

# Kvalita elektrické energie-průvodce

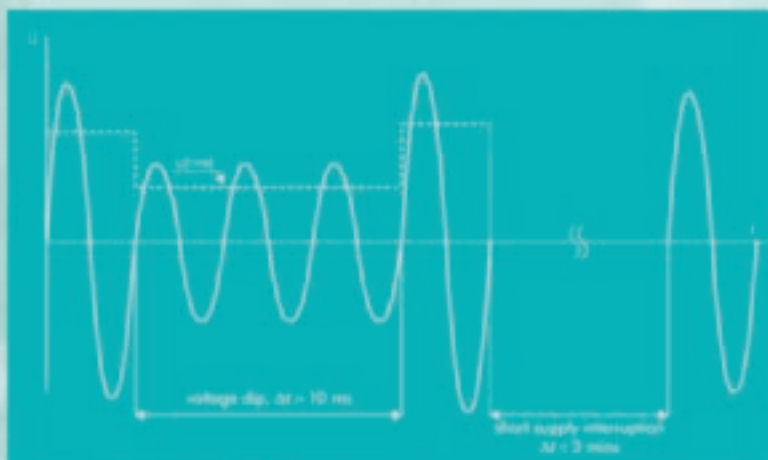


## *Poruchy napětí*

*Norma EN 50160*

*Charakteristiky napětí  
veřejné distribuční sítě*

5.4.2



HUNGARIAN COPPER  
PROMOTION CENTRE



*Poruchy napětí*

# Poruchy napětí

## Norma EN 50160 - Charakteristiky napětí veřejné distribuční sítě

Autoři: Henryk Markiewicz, Antoni Klajn, Wroclaw University of Technology  
Překlad: Josef Gavlas, Miloslav Kužela, Pavel Santarius, FEI Technická univerzita Ostrava,  
Leden 2005



Tento Průvodce byl vytvořen v rámci programu Leonardo Power Quality Initiative (LPQI), což je evropský vzdělávací program podporovaný Evropskou komisí (v rámci programu Leonardo da Vinci) a Mezinárodní asociací mědi (International Copper Association). Více informací naleznete na [www.lpqi.org](http://www.lpqi.org).

### Hungarian Copper Promotion Centre (HCPC)

HCPC je nezisková organizace financovaná producenty mědi a výrobci zpracovávajícími měď. Jejím cílem je podporovat používání mědi a měděných slitin a napomáhat jejich správné a účinné aplikaci. Služby HCPC, mezi něž patří i poskytování informací a technického poradenství, jsou dostupné zájemcům o využití mědi ve všech oborech. Sdružení rovněž slouží jako prostředník mezi výzkumnými organizacemi a průmyslovými uživateli a udržuje těsné styky s obdobnými střediskami mědi ve světě.

### Fakulta elektrotechniky a informatiky VŠB Technická univerzita Ostrava (FEI - TUO)

Fakulta elektrotechniky a informatiky zahájila svou činnost na VŠB Technické univerzitě v Ostravě od 1. ledna 1991. Fakulta zajišťuje všechny formy vysokoškolského studia (tj. bakalářské, magisterské doktorské) ve studijním programu Elektrotechnika a informatika s ucelenou strukturou elektrotechnických oborů a inženýrské informatiky. Nedílnou součástí činností pedagogů na fakultě je i vědecko-výzkumná činnost, kde jedním z nosných programů je kvalita elektrické energie s hlavním zaměřením na problematiku monitorování parametrů kvality a na problematiku harmonických v elektrických sítích.

### European Copper Institute (ECI)

European Copper Institute je organizací založenou podporujícími členy ICA (International Copper Association) a IWCC (International Wrought Copper Council). ECI zastupuje největší světové producenty mědi a přední evropské výrobce při propagaci mědi v Evropě. ECI, který byl založen v roce 1996, se opírá o síť deseti národních organizací mědi (Copper Development Associations - 'CDAs') v Beneluxu, Francii, Německu, Řecku, Maďarsku, Itálii, Polsku, Skandinávii, Španělsku a Spojeném království. Navazuje na činnost sdružení Copper Products Development Association založeného v roce 1959 a INCRA (International Copper Research Association) založeného v roce 1961.

### Upozornění

Obsah tohoto materiálu nemusí nutně vyjadřovat názor Evropského společenství a není pro něj ani závazný.

European Copper Institute a Hungarian Copper Promotion Centre odmítají odpovědnost za jakékoliv přímé, nepřímé či vedlejší škody, které mohou být způsobeny nesprávným využitím informací v této publikaci.

Copyright© European Copper Institute a Copper Development Association.

Česká verze byla připravena ve spolupráci HCPC a Fakulty elektrotechniky a informatiky VŠB - Technické Univerzity Ostrava.

Reprodukce je možná za předpokladu, že materiál bude otištěn v nezkrácené podobě a s uvedením zdroje.



# Poruchy napětí

---

## Úvod

Elektrická energie je výrobek jako každý jiný, který musí splňovat odpovídající požadavky kvality. Správně provozované elektrické zařízení vyžaduje dodávku elektrické energie s napětím v předepsaných mezích od jmenovité hodnoty. Podstatná část každodenně používaných zařízení, především elektronika a výpočetní technika vyžaduje kvalitní elektrickou energii. Tatáž zařízení často v rozvodech zapříčiňují zkreslení napájecího napětí, důvodem jsou nelineární charakteristiky, tj. odebírají nesinusový proud i při dodávce sinusového napětí (viz Část 3.1 tohoto Průvodce). Udržování dostatečné kvality elektrické energie je tedy spojením odpovědnosti dodavatelů i odběratelů elektrické energie. Podle normy EN 50160 [1] je dodavatel smluvní strana, která poskytuje elektrickou energii prostřednictvím veřejné distribuční sítě a odběratel je zákazník kupující elektrickou energii od dodavatele této energie. Odběratel je oprávněný dostat od dodavatele elektrickou energii přiměřené kvality. V praxi je úroveň kvality elektrické energie kompromisem mezi odběratelem a dodavatelem. Tam, kde je k dispozici elektrická energie, jejíž kvalita není dostačující pro potřeby uživatelů, budou zapotřebí opatření pro zlepšení její kvality. Toto bude předmětem ekonomické analýzy (viz Část 2.5 Průvodce). Avšak výdaje spojené se špatnou kvalitou elektrické energie obvykle přesahují náklady na opatření nutná pro její zlepšení – odhaduje se, že ztráty způsobené špatnou kvalitou elektrické energie stojí průmysl a obchod EU každoročně okolo 10 miliard € (viz Část 2.1 Průvodce).

Nicméně elektrická energie je velmi specifický produkt, možnost jejího skladování ve větším množství je velmi omezená, a tak se spotřebovává ihned po jejím vyrobení. Měření a hodnocení kvality dodávané elektrické energie musí být prováděno v okamžiku její spotřeby. Měření kvality elektrické energie je složité, jelikož dodavatel a uživatel, jejichž citlivá elektrická zařízení jsou také zdrojem rušení, mají rozdílná hlediska.

Norma IEC 38 [2] rozlišuje dvě různá napětí v elektrických sítích a instalacích:

- napájecí napětí, což je napětí mezi fázemi nebo proti zemi ve společném napájecím bodu, tj. hlavním napájecím bodu instalace
- napětí u odběratele, což je napětí mezi fázemi nebo proti zemi v místě připojení elektrického zařízení.

