impedance rozvodné soustavy**

impedance soustavy ve společném napájecím bodu

#### **instalace odběratele**

sestava elektrických zařízení patřících stejnému odběrateli a připojených společně na společný napájecí bod

**POZNÁMKA** Pro rozlehlou sestavu elektrických zařízení v průmyslu se kromě termínu instalace odběratele používá také termín průmyslová síť odběratele.

#### **dodávka elektrické energie**

veřejná služba zajišťovaná dodavatelem elektřiny pro každého spotřebitele a určovaná technickými a obchodními kritérii jako kmitočtem, napětím, nepřerušováním dodávky, maximálním příkonem, místem odběru, tarifem - viz ČSN 330050-604, čl. 604-01-01

#### **dodavatel elektrické energie**

organizace zásobující elektrickou energií skupinu spotřebitelů prostřednictvím distribuční soustavy - viz ČSN 33 0050-604, čl. 604-01-02

#### **spotřebitel elektrické energie**

uživatel zařízení, které spotřebovává elektrickou energii ze soustavy, nejčastěji distribuční soustavy - viz ČSN 33 0050-604, čl. 604-01-03

#### **odběrné místo**

místo v síti, kde jsou stanoveny technické a obchodní podmínky dodávky elektrické energie

<sup>2</sup> Připravuje se

POZNÁMKA odběrné místo se může lišit od hranice mezi distribuční soustavou a vlastní instalací spotřebitele nebo od míst měření spotřeby - viz ČSN 33 0050-604, čl. 604-01-04

### **kvalita dodávky elektrické energie**

vyhodnocení odchylek technických parametrů dodávané elektrické energie nebo z celkového zásobování od hodnot určených (dohodnutých nebo obecných) - viz ČSN 33 0050-604, čl. 604-01-05

## **3 Úrovně harmonických a meziharmonických**

### **3.1 Třídy elektromagnetického prostředí**

Je možné definovat několik tříd elektromagnetického prostředí, ale pro zjednodušení se v této normě uvažují a definují jenom tři následovně

**Tabulka 1 - Třídy elektromagnetického prostředí**

<b>Třída 1</b>	Tato třída se týká chráněných napájení a má kompatibilní úrovně nižší než úrovně pro veřejné rozvodné soustavy. To se týká použití zařízení velmi citlivého na rušení v napájecí síti, například přístrojového vybavení laboratoří, některých automatizačních a ochranných zařízení, některých počítačů atd.
<b>Třída 2</b>	Tato třída se všeobecně týká bodů PCC a IPC (viz kapitola 2) v prostředí průmyslových a jiných neveřejných napájecích soustav. Kompatibilní úrovně této třídy jsou identické s úrovněmi pro veřejné rozvodné soustavy, Proto v této třídě průmyslového prostředí mohou být použity prvky navržené pro napájení z veřejných rozvodných soustav.
<b>Třída 3</b>	Tato třída se týká jenom bodů IPC v průmyslovém prostředí. Tato třída má pro některé jevy rušení vyšší kompatibilní úrovně než třída 2. Tato třída by se měla například uvažovat, když je splněna jakákoliv z následujících podmínek: <ul style="list-style-type: none"> <li>– převážná část zatížení je napájena přes měniče;</li> <li>– jsou provozovány svářečky;</li> <li>– velké motory jsou často rozbíhány;</li> <li>– zatížení se rychle mění.</li> </ul>

Třída aplikovatelná pro nové průmyslové závody a pro rozšíření stávajících závodů se nemůže určit *a priori* a měla by se týkat typu zařízení a uvažovaného procesu.

POZNÁMKA 1 Prostředí třídy 1 normálně zahrnuje zařízení, které vyžaduje ochranu takovými prostředky jako je nepřerušitelné napájení (UPS), filtry nebo potlačení rázových impulzů.

POZNÁMKA 2 V některých případech může vysoce citlivé zařízení vyžadovat kompatibilní úrovně nižší než jsou uvedeny v prostředí třídy 1. Kompatibilní úrovně jsou pak odsouhlasovány případ od případu (uzpůsobitelné prostředí).

POZNÁMKA 3 Napájení velmi rušících zatížení, jako jsou obloukové pece a velké měniče, které jsou obvykle napájeny z vyčleněných sběrnic, mají často úrovně rušení přesahující třídu 3 (drsné prostředí). V takových zvláštních situacích by měly být kompatibilní úrovně odsouhlasovány.

POZNÁMKA 4 Při respektování rozmanitosti průmyslových prostředí mohou být pro různé jevy v dané síti platné různé třídy.

### **3.2 Kompatibilní úrovně harmonických**

Kompatibilní úrovně jsou určitá dohodnutá rozhraní mezi úrovněmi odolnosti a mezemi emise. Kompatibilní úrovně jsou stanoveny v následujících normách:

- ČSN EN 61000-2-2 Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nízkého napětí.

- ČSN EN 61000-2-4 Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech. Kompatibilní úrovně podle této normy jsou uvedeny v tabulkách 2 až 5.

Kompatibilní úrovně pro jednotlivé harmonické složky napětí se musí chápat jako vztažené ke kvazistacionárnímu nebo ustálenému stavu harmonických a jsou uvedeny jako referenční hodnoty jak pro dlouhodobé tak i pro krátkodobé účinky.

Dlouhodobé účinky se hlavně týkají tepelných účinků na kabely, transformátory, motory, kondenzátory atd. Tyto účinky jsou následkem úrovně harmonických, které trvají 10 minut nebo více.

S ohledem na dlouhodobé účinky jsou kompatibilní úrovně pro jednotlivé harmonické složky napětí uvedeny v tabulkách 2 až 4. Odpovídající kompatibilní úrovně pro celkové harmonické zkreslení jsou uvedeny v tabulce 5.

Velmi krátkodobé účinky se hlavně týkají rušivých účinků na elektronické přístroje, které mohou být citlivé na úrovně harmonických trvajících 3 s nebo méně.

S ohledem na velmi krátkodobé účinky ve třídě 1 a třídě 3 jsou kompatibilní úrovně pro jednotlivé harmonické složky napětí a pro celkové harmonické zkreslení 1,5násobkem hodnot uvedených v tabulkách 2 až 5.

Ve třídě 2 jsou kompatibilní úrovně pro jednotlivé harmonické složky napětí hodnoty uvedené v tabulkách 2 až 4 násobené činitelem  $k$ , kde  $k$  se vypočte následovně:

$$k = 1,3 + \frac{0,7}{45} \times (h - 5)$$

Odpovídající kompatibilní úroveň pro celkové harmonické zkreslení ve třídě 2 je 8 % ( $THD = 8\%$ ) pokud jde o velmi krátkodobý účinek.

**POZNÁMKA 1** Komutační poklesy jsou zde zahrnuty, pokud přispívají k obsahu harmonických v napětí. Ostatní účinky (například vliv na komutaci ostatních měničů a jejich účinky na ostatní zařízení zahrnující harmonické složky vyšších řádů spektra), požadují popis v časové oblasti (viz příslušná výrobová norma).

**POZNÁMKA 2** Kdekoliv jsou v průmyslových soustavách použity, měly by kondenzátory pro kompenzaci účinníku být připojeny přes sériové reaktory, zejména ty, které jsou určeny k připojení v bodech IPC třídy 3. Pokud se mohou vyskytnout meziharmonické, vzniká riziko účinků rezonance a toto by se mělo pečlivě vyšetřit. Pokud se nepřítomnost účinků rezonance jasně prokáže a hodnoty vyšších harmonických jsou mnohem menší než ty, které jsou dány pro třídu 3, sériové reaktory nemusí být nutné, musí se to však pečlivě zkontrolovat.

**POZNÁMKA 3** Hodnoty specifikované pro celkové harmonické zkreslení se netýkají specifických zařízení nebo přístrojů, mají však vztah na možnou současnou přítomnost různých harmonických složek značné amplitudy.

Hodnoty kompatibilních úrovní harmonických pro veřejné rozvodné soustavy jsou uvedeny v následujících tabulkách.

**Tabulka 2 – Kompatibilní úrovně pro harmonické – Harmonické složky napětí lichého řádu mimo násobků tří**

Řád $h$	Třída 1 $U_h$ %	Třída 2 $U_h$ %	Třída 3 $U_h$ %
5	3	6	8
7	3	5	7
11	3	3,5	5
13	3	3	4,5
17	2	2	4
$17 < h \leq 49$	$2,27 \times (17/h) - 0,27$	$2,27 \times (17/h) - 0,27$	$4,5 \times (17/h) - 0,57$

**Tabulka 3 – Kompatibilní úrovně pro harmonické – Harmonické složky napětí lichého řádu, který jsou násobkem tří**

Řád $h$	Třída 1 $U_h$ %	Třída 2 $U_h$ %	Třída 3 $U_h$ %
3	3	5	6
9	1,5	1,5	2,5
15	0,3	0,4	2
21	0,2	0,3	1,75
$21 < h \leq 45$	0,2	0,2	1
POZNÁMKA 1 Tyto úrovně platí pro harmonické nulové symetrické složky.			

