

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**



**TEZE K DISERTAČNÍ PRÁCI**



České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektroenergetiky

**Ing. Jan Šefrámek**

**SPOLEHLIVOST A KVALITA DODÁVEK ELEKTRINY  
A MOŽNOSTI JEJICH OVLIVŇOVÁNÍ**

Doktorský studijní program: Elektrotechnika a informatika  
Studijní obor: Elektroenergetika

Teze disertace k získání akademického titulu "doktor", ve zkratce "Ph.D."

Praha, srpen 2014

Disertační práce byla vypracována v kombinované formě doktorského studia na katedře elektroenergetiky Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze.

Uchazeč: **Ing. Jan Šefrámek**

Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze

Technická 2, 166 27 Praha 6

Školitel: **Prof. Ing. Jiří Tůma, DrSc.**

Katedra elektroenergetiky

Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze

Technická 2, 166 27 Praha 6

Oponenti:

Teze byly rozeslány dne: .....

Obhajoba disertace se koná dne ..... v ..... hod. před komisí pro obhajobu disertační práce ve studijním oboru Elektroenergetika v zasedací místnosti č ..... Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze.

S disertací je možno se seznámit na děkanátu Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze, na oddělení pro vědu, výzkum a zahraniční styky, Technická 2, Praha 6.

předseda komise pro obhajobu disertační práce  
ve studijním oboru Elektroenergetika  
Fakulta elektrotechnická ČVUT, Technická 2, Praha 6

## Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Cíle disertační práce.....</b>	<b>6</b>
<b>3. Spolehlivost v elektroenergetice .....</b>	<b>8</b>
3.1. Ekonomické aspekty spolehlivosti.....	8
3.2. Oceňování přerušení distribuce elektřiny .....	9
3.3. Výpočet ocenění nedodané energie pro podmínky ČR.....	9
<b>4. Kvalita dodávek elektřiny.....</b>	<b>11</b>
4.1. Nepřetržitost dodávek.....	11
4.2. Dosahovaná úroveň kvality v ČR .....	13
4.3. Srovnání kvality v ČR a zahraničí .....	15
<b>5. Opatření pro zlepšení spolehlivosti a kvality dodávek elektřiny .....</b>	<b>16</b>
5.1. Opatření pro oblast neplánovaných přerušení.....	16
5.2. Opatření pro oblast plánovaných přerušení .....	17
5.3. Výběr vhodných opatření pomocí metody MBCA .....	19
<b>6. Regulační mechanismy pro ovlivnění spolehlivosti a kvality.....</b>	<b>20</b>
6.1. Regulační prostředí v ČR.....	20
6.2. Navržení nového mechanismu regulace kvality .....	23
6.3. Nastavení požadovaných hodnot ukazatelů nepřetržitosti .....	25
6.4. Vytvoření metodiky pro stanovení požadovaných parametrů.....	26
<b>7. Závěr.....</b>	<b>29</b>
<b>8. Literatura použitá v tezích .....</b>	<b>32</b>
<b>9. Publikace autora vztahující se k tématu disertační práce .....</b>	<b>33</b>
<b>Summary .....</b>	<b>35</b>
<b>Resumé.....</b>	<b>36</b>

## Seznam zkratek a symbolů

CEER	Rada evropských regulátorů (Council of European Energy Regulators)
DHNP	dolní hranice neutrálního pásma
$DQ_{max}$	maximální limitní hodnota ukazatele kvality
$DQ_{min}$	minimální limitní hodnota ukazatele kvality
DTS	distribuční trafostanice
$DUQ$	hodnota dosažené úrovně ukazatele kvality v roce rozhodném pro hodnocení kvality služeb pro příslušný rok regulačního období
$DUQ_{max}$	limitní hodnota ukazatele kvality, od níž je uplatňována maximální hodnota bonusu za dosaženou kvalitu služeb
$DUQ_{min}$	limitní hodnota ukazatele kvality, od níž je uplatňována maximální hodnota penále za dosaženou kvalitu služeb
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
HHNP	horní hranice neutrálního pásma
MAX	procentuální vyjádření bonusu ve vztahu k regulovanému zisku
MBCA	Marginal Benefit to Cost Analysis
MIN	procentuální vyjádření penále ve vztahu k regulovanému zisku
PV	obecný symbol pro výnos
$Q$	komponenta kvality
$Q_{sumGr,prum}$	průměrná hodnota ukazatele kvality za dané období
$Q_{sumRO,prum}$	průměrná souhrnná hodnota ukazatele kvality pro čtvrté regulační období
RO	regulační období
RPI	index růstu spotřebitelských cen
SAIDI	System average interruption duration index
$SAIDI_Q$	průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období – vstupující do komponenty Q
$SAIDI_s$	průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období (systémový ukazatel)
SAIFI	System average interruption frequency index
$SAIFI_Q$	průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období – vstupující do komponenty Q
$SAIFI_s$	průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období (systémový ukazatel)
STQ	hodnota požadované úrovně ukazatele kvality (SAIDI, SAIFI)
$t$	pořadové číslo regulovaného roku
$\Delta PV_{max}$	maximální hodnota bonusu za dosaženou kvalitu služeb
$\Delta PV_{min}$	maximální hodnota penále za dosaženou kvalitu služeb

## 1. Úvod

Spolehlivost a kvalita dodávek elektrické energie je jednou ze základních otázek současné elektroenergetiky a její zajištění patří mezi hlavní cíle na liberalizovaném trhu s elektřinou. Tato problematika je však velice rozsáhlá, jelikož se na ní podílejí všichni nezávislí účastníci trhu tj. jak výrobci, provozovatel přenosové soustavy (PPS), provozovatelé distribučních soustav (PDS), obchodníci s elektřinou, tak i koneční zákazníci. Elektřina se v liberalizovaném prostředí stala zbožím, které musí mít jasně definovanou kvalitu. Zároveň je dodávka elektřiny považována za službu a to ve veřejném zájmu, u které je nezbytné stanovit minimální požadavky, jenž musí být dodrženy v každém individuálním případě. V této oblasti má v České republice (ČR) důležitou úlohu Energetický regulační úřad (ERÚ), který stanovuje požadovanou kvalitu dodávek elektřiny a souvisejících služeb. Cílem celého procesu by mělo být zajištění spolehlivé a kvalitní dodávky elektřiny pro konečné zákazníky za přiměřenou cenu. Nezbytným úkolem je tudíž motivovat provozovatele soustav zvyšovat kvalitu dodávek elektřiny pomocí vhodných regulačních mechanismů.