Hlavním dokumentem, který pojednává o požadavcích z pohledu dodavatelské strany, je norma EN 50160. Tato norma charakterizuje parametry napětí dodávané elektrické energie ve veřejných distribučních sítích. Jedná se o evropskou normu, která je ale doplněna v některých regionech a zemích o další doplňující normy, jako například [3] v Německu nebo [4] v Polsku. Mnoho regionálních zákonů, jako například německý [3] je sice používán samostatně, ale jinak tvoří součást liberalizace německého trhu s elektrickou energií. Norma EN 50160 i pravidla [3,4] se týkají v souladu s IEC 38 napájecího napětí, tj. napětí měřeného ve společném napájecím bodu.

Na straně odběratele je důležitá kvalita elektrické energie, která je k dispozici pro zařízení uživatele. Správné provozování zařízení vyžaduje, aby úroveň elektromagnetického působení na zařízení byla udržována pod určitou hranicí. Zařízení je ovlivňováno rušením z napájení a prostřednictvím dalších zařízení v instalaci i vlastním působením na napájení. Tato problematika je shrnuta v normách EMC řady EN 61000, ve kterých jsou charakterizovány hranice rušení šířeného vedením. Citlivost zařízení na kvalitu napětí u odběratele, stejně jako opatření pro zlepšení, jsou uvedeny v Části 3 (Harmonické) a Části 5 (Rušení napětí) tohoto Průvodce.

Předmětem této Části je detailní prezentace normy EN 50160 a rozbor požadavků při provozu vybraného zařízení. Jsou zde také představeny metody měření parametrů napájecího napětí.

# Charakteristiky napětí veřejné distribuční sítě

## Základní definice parametrů napětí

V normě EN 50160 je definováno několik parametrů napětí. Nejdůležitější jsou:

*Napájecí napětí* – efektivní hodnota napětí v dané době v předávacím místě, měřená po dobu daného intervalu.

*Jmenovité napětí sítě ( $U_n$ )* – napětí, podle kterého je síť navržena nebo označena a k němuž se vztahují některé provozní charakteristiky

*Dohodnuté napájecí napětí ( $U_c$ )* – je normální jmenovité napětí soustavy  $U_N$ . Je-li na základě dohody mezi dodavatelem a odběratelem přivedeno do předávacího místa napětí odlišné od jmenovitého napětí, pak toto napětí je nazýváno dohodnuté napájecí napětí  $U_c$ .

*Normální provozní podmínky* – stav splňující požadavky zatížení, spínání v soustavě a odstraňování poruch automatickými ochrannými systémy, bez výskytu mimořádných stavů způsobených vnějšími vlivy nebo závažnými událostmi.

*Změna napětí* – je nárůst nebo pokles napětí obvykle způsobený proměnlivostí celkového zatížení distribuční sítě nebo její části.

*Flikr* – vjem nestálosti zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase.

*Míra vjemu flikru* – intenzita nepříjemnosti flikru definovaná měřicí metodou flikru UIE-IEC a vyhodnocená následujícími veličinami:

- Krátkodobá míra vjemu ( $P_{st}$ ) je měřena po dobu deseti minut
- Dlouhodobá míra vjemu ( $P_{lt}$ ) je vypočítána z posloupnosti dvanácti hodnot  $P_{st}$  po dobu dvouhodinového intervalu použitím následujícího vztahu:

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

*Krátkodobý pokles napájecího napětí* – náhlý pokles napájecího napětí na hodnotu mezi 90% a 1% dohodnutého napětí  $U_c$ , po kterém následuje obnovení napětí během krátkého časového intervalu. Dohodnutá doba trvání krátkodobého poklesu napětí je mezi 10 ms a 1 minutou. Hloubka krátkodobého poklesu napětí je definována jako podíl mezi minimální efektivní hodnotou napětí v průběhu krátkodobého poklesu a dohodnutým napětím. Změny napětí, které nesnižují napájecí napětí na méně než 90% dohodnutého napětí  $U_c$  se nepovažují za krátkodobé poklesy napětí.

*Přerušení napájecího napětí* – je stav, při kterém je napětí v předávacím místě menší než 1% dohodnutého napětí  $U_c$ . Přerušení napájecího napětí mohou být tříděna na:

- *předem dohodnutá* umožňující provádění plánovaných prací na distribuční síti, při kterých jsou odběratelé elektrické energie předem informováni
- *poruchová*, způsobená trvalými (dlouhodobá přerušení) nebo přechodnými (krátkodobá přerušení) poruchami většinou spojenými s vnějšími vlivy, poruchami zařízení nebo rušením.

*Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu* – mají relativně dlouhou dobu trvání, obvykle několik period. Převážně mají původ ve spínacích operacích nebo poruchách, např. náhlé snížení zatížení nebo vypnutí zkratu.

*Přechodná přepětí* – jsou oscilační nebo neoscilační, silně tlumená, krátkodobá přepětí s dobou trvání několik milisekund nebo méně, způsobená bleskem nebo některými spínacími operacemi, například při vypínání indukčních proudů.

*Harmonické napětí* – sinusové napětí s kmitočtem rovným celistvému násobku základního kmitočtu napájecího napětí. Harmonická napětí lze hodnotit:



# Charakteristiky napětí veřejné distribuční sítě

- jednotlivě jejich relativní amplitudou  $U_h$  vztaženou k napětí základní harmonické  $U_1$ , kde  $h$  je řád harmonické
- souhrnně, obvykle pomocí celkového harmonického zkreslení  $THD_U$ , který se počítá pomocí následujícího vztahu:

$$THD_u = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2}{U_1^2}} \quad (2)$$

*Meziharmonické napětí* – je sinusové napětí s kmitočtem ležícím mezi harmonickými, tzn. kmitočet není celistvým násobkem základního kmitočtu.

*Nesymetrie napětí* – je stav trojfázové sítě, při kterém efektivní hodnoty fázových napětí nebo rozdíly fázových úhlů mezi po sobě jdoucími fázemi nejsou stejné.

## Hlavní požadavky EN 50160

EN 50160 uvádí hlavní parametry napětí a rozsahy jejich přípustných odchylek ve společném napájecím bodu zákazníka ve veřejné distribuční síti nízkého (NN) a vysokého (VN) napětí, za běžných provozních podmínek. V této souvislosti NN znamená, že jmenovitá efektivní hodnota napětí mezi fázemi nepřevyšuje 1000 V, a VN znamená, že jmenovitá efektivní hodnota napětí mezi fázemi je mezi 1 kV až 35 kV.