**Tabulka 4 – Kompatibilní úrovně– Harmonické složky napětí sudého řádu**

Řád $h$	Třída 1 $U_h$ %	Třída 2 $U_h$ %	Třída 3 $U_h$ %
2	2	2	3
4	1	1	1,5
6	0,5	0,5	1
8	0,5	0,5	1
10	0,5	0,5	1
$10 < h \leq 50$	$0,25 \times (10/h) + 0,25$	$0,25 \times (10/h) + 0,25$	1

**Tabulka 5 – Kompatibilní úrovně pro celkové harmonické zkreslení**

	Třída 1	Třída 2	Třída 3
Celkové harmonické zkreslení (THD)	5 %	8 %	10 %

POZNÁMKA V některých případech, kde část průmyslové soustavy je vyčleněna pro velké nelineární zátěže, mohou být kompatibilní úrovně třídy 3 pro tuto část soustavy 1,2násobkem hodnot ve výše uvedených tabulkách. V takových případech by se měla učinit bezpečnostní opatření týkající se odolnosti připojeného zařízení. V bodu



PCC (veřejná síť) mají přednost kompatibilní úrovně podle norem ČSN EN 61000-2-2 a připravované ČSN EN 61000-2-12.

### 3.3 Kompatibilní úrovně mezipharmonických

V normě ČSN EN 61000-2-4 jsou kompatibilní úrovně uvedeny jen pro mezipharmonické složky napětí vyskytující se na kmitočtu blízko základnímu kmitočtu (50 Hz nebo 60 Hz), jejichž následkem je amplitudová modulace napájecího napětí.

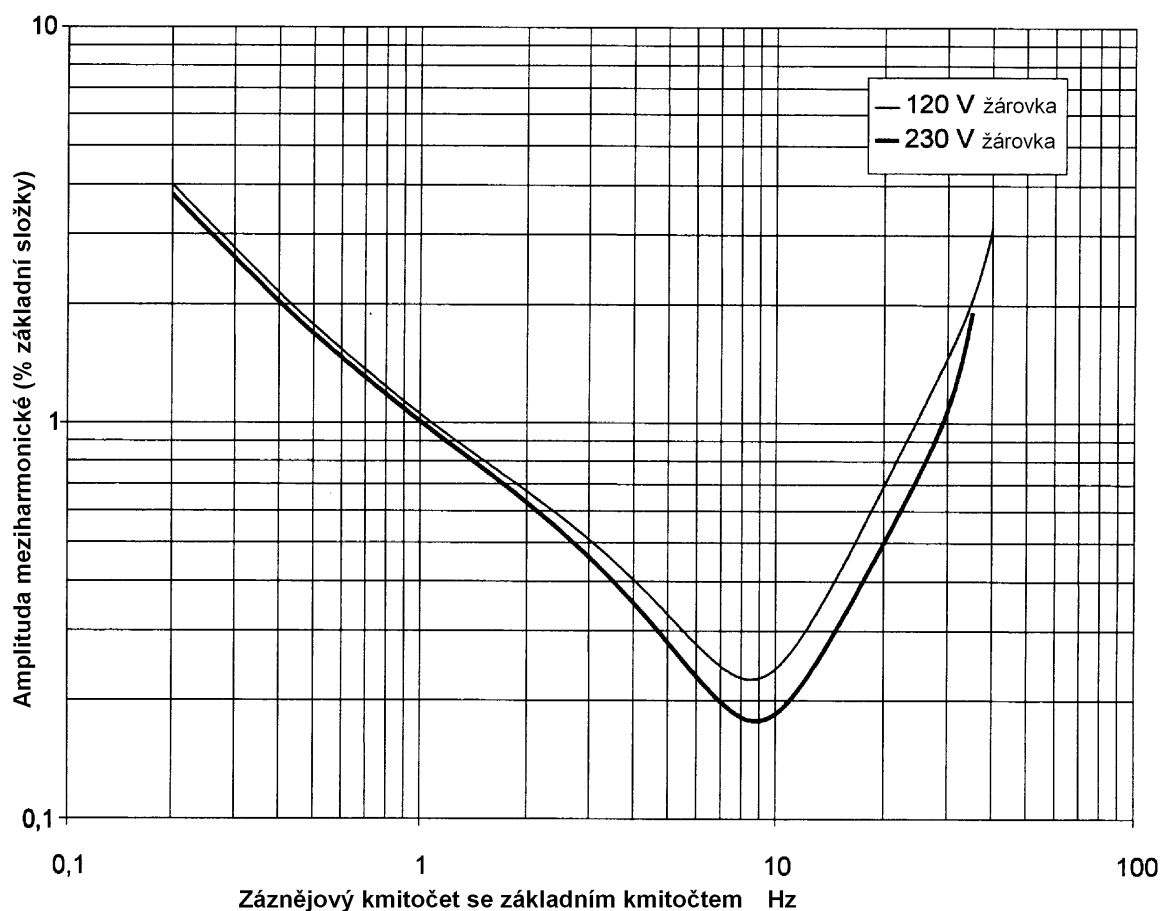
Za těchto podmínek určité zátěže, které jsou citlivé na druhou mocninu napětí, zejména svítidla, vykazují záznějový efekt, jehož následkem je flickr. Záznějový kmitočet je rozdíl mezi kmitočty dvou časově shodných napětí – tj. mezi kmitočty mezipharmonických a základními kmitočty.

**POZNÁMKA 1** Pod řádem mezipharmonických 0,2 jsou kompatibilní úrovně určeny požadavky na flickr, přičemž  $P_{st} = 1$ . Za tím účelem by se míra vjemu flickru měla vypočítat podle přílohy A IEC 61000-3-7 s použitím činitele tvaru daným pro kolísání periodického a sinusového napětí. Konzervativní hodnota činitele tvaru je 0,8 pro  $0,04 < m \leq 0,2$ , a 0,4 pro  $m \leq 0,04$ .

**POZNÁMKA 2** Podobná situace je možná je-li značnější úroveň napětí na kmitočtu harmonické (zejména řádu 3 nebo 5) časově shodná s napětím mezipharmonické na blízkém kmitočtu. Účinek by se měl určit pomocí obrázku 1 s amplitudou danou součinem relativních amplitud harmonické a mezipharmonické vytvářejících záznějový kmitočet. Výsledek je zřídka významný.

Kompatibilní úroveň pro napětí mezipharmonické ve výše uvedeném případě, vyjádřená jako poměr jeho amplitudy a amplitudy základní složky je uvedena na obrázku 1 jako funkce záznějového kmitočtu. Je to založeno na úrovni flickru  $P_{st} = 1$  pro žárovky provozované na 120 V a na 230 V a je to aplikovatelné jen na obvody, které obsahují svítidla.

Kompatibilní úrovně pro mezipharmonické v blízkosti základního kmitočtu – soustavy 230 V a 120 V – odpovídající míře vjemu flickru jsou uvedeny na obrázku 1 jako funkce záznějového kmitočtu, což způsobuje, že výsledek je nezávislý na kmitočtu soustavy.



### **Obrázek 1 – Kompatibilní úrovně pro mezipharmonické (Odezva flikrmetru pro $P_{st} = 1$ s ohledem na žárovky 60 W)**

Příloha C normy ČSN EN 61000-2-4 uvádí informace o zdrojích, účincích a metodách zmírňování vlivů týkajících se napětí mezipharmonických. Poskytuje také úrovně jako návod dokud více zkušeností neumožní publikování kompatibilních úrovní.

#### **3.4 Harmonické jako charakteristický parametr napětí distribuční soustavy**

Charakteristické parametry napětí podle normy EN 50160 jsou: kmitočet soustavy, velikost napětí, odchylky napětí, kolísání napětí, krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení napětí, dlouhodobá přerušení napětí, dočasná přepětí síťového kmitočtu, přechodná přepětí, nesymetrie, harmonické, mezipharmonické a napětí síťových signálů.

Všeobecným přístupem normy ČSN EN 50160 je vyjadřování charakteristických parametrů napětí vztažených k jmenovitému napětí soustavy nebo k dohodnutému napájecímu napětí.