V současné době je problematika kvality velice aktuální, ať již vzhledem ke stále se prohlubující závislosti odběratelů na citlivých zařízeních, či rychlému rozvoji rozptýlené výroby elektrické energie, převážně pak z obnovitelných zdrojů. Rozvoj techniky přináší stále častější využívání nelineárních přístrojů a zařízení s proměnlivou provozní charakteristikou. Díky stále častějšímu používání těchto přístrojů a zařízení se daleko více projevují jejich zpětné vlivy na distribuční soustavu, které mohou vést opět k rušení jiných přístrojů a zařízení. Tímto je mimo jiné ohrožena jejich funkčnost a v konečném důsledku vznikají značné finanční ztráty jak na straně provozovatelů sítí, tak jednotlivých odběratelů. Současná energetika tak čelí zcela novým výzvám, na které nebyly současné systémy a soustavy budovány. Důvodem jsou například negativní jevy způsobené rozvojem a podporou „zelené energie“ v celé Evropě a s tím související rozmach decentrálních zdrojů připojovaných do sítí nízkého napětí, nestandardní směr toků výkonů z nižších napěťových hladin do vyšších, či tzv. „kruhové toky“ způsobené výstavbou větrných farem v Severním moři.

Při řešení těchto otázek se stále častěji předpokládá s budováním tzv. „chytrých sítí“ (*Smart Grids*), které by měly (dle propagátorů), eliminovat většinu negativních jevů a umožnit ještě větší integraci decentralizovaných

zdrojů do celého systému včetně možnosti akumulace energie. Stále však není vyřešena řada otázek, které tato změna v energetice přinese. V této souvislosti je nezbytné upozornit právě na otázku spolehlivosti a kvality dodávek, která může být ovlivněna zanesením velkého množství nových prvků do systému. Zároveň by se nemělo zapomínat na zájmy a potřeby jednotlivých odběratelů, jelikož právě oni v konečném důsledku tyto investice zaplatí v cenách za dodanou energii.

O aktuálnosti problémů svědčí i rostoucí aktivita evropských regulačních orgánů a dalších institucí na zpříšňování příslušných norem či předpisů a zavádění dalších opatření pro přísnější regulaci kvality elektřiny. Při těchto úvahách a krocích jsou však nezbytné analýzy a studie, které budou řešit vztah mezi možnými opatřeními pro ovlivnění ukazatelů kvality a vynaloženými náklady provozovatelů sítí, jelikož cílem je zajistit spolehlivou a kvalitní dodávku elektřiny za přiměřenou cenu pro konečné zákazníky. Tato práce má za cíl přispět k řešení uvedené problematiky. Vzhledem k rozsáhlosti problematiky je práce zaměřena pouze na jednu z oblastí, která se týká nepřetržitosti distribuce elektřiny a jejím aspektům.

## 2. Cíle disertační práce

Jak již bylo uvedeno v úvodu, spolehlivost a kvalita dodávek elektrické energie je velice rozsáhlou a komplikovanou oblastí elektroenergetiky, na níž se podílí velké množství aspektů. Jedná se o velice aktuální problematiku, která se přímo dotýká většiny odběratelů elektrické energie, provozovatelů přenosových a distribučních soustav i výrobců. Rešerše odborných publikací a zkušenosti z praxe však ukazují, že tato oblast nebyla doposud komplexně řešena. ***Cílem disertační práce je tak poskytnout souhrnný pohled na tuto problematiku a navrhnout řešení pro zlepšení kvalitativních parametrů včetně návrhu regulačních nástrojů pro implementaci vhodných technických či netechnických opatření.***

Nezbytným prvkem práce je shrnutí teoretických poznatků a platných technických i legislativních předpisů v této oblasti. V případě spolehlivosti se jedná především o definice základních pojmů a vztahů včetně uvedení používaných výpočetních metod. Nepostradatelnou součástí jsou i ekonomické aspekty spolehlivosti. Zde si práce klade za cíl popsat přehled pohledů na oceňování přerušení distribuce elektřiny a současně provést výpočet pro podmínky v ČR.



V případě kvality dodávek elektřiny jde o poskytnutí komplexního pohledu na tuto oblast se zaměřením na její technické otázky. Jedná se zejména o teoretický rozbor negativních jevů, jako jsou vyšší a mezilehlé harmonické, kolísání napětí, flickr, nesymetrie atd. Dále, vzhledem k tomu, že předmětem práce je především problematika nepřetržitosti dodávek, je nezbytné uvést základní vztahy a metody používané pro její hodnocení.

Důležitou součástí analýz je i zhodnocení současného stavu kvality dodávek elektřiny. Z tohoto důvodu je jedním z cílů práce provést podrobné vyhodnocení dosahované úrovně kvality v ČR včetně porovnání se zahraničím. V této souvislosti je potřeba upozornit i na rozdíly v jednotlivých zemích, které jsou dány rozdílným charakterem sítí, strukturou odběratelů, ale i historickými zkušenostmi.

Záměrem disertační práce je navrhnout řešení pro zlepšení kvalitativních parametrů především v oblasti nepřetržitosti dodávek elektřiny. Řešení se musí skládat z návrhu regulačních nástrojů a dále výběru vhodných technických či netechnických opatření za účelem snižování počtů a dob trvání jednotlivých přerušení. Tyto dvě oblasti je nezbytné řešit společně, jelikož se jedná o vzájemně propojený systém.

Pro zlepšení kvality dodávek elektřiny, respektive snížení ukazatelů nepřetržitosti, je nezbytné provést vhodná investiční či neinvestiční opatření. Tato opatření je možné rozdělit na oblast pro neplánovaná přerušení a oblast pro plánovaná přerušení. Cílem práce je nalézt postup pro výběr vhodné kombinace těchto opatření. V praxi je však nezbytné provést důkladné analýzy, jejichž cílem bude určení vztahu mezi náklady a kvalitou.

Hlavním úkolem práce je návrh regulačních mechanismů pro implementaci vhodných technických či netechnických opatření. Bez tohoto kroku by opatření zůstala pouze v úrovni teoretické a v praxi by se jen obtížně hledala cesta pro jejich uplatnění. Cílem práce v této oblasti je poskytnout ucelený pohled na regulační mechanismy pro ovlivnění kvality dodávek elektřiny a navrhnout nové a efektivnější metody, případně zavést nové prvky do současného systému. Současně je záměrem vytvoření určité metodiky pro hodnocení různých modelů regulace ve vztahu k nastavení požadovaných hodnot ukazatelů *SAIFI*, *SAIDI*, respektive scénářům jejich zpříšňování.