Porovnání požadavků EN 50160 s požadavky EMC norem EN 61000, uvedených v Tabulce 1 a 2, ukazuje podstatné rozdíly různých parametrů. Existují dva hlavní důvody těchto rozdílů:

- Normy EMC se týkají napětí u odběratele, podle IEC 38, zatímco EN 50160 se zabývá napájecím napětím. Rozdíly mezi těmito napětími jsou způsobeny poklesy napětí v instalacích a rušením, které přichází ze sítě a z dalších zařízení napájených z instalace. Proto v mnohých normách řady EN 61000 je velmi důležitým parametrem proud zařízení, zatímco pro EN 50160 proud zátěže není důležitý.
- EN 50160 uvádí pouze hlavní limity, které jsou technicky a ekonomicky přijatelné pro dodavatele pracující do veřejné distribuční sítě. Pokud jsou vyžadovány přísnější podmínky, musí být sjednána samostatná podrobná dohoda mezi dodavatelem a odběratelem. Opatření pro zlepšení kvality elektrické energie zahrnují další náklady a zařízení, a jsou zohledněny v další části této příručky.
- EN 50160 má další omezení. Netýká se neobvyklých provozních stavů, včetně následujících:
  - podmínky vzniklé jako důsledek poruchy nebo přechodného stavu napájení
  - v případech, že instalace odběratele nebo zařízení není v souladu příslušným normami nebo s technickými požadavky pro připojení zátěže
  - v případech, že instalace zdroje není v souladu s příslušnými normami nebo s technickými požadavky na připojení k energetické distribuční síti
  - ve výjimečných případech na které nemá dodavatel elektrické energie vliv především:
    - mimořádné povětrnostní podmínky a další přírodní katastrofy
    - cizí zavinění
    - nařízení úřadů
    - průmyslové vlivy (předmět právních podmínek)
    - vyšší moc
    - deficit výkonu způsobený vnějšími událostmi

Rozbor parametrů uvedených v Tabulce 1 ukazuje, že ty požadavky jsou obzvláště přísné pro dodavatele. Mnohé situace, ve kterých se nedodržují normy, mohou vysvětlit většinu výpadků a případů napěťového rušení, které nastávají v praxi. Tedy mnoho dodavatelů považuje požadavky EN 50160 hlavně za informativní a k překračování mezních hodnot přistupuje nezodpovědně.

# Charakteristiky napětí veřejné distribuční sítě

Č.	Parametr	Charakteristiky napájecího napětí podle EN 50160	Charakteristiky nízkého napětí podle EMC normy EN 61000	
			EN 61000-2-2	Další části
1	Kmitočet sítě	NN,VN: střední hodnota základní harmonické měřená každých 10 s $\pm 1\%$ (49,5% - 50,5 Hz) pro 95% týdne -6% / +4% (47 - 52 Hz) pro 100% týdne	2%	
2	Odchyšky napájecího napětí	NN, VN: $\pm 10\%$ pro 95% týdne střední 10 minutové efektivní hodnoty (Obrázek 1)		$\pm 10\%$ žádaných 15 minut
3	Rychlé změny napětí	NN: 5% obecně 10% výjimečně $P_{lt} \leq 1$ pro 95% týdne  VN: 4% běžně 6% výjimečně $P_{lt} \leq 1$ pro 95% týdne	3% běžně 8% výjimečně $P_{st} < 1,0$ $P_{lt} < 0,8$	3% běžně 4% maximálně $P_{st} < 1,0$ $P_{lt} < 0,65$ (EN 61000-3-3) 3% (IEC 61000-2-12)
4	Krátkodobé poklesy napájecího napětí	Většina: délka trvání < 1 s, hloubka < 60% Lokálně ohraničené poklesy způsobené spínáním zátěže: NN: 10 - 50%, VN: 10-15% (Obrázek 1)	městské: 1-4 měsíce	do 30% U po 10 ms do 60% U po 100 ms (EN 61000-6-1, 6-2) do 60% U po 1000 ms (EN 61000-6-2)
5	Krátkodobé přerušení napájecího napětí	NN,VN (do 3 min) několik desítek – několik stovek / rok Délka trvání 70% z nich < 1 s		95% redukce do 5s (EN 61000-6-1, 6-2)
6	Dlouhodobé přerušení napájecího napětí	NN, VN: (delší než 3 minuty) < 10 - 50 /rok		
7	Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu	NN: < 1,5 kV efektivní VN: $1,7 U_C$ (účinně uzemněné nebo zemněné přes impedanci) $2,0 U_C$ (izolované nebo rezonančně uzemněné)		
8	Přechodná přepětí	NN: obecně < 6 kV, příležitostně vyšší, doba náběhu: ms - $\mu$ s.  VN: není definováno		$\pm 2$ kV, proti zemi $\pm 1$ kV, mezi fázemi $1,2/50$ (8/20) $T_R/T_H \mu$ s (EN 61000-6-1, 6-2)
9	Nesymetrie napájecího napětí	NN, VN: až 2% pro 95% týdne, střední 10 minutové efektivní hodnoty až 3% v některých lokalitách	2%	2% (IEC 61000-2-12)
10	Harmonické napětí	NN, VN: viz Tabulka 2	6% - $5^{har}$ , 5% - $7^{har}$ , 3,5% - $11^{har}$ , 3% - $13^{har}$ , THD < 8%	5% $3^{har}$ , 6% $5^{har}$ , 5% $7^{har}$ , 1,5% $9^{har}$ 3,5% $11^{har}$ , 3% $13^{har}$ 0,3% $15^{har}$ , 2% $17^{har}$ (EN 61000-3-2)
11	Meziharmonické napětí	NN, VN: neuvažují se	0,2%	

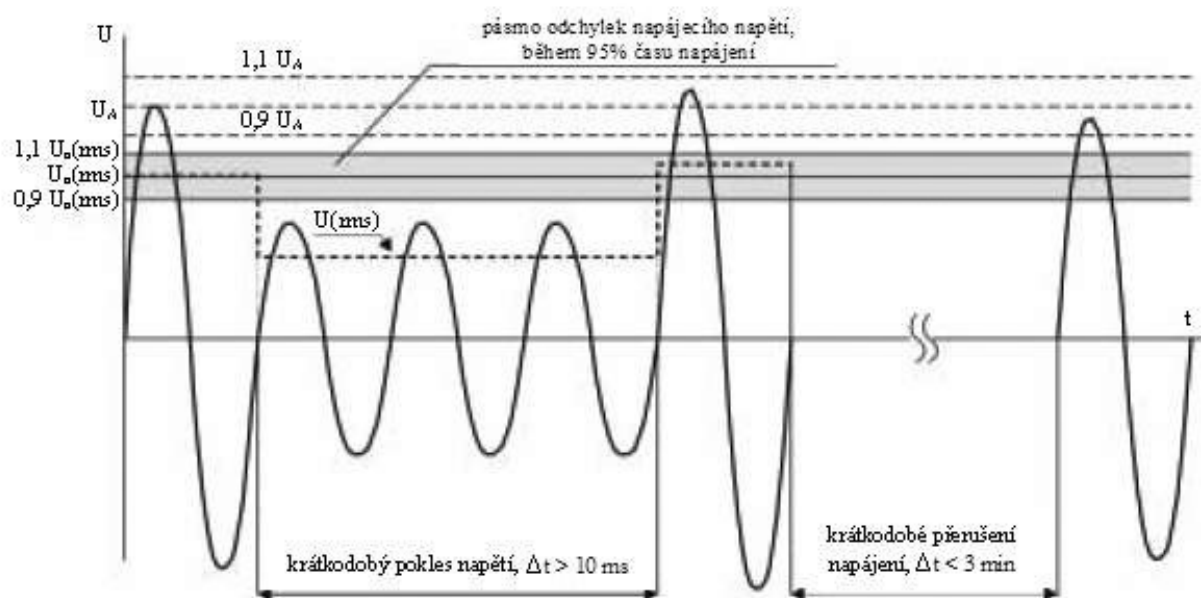
Tabulka 1 Srovnání požadavků na napájecí napětí podle EN 50160 a EMC norem EN 6100

# Charakteristiky napětí veřejné distribuční sítě

Na druhé straně, pohled na odběrné místo je obvykle úplně odlišný – dbá se na limity uvedené v EN 50160 jako na podmínky, které musí být zajištěny dodavatelem. Ačkoliv jak již bylo uvedeno, pro mnohé odběratele dokonce naplnění podmínek uvedených v EN 50160 nemusí zajistit dostačující úroveň kvality elektrické energie. V takových případech požadovaná úroveň kvality musí být definována v samostatných dohodách mezi dodavatelem a odběratelem.

Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3			
Řád harmonické $h$	Harmonické napětí (%)	Řád harmonické $h$	Harmonické napětí (%)	Řád harmonické $h$	Harmonické napětí (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.5	6 ... 24	0.5
13	3	21	0.5		
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				

Tabulka 2 – Úrovně jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě v procentech  $U_n$  pro řady harmonických až do 25



Obrázek 1 – Ukázka krátkodobého poklesu napětí a krátkodobého přerušení, hodnocené podle EN 50160,  $U_n$  – jmenovité napětí napájecí sítě (efektivní hodnota),  $U_A$  – amplituda napájecího napětí,  $U(rms)$  – aktuální efektivní hodnota napájecího napětí

## Provoz zařízení a požadavky EN 50160

Správný chod elektrických zařízení vyžaduje napájecí napětí, které je blízké jmenovitému napětí. Dokonce relativně malá odchylka od jmenovité hodnoty napětí může způsobit neoptimální chod

# Charakteristiky napětí veřejné distribuční sítě

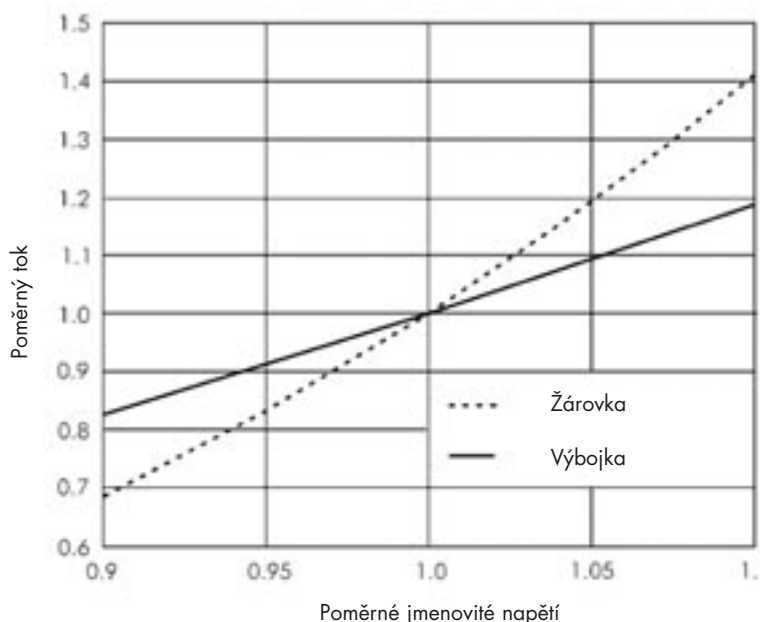
zařízení, tj. provoz se sníženou účinností nebo se zvýšenou spotřebou energie s přídatnými ztrátami a kratší životností. Někdy mohou déletrvající odchylky zapříčinit působení ochranných prvků, vedoucí k výpadkům. Samozřejmě ale správný chod zařízení je také závislý na mnohých dalších faktorech, jako například vlivy prostředí a správný výběr a instalace.

Vyšetřování samostatného účinku každého parametru napájecího napětí na provoz zařízení se provádí snadno, ale mnohem složitější je situace, když se parametry mění současně. V některých případech může být výsledek celkového působení výsledkem superponování výsledků detailního rozboru účinků jednotlivých parametrů napětí. Působení jednotlivých parametrů napětí na provoz zařízení se zakládá na matematických vztazích, které popisují analyzované fyzikální jevy. Pro názornost jsou zde dva jednoduché příklady týkající se osvětlení a motorů.

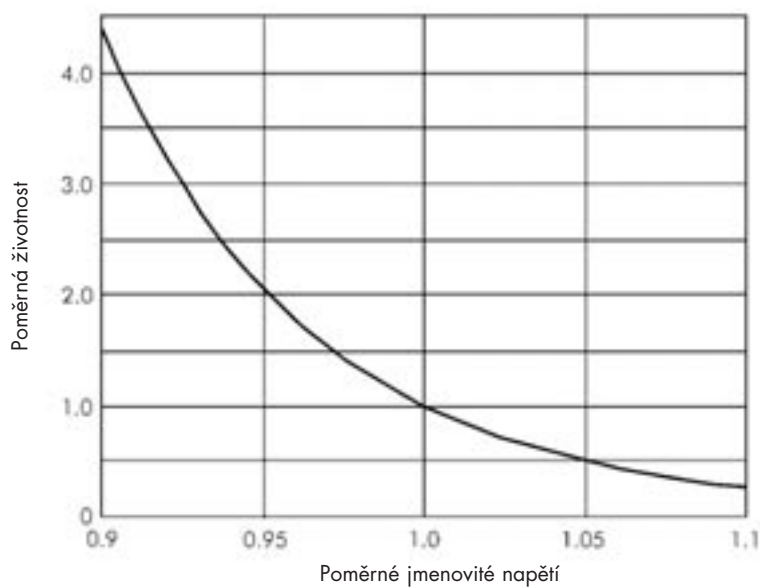
**Pro žárovkové světelné zdroje** napájecí napětí nejvíce ovlivňuje světelný tok, jak vysvětluje Obrázek 2 a vztah (3). Přípustné změny napájecího napětí podle EN 50160 mohou tudíž způsobit významné změny toku. EN 50160 například připouští, že napájecí napětí může být dlouhodobě rovno od  $U_n - 10\%$  do  $U_n + 10\%$ , tudíž žárovka bude dodávat buď pouze 70% nebo naopak až 140% jmenovitého světelného toku. Navíc při  $U_n + 10\%$  se životnost těchto svítidel sníží asi na 25% jmenovité hodnoty (Obrázek 3), tj. kolem 250 hodin místo původní typické životnosti 1 000 hodin. (Poznámka: životnost zářivek a výbojek závisí hlavně na počtu spínacích cyklů. Účinek změn napájecího napětí je malý.) Hodnoty zobrazené na Obrázku 2 a 3 jsou stanoveny pro ustálený pracovní stav pro dané hodnoty napětí.

V praxi se hodnota napětí mění kontinuálně podle provozu a změn zatížení v síti, jak je například ukázáno na Obrázku 4. Matematický zápis charakteristik zobrazených na Obrázku 2 a 3 je:

$$\frac{F}{F_n} = \left( \frac{U}{U_n} \right)^b \quad (3)$$



Obrázek 2 – Poměrná hodnota světelného toku  $F$  žárovky a výbojky jako funkce napájecího napětí podle vztahu (3)



Obrázek 3 – Poměrná hodnota životnosti (trvanlivosti) žárovky jako funkce napájecího napětí podle vztahu (4)



# Charakteristiky napětí veřejné distribuční sítě

kde:

$F$  = světelný tok

$U$  = napájecí napětí

$F_n$  = světelný tok při jmenovité hodnotě napájecího napětí  $U_n$

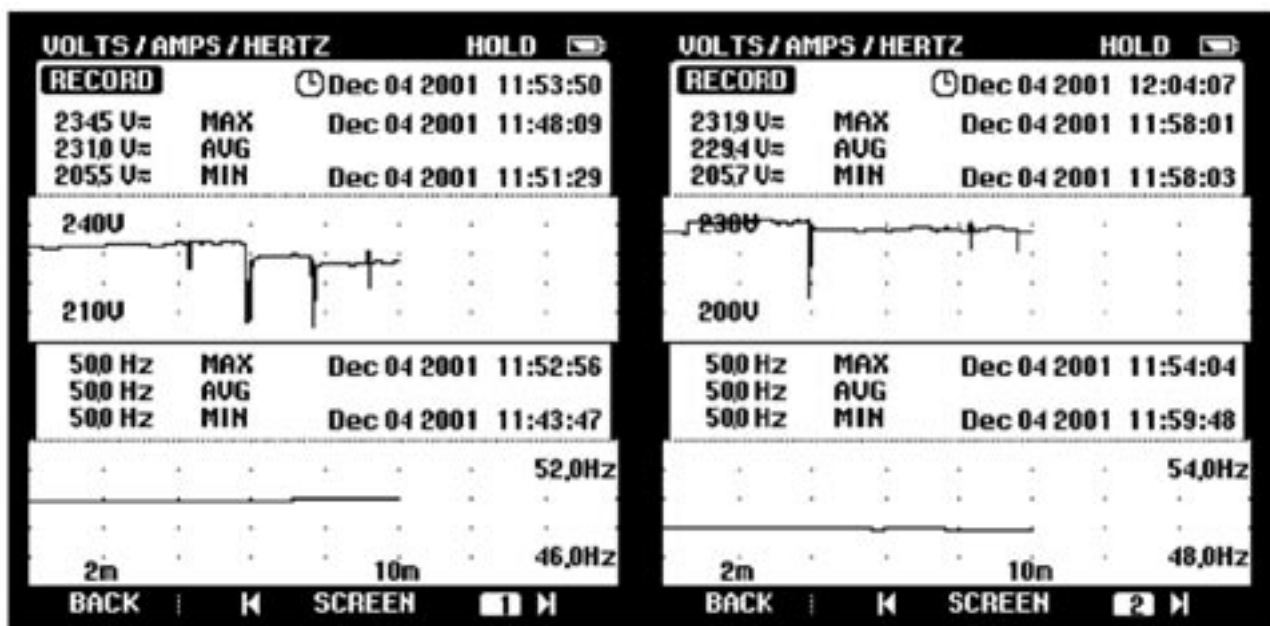
$b$  = koeficient rovný 3,6 pro žárovky a 1,8 pro výbojky

$$\frac{D}{D_n} = \left( \frac{U}{U_n} \right)^{-14} \quad (4)$$

kde:

$D$  = životnost (trvanlivost) žárovky

$D_n$  = životnost při jmenovité hodnotě napájecího napětí  $U_n$



Obrázek 4 – Příklad poklesů napětí (efektivní fázové hodnoty napětí), oscilogram zobrazuje napájecí napětí (horní průběh) a změny frekvence (dolní průběh) ve společném napájecím bodu malého podniku

Je možno vidět, že požadavky týkající se změn napětí v EN 50160 nejsou příliš přísné. Dokonce i dodržování změn napětí v přípustných mezích  $\pm 10\%$  může být příčinou nižšího výkonu světelných zdrojů. V praxi by tyto změny měly být omezeny na přibližně  $\pm (3-4)\%$ , aby se zabránilo negativním důsledkům u osvětlení.

Kolísání napětí zobrazené na Obrázku 4 ilustruje vliv napětí na míru vjemu flikru, která může být měřena a počítána podle vztahu (1). Měřením flikru se zabývá další část Průvodce.

**Pro elektromotory** je nejdůležitějším faktorem kolísání točivého momentu, který je závislý na druhé mocnině hodnoty napájecího napětí. V průběhu spouštění velkých zátěží mohou nastat problémy, protože nárazový proud vyvolá v instalaci pokles napětí (Obrázek 5). V praxi pro většinu třífázových elektromotorů bývá tento pokles při spouštění běžně na 85% jmenovité hodnoty napětí pro lehký rozběh zátěží a na 70% pro těžký rozběh zátěží. Zde jsou tedy požadavky EN 5160 na kolísání napětí dostačující. Nicméně déletrvající provoz motoru při efektivní hodnotě napětí  $-10\%$  nebo  $+10\%$   $U_n$  může mít negativní důsledky:

v prvním případě přetížení a působení tepelné ochrany nebo provoz s nadměrným výkonem

# Charakteristiky napětí veřejné distribuční sítě

a působení ochrany v případě druhém. Všechny poklesy napětí mohou způsobit nepříjemné působení motorických ochran.

Vliv zátěžného proudu na napájecí napětí v instalacích závisí na impedanci napájecí sítě. Napětí u odběratele na zařízení závisí na impedanci napájecí sítě a instalaci odběratele. Ukázka vlivu zátěžného proudu na napájecí napětí je na Obrázku 6.

Dalšími závažnými problémy motorů jsou harmonická napětí a nesymetrie napájecího napětí. Napěťová nesymetrie v třífázovém systému vyvolává zpětný točivý moment, úměrný zpětné složce napětí. Každá harmonická napětí vyvolává příslušný harmonický proud a jeho vlastní moment, který může být souhlasný nebo opačný s hlavním momentem, pro různé hodnoty skluzu. Nejvýznamnějšími zde jsou 5. a 7. harmonická. Obrázek 7 ukazuje případ, ve kterém moment 7. harmonické může způsobovat problémy během rozběhu motoru, kdy se křivky charakteristického momentu a brzdného momentu kříží.

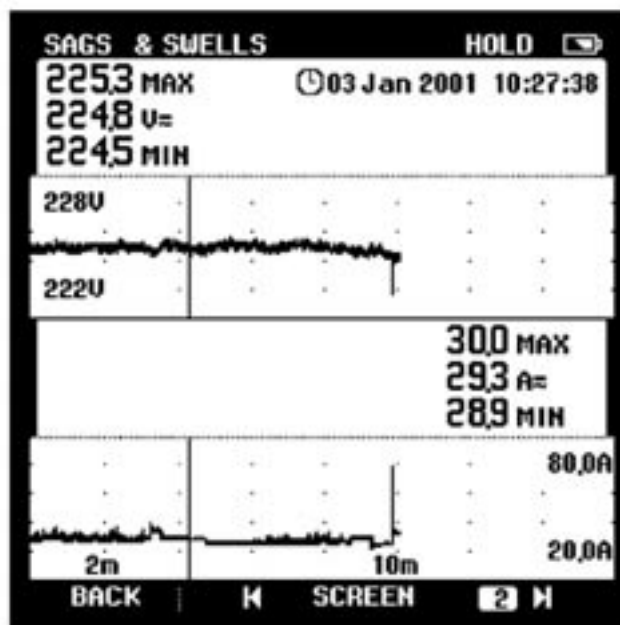
**Pro jiná elektrická zařízení** vztah mezi napájecím napětím a jeho výkonem nebo účinností může být důležitý. Pro většinu zařízení změny napětí v rozsahu (0,9 – 1,1)  $U_n$  nemají žádné negativní důsledky, především pro běžná tepelná zařízení. Pro zařízení s vyšší citlivostí na napájecí napětí by měly být instalovány příslušné ochrany.