I když napětí harmonických jsou definována jejich relativní amplitudou vztaženou k základnímu napětí, pro soustavy nn jsou podle EN 50160 vztažena k jmenovitému napětí a pro soustavy vn jsou vztažena k dohodnutému napájecímu napětí.

Toto je odchylka od dosavadní praxe, podle které se harmonické vyjadřovaly jako procentní hodnoty základní harmonické. K tomu je třeba poznamenat, že pokud je pro měření harmonických použit měřicí přístroj podle uvedené dosavadní praxe je třeba, před porovnáváním s hodnotami podle tabulek, provést jejich přepočty (ve většině případů však rozdíl bude zanedbatelný).

Vzhledem k tomu, že harmonické vyšších řádů jsou obvykle malé a obtížně měřitelné jsou v EN 50160 stanoveny harmonické jen do řádu 25.

Harmonické se měří v odběrném místě pomocí přístrojů vyhovujícím normě ČSN EN 61000-4-7. Základní měření se skládá z desetiminutových efektivních hodnot harmonických a činitele zkreslení.

V síti vn se měření provede na sdružených napětích a v síti nn se měření provede na fázových napětích. Pro měření zkreslení napětí nulové složky v síti vn jsou potřeba přístrojové transformátory napětí zapojené do hvězdy. K tomu je třeba poznamenat, že v soustavách s izolovaným uzlem použití přístrojových transformátorů napětí s primáry zapojenými na zem může modifikovat odezvu soustavy na nulovou složku a způsobit ferorezonanční jevy.

Perioda sledování harmonických musí být jeden týden včetně soboty a neděle.

Za vyhovující normě EN 50160 jsou považovány harmonické pokud jejich desetiminutové efektivní hodnoty jsou v 95 % menší nebo rovné než stanovené meze.

#### **3.5 Plánovací úrovně harmonických**

Plánovací úrovně harmonických si určí energetika pro účely vyhodnocování úrovně emise rušení ze zařízení všech odběratelů v dané rozvodné síti. Tato úroveň je považována za interní záměr energetiky týkající se kvality energie. Plánovací úrovně by měly být stejné nebo nižší než kompatibilní úrovně. Tyto plánovací úrovně budou v následujících kapitolách této zprávy použity při stanovení připojovacích podmínek rušících odběrů. S ohledem na strukturu soustavy a ostatní odběry se budou plánovací úrovně případ od případu lišit a proto v tabulkách 2 a 3 jsou uvedeny jen orientační hodnoty C plánovacích úrovní uvedené v podkladech IEC.

**POZNÁMKA** Hodnoty plánovacích úrovní jsou převzaty z podkladů pro přípravu IEC 61000-3-6 v subkomisi SC 77A

**Tabulka 2 - Orientační hodnoty plánovacích úrovní harmonických (v procentech jmenovitého napětí) v soustavách vn**

Řád harmonické n	harmonické lichého řádu mimo násobky tří	Řád harmonické n	harmonické lichého řádu násobky tří	Řád harmonické n	harmonické sudého řádu
5	5	3	4	2	1,6
7	4	9	1,2	4	1
11	3	15	0,3	6	0,5
13	2,5	21	0,2	8	0,4
17	1,6	>21	0,2	10	0,4
19	1,2			12	0,2
23	1,2			>12	0,2
25	1,2				
>25	$0.2 + 12,5/n$				

Orientační hodnota plánovací úrovně činitele zkreslení THD napájecího napětí v soustavách vn je 6,5 %.

**Tabulka 3 - Orientační hodnoty plánovacích úrovní harmonických (v procentech jmenovitého napětí) v soustavách vvn**

Řád harmonické n	harmonické lichého řádu mimo násobky tří	Řád harmonické n	harmonické lichého řádu násobky tří	Řád harmonické n	harmonické sudého řádu
5	2	3	2	2	1,5
7	2	9	1	4	1
11	1.5	15	0,3	6	0,5
13	1.5	21	0,2	8	0,4
17	1	>21	0,2	10	0,4
19	1			12	0,2
23	0.7			>12	0,2
25	0.7				
>25	$0.2 + 12,5/n$				

Orientační hodnota plánovací úrovně činitele zkreslení THD napájecího napětí v soustavách vvn je 3 %.

### 3.6 Měření a vyhodnocování úrovně harmonických v distribuční síti

V roce 2003 bude vydána revidovaná ČSN EN 61000-4-7 ed. 2, v které se uvažují přístroje pro následující typy měření:

- měření emise harmonických;
- měření emise meziharmonických;
- měření nad rozsahem kmitočtů harmonických do 9 kHz.

Přesně řečeno mohou se měření harmonických provádět jen na stacionárním signálu; kolísající signály (signály proměnné v čase) se nemohou správně popsat jenom jejich harmonickými. Avšak pro získání navzájem porovnatelných výsledků je pro kolísající signály uveden zjednodušený a reprodukovatelný přístup.

Uvažují se dvě třídy přesnosti (I a II) umožňující použití jednoduchých a levných přístrojů odpovídající požadavkům aplikace. Pro zkoušky emise jsou-li emise v blízkosti mezních hodnot se požaduje vyšší třída I.

V normě ČSN EN 61000-4-7 ed. 2 jsou uvedeny požadavky na měření harmonických a meziharmonických. Uvažují se také měření v kmitočtovém rozsahu do 9 kHz.

Nově konstruované přístroje pravděpodobně použijí diskretní Fourierovu transformaci (DFT), normálně používající rychlý algoritmus nazývaný rychlá Fourierova transformace (FFT). Proto tato norma uvažuje jen tuto architekturu, nevylučuje však i jiné principy analýzy

Harmonické budou měřeny podle normy ČSN EN 61000-4-7 při dohodnutých nejhorších provozních podmínkách (např. s největším počtem měničů v provozu) včetně dohodnutého mimořádného provozu (např. s vyřazenou tyristorovou jednotkou měniče válcovací stolice). Při porovnávání skutečné úrovně harmonických a plánovacích úrovní by měl být minimální čas měření jeden týden včetně soboty a neděle.

Podmínky vyhodnocování:

- největší denní hodnota  $U_{n,VS}$  nemá být s pravděpodobností 95 % větší než plánovací úroveň. Přitom  $U_{n,VS}$  je efektivní hodnota harmonické řádu  $n$  ve velmi krátkém časovém intervalu  $T_{VS} = 3$  s (viz ČSN EN 61000-4-7, článek 9.3).
- největší týdenní hodnota  $U_{n,SH}$  nemá být s pravděpodobností 95 % větší než plánovací úroveň. Přitom  $U_{n,SH}$  je efektivní hodnota harmonické řádu  $n$  v krátkém časovém intervalu  $T_{VS} = 10$  min.
- největší týdenní hodnota  $U_{n,VS}$  nemá být větší než 2 násobek plánovací úrovně.

### 3.7 Určování úrovně emise harmonických proudů

Při porovnávání skutečné úrovně harmonických proudů emitovaných rušícím zatížením s mezními hodnotami by měl být minimální čas měření jeden týden včetně soboty a neděle.

Podmínky vyhodnocování:

- největší denní hodnota  $I_{n,VS}$  nemá být s pravděpodobností 95 % větší než mez emise harmonických proudů vypočtených z rovnice (11). Přitom  $I_{n,VS}$  je efektivní hodnota harmonické proudů řádu  $n$  ve velmi krátkém časovém intervalu  $T_{VS} = 3$  s.
- největší týdenní hodnota  $I_{n,SH}$  nemá být s pravděpodobností 95 % větší než mez emise harmonických proudů. Přitom  $I_{n,SH}$  je efektivní hodnota harmonické řádu  $n$  v krátkém časovém intervalu  $T_{VS} = 10$  min.
- největší týdenní hodnota  $I_{n,VS}$  nemá být větší než 2 násobek meze emise harmonických proudů.

### 3.8 Superpozice harmonických

#### 3.8.1 První sumarizační zákon

Jednoduché sčítání harmonických se může provést pomocí činitele soufázovosti  $k_{ni}$  (viz IEC 1000-3-6 a též PNE 33 3430-0):

$$U_n = U_{n0} + \sum_i k_{ni} U_{ni}$$

kde:

$U_n$  je výsledná harmonická napětí

$U_{n0}$  je harmonická napětí pozadí soustavy (harmonická napětí při odpojení všech odběrů dané soustavy)

$U_{ni}$  je příspěvek harmonické napětí řádu  $n$ , přicházející ze zdroje  $i$ .

Informativní hodnoty činitele soufázovosti jsou uvedeny v tabulce 10 PNE 33 3430-0.