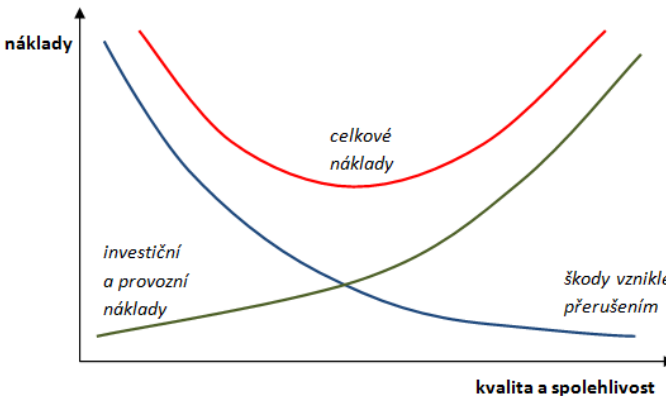
### 3. Spolehlivost v elektroenergetice

Spolehlivost je hlavním cílem při návrhu a provozu elektrizační soustavy. Obecně je spolehlivost elektroenergetické soustavy chápána jako schopnost soustavy zajistit nepřetržitou a kvalitní dodávku elektrické energie všem zákazníkům (odběratelům). Jedná se tedy o spolehlivost celého procesu od výroby, přenosu až po distribuci elektřiny. Výpočet spolehlivosti se liší podle předmětu zájmu. Na základě požadovaných cílů jsou modifikovány jak výpočetní metody, tak i soubory požadovaných vstupních dat. Mezi dvě významné oblasti zájmu patří výpočet nedodané energie respektive ocenění nedodané energie případně jednotlivých přerušení. Dále se jedná o problematiku efektivní údržby či rozvoje soustavy, který je v současné době velice aktuální vzhledem ke snaze jednotlivých společností minimalizovat své náklady.

#### 3.1. Ekonomické aspekty spolehlivosti

Pokud pomíneme detaily, které jsou uvedeny v disertační práci, lze obecně říci, že s klesající spolehlivostí a kvalitou dodávek elektřiny rostou škody odběratelů. Zajištění vyšší kvality však přináší nemalé náklady na straně provozovatele dané distribuční soustavy, které v konečném důsledku opět zaplatí zákazníci. Optimální úroveň kvality a spolehlivosti je dána minimem celkových nákladů. Na následujícím obrázku je znázorněna závislost mezi náklady provozovatelů distribučních soustav, škodami zákazníků a kvalitou.

**Obr. 1:** Závislost mezi náklady a kvalitou



### 3.2. Oceňování přerušení distribuce elektřiny

Problematika oceňování přerušení dodávek elektřiny případně oceňování nedodané energie je dosti komplikovanou oblastí, která mnohdy nemá jednoznačný výsledek a vždy závisí na použité metodě, vstupních datech a interpretaci výsledků. Obecně lze říci, že se využívá určitých výpočetních metod či průzkumů u zákazníků, případně jejich kombinace. V této kapitole je v práci čerpáno především z poznatků rozsáhlé zprávy CEER „*Guidelines of Good Practice on Estimation of Costs due to Electricity Interruptions and Voltage Disturbances*“, která vyšla v roce 2010.

Zpráva mimo jiné konstatuje, že studie oceňování jsou **důležitým nástrojem při odhadu optimální úrovně nepřetržitosti distribuce**. Oceňování přerušení musí odrazet nejen skutečné náklady u zákazníků, ale také jejich ochodu zaplatit za vyšší kvalitu a ochotu akceptovat kompenzaci v případě nižší kvality. V disertační práci je dále provedeno srovnání zkušeností ze zahraničí.

### 3.3. Výpočet ocenění nedodané energie pro podmínky ČR

V jednotlivých zemích EU existuje a je i využíváno několik přístupů k oceňování nedodané energie. Každá z těchto metod má však svá úskalí, která jsou potřeba brát v úvahu při výběru metody a především při interpretaci výsledků. Obecně jsou výsledky využívány regulačními orgány pro nastavení regulace kvality a odvození míry pobídek či jiných mechanismů s cílem zvýšení kvality a spolehlivosti dodávek elektřiny pro odběratele.

V ČR nejsou doposud zkušenosti s prováděním obdobných průzkumů u zákazníků v této oblasti. Pro účely této práce bude proveden výpočet ocenění nedodané energie **na základě makroekonomické analýzy**, která byla využita např. v Německu. Vzhledem k charakteru odběru a dalším souvislostem je vhodné rozdělit ČR na podnikatelský sektor a sektor domácností.

#### a) Podnikatelský sektor

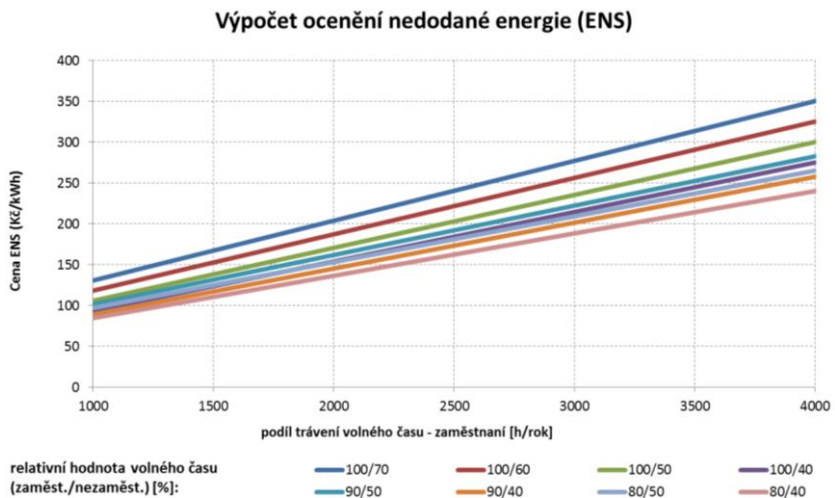
Pro výpočet nedodané energie (ENS) pro podnikatelský sektor bylo využito údajů o hrubé přidané hodnotě (HPH) v ČR a spotřebě elektřiny (W) v tomto segmentu za rok 2012. Ocenění nedodané energie pro podnikatelský sektor dle výpočtu činí **80,8 Kč/kWh**.

### a) Sektor domácností

Výpočet nedodané energie pro sektor domácností není tak „jednoduchý“ a jednoznačný jako v předchozím případě podnikatelského sektoru. Zvolená metodika výpočtu předpokládá vztah mezi volným časem obyvatelstva a spotřebou elektřiny. Tento způsob výpočtu má jistě řadu nedostatků, nicméně obecný výpočet nedodané energie ani nemůže být zcela exaktní. Výsledkem je výpočet ocenění nedodané energie pro domácnosti, jehož hodnota činí **203,1 Kč/kWh**.

Vzhledem k tomu, že výpočet je velice závislý především na zvoleném podílu volného času za rok a relativní hodnotě volného času je v následujícím grafu proveden výpočet pro různé varianty (scénáře).

*Obr. 2: Výpočet ocenění nedodané energie pro sektor domácností*



### a) Celkové ocenění

Výpočet celkového ocenění nedodané energie je proveden na základě výsledků pro podnikatelský sektor a domácnosti, přepočtený podle spotřeby v těchto odvětvích. Celkové ocenění nedodané energie činí **111,9 Kč/kWh**.