## Měřicí metody

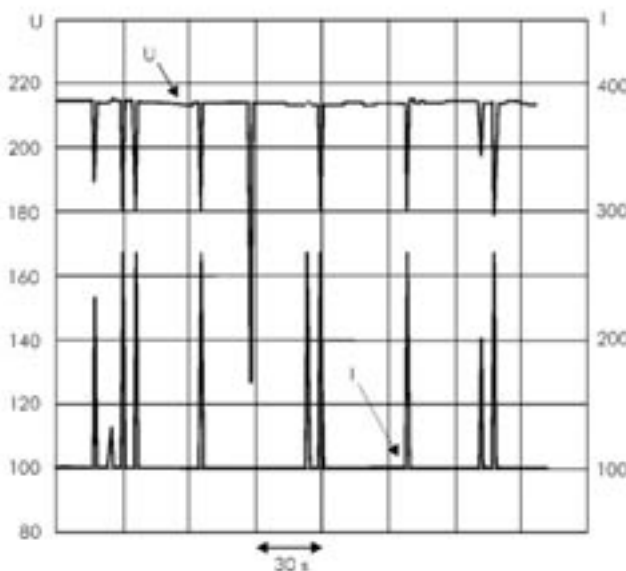
Měření a testování kvality napájecího napětí podle normy EN 50160 vyžaduje specializovanou aparaturu a měřicí metody (viz. Části 3.2 a 5.2 Průvodce). Tato zařízení umožňují nepřetržité monitorování následujících parametrů po dobu 7 dnů:

- napětí ve třech fázích
- frekvence
- celkové harmonické zkreslení  $THD_U$
- koeficient nesymetrie napětí, který je dán podílem zpětné a sousledné složky napětí
- rychlé a pomalé změny napětí, které jsou definovány jako krátkodobá ( $P_{st}$ ) a dlouhodobá ( $P_{lt}$ ) míra vjemu flikru (vztah (1)).

Měřené parametry jsou zpracovávány a zaznamenávány v 10 minutových intervalech (1008 údajů za 7 dnů). Každý tento údaj je vypočítáván jako střední hodnota měřeného parametru.



Obrázek 5 – Příklad změn napájecího napětí (horní průběh) při spouštění asynchronního motoru, dolní průběh – zátěžný proud napájení malého podniku na konci průběhu proudu je rázová špička

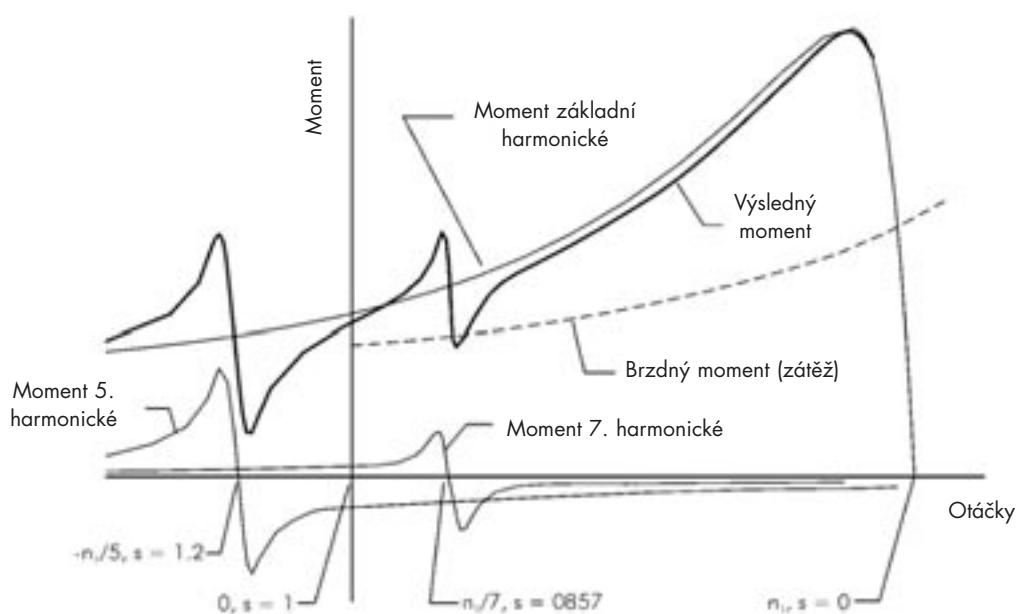


Obrázek 6 – Ukázka vlivu proudového zatížení na poklesy napájecího napětí v elektroinstalaci

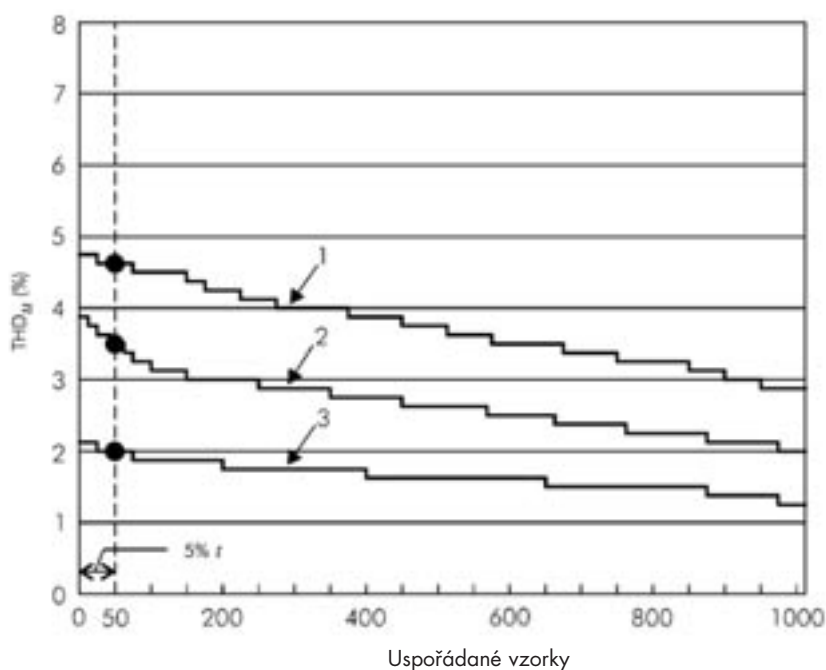
# Charakteristiky napětí veřejné distribuční sítě

Ze 7-denního záznamu je vytvořen tzv. „uspořádaný diagram“, který ukazuje souhrn délek trvání (počet vzorků) daných úrovní měřeného parametru ve sledovaném časovém úseku. (Při měření frekvence je délka každého intervalu 10 s).

Příklad uspořádaného diagramu je na Obrázku 8. Ten jasně ukazuje, zda měřené parametry napětí byly udrženy v přípustných mezích po 95% sledovaného času.



Obrázek 7 – Vliv asynchronního momentu vyvolaného harmonickými v hlavní momentové charakteristice asynchronního motoru



Obrázek 8 – Příklad uspořádaného diagramu činitele celkového harmonického zkreslení měřeného v rozvodnách, které napájí průmyslovou (1 a 3) městskou síť (2) nízkého napětí.

# Charakteristiky napětí veřejné distribuční sítě

## Hlediska státu

Jak již bylo uvedeno dříve, ačkoli EN 50160 přináší hlavní limity veřejných napájecích sítí, různé evropské země mají doplňující předpisy stanovující regulaci napájení. Mnoho z těchto národních předpisů pokrývá oblasti, které nejsou zahrnuty v EN 50160, jako například maximum přípustného harmonického zatížení připojeného ve společném napájecím bodu.

**Německá** národní norma VDE 0100 uvádí, že parametry napětí definované v DIN EN 50160 počítají s extrémními situacemi v sítích, ale nereprezentují typické podmínky. Doporučením VDE 0100 by se mělo řídit projektování sítí. Jedna z tabulek [3] uvádí maximální hodnoty (na jednotku) fázového úhlu pro odporové zátěže řízené (1 700 VA jednofázové, 3 300 VA dvoufázové a 5 000 VA symetrické třífázové) a pro zátěže s neřízeným usměrňovačem s kapacitním vyhlazováním (300 VA jednofázové, 600 VA dvoufázové a 1000 VA symetrické třífázové). Normy zařízení VDE 0838 (EN 60555) jsou citovány také.