### 3.8.2 Druhý sumarizační zákon

Pro každý řád harmonické  $n$  je skutečné harmonické napětí v jakémkoli bodu soustavy dáno výsledkem vektorového součtu harmonických napětí, která jsou příspěvky jednotlivých zdrojů harmonických. Studie zákonitostí superpozice ukázaly, že obecný vztah může být formulován následující rovnicí:

$$U_n = \alpha \sqrt{\sum_i U_{ni}^2} \quad (1)$$

kde:

$U_n$  je výsledná harmonická napětí

$\alpha$  je sumarizační konstanta

$U_{ni}$  je příspěvek harmonické napětí řádu  $n$ , přicházející ze zdroje  $i$ .

Hodnoty konstanty  $\alpha$  závisí na třech faktorech:

- na pravděpodobnosti nepřekročení hodnoty výsledné harmonické napětí,
- na rozsahu, v kterém hodnoty velikostí jednotlivých příspěvků harmonických napětí jsou náhodně proměnné,
- na rozsahu, v kterém hodnoty fázových úhlů jednotlivých příspěvků harmonických napětí jsou náhodně proměnné.

Je známo, že liché harmonické nižších řádů zůstávají, pokud se týče amplitudy, stabilní v energetických soustavách po dlouhou dobu. Fázové úhly těchto harmonických se mění jen v relativně úzkém pásmu, a to jak u zdrojů harmonických, tak i vlivem šíření v síti. Charakter parametrů harmonických napětí vyšších řádů je právě opačný.

Za předpokladu nepřekročení výsledných hodnot s pravděpodobností 95 % byly určeny následné hodnoty konstant:

- pro  $n = 3$  a  $5$  :  $\alpha = 1$  (platí pro harmonická napětí s neměnnou amplitudou, jejichž fázový úhel se náhodně mění od  $0^\circ$  do  $90^\circ$ ),
- pro  $n = 6$  až  $10$  :  $\alpha = 1,4$  (platí pro harmonická napětí, jejichž amplituda se mění náhodně od 50 % do 100 % maximální hodnoty a fázový úhel se mění náhodně od  $0^\circ$  do  $270^\circ$ ),
- pro  $n$  větší než  $10$  :  $\alpha = 2$  (platí pro harmonická napětí s amplitudou náhodně proměnnou od nuly do maxima a fázovým úhlem náhodně proměnným od  $0^\circ$  do  $360^\circ$ ).

## 4 Meze harmonických emitovaných instalací odběratele do soustavy nn - připojovací podmínky

Tato část normy se týká elektrických a elektronických zařízení, která se připojují do veřejné distribuční soustavy nízkého napětí, přičemž se nejedná o domácí spotřebiče a podobná elektrická zařízení, která vyhovují normě ČSN EN 61000-3-2.

### 4.1 Požadavky a mezní hodnoty

Pro snížení příkonu nesmějí být použity sériově zapojené diody (půlvlnné usměrnění). Způsoby řízení spotřebičů, které produkují harmonické nízkého řádu ( $n < 40$ ), např. řízení s počtem spínacích operací méně nebo rovno 40 za půlperiodu síťového napětí, nesmějí být použity pro řízení příkonu topných článků a tepelných spotřebičů.

**POZNÁMKA** Tímto způsobem řízení se rozumí fázové řízení podle článku 161-07-09 normy ČSN IEC 50(161), nesymetrické řízení podle článku 161-07-12 normy ČSN IEC 50(161) a řízení s cyklickým zapínáním a vypínáním podle článku 161-07-12 normy ČSN IEC 50(161).

#### 4.1.1 Připojování relativně malých zařízení

Za předpokladu, že jmenovitý zdánlivý příkon  $S$  elektrického zařízení vyhovuje vztahu

$$\frac{S}{S_k} \leq 0,03 \quad (2)$$

kde  $S_k$  je zkratový výkon ve společném napájecím bodu (zkratový poměr  $S_k/S \geq 33$ )

pak toto zařízení může být po posouzení dodavatelem elektrické energie (např. zda již v dané síti nejsou podobné odběry) připojeno do soustavy nízkého napětí pokud emise harmonických proudů nepřekročí hodnoty uvedené v tabulce 4. Hodnoty mezí podle tabulky 4 se týkají proudu jak fázovými vodiči, tak i středním vodičem.

Přechodné harmonické proudy se neuvažují, pokud netrvají déle než 15 sekund jen při zapnutí nebo při konečném vypnutí spotřebiče.

**Tabulka 4 - Mezní hodnoty emise harmonických proudů (v procentech jmenovitého proudu) do soustavy nn pro zařízení podle článku 4.1.1**

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

POZNÁMKA Mezní hodnoty harmonických v této kapitole jsou převzaty z podkladů pro přípravu IEC 1000-3-4 v pracovní skupině WG1 subkomise SC 77A (IEC 1000-3-4 *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 3: Meze - Oddíl 2: Meze pro emise harmonického proudu (zařízení se vstupním fázovým proudem > 16 A)*, která do současné doby zatím nevyšla).

#### 4.1.2 Připojení s respektováním charakteristik soustavy

Jestliže zařízení nevyhovuje mezím podle tabulky 4 a je-li jeho zkratový poměr  $S_k/S > 33$ , pak toto zařízení může být po posouzení dodavatelem elektrické energie (např. zda již v dané síti nejsou podobné odběry) připojeno do soustavy nízkého napětí pokud emise harmonických proudů nepřekročí hodnoty uvedené v tabulce 5 nebo 6. Přitom relativní hodnoty sudých harmonických nesmí překročit hodnotu 16/n %.

**Tabulka 5 - Mezní hodnoty emise harmonických proudů (v procentech jmenovitého proudu) do soustavy nn pro jednofázová zařízení**

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

Pro hodnoty zkratového poměru mezi 33 a 120 je možné provádět lineární interpolaci mezi mezními hodnotami.

V případě jednofázového zařízení připojeného na fázové napětí platí mezní hodnoty podle tabulky 5 s tím, že zkratový poměr je  $S_K/3S$ .

V případě jednofázového zařízení připojeného na sdružené napětí platí mezní hodnoty podle tabulky 5 s tím, že zkratový poměr je  $S_K/2S$ .

POZNÁMKA Uvedené upřesněné výpočty zkratového poměru jsou v souvislosti s tím, že výsledná harmonická napětí jsou ve skutečnosti závislá na zkratové impedanci.

**Tabulka 6 - Mezní hodnoty emise harmonických proudů (v procentech jmenovitého proudu) do soustavy nn pro třífázová zařízení**

zkratový poměr je větší než	Přípustný činitel zkreslení %  THD	Přípustný harmonický proud %			
		$I_5$	$I_7$	$I_{11}$	$I_{13}$
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

Pro hodnoty zkratového poměru mezi 33 a 120 je možné provádět lineární interpolaci mezi mezními hodnotami.

#### 4.1.3 Připojení na základě zvláštní smlouvy

Jsou-li překročeny meze podle článku 4.1.2 může energetická společnost požadovat filtraci harmonických nebo nesouhlasit s připojením. V tomto případě se mezi dodavatelem a odběratelem vyžaduje zvláštní smlouva. V tomto případě se doporučuje smluvní hodnoty mezi harmonických proudů stanovit podle rezervovaného příkonu instalace odběratele.

Mezní hodnoty jednotlivých harmonických musí být potom vztaženy k činnému proudu  $I_s$  odpovídajícímu rezervovanému příkonu instalace odběratele. Činitel zkreslení nesmí přitom překročit 20 %. Příklad takto stanovených mezí je uveden v tabulce 7.

**Tabulka 7 - Mezní hodnoty emise harmonických proudů (v procentech rezervovaného proudu) do soustavy nn pro zařízení podle článku 4.1.3**

Řád harmonické n	Přípustný harmonický proud $I_n/I_s$ (%)	Řád harmonické n	Přípustný harmonický proud $I_n/I_s$ (%)	Řád harmonické n	Přípustný harmonický proud $I_n/I_s$ (%)
3	19	15	0,7	27	0,6
5	9,5	17	1,2	29	0,7
7	6,5	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	≤4/n nebo ≤0,6

#### 4.2 Požadavky na výrobce zařízení

Výrobce zařízení by měl informovat zákazníka o tom, že připojení zařízení může vyžadovat souhlas energetické společnosti s připojením. V souvislosti s tím výrobce zařízení upozorní zákazníka, aby si vyžádal od energetické společnosti informace o zkratovém výkonu v místě připojení.

Výrobce zařízení by měl buď přímo na zařízení nebo v dokumentaci zařízení vyznačit minimální zkratový poměr, pro který zařízení vyhovuje mezním hodnotám harmonických.