## 4. Kvalita dodávek elektřiny

Jak již bylo řečeno v úvodu, elektrická energie se v liberalizovaném prostředí stala zbožím, které musí mít jasně definovanou kvalitu. Z tohoto pohledu lze kvalitu elektřiny obecně rozdělit do tří základních oblastí, pomocí kterých lze specifikovat požadovanou úroveň služeb poskytovanou jednotlivým odběratelům.

- První oblastí je **kvalita napětí**, popisující soubor možných odchylek napěťových charakteristik od předepsaných hodnot. Jedná se o ryze technické aspekty elektřiny, jako jsou např. odchylky napájecího napětí, napěťové poklesy, harmonická napětí, přepětí, flikr atd.
- Druhou oblastí je **nepřetržitost (plynulost) dodávek elektřiny**, která je charakterizována počtem a dobou trvání přerušení přenosu či distribuce elektřiny. Tato oblast přímo souvisí s provozem přenosových či distribučních soustav a je charakterizována ukazateli nepřetržitosti.
- Třetí oblastí je tzv. **komerční kvalita**, která charakterizuje schopnost jednotlivých společností (provozovatelů přenosových a distribučních soustav, ale i dodavatelů elektřiny) reagovat na požadavky zákazníků a nesouvisí přímo s fyzickým provozováním soustav. Tato oblast není předmětem této práce.

### 4.1. Nepřetržitost dodávek

Nepřetržitost dodávek elektřiny je jedním ze základních požadavků zákazníků (odběratelů). Požadavek na kontinuální dodávku bez omezení či přerušení je však pro provozovatele soustav obtížně splnitelný ať již z technického nebo ekonomického hlediska. Nepřetržitost dodávek (někdy označována i jako plynulost dodávek) je oblastí kvality elektřiny, která se zabývá omezením či přerušením dodávek elektřiny. Zjednodušeně řečeno se zaměřuje na události, které vedou k omezení či úplnému přerušení dodávek elektřiny ať již plánovanému či neplánovanému.

Tato oblast kvality je obecně charakterizována **ukazateli nepřetržitosti**. Pomocí nich je hodnocena úroveň kvality v dané soustavě, úseku, napěťové úrovni či u daného odběratele. Podle potřeby zájmu můžeme rozdělit jejich využití. Pro provozovatele soustav jsou ukazatele nepřetržitosti zdrojem cenných informací při obnově či rozvoji sítí, ale zároveň slouží pro porovnání dosažení vlastních cílů či srovnání s ostatními společnostmi (konkurencí).

Zákazníci jsou pomocí ukazatelů informováni o úrovni kvality v dané oblasti, což je například stále častěji využíváno investory při rozhodování o umístění závodu (odběru). V neposlední řadě regulační orgány dohlížející na trh s energiemi pomocí ukazatelů hodnotí jednotlivé společnosti a mohou tak nastavovat požadované cíle či zákaznické standardy, které musí být dodrženy. Velice často je využíváno ukazatelů nepřetržitosti při motivační regulaci kvality, které se věnuje další část práce.

**Ukazatele nepřetržitosti dodávek elektřiny** jsou obecně definovány technickými předpisy, jako je například *IEEE Std 1366™-2003: Guide for Electricity Power Distribution Reliability Indices*, respektive *IEEE Std 1366™-2012*. Dalším nezbytným materiálem v této oblasti je technická zpráva sdružení *CENELEC TR 50 555: Interruption indexes*, která definuje základní pojmy a ukazatele. Z těchto základních dokumentů čerpají ostatní závazné předpisy, jako jsou vyhlášky, normy či pravidla provozování přenosových a distribučních soustav.

**V České republice** jsou ukazatele nepřetržitosti dány vyhláškou o kvalitě č. 540/2005 Sb. Ukazatele se vypočítávají pouze z dlouhodobých přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny, tj. přerušení s dobou trvání nad 3 minuty. Dále je uveden výpočet ukazatelů pro oblast distribuce elektřiny:

### Ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny

- Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období

$$SAIFI_s = \frac{\sum_{h=(nn,vn,vvn)} \sum_j n_{jh}}{N_s}, \quad (1)$$

- kde  $h$  je označení hodnocené napěťové hladiny (nn, vn nebo vvn),  
 $j$  je pořadové číslo události v hodnoceném období,  
 $n_{jh}$  je celkový počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny  $h$ , jimž bylo způsobeno přerušení distribuce elektřiny dané kategorie v důsledku  $j$ -té události,  
 $N_s$  je celkový počet zákazníků v soustavě (na hladinách nn, vn a vvn) ke konci předchozího kalendářního roku.

- Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období

$$SAIDI_s = \frac{\sum_{h=\{nn,vn,vvn\}} \sum_j t_{sj}}{N_s} \quad (2)$$

kde  $t_{sj}$  je součet všech dob trvání přerušení distribuce elektřiny v důsledku  $j$ -té události u jednotlivých zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny  $h$ , jimž byla přerušena distribuce elektřiny, stanovený jako:

$$t_{sj} = \sum_i t_{ji} \cdot n_{jhi} \quad (3)$$

kde  $i$  je pořadové číslo manipulačního kroku v rámci  $j$ -té události,

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

$n_{jhi}$  je počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny  $h$ , jimž bylo způsobeno přerušení distribuce elektřiny dané kategorie v  $i$ -tém manipulačním kroku  $j$ -té události.

- Průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období.

$$CAIDI_s = \frac{SAIDI_s}{SAIFI_s} \quad (4)$$

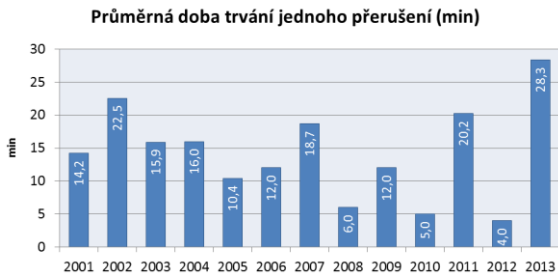
Podrobnější informace o ukazatelích a jednotlivých kategoriích přerušení jsou uvedeny v plné verzi disertační práce.

## 4.2. Dosahovaná úroveň kvality v ČR

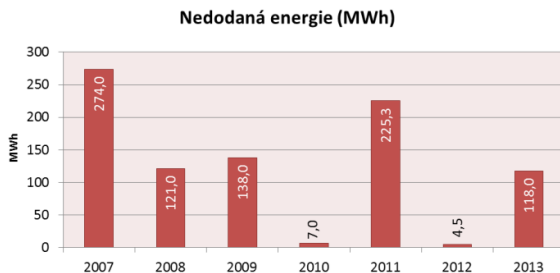
V následující části jsou uvedeny závěry z vyhodnocení dosahované úrovně nepřetržitosti přenosu a distribuce elektřiny. Bližší informace jsou uvedeny v plné verzi práce.