**V Polsku** předpisy pro distribuci elektrické energie, pevně stanovené státem [4], uvádějí základní parametry napájecího napětí (Tabulka 3) a neodkazují na normu EN 50160. Navíc odběratelé jsou

Parametr napájecího napětí	Limity podle [4]
Frekvence	NN a VN: 50Hz jmenovitá (49,5 - 50,2 Hz)
Napájecí napětí	NN a VN: -10% - +5%
Harmonické	NN: $THD_U \leq 8\%$ , každá harmonická / $U_I \leq 5\%$ VN: $THD_U \leq 5\%$ , každá harmonická / $U_I \leq 3\%$
Dlouhodobá přerušení	NN a VN: 60 h / rok do 31. 12. 2004 48 h / rok od 1. 1. 2005

Tabulka 3 – Požadavky týkající se kvality napájecího napětí distribučních sítí v Polsku, podle [4]

rozděleni do 6 skupin, z nichž je pro každou stanovena celková dovolená roční doba výpadku. Dokument rovněž pojednává o detailech s různými ekonomickými aspekty energetického trhu, principech saldování mezi sítí a distribučními společnostmi, atd.

**V Itálii** je důležitý dokument, který pojednává o nepřetržitosti dodávaného napětí [8]. Italský regulační úřad pro elektrickou energii a plyn (AEEG) má ve skutečnosti jednotný systém ukazatelů nepřetržitosti provozu a má stanoven systém podnětů a sankcí tak, aby zvyšoval úroveň nepřetržitosti dodávky až na úroveň evropských norem. Úřad má území státu rozděleno do 230 zeměpisných oblastí, dále rozčleněných do oblastí podle hustoty osídlení a pro každou oblast má soubor zlepšujících plánů na základě předcházejícího ročního provozu. Jednotky, které mají větší úspěch při zlepšování než je požadován, mohou trvale získávat více finančních prostředků. Naopak společnosti musí platit sankce, jestliže jejich plány na zlepšování selžou. Výpadky „způsobené vyšší mocí“ nebo případy způsobené třetí stranou, nejsou zahrnuty do těchto výpočtů. Celkovým cílem provozu je přinést zvýšení úrovně nepřetržitosti dodávky na celostátní vztažné úrovně, které jsou založeny na evropských normách: 30 minut přerušení dodávky celkově na jednotku za rok ve velkých městech (vysoká hustota osídlení), 45 minut ve středně velkých městech (střední hustota) a 60 minut ve venkovských oblastech (nízká hustota). Další země mají podobné režimy předepsané regulačními úřady.

Distribuční zákon **Velké Británie** má mnoho dokumentů, jedním z nejdůležitějších je G5/4 (je o něm pojednáno v jiné části tohoto Průvodce), který reguluje připojování harmonických zátěží ve společném napájecím bodu. Za opatření na podporu zlepšování nepřetržitosti dodávky zodpovídá Úřad pro obchodování s plynem a elektrickou energií (OFGEM).



# Charakteristiky napětí veřejné distribuční sítě

---

## Závěry

Požadavky EN 50160 není náročné dodržovat pro dodavatele elektrické energie. Parametry napájecího napětí by měly být v předepsaném rozmezí (Tabulka 1) v průběhu 95% sledovaného období, zatímco přípustné odchylky ve zbývajících 5% jsou mnohem větší. Například střední hodnota v průběhu 95% času by měla být mezi 90% a 110% jmenovitého napětí. To znamená, že v extrémním případě může být odběratel trvale napájen 90% jmenovitého napětí, zatímco pouze 5% času může napětí být mnohem nižší. Jestliže v takové mezní situaci splňují ostatní parametry limity dané normou, například harmonická napětí nebo nesymetrie napětí, potom se dá očekávat špatný provoz zařízení.

Norma by mohla být vylepšena. Například vyžadování středních hodnot měřených parametrů napětí, z celkového sledovaného období, do  $\pm 5\%$  by mohlo garantovat, že napájecí napětí by se nemohlo držet na dolní nebo horní mezní hodnotě po delší dobu.

Dovolený počet poklesů napětí (až 1 000 v průběhu roku) a počet krátkodobých a dlouhodobých přerušení je z pohledu odběratelského bodu dosti vysoký. Poklesy napětí pod 30% jmenovitého napětí s délkou trvání delší než 0,3 s může být příčinou vypnutí podpěťové ochrany nebo výpadku stykače motorických obvodů. Skutečný počet provozních přerušení tedy bude mnohem vyšší, než počet, který by byl očekáván jako výsledek přerušení napětí.

EN 50160 by měla být chápána jako kompromis mezi dodavatelem a odběratelem. To vyžaduje, aby dodavatel poskytoval přinejmenším dostačující kvalitu dodávky elektrické energie. Většina dodavatelů běžně tyto požadavky ve velké míře převyšuje, ale nezaručuje je. Jestliže odběratel má vyšší požadavky, měly být zajištěny zmírňující opatření nebo by měla být pro vyšší kvalitu dodávky sjednána samostatná dohoda. Důležitým přínosem norem je:

- definování parametrů napětí důležitých pro kvalitu elektrické energie
- kvantitativní vymezení hodnot, které jsou referenčním bodem při určování kvality elektrické energie.

Úkolem regulátora elektrické energie je nastavit úroveň kvality tak, aby od dodavatelů byla vyžadována nejlepší produkce, ale současně nenastavovat tyto úrovně tak vysoko, aby cena elektrické energie vzrůstala.

## Literatura

- [1] EN 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, 1999
- [2] IEC 038, IEC standard voltages, 1999
- [3] Technische Anschlussbedingungen (Technical requirements of connection), VDEW
- [4] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 25 września 2000, w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, obrotu energią elektryczną, świadczenia usług przesyłowych, ruchu sieciowego i eksploatacji sieci oraz standardów jakościowych obsługi odbiorców. Dziennik Ustaw Nr 85, poz. 957 (Rules of detailed conditions of connection of consumers to the electrical power network and quality requirements in Poland).
- [5] Baranecki A et al, Poprawa jakości zasilania w sieciach NN i SN. (Improvement of supply quality in LV and MV networks), Elektronizacja 1-2/2001
- [6] Seipp G G, Elektrische Installationstechnik, Berlin – München, Siemens AG, 1993
- [7] DIN VDE 0100-100 (VDE 0100 part 100): 2002-08
- [8] Decision 128/1999: Definizione di obblighi di registrazione delle interruzioni del servizio di distribuzione dell'energia elettrica e di indicatori di continuità del servizio
- [9] Decision 144/00: Determinazione dei livelli effettivi base e dei livelli tendenziali di continuità del servizio per ogni ambito territoriale e per ogni anno del periodo 2000-2003 ai sensi dell'articolo 7 della deliberazione dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas 28 dicembre 1999, n. 202/99 e per la determinazione della media nazionale dei livelli tendenziali di continuità del servizio per l'anno 2004, ai sensi dell'articolo 9, comma 9.4, della medesima deliberazione.