## 5 Meze harmonických emitovaných instalací odběratele do soustavy vn - připojovací podmínky

Tato část normy se týká elektrických a elektronických zařízení, která se připojují do soustavy vysokého napětí. Tato část normy se týká průmyslových zařízení, která se připojují do elektrických soustav odběratele připojených ve společném napájecím bodu do soustavy vysokého napětí.

### 5.1 Etapa 1: Připojení v závislosti na zkratovém výkonu soustavy

Význam etapy 1 je v jednoduchosti rozhodování o připojování malých odběrů emitujících harmonické. V soustavách vvn a zvn je oprávněně vztahování mezních hodnot harmonických ke zkratovému výkonu soustavy. Pokud maximální zdánlivý rezervovaný příkon  $S_{max i}$  instalace odběratele i ke zkratovému výkonu soustavy  $S_k$  ve společném napájecím bodu je

$$\frac{S_{max i}}{S_k} \leq 0,001 \quad (3)$$

pak zařízení může být uvnitř instalace odběratele připojeno bez dalšího vyšetřování.

### 5.2 Etapa 2: Připojení v závislosti na rezervovaném příkonu odběratele

V této etapě je příslušná plánovací úroveň podle článku 3.3 rozdělena pro každého odběratele podle jeho podílu (rezervovaného příkonu), který odebírá ze soustavy. Toto zajišťuje, aby celková emise harmonických do dané soustavy nezpůsobila překročení plánovacích úrovní.

Nejprve se pomocí rovnice (1) určí nebo odhadne výsledná úroveň harmonických způsobená všemi odběry v dané síti vn. Pro každý řád harmonické je v síti vn skutečná harmonická napětí výsledkem vektorového součtu příspěvků harmonických napětí přicházejících z nadřazené soustavy vvn a příspěvků harmonických napětí všech nelineárních zátěží připojených do vyšetřované soustavy vn (včetně všech nelineárních zátěží připojených do podřízených soustav nn, které mohou být považovány za část zatížení soustavy vn).

Dosazením plánovacích úrovní z tabulek 2 a 3 do rovnice (1) bude plánovaný přípustný příspěvek  $G_{n(vn+nn)}$  všech odběratelů ve vyšetřované síti vn (včetně podřízených nn soustav) k harmonické napětí řádu n (vyjádřený v % základní harmonické)

$$G_{n(vn+nn)} = \sqrt[\alpha]{L_{n(vn)}^\alpha - (T_{n(vvn)} L_{n(vvn)})^\alpha} \quad (4)$$

kde:

$L_{n(vn)}$  je plánovací úroveň n-té harmonické v síti vn (viz tabulka 2)

$L_{n(vvn)}$  je plánovací úroveň n-té harmonické v síti vvn (viz tabulka 3)

$T_{n(vvn)}$  je přenosový koeficient n-té harmonické ze soustavy vvn do soustavy vn

$\alpha$  je sumarizační exponent (viz 3.8.2)

Při prvním vyhodnocování se přenosový koeficient  $T_{n(vvn)}$  obvykle položí roven 1. V praxi však může být menší vlivem tlumících prvků soustavy vn nebo větší (typicky 1 až 3) vlivem rezonancí.

Pro případ, kdy nedochází k rezonancím ( $T_{n(vvn)} = 1$ ) jsou přípustné příspěvky  $G_{n(vn+nn)}$  všech odběratelů ve vyšetřované síti vn (včetně podřízených nn soustav) k harmonické napětí řádu n (vyjádřené v % základní harmonické) uvedeny v tabulce 8.

V případě rezonance například v okolí páté harmonické, potom pro tři hodnoty přenosového koeficientu na 5-té harmonické budou tři různé hodnoty přípustného příspěvku  $G_{n(vn+nn)}$  všech odběratelů:

- pro  $T_{5(vvn)} = 1$  bude  $G_{5(vn+nn)} = [5^1 - (1 \times 2)^1]^{1/1} = 3 \%$
- pro  $T_{5(vvn)} = 2$  bude  $G_{5(vn+nn)} = [5^1 - (2 \times 2)^1]^{1/1} = 1 \%$
- pro  $T_{5(vvn)} = 3$  bude plánovaný přípustný příspěvek  $G_{5(vn+nn)} = 0 \%$

Z výše uvedených výsledků vyplývá, že je nutno přenosové koeficienty větší než 1 zjistit a mělo by se také počítat s tím, že přenosové koeficienty se mohou v čase měnit (zapínání kondenzátorových baterií).



**Tabulka 8 - Příпустné příspěvky  $G_{n(vn+nn)}$  všech odběratelů ve vyšetřované síti vn (včetně podřízených nn soustav) k harmonické napětí řádu n**

Řád harmonické n	Příпустné harmonické napětí (%)	Řád harmonické n	Příпустné harmonické napětí (%)	Řád harmonické n	Příпустné harmonické napětí (%)
3	2	15	0	2	0,1
5	3	17	1,2	4	0
7	2,8	19	0,7	6	0
9	0,4	21	0	8	0
11	2,6	23	1	10	0
13	2	25	1	12	0

Jsou-li hodnoty plánovacích úrovní v soustavách vn a vvn stejné, jako například pro n = 4, 6, 12, 15 a 21, pak samotný výpočet podle rovnice (4) vede k nulovému příspěvku vn odběratelů. V tomto případě se soustavám vvn a vn přiřadí vyrovnaný podíl na příпустných příspěvcích všech odběratelů v obou soustavách.

Výše uvedený postup dává výsledky dobře odpovídající skutečnosti pokud v soustavách nn, připojeným k vyšetřované síti vn, jsou odběry obytných oblastí relativně malé.

V případě velkých odběrů obytných oblastí dává výše uvedený postup pesimistické výsledky jelikož se předpokládá, že rušící odběry obytných a průmyslových odběratelů jsou používány současně. V takových případech je třeba použít následující postup respektující denní diagramy odběru.

Vliv rozdílů mezi denními diagramy odběru v soustavách vn a nn respektuje činitel současnosti, který bere v úvahu, že nedochází k překrývání maximální emise harmonických v síti vn a v síti nn. Hodnota činitele současnosti  $F_{vn-nn}$  mezi úhrnnými zátěžemi v distribučních soustavách vn a nn může být určena z denních diagramů odběrů jako celkový příkon nn odběrů v době špičky celkového vn odběru, vyjádřený jako poměrná hodnota maximálního celkového vn odběru.

Celkový příпустný příspěvek  $G_{n(vn)}$  všech odběratelů ve vyšetřované síti vn k harmonické napětí řádu n (vyjádřený v % základní harmonické)

pak bude

$$G_{n(vn)} = \sqrt[\alpha]{\frac{S_{vn}}{S_{vn} + S_{nn} F_{vn-nn}} \left[ L_{n(vn)}^\alpha - (T_{n(vvn)} L_{n(vvn)})^\alpha \right]} \quad (5)$$

kde:

$S_{vn}$  je celkový příkon odběratelů připojených přímo na vn síť

$S_{nn}$  je celkový příkon odběratelů připojených přímo na nn síť

$F_{vn-nn}$  je činitel současnosti mezi úhrnnými zátěžemi v distribučních soustavách vn a nn

### 5.2.1 Určení individuálních mezí emise harmonických

Každému odběrateli bude dovoleno generovat jen určitou část celkového příпустného příspěvku  $G_{n(vn+nn)}$  nebo  $G_{n(vn)}$ . Přitom odběrateli „i“ bude dovoleno podílet se na celkovém příspěvku podle podílu rezervovaného příkonu  $S_i$  a celkového výkonu soustavy  $S_t$  ( $S_t$  je všeobecně větší nebo rovný součtu všech rezervovaných příkonů odběratelů v dané síti vn). Toto kritérium souvisí s požadavkem relace mezi rezervovaným příkonem a podílem na investičních nákladech na příslušnou distribuční síť.

Pro danou síť musí úrovně harmonických napětí emitovaných odběratelem „i“ splňovat dosazením do rovnice (1)

$$\sqrt[\alpha]{\sum_i E_{Uni}^\alpha} = G_{n(vn+nn)} \quad (6)$$

nebo

$$\sum_i E_{Uni}^\alpha = G_{n(vn+mn)}^\alpha \quad (7)$$

Je-li mez emise harmonických úměrná rezervovanému příkonu  $S_i$  odběratele bude rovnice splněna při

$$E_{Uni}^\alpha = G_{n(vn+mn)}^\alpha \frac{S_i}{S_t} \quad (8)$$

nebo

$$E_{Uni} = G_{n(vn+mn)}^\alpha \sqrt{\frac{S_i}{S_t}} \quad (9)$$

kde:

$E_{Uni}$  je přípustná úroveň  $n$ -té harmonické napětí emitované odběratelem „i“, který je připojen přímo na síť  $vn$  (%)

$S_i$  je rezervovaný zdánlivý příkon odběratelem „i“ ( $P_i/\cos \varphi_i$ )

$S_t$  je celkový výkon soustavy

Je-li výkon napájecích transformátorů  $vvn/vn$   $S_{tr}$  potom  $S_t = \sum S_{tr}$  pokud v síti nejsou generátory. Jsou-li v síti generátory o výkonu  $S_g$ , které jsou samy o sobě nelineární, pak  $S_t = \sum S_{tr} + 2\sum S_g$  (činitel 2 v této rovnici pokrývá extrémní případ, kdy nelineární zdroje napájejí jen nelineární zátěže.

Pokud rušící odběry obytných a průmyslových odběratelů nejsou používány současně potom v souladu s rovnicí (5) bude dosažením do rovnice (9)

$$E_{Uni} = G_{n(vn)}^\alpha \sqrt{\frac{S_i}{S_{vn}} \frac{1}{F_{vn-mn}}} \quad (10)$$

Výše uvedená pravidla pro určení mezí harmonických neberou v úvahu proměnnost zkratového výkonu uvnitř soustavy. Jsou-li zátěže připojeny na společnou sběrnici nejsou odchylky zkratového výkonu výrazné a meze emise jsou vyhovující. Takto vyhovují soustavy s krátkými kabelem (< 10 km) nebo s krátkými venkovními vedeními (< 5 km). Takovéto podmínky jsou typické pro velké průmyslové zátěže.

Pro distribuční soustavy s dlouhými kabelem a vedeními, kde zátěže jsou rozloženy podél napáječů má výše uvedený postup za následek příliš přísné meze znevýhodňující odběratele na koncích vedení, kde zkratové výkony jsou značně nižší než v blízkosti sběrnic rozvodny.

V takovýchto a v řadě obdobných případů (zejména s ohledem na kontrolu dodržování mezí) je výhodnější, aby dodavatel energie stanovil pro odběratele meze harmonické proudy.

$$I_{ni} = \frac{E_{Uni}}{Z_n} \quad (11)$$

kde:

$I_{ni}$  je přípustná úroveň  $n$ -té harmonické proudy emitovaného odběratelem „i“ připojeného přímo na síť  $vn$ ,

$Z_n$  je kmitočtová charakteristika impedance soustavy určená podle PNE 33 3430-0.

Pokud na některých řádech harmonických  $n$  je pozadí ( $B_{n(vn)}$ ) větší než normální podíl odběratele („normální podíl odběratele i“ je úměrný  $[(S_t - S_i)/S_t]^{1/\alpha}$  a měl by se respektovat tak, aby se vyloučilo překročení plánovacích úrovní. V souvislosti s tím je v takových případech je třeba v rovnicích (4) a (5) nahradit  $L_{n(vn)}$  výrazem  $(L_{n(vn)}^\alpha - B_{n(vn)}^\alpha)^{1/\alpha}$ .

Pro odběratele s nízkým rezervovaným příkonem může mít výpočet podle rovnice (9) za následek nereálně přísné omezení harmonických. Pokud přípustná úroveň emise harmonických napětí na některých řádech harmonických vyjde menší než 0,1 %, pak se určí jako rovná 0,1 % (s výjimkou řádů harmonických odpovídajících kmitočtu HDO, kdy by mohlo dojít k ohrožení jeho spolehlivé funkce).

### 5.3 Etapa 3: Připojování za mimořádných okolností

Je třeba poznamenat, že někteří odběratelé nezpůsobují kolísání napětí, protože neprovozují kolísající zatížení.

Pouhá aplikace etap 1 a 2 může mít za následek nepřiměřená opatření nezbytná pro omezení harmonických.

V souvislosti s tím bude mít energetika výsadu použít v takových případech dostupnou rezervu. Avšak možnost připojení mimo normální meze bude dána odběratelům jen výjimečně s určitým rizikem.

Etapa 3 je důležitá pro umožnění odkladu investic, které případně nebudou nikdy potřeba. To znamená, že musí být provedena pečlivá studie připojení. Přitom se musí brát v úvahu existující úroveň harmonických (pozadí) a očekávaný příspěvek vyšetřovaného zařízení s tím, že se musí nezbytně brát v úvahu pravděpodobnost uspořádání tak, aby bylo eventuelně možno v budoucnosti rozšířit instalaci o filtry harmonických.

## 6 Meze harmonických emitovaných rušícím zařízením připojeným do soustavy vvn - připojovací podmínky

Tento postup schvalovacího řízení o připojování průmyslových zařízení předpokládá, že tato zařízení se připojují do elektrických soustav odběratele připojených ve společném napájecím bodu do soustavy velmi vysokého napětí.

### 6.1 Etapa 1: Připojení v závislosti na zkratovém výkonu soustavy

Význam etapy 1 je v jednoduchosti rozhodování o připojování odběrů emitujících harmonické. V soustavách vvn a zvn je oprávněně vztažen maximální zdánlivý příkon  $S_{maxi}$  odběru ke zkratovému výkonu soustavy  $S_k$  ve společném napájecím bodu. Doporučená mez etapy 1 je:

$$\frac{S_{maxi}}{S_k} \leq 0,001 \quad (12)$$

Je zřejmé, že tato mez bude překročena téměř vždy jedná-li se např. o polovodičově řízené pohony. Jedná-li se však o neřízené asynchronní motory je možné dát takto souhlas s připojením bez dalšího průzkumu. Jsou-li v síti odběratele zařízení jak emitující tak i neemitující harmonické a je-li  $\Delta S_i$  maximální příkon, který odpovídá trvalému příkonu zařízení prokazatelně neemitujících harmonické, potom rovnice (12) se změní na

$$\frac{S_{maxi} - \Delta S_i}{S_k} \leq 0,001 \quad (13)$$

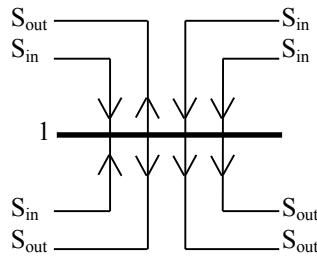
### 6.2 Etapa 2: Připojení v závislosti na rezervovaném příkonu odběratele

V konkrétním případě odběratelů vvn musí být podíl každého z nich vztažen k celkovému výkonu  $S_t$ , který je k dispozici pro odběratele a ne k přenositelnému zdánlivému výkonu soustavy.  $S_t$  je část celkového přenositelného zdánlivého výkonu vvn rozvodny, která je určena vvn odběratelům.

#### 6.2.1 Určení celkového výkonu, který je k dispozici odběratelům

Základní potřebnou informací je určení příkon  $S_i$  odběratele „i“ a celkového výkonu  $S_t$ , který je k dispozici ve společném napájecím bodu. Poměr  $S_i/S_t$  je potom základní veličinou pro určování mezí podle etapy 2.

Při určování celkového výkonu  $S_t$  předpokládejme, že např. hutní provoz je připojen na rozvodnu vvn. Základní informací je záznam výkonů vstupujících  $S_{in}$  a vystupujících  $S_{out}$  z rozvodny (viz obrázek 2) v době maximálního denního odběru (případně s respektováním jeho vývoje do budoucnosti).



**Obrázek 2 - Tok výkonů ve vyšetřované rozvodně**

Celkový výkon se určí jednoduše:

$$S_t = \sum S_{in} = \sum S_{out} \quad (14)$$

Složitější určení je v případě statického kompenzátoru SVC přímo v rozvodně. V takovém případě se výpočtový vztah změní na:

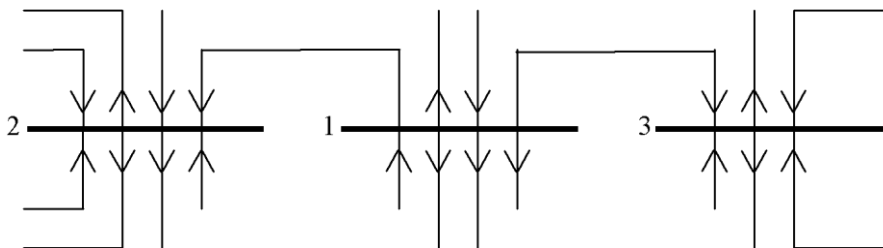
$$S_t = \sum S_{out} + \sum S_{SVC} \quad (14a)$$

kde  $S_t$  je nazýván "upravený celkový výkon" a jedná se spíše o celkový potenciálně rušivý výkon než o celkový výkon. Přitom se předpokládá, že  $S_{out}$  nezahrnuje jakýkoliv  $S_{SVC}$ .

Základním předpokladem tohoto přístupu je, že každý  $S_{in}$  je přicházející čistě sinusový výkon, zatímco  $S_{out}$  je odběr jehož část je částečně deformována.

Je-li v blízkosti vyšetřované rozvodny další významný rušící odběr nemusí tento zjednodušený přístup někdy odpovídat skutečnosti. V případě pochyb je doporučen následující postup:

Označme "1" vyšetřovaný uzel a "2", "3" ...ostatní uzly v okolí vyšetřovaného uzlu (viz obrázek 3). Upravené celkové výkony v těchto uzlech  $S_{t1}$ ,  $S_{t2}$ ,  $S_{t3}$ ...se vypočtou z rovnice (14a) při ignorování všech toků výkonů mezi těmito uzly. Pro každý řád harmonické  $n$  se vypočtou činitele vlivu  $K_{n2-1}$ ,  $K_{n3-1}$  ... (činitel vlivu  $K_{nj-i}$  je harmonická napětí řádu  $n$ , která je způsobena v uzlu;  $i$  když je v uzlu způsobeno jednotková harmonická napětí stejného řádu; výpočet těchto činitelů vyžaduje použití počítačového programu).



**Obrázek 3 - Tok výkonů v okolních rozvodnách**

Rovnice (14) potom bude

$$S_t = S_{t1} + K_{n2-1}S_{t2} + K_{n3-1}S_{t3} + \dots \quad (15)$$

přičemž se přidávají další členy  $K_{nj-i}S_{ij}$  pokud nejsou zanedbatelné ve srovnání s  $S_{t1}$ .

### 6.2.2 Individuální meze harmonické napětí emitovaného odběratelem „i“

Pro každý řád harmonické bude v každé průmyslové síti odběratele i dovolen příspěvek ( $E_{Uni}$ ) k plánovací úrovni  $L_{n(vvn)}$  podle poměru rezervovaného maximálního příkonu ( $S_i$ ) tohoto odběratele a upraveného celkového výkonu ( $S_t$ ) soustavy. Při použití aritmetického součtu harmonických přicházejících z různých zdrojů bude dovolený příspěvek

$$E_{Uni} = L_{n(vvn)} \frac{S_i}{S_t} \quad (16)$$

V praxi bude superpozice harmonických z jednotlivých zdrojů vést k hodnotám trochu menším zejména pro harmonické řády větší než 4 (rovnice 1). Upravená rovnice (16) potom bude

$$E_{Uni} = L_{n(vn)} \sqrt[\alpha]{\frac{S_i}{S_t}} \quad (17)$$

kde:

$E_{Uni}$  je mez emise harmonické napětí řádu  $n$  určená pro průmyslovou síť odběratele  $i$

$L_{n(vn)}$  je plánovací úroveň harmonické napětí řádu  $n$  (viz tabulka 3).

$S_i$  je rezervovaný maximální příkon odběratele  $i$

$S_t$  je upravený celkový výkon soustavy.

$\alpha$  je exponent výpočetního vztahu (1) pro výpočet superpozice harmonických

Na kmitočtech vyšších řádů se mohou ve společném napájecím bodu objevit účinky vzdálených jevů rezonance. Tyto jevy je možno brát v úvahu odhadnutím činitelů vlivu  $K_{ni-j}$ , kde index  $i$  se týká bodu připojení odběratele  $i$  a index  $j$  se týká jakéhokoliv jiného bodu soustavy. Pro daný řád harmonické jsou některé hodnoty  $K_{ni-j}$  větší než 1 a největší hodnota tohoto činitele se potom použije v rovnici (17) tak, že  $L_{n(vn)}$  se nahradí hodnotou  $L_{n(vn)}/K_{ni-j}$ .

Někdy se může stát, že pro některé řády harmonických  $n$  je úroveň pozadí  $B_{n(vn)}$  větší než její normální podíl. Přitom "normální podíl" je úměrný vztahu

$$\sqrt[\alpha]{\frac{S_t - S_i}{S_t}} \quad (18)$$

a musí se brát v úvahu tak, aby se zabránilo překročení plánovací úrovně. V rovnici (17) se pak  $L_{n(vn)}$  nahradí vztahem

$$\sqrt[\alpha]{L_{n(vn)}^\alpha - B_{n(vn)}^\alpha} \quad (19)$$

V některých případech mohou být meze stanovené podle rovnice (17) nereálně nízké což by mělo za následek příliš časté používání postupu podle etapy 3 (viz 6.3). Proto se doporučuje:

- vyjde-li vypočtená mez menší než 0,1 % potom  $E_{Uni}$  se ponechá rovné 0,1 % (s výjimkou řádů harmonických v blízkosti kmitočtů HDO, kdy může být vyžadováno striktní dodržování mezí,
- je-li prokázáno, že část odběrů připojených do soustavy nemůže nikdy generovat harmonické, potom tato část může být v rovnici (15) odečtena obdobně jako v rovnici (12).

### 6.2.3 Individuální meze harmonické proudu emitovaného odběratelem „i“

Pro hodnocení přípustnosti připojení odběru emitujícího harmonické do soustavy je výhodnější stanovit meze harmonické proudu. K tomu je ovšem třeba znát kmitočtovou charakteristiku impedance soustavy. Meze harmonické proudu potom jsou

$$I_{ni} = \frac{E_{Uni}}{Z_n} \quad (20)$$

kde

$I_{ni}$  je přípustná úroveň proudu harmonické řádu  $n$  stanovená pro odběratele  $i$

$Z_n$  je impedance soustavy na kmitočtu harmonické řádu  $n$

Při stanovení mezí harmonické proudu se neberou v úvahu mimořádně nízké hodnoty impedance. Nejnížší hodnoty impedance se obvykle týkají rezonancí a harmonická napětí na těchto kmitočtech mohou překročit plánovací úroveň v jiných částech soustavy. Proto hodnoty impedance použité v rovnici (20) musí být větší než  $Z_{min}$  podle rovnice (21)

$$Z_{\min} > \frac{Z_{char}}{N} \quad (21)$$

$Z_{char}$  je charakteristická impedance vedení odcházejících ze společného napájecího bodu a  $N$  je počet těchto vedení.

### 6.3 Etapa 3: Připojování za mimořádných okolností

Je třeba poznamenat, že někteří odběratelé nezpůsobují kolísání napětí, protože neprovozují kolísající zatížení.

Pouhá aplikace etap 1 a 2 může mít za následek nepřiměřená opatření nezbytná pro omezení harmonických.

V souvislosti s tím bude mít energetika výsadu použít v takových případech dostupnou rezervu. Avšak možnost připojení mimo normální meze bude dána odběratelům jen výjimečně s určitým rizikem.

Etapa 3 je důležitá pro umožnění odkladu investic, které případně nebudou nikdy potřeba. To znamená, že musí být provedena pečlivá studie připojení. Přitom se musí brát v úvahu existující úroveň harmonických (pozadí) a očekávaný příspěvek vyšetřovaného zařízení s tím, že se musí nezbytně brát v úvahu pravděpodobnost uspořádání tak, aby bylo eventuelně možno v budoucnosti rozšířit instalaci o filtry harmonických.

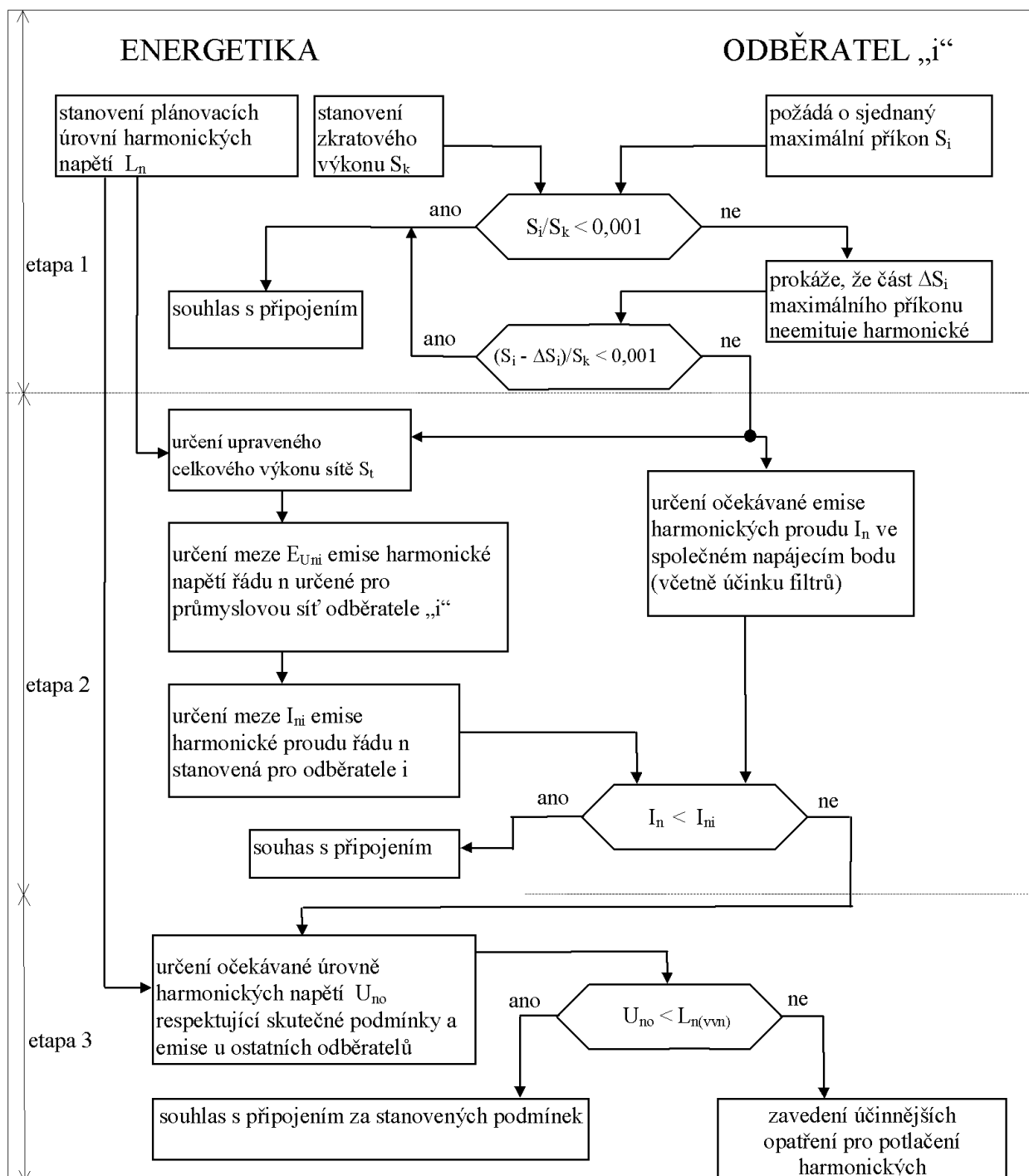
## 7 Postup schvalovacího řízení o připojení rušícího zařízení do distribučních soustav vn a vvn

Označme "i" jako pořadové číslo odběratele, který chce uzavřít novou smlouvu o odběru elektřiny v souvislosti s požadavkem připojení rušícího (emitujícího harmonické) zařízení. V žádosti o připojení uvede tento odběratel požadovaný maximální příkon  $S_i$  a nezbytné informace o zařízení. Tyto informace mohou být předány formou dotazníku podle přílohy A normy IEC 1000-3-5 .

Energetika jako podklad pro schvalovací řízení stanoví plánovací úroveň harmonických v dané síti a hodnotu zkratového výkonu  $S_k$  ve společném napájecím bodu.

Na základě výše uvedených hodnot energetika při splnění podmínky podle rovnice (12) rozhodne zda souhlas s připojením dá již v první etapě (viz obrázek 4).

Pokud zařízení nevyhoví podmínkám této etapy je nutno postupovat podle etapy 2, což však předpokládá stanovení mezí jednotlivých harmonických a charakteristiky impedance soustavy podle rovnic (16) až (20).



Obrázek 4 - Postup schvalovacího řízení o připojení rušícího zařízení do distribučních soustav vn a vvn

## 8 Měření harmonických a meziharmonických

### 8.1 Měření a měřicí přístroje pro rozvodné soustavy a zařízení připojovaná do nich podle ČSN EN 61000-4-7

ČSN EN 61000-4-7 se týká přístrojové techniky určené k měření spektrálních složek v kmitočtovém rozsahu do 9 kHz, které jsou superponovány na základní složku napájecích soustav 50 Hz. Z praktických důvodů, tato norma rozlišuje mezi harmonickými, meziharmonickými a ostatními složkami nad rozsahem kmitočtů harmonických do 9 kHz.

Tato norma definuje měřicí přístrojovou techniku určenou ke zkoušení jednotlivých zařízení podle mezí emise stanovených v určitých normách (například meze harmonických proudů jsou stanoveny v IEC 61000-3-2) a rovněž určenou k měření harmonických proudů a napětí v aktuálních napájecích soustavách. Přístrojová technika pro měření nad rozsahem kmitočtů harmonických do 9 kHz je předběžně definována v příloze B uvedené normy.

## 8.2 Metody měření kvality energie podle ČSN EN 61000-4-30

Metody měření a vyhodnocení výsledků pro vyhodnocení parametrů kvality energie ve střídavých napájecích soustavách 50 Hz definuje norma ČSN EN 61000-4-30. Metody měření jsou v této normě popsány pro každý důležitý typ parametru a jsou formulované tak, aby umožnily získání spolehlivých, opakovatelných a porovnatelných výsledků bez ohledu na použitý vyhovující přístroj a bez ohledu na jeho podmínky prostředí. Pokud se jedná o připojované zařízení tato norma předkládá metody měření pro měření v místě jeho instalace.

Měření parametrů pokryté touto normou je omezeno na ty jevy, které se mohou v napájecí síti šířit vedením. Zahrnuti jsou příslušné parametry napětí a/nebo proudů. Tato norma uvádí metody měření, neuvádí však prahové hodnoty.

Parametry kvality energie uvažované v této normě jsou síťový kmitočet, velikost napájecího napětí, flickr, krátkodobé poklesy napětí a krátkodobá zvýšení napájecího napětí, přerušování napětí, přechodná napětí, nesymetrie napájecího napětí, harmonické a meziharmonické napětí a proudů, síťové signály na napájecím napětí a rychlé změny napětí. V závislosti na účelu měření se mohou měřit všechny jevy podle tohoto seznamu nebo jeho podsoubor.

### 8.2.1 Harmonické napětí

Pro harmonické napětí norma ČSN EN 61000-4-30 doporučuje následující metody.

Interval měření: pro hodnoty měřené v intervalu 10-min doba posuzování minimálně jeden týden a denní posuzování hodnot měřených v intervalu 3 s po alespoň jeden týden.

Technika vyhodnocování: předpokládají se hodnoty měřené v časovém intervalu 3 s (150 period) a/nebo hodnoty měřené v časovém intervalu 10-min. Smluvní hodnoty se mohou aplikovat na jednotlivé harmonické nebo na rozsah harmonických nebo na jiná seskupování, například sudých a lichých harmonických, podle dohody mezi smluvními stranami. Následující techniky jsou navrženy pro všechny hodnoty, mezi smluvními stranami by se však mohla dohodnout i jiná technika vyhodnocování:

- mohl by se počítat počet nebo procenta hodnot během intervalu měření, které překračují smluvní hodnoty;
- hodnoty nejhoršího případu by se mohly porovnat se smluvními hodnotami (pro tuto možnost by interval měření mohl být odlišný, například jeden rok);
- jedna nebo více týdenních hodnot pro 10-min hodnoty s pravděpodobností 95 % (nebo jiná procenta) a/nebo hodnoty pro časový interval 3 s hodnoty s pravděpodobností 95 % (nebo jiná procenta) vyjádřené v procentech by se mohly porovnat se smluvními hodnotami.

### 8.2.2 Meziharmonické napětí

Pro meziharmonická napětí norma ČSN EN 61000-4-30 doporučuje následující metody.

Interval měření stejný jako u harmonických napětí.

Technika vyhodnocování předpokládají se hodnoty měřené v časovém intervalu 3 s (150 period) a/nebo hodnoty měřené v časovém intervalu 10-min. Smluvní hodnoty se mohou aplikovat na rozsah meziharmonických nebo na jiná seskupování, podle dohody mezi smluvními stranami. Následující techniky jsou navrženy pro všechny hodnoty, mezi smluvními stranami by se však mohla dohodnout i jiná technika vyhodnocování:

- mohl by se počítat počet nebo procenta hodnot během intervalu měření, které překračují smluvní hodnoty;
- hodnoty nejhoršího případu by se mohly porovnat se smluvními hodnotami (pro tuto možnost by interval měření mohl být odlišný, například jeden rok);



- jedna nebo více týdenních hodnot pro 10-min hodnoty s pravděpodobností 95 % (nebo jiná procenta) a/nebo hodnoty pro časový interval 3 s (150 period) s pravděpodobností 95 % (nebo jiná procenta) vyjádřené v procentech by se mohly porovnat se smluvními hodnotami.