▪ **Přenos elektřiny**

**Obr. 3:** Vývoj ukazatelů nepřetržitosti – průměrná doba trvání přerušeni



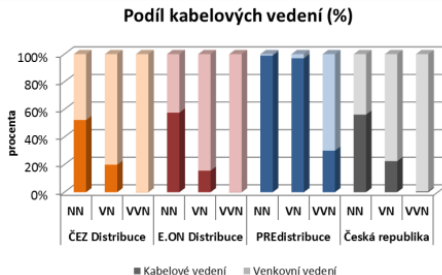
**Obr. 4:** Vývoj ukazatelů nepřetržitosti – nedodaná energie



▪ **Distribuce elektřiny**

Vzhledem k velkým rozdílům v sítích jednotlivých provozovatelů distribučních soustav není možné mezi sebou ukazatele nepřetržitosti jednoduše porovnávat. Z tohoto důvodu je důležitý profil společností, který popisuje charakter jednotlivých sítí. Dále je uveden podíl kabelových vedení.

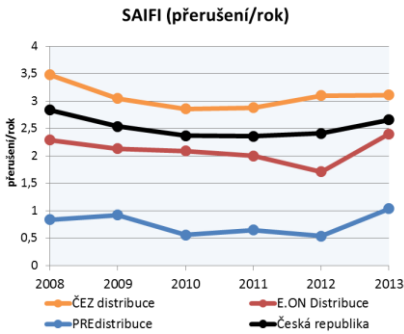
**Obr. 5:** Podíl kabelových vedení



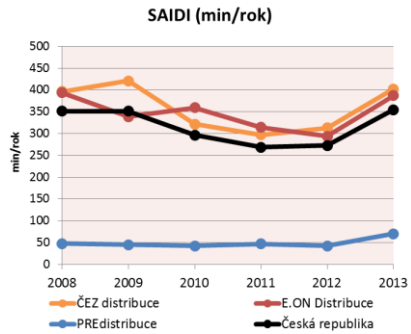


Dále je uveden časový vývoj ukazatelů pro jednotlivé distribuční společnosti.

**Obr. 6:** Vývoj ukazatele SAIFI



**Obr. 7:** Vývoj ukazatele SAIDI



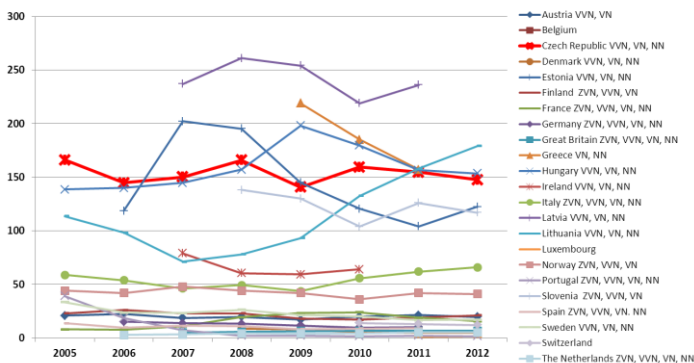
### 4.3. Srovnání kvality v ČR a zahraničí

Prosté srovnávání dosahované úrovně kvality dodávek elektřiny v jednotlivých státech EU je dosti obtížné a mnohdy zavádějící. Vždy je potřeba brát v úvahu aspekty v jednotlivých zemích, jako je především charakter sítí a způsob jejich provozu (především podíl kabelových vedení), hustotu a charakter odběru a v neposlední řadě i geografické podmínky.

Dále je pro názornost uvedeno porovnání ukazatele SAIDI pro plánovaná přerušení. Bližší informace a další porovnání jsou uvedeny v disertační práci.

**Obr. 8:** Ukazatele SAIDI - plánovaná přerušení

**SAIDI (min/rok) - plánovaná přerušení**



## 5. Opatření pro zlepšení spolehlivosti a kvality dodávek elektřiny

V této části je pozornost zaměřena především na opatření sloužící ke zlepšení ukazatelů nepřetržitosti *SAIFI*, *SAIDI*, tj. opatření sloužící pro eliminování počtu a dob trvání jednotlivých dlouhodobých přerušení. Je nezbytné upozornit, že jednotlivá technická či netechnická opatření pro zlepšení kvality dodávek (nepřetržitosti distribuce) je potřebné řešit vždy společně s regulačními mechanismy, jelikož se jedná o vzájemně propojený systém.

**Nalezení vhodných opatření** pro zlepšení kvality v této oblasti by mělo být výsledkem analýz, jejichž cílem bude určení ***závislosti mezi kvalitou a náklady***. Vztah mezi potenciálními opatřeními a vynaloženými náklady je jednou z možných cest k nastavení požadovaných cílů, která byla na základě rozboru jednotlivých možností shledána v současných podmínkách jako nejvhodnější z hlediska věrohodnosti a vypovídací schopnosti. Výsledky analýz mohou následně sloužit pro provozovatele soustav při návrhu opatření na snížení ukazatelů nepřetržitosti a zároveň jako podklad pro určení požadovaných („reálných“) hodnot ukazatelů nepřetržitosti v rámci motivační regulace kvality na další období.

Opatření pro snížení ukazatelů nepřetržitosti je obecně možné rozdělit do dvou základních oblastí. První oblast tvoří opatření, která mají vliv na snížení počtu a dob trvání ***neplánovaných přerušení***. Druhou oblast pak tvoří opatření, která budou mít vliv na snížení počtu a dob trvání ***plánovaných přerušení***. Dále jsou uvedena vybraná opatření těchto základních oblastí a jejich aspekty.

### 5.1. Opatření pro oblast neplánovaných přerušení

Neplánovaná přerušení jsou obecně ***dána výskytem poruch v síti, což je náhodný jev***, který lze popsat určitým statistickým rozdělením. Neplánovaná přerušení lze dále dělit na několik kategorií podle příčiny vzniku přerušení.

Je samozřejmé, že snahou jednotlivých provozovatelů soustav je provozovat danou soustavu s minimálním počtem přerušení, tj. s minimálním výskytem poruch. Za tímto účelem jsou vytvořeny určité individuální postupy (strategie), kterými se jednotlivé společnosti řídí. Tyto postupy často vycházejí z historických zkušeností jednotlivých provozovatelů soustav. Do současné doby však ***neexistuje detailní studie, která by zkoumala přínos jednotlivých opatření pro snížení ukazatelů nepřetržitosti ve vztahu k jejich***

*ceně*, myšleno komplexně, i se zahrnutím vlivu regulačních mechanismů. Tento krok je nezbytný pro zajištění funkčního prostředí v této oblasti.

Cílem je nalézt vhodná technická či netechnická opatření pro snížení počtu a dob trvání neplánovaných přerušení, což by se následně projevilo i ve snížení ukazatelů nepřetržitosti *SAIFI*, *SAIDI*. Obecně při výběru opatření v praxi, by měla být preferována méně nákladná opatření, ideálně ta, která přinesou nejvyšší poměr mezi přínosy a náklady. Dále jsou uvedena jednotlivá *opatření, u kterých je možné předpokládat pozitivní dopad na snížení ukazatelů nepřetržitosti distribuce a to jednoho či obou současně*. Jedná se o následující opatření:

- *nasazení dálkově ovládaných úsečníků (ve venkovních sítích),*
- *nasazení recloserů (ve venkovních sítích),*
- *dálkové ovládání odpínačů v DTS (v kabelových sítích),*
- *dálková indikace průchodu zkratového proudu (ve venk. i kab. sítích),*
- *úplná rekonstrukce úseku vedení (ve venkovních sítích),*
- *rekonstrukce kabelového úseku – nový kabel (v kabelových sítích),*
- *výměna izolátorů úseku vedení (ve venkovních sítích),*
- *náhrada holých vodičů izolovanými (ve venkovních sítích),*
- *kabelizace úseku venkovního vedení (ve venkovních sítích),*
- *výměna úsečníků při zachování způsobu ovládání (ve venk. sítích),*
- *rekonstrukce DTS (ve venkovních i kabelových sítích),*
- *zvýšená frekvence prořezávání (ve venkovních sítích),*
- *propojení vývodů pro zvýšení zabezpečení záložního napájení.*

## **5.2. Opatření pro oblast plánovaných přerušení**

K plánovaným přerušením distribuce elektřiny je na úvod nezbytné podotknout, že počet ani doba trvání těchto událostí není v *současné době v ČR nikterak legislativně omezena*. Energetický zákon pouze udává povinnost provozovatelům sítí v dostatečném předstihu informovat zákazníky o chystaném plánovaném přerušení, a to v případě distribuce elektřiny 15 dnů předem a v případě přenosu 50 dnů předem. Určité limity pro provádění plánovaných přerušení lze nalézt v Pravidlech provozování distribučních

soustav, které stanovují základní pravidla pro omezování odběratelů při plánovaných odstávkách dodávek elektřiny.

Na základě porovnání dosahované úrovně kvality v ČR a zahraničí je patrné, že v ČR jsou hodnoty ukazatelů nepřetržitosti zahrnující plánovaná přerušení značně vysoké oproti jiným zemím EU. Tato skutečnost není příznivá, i pokud uvážíme rozdíly v charakteru jednotlivých sítí či jiné aspekty porovnávání.

Z výše uvedených důvodů je patrné, že by měl být kladen velký důraz na snižování počtu a dob trvání plánovaných přerušení. Opatření pro jejich snižování jsou však odlišné oproti neplánovaným přerušením. Plánované práce se řídí plánem vytvářeným provozovatelem dané soustavy (či nadřazené soustavy).

***Plánovaná přerušení mohou vznikat z řady důvodů***, například kvůli potřebě provedení úkonů podle řádu preventivní údržby, rekonstrukcím, opravám (závad, které samy o sobě nezpůsobily přerušení), připojování nových zařízení a nových zákazníků, vypnutí zařízení zákazníka na jeho žádost apod. Plánovaná přerušení v distribuční soustavě mohou vznikat i z důvodů na straně provozovatele přenosové soustavy nebo mohou být vyvolána jinými subjekty. Vzhledem k tomu, že v současné době neexistují podrobné rozborů plánovaných přerušení a jejich podílu na ukazateli nepřetržitosti, je obtížné provést i hlubší analýzy. Z těchto důvodů ***navrhují podrobnější sledování těchto událostí.***

Na základě odhadu budeme předpokládat, že dominantní složku ukazatelů nepřetržitosti distribuce pro plánované práce tvoří ***rekonstrukce, opravy a údržba a řád preventivní údržby***. Na základě tohoto předpokladu ***lze doporučit níže uvedená opatření*** s cílem snížit počet a dobu trvání plánovaných přerušení. Tyto typy opatření nepředpokládají samotné snižování počtu plánovaných prací, které by mohlo vést ke zhoršování stavu sítí např. odkládáním údržby, rekonstrukcí, atd. Jedná se o následující opatření:

- ***vyšší četnost využívání prací pod napětím,***
- ***využívání náhradních zdrojů,***
- ***využívání tzv. „bypassů“,***
- ***lepší koordinace práce při provádění plánovaných prací.***

### 5.3. Výběr vhodných opatření pomocí metody MBCA

Vztah mezi možnými opatřeními pro snížení ukazatelů nepřetržitosti *SAIFI*, *SAIDI* a vynaloženými náklady jednotlivých provozovatelů distribučních soustav, **je základním předpokladem pro další rozhodování v této oblasti.** Tyto analýzy by měly sloužit pro provozovatele daných soustav jako vhodný nástroj při rozhodování o implementaci jednotlivých opatření se snahou snižovat počty a doby trvání jednotlivých dlouhodobých přerušeni a zároveň jako podklad pro nastavení požadovaných cílů v rámci regulace kvality.

Vzhledem k tomu, že do motivační regulace kvality vstupují plánovaná i neplánovaná přerušeni (vybrané kategorie), je třeba po samostatném zpracování obou oblastí provést sloučení výsledných závislostí do jedné společné. Jinými slovy, je třeba zkombinovat výsledky opatření v oblasti neplánovaných přerušeni s výstupy opatření v oblasti plánovaných přerušeni. Vhodným prostředkem pro zkombinování výsledků se jeví **metoda MBCA** (*Marginal Benefit to Cost Analysis*), která vytváří posloupnost sestav opatření s postupně narůstajícími náklady a příspěvkem ke snížení ukazatelů *SAIFI*, *SAIDI*. Touto metodou se zabývá například publikace (*Brown, Electric Power Distribution Reliability*).

Metoda MBCA je optimalizační postup, kterým lze vytvářet posloupnost sestav variant tak, aby postupně náklady i přínosy jednotlivých sestav narůstaly. Kritériem metody MBCA je poměr „ceny a výkonu“ (*benefit to cost*), přesněji podílu přírůstku přínosů k přírůstku nákladů. Přínosy mají charakter očekávané hodnoty, která může být obecně v peněžních i technických jednotkách. Hodnocení opatření tak nutně nevyžaduje zavedení finančního ekvivalentu spolehlivosti (tj. nevyžaduje volbu metody ocenění přerušeni distribuce). Přínosem může být např. změna *SAIDI*, *SAIFI* nebo jejich kombinace.

Metoda MBCA umožňuje, aby např. pro každý vývod bylo uvažováno více opatření a každé z nich ve více variantách (vč. variant postupně se doplňujících). Jde o iterační postup (nikoliv analytickou metodu), který se opakuje buď do dosažení maximálního rozpočtu, nebo do projití všech vývodů a všech opatření a variant. ***Obecným principem metody MBCA je připustit dražší variantu jen tehdy, pokud je přírůstek přínosu vztažený k přírůstku nákladů vyšší než u ostatních opatření a jejich variant.*** Metoda zamezuje neodůvodněnému uplatnění pouze nejdražších variant, které pochopitelně mají nejvyšší přínos (např. úplná kabelizace, atd.).

## 6. Regulační mechanismy pro ovlivnění spolehlivosti a kvality

Jak již bylo uvedeno, na spolehlivost a kvalitu dodávek elektřiny nemají vliv pouze přenosové a distribuční společnosti, ale i jiné orgány a instituce, které se společně podílí na celém systému. V této kapitole je pozornost věnována regulačním mechanismům, které slouží na liberalizovaném trhu pro ovlivnění spolehlivosti a kvality dodávek elektřiny.

Regulační mechanismy by měly sloužit pro zajištění požadované úrovně kvality dodávek elektřiny (která by se měla pokud možno zlepšovat) a zároveň jako motivační prvek pro jednotlivé společnosti, aby se danou problematikou zabývaly. Vzhledem k tomu, že opatření pro snížení ukazatelů nepřetržitosti musí být uplatněny systémově v celé soustavě, je nezbytné vytvořit i systémové regulační nástroje, které zajistí implementaci vhodných opatření. Je potřeba si uvědomit, že technické aspekty musí být řešeny společně jak s legislativními i regulačními, jelikož se jedná v liberalizovaném prostředí o vzájemně propojený systém.

Na základě provedené analýzy plyne, že je nezbytné zavést do regulačních mechanismů (např. „*revenue-cap*“ či „*price-cap*“) vhodné nástroje pro sledování, vyhodnocování a regulaci kvalitativních parametrů dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. V opačném případě hrozí nefunkční systém, který bude mít v určitém časovém horizontu fatální důsledky na spolehlivost a bezpečnost dodávek elektřiny.

*Záměrem práce v této oblasti je navržení vhodných regulačních mechanismů, případně zavedení nových prvků ve stávajícím systému, s cílem zlepšit kvalitativní parametry dodávek elektřiny pro zákazníky.*

### 6.1. Regulační prostředí v ČR

V roce 2001 začal v České republice oficiálně působit nezávislý regulační úřad (ERÚ), který se od začátku plně soustředil na zkvalitnění ekonomické regulace subjektů, působících v energetickém odvětví, a to zejména zavedením plnohodnotného motivačního způsobu regulace metodou „*revenue cap*“. Od roku 2001 je v ČR zavedena motivační regulace povolených výnosů činnosti přenosu a distribuce elektřiny založená na výrazu:

$$PV_t = PN + O_t + Z_b, \quad (5)$$

kde  $t$  je pořadové číslo regulovaného roku,

$PN$  jsou povolené náklady provozovatele přenosové nebo distribuční soustavy nezbytné k zajištění přenosu nebo distribuce,

$O_t$  jsou odpisy dlouhodobého hmotného a nehmotného majetku provozovatele přenosové nebo distribuční soustavy sloužícího k zajištění přenosu nebo distribuce elektřiny,

$Z_t$  je zisk provozovatele přenosové nebo distribuční soustavy.

Regulační vzorec do roku 2010 neobsahoval komponentu, jejímž prostřednictvím by bylo možno regulačně ovlivňovat kvalitu poskytovaných služeb přenosu a distribuce elektřiny. V regulačním vzorci chyběla přímá zpětná vazba vynaložených investičních prostředků a odpisů z těchto investic na parametr, vyjadřující potřebnost a účelnost vynakládání těchto prostředků, resp. na faktor charakterizující úroveň stavu provozovaného majetku. Úřad proto pro třetí regulační období (2010 – 2014, 2015) zavedl *tzv. integrovanou motivační regulaci v oblasti kvality dodávek elektrické energie*, nicméně z důvodů chybějících vstupních údajů byla komponenta kvality v regulačním vzorci použita až od třetího roku regulačního období, tj. od roku 2013.

V ČR existují dva mechanismy regulace kvality, jedná se o:

#### ▪ **Vyhláška o kvalitě**

Kvalita dodávek elektřiny v ČR je dána vyhláškou č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, v platném znění (dále jen vyhláška). Tato vyhláška stanoví požadovanou kvalitu dodávek a služeb souvisejících s regulovanými činnostmi v elektroenergetice, včetně výše náhrad za její nedodržení, lhůt pro uplatnění nároku na náhrady, a postupy pro vykazování dodržování kvality dodávek a služeb. Požadovaná kvalita a její parametry jsou vyjádřeny prostřednictvím standardů kvality, které definují úroveň kvality, *jenž musí být dosažena v každém individuálním případě*.

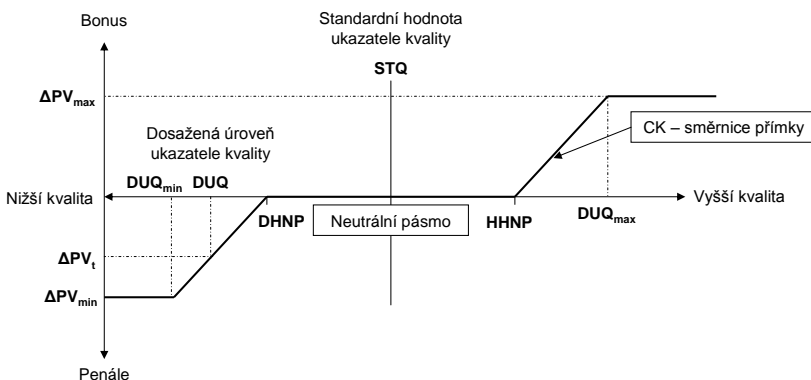
#### ▪ **Motivační regulaci kvality**

Vyhláška o kvalitě a její standardy jsou zaměřeny na ochranu nejvíce postižených zákazníků a to prostřednictvím limitů, které definují úroveň

kvality, jež musí být dosažena v každém individuálním případě. Cílem motivační regulace kvality, je naopak ovlivnění kvality v celém systému, v tomto případě v konkrétní distribuční soustavě. Kombinace těchto dvou mechanismů by měla zaručovat postupné zlepšování kvality dodávek elektřiny pro všechny zákazníky.

Mechanismus motivační regulace v oblasti kvality je vyjádřen na následujícím obrázku.

**Obr. 9:** Mechanismus motivační regulace kvality v ČR



kde  $\Delta PV_t$  je finanční vyjádření bonusu nebo penále za dosaženou kvalitu služeb,

$t$  je pořadové číslo regulovaného roku,

$DUQ$  je hodnota dosažené úrovně ukazatele kvality v roce rozhodném pro hodnocení kvality služeb pro příslušný rok regulačního období,

$CK$  je jednotková cena kvality,

$\Delta PV_{max}$  je maximální hodnota bonusu za dosaženou kvalitu služeb,

$\Delta PV_{min}$  je maximální hodnota penále za dosaženou kvalitu služeb,

$MAX$  je procentuální vyjádření bonusu ve vztahu k reg. zisku,

$MIN$  je procentuální vyjádření penále ve vztahu k reg. zisku,

$DHNP$  je dolní hranice neutrálního pásma,

$HHNP$  je horní hranice neutrálního pásma,

$STQ$  je hodnota požadované úrovně ukazatele SAIDI, SAIFI,



$DUQ_{max}$  je limitní hodnota ukazatele kvality, od níž je uplatňována maximální hodnota bonusu za dosaženou kvalitu služeb,  
 $DUQ_{min}$  je limitní hodnota ukazatele kvality, od níž je uplatňována maximální hodnota penále za dosaženou kvalitu služeb.

## 6.2. Navržení nového mechanismu regulace kvality

Na základě analýzy současného stavu je patrné, že platný systém regulace kvality je nevyhovující (podrobněji uvedeno v disertační práci). Z tohoto důvodu **navrhují změny metodiky regulace kvality včetně zavedení nových prvků do stávajícího systému**, které společně zajistí funkční regulaci v této oblasti. Kromě zásadní změny v chápání regulace kvality, navrhuji další opatření pro zlepšení regulačního mechanismu. Na základě zkušeností se současně platnými principy je vhodné zavést prvky, které přispějí k zefektivnění regulačního mechanismu a zároveň zabezpečí jednotlivým distribučním společnostem lepší předvídatelnost regulace kvality. Předvídatelnost regulačních mechanismů je jednou ze zásadních věcí celého systému, jelikož budování energetických sítí je velice zdoluhavý proces a daná zařízení se staví na několik desetiletí. V této souvislosti navrhuji zavést následující kroky a opatření:

### ➤ *Úprava metodiky regulace se zohledněním provozních výdajů*

Navrhuji, aby obecná motivační komponenta  $Q$  byla rozdělena na dvě komponenty. Jednalo by se o komponentu  $Q_i$  tj. část která by pokrývala investiční opatření a  $Q_p$ , která by umožnila uznání provozních výdajů na zvýšení kvality dodávek. Oproti současnému stavu tak vznikne zcela nová komponenta, vázaná na zvýšení provozních výdajů, která umožní motivovat distributora k optimalizaci investic, což je velice důležité. Obecný výraz pro výpočet povolených výnosů by měl následující tvar:

$$PV_t = PV_{t-1} * (1 + RPI - X) \pm Q_i \pm Q_p \quad (6)$$

kde  $PV$  je obecný symbol pro výnos,  
 $t$  je pořadové číslo regulovaného roku,  
 $RPI$  je index růstu spotřebitelských cen,

$X$  je faktor efektivity,

$Q_i$  je finanční vyjádření penalizace nebo bonusu za (ne)dosažení požadované úrovně kvality služeb,

$Q_p$  je finanční vyjádření penalizace nebo bonusu za (ne)dosažení požadované úrovně kvality služeb ve vztahu k provozním výdajům.

#### ➤ **Jasná definice vstupních ukazatelů**

V rámci současně platné metodiky regulace kvality na třetí regulační období chybí jasná definice vstupních ukazatelů. Z tohoto důvodu navrhuji do výpočtu ukazatelů nepřetržitosti zahrnout pouze události, na které má provozovatel dané soustavy „vliv“.

#### ➤ **Nastavení požadovaných hodnot na delší časové období**

Navrhuji nastavit požadované hodnoty ukazatelů nepřetržitosti minimálně na celé regulační období (tj. předpokládané šestileté období). Tento krok by umožnil jednotlivým společnostem provést v dostatečném předstihu potřebné přípravy pro implementování opatření, které povedou ke zlepšení kvalitativních parametrů dodávek elektřiny.

#### ➤ **Zavedení klouzavého průměru**

Tento prvek by byl zaveden za účelem posílení eliminace meziročního kolísání ukazatelů nepřetržitosti. Model zavedení klouzavých průměrů je uveden na následujícím obrázku č. 10.

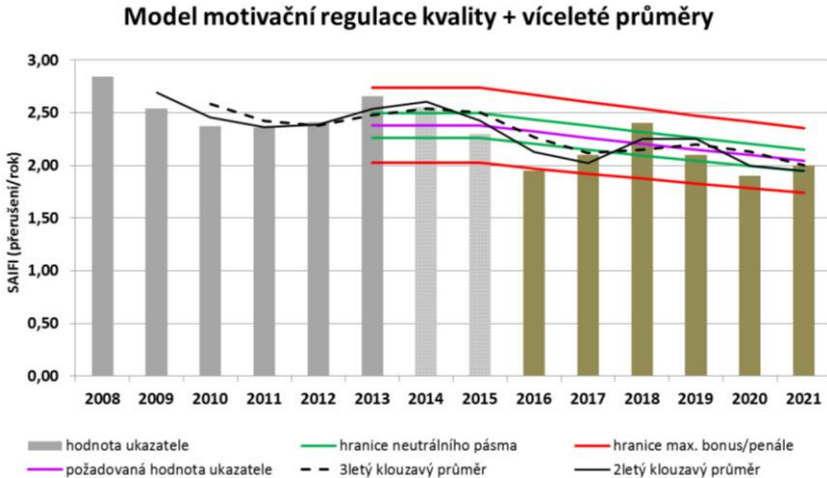
#### ➤ **Nastavení parametrů ukazatele kvality**

Jak již bylo presentováno na schématu motivační regulace, ukazatel kvality (komponenta Q) má řadu parametrů, které je nezbytné stanovit. V práci jsou uvedeny doporučení pro jednotlivé parametry.

#### ➤ **Doplňující návrhy pro ovlivnění kvality dodávek**

Jedná se o další možnosti jak posílit regulaci kvality, konkrétně: sledování a vyhodnocování krátkodobých přerušení, stanovení maximálního počtu přerušení u zákazníka a zavedení tzv. automatických náhrad.

**Obr. 10: Motivační regulace s využitím víceletých průměrů**



### 6.3. Nastavení požadovaných hodnot ukazatelů nepřetržitosti

*Stěžejní otázkou motivační regulace kvality je nastavení požadovaných hodnot ukazatelů nepřetržitosti SAIFI<sub>Q</sub>, SAIDI<sub>Q</sub>.* Jedná se jak o strukturu těchto ukazatelů, jejich požadované hodnoty, ale i scénáře zpříšňování a návaznosti na uplatnění celkové výše bonusů či sankcí v rámci regulačního mechanismu (komponenta Q). Cílem práce je vytvoření určité metodiky pro hodnocení dopadů různých modelů regulace.

Konkrétní požadované hodnoty ukazatelů SAIFI<sub>Q</sub>, SAIDI<sub>Q</sub> pro jednotlivé distribuční společnosti mohou být obecně nastaveny pomocí tří základních přístupů:

- a) *využití ocenění přerušení u zákazníků (tzv. ocenění nedodané energie)*
- b) *využití historických hodnot ukazatelů a odhadu „přiměřené“ ekonomické vazby*