## *Poznámky*

---

## Reference & Founding\* Partners

European Copper Institute* (ECI) <a href="http://www.eurocopper.org">www.eurocopper.org</a>	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid <a href="http://www.etsii.upm.es">www.etsii.upm.es</a>	LEM Instruments <a href="http://www.lem.com">www.lem.com</a>
Akademia Gornicza-Hutnicza (AGH) <a href="http://www.agh.edu.pl">www.agh.edu.pl</a>	Fluke Europe <a href="http://www.fluke.com">www.fluke.com</a>	MGE UPS Systems <a href="http://www.mgeups.com">www.mgeups.com</a>
Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA) <a href="http://www.citcea.upc.es">www.citcea.upc.es</a>	Hochschule für Technik und Wirtschaft* (HTW) <a href="http://www.htw-saarland.de">www.htw-saarland.de</a>	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg <a href="http://www.uni-magdeburg.de">www.uni-magdeburg.de</a>
Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) <a href="http://www.ceiuni.it">www.ceiuni.it</a>	Hogeschool West-Vlaanderen Departement PIH <a href="http://www.pih.be">www.pih.be</a>	Polish Copper Promotion Centre* (PCPC) <a href="http://www.miedz.org.pl">www.miedz.org.pl</a>
Copper Benelux* <a href="http://www.copperbenelux.org">www.copperbenelux.org</a>	International Union for Electricity Applications (UIE) <a href="http://www.uiie.org">www.uiie.org</a>	Università di Bergamo* <a href="http://www.unibg.it">www.unibg.it</a>
Copper Development Association* (CDA UK) <a href="http://www.cda.org.uk">www.cda.org.uk</a>	ISR - Universidade de Coimbra <a href="http://www.isr.uc.pt">www.isr.uc.pt</a>	University of Bath <a href="http://www.bath.ac.uk">www.bath.ac.uk</a>
Deutsches Kupferinstitut* (DKI) <a href="http://www.kupferinstitut.de">www.kupferinstitut.de</a>	Istituto Italiano del Rame* (IRR) <a href="http://www.iri.it">www.iri.it</a>	University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST) <a href="http://www.umist.ac.uk">www.umist.ac.uk</a>
Engineering Consulting & Design* (ECD) <a href="http://www.ecd.it">www.ecd.it</a>	Katholieke Universiteit Leuven* (KU Leuven) <a href="http://www.kuleuven.ac.be">www.kuleuven.ac.be</a>	Wrocław University of Technology* <a href="http://www.pwr.wroc.pl">www.pwr.wroc.pl</a>
EPRI PEAC Corporation <a href="http://www.epri-peac.com">www.epri-peac.com</a>	Laborelec <a href="http://www.laborelec.com">www.laborelec.com</a>	

## Editorial Board

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	<a href="mailto:david.chapman@copperdev.co.uk">david.chapman@copperdev.co.uk</a>
Prof Angelo Baggini	Università di Bergamo	<a href="mailto:angelo.baggini@unibg.it">angelo.baggini@unibg.it</a>
Dr Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	<a href="mailto:ahernandez@etsii.upm.es">ahernandez@etsii.upm.es</a>
Prof Ronnie Belmans	UIE	<a href="mailto:ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be">ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be</a>
Dr Franco Bua	ECD	<a href="mailto:franco.bua@ecd.it">franco.bua@ecd.it</a>
Jean-Francois Christin	MGE UPS Systems	<a href="mailto:jean-francois.christin@mgeups.com">jean-francois.christin@mgeups.com</a>
Prof Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	<a href="mailto:adealmeida@isr.uc.pt">adealmeida@isr.uc.pt</a>
Hans De Keulenaer	ECI	<a href="mailto:hdk@eurocopper.org">hdk@eurocopper.org</a>
Prof Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	<a href="mailto:jan.desmet@hvwest.be">jan.desmet@hvwest.be</a>
Dr ir Marcel Didden	Laborelec	<a href="mailto:marcel.didden@laborelec.com">marcel.didden@laborelec.com</a>
Dr Johan Driesen	KU Leuven	<a href="mailto:johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be">johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be</a>
Stefan Fassbinder	DKI	<a href="mailto:sfassbinder@kupferinstitut.de">sfassbinder@kupferinstitut.de</a>
Prof Zbigniew Hanzelka	Akademia Gornicza-Hutnicza	<a href="mailto:hanzel@uci.agh.edu.pl">hanzel@uci.agh.edu.pl</a>
Stephanie Horton	LEM Instruments	<a href="mailto:sho@lem.com">sho@lem.com</a>
Dr Antoni Klajn	Wrocław University of Technology	<a href="mailto:antoni.klajn@pwr.wroc.pl">antoni.klajn@pwr.wroc.pl</a>
Prof Wolfgang Langguth	HTW	<a href="mailto:wlang@htw-saarland.de">wlang@htw-saarland.de</a>
Jonathan Manson	Gorham & Partners Ltd	<a href="mailto:jonathanm@gorham.org">jonathanm@gorham.org</a>
Prof Henryk Markiewicz	Wrocław University of Technology	<a href="mailto:henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl">henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl</a>
Carlo Masetti	CEI	<a href="mailto:masetti@ceiuni.it">masetti@ceiuni.it</a>
Mark McGranaghan	EPRI PEAC Corporation	<a href="mailto:mmcgranaghan@epri-peac.com">mmcgranaghan@epri-peac.com</a>
Dr Jovica Milanovic	UMIST	<a href="mailto:jovica.milanovic@umist.ac.uk">jovica.milanovic@umist.ac.uk</a>
Dr Miles Redfern	University of Bath	<a href="mailto:eesmar@bath.ac.uk">eesmar@bath.ac.uk</a>
Dr ir Tom Sels	KU Leuven	<a href="mailto:tom.sels@esat.kuleuven.ac.be">tom.sels@esat.kuleuven.ac.be</a>
Prof Dr Ing Zbigniew Styczynski	Universität Magdeburg	<a href="mailto:Sty@E-Technik.Uni-Magdeburg.de">Sty@E-Technik.Uni-Magdeburg.de</a>
Andreas Sumper	CITCEA	<a href="mailto:sumper@citcea.upc.es">sumper@citcea.upc.es</a>
Roman Targosz	PCPC	<a href="mailto:cem@miedz.org.pl">cem@miedz.org.pl</a>
Hans van den Brink	Fluke Europe	<a href="mailto:hans.van.den.brink@fluke.nl">hans.van.den.brink@fluke.nl</a>



Prof. Henryk Markiewicz



Dr. Antoni Klajn



HUNGARIAN COPPER  
PROMOTION CENTRE

Hungarian Copper  
Promotion Centre  
Képiró u. 9  
H - 1053 Budapest  
Magarsko  
Tel.: 00 361 266 4810  
Tel.: 00 361 266 4804  
E-mail: [hpcp@euroweb.hu](mailto:hpcp@euroweb.hu)  
Website: [www.hpcpinfo.org](http://www.hpcpinfo.org)



VŠB-TU Ostrava  
Fakulta elektrotechniky  
a informatiky  
Katedra elektroenergetiky  
17. listopadu 15  
CZ 708 33 Ostrava-Poruba  
Tel.: +420 597324279  
Tel.: +420 596919597  
E-mail: [pavel.santarius@vsb.cz](mailto:pavel.santarius@vsb.cz)  
Website: [homen.vsb.cz/san50/](http://homen.vsb.cz/san50/)



European Copper Institute  
168 Avenue de Tervueren  
B - 1150 Brussels  
Belgium  
Tel.: 00 32 2 777 70 70  
Fax: 00 32 2 777 70 79  
Email: [eci@eurocopper.org](mailto:eci@eurocopper.org)  
Website: [www.eurocopper.org](http://www.eurocopper.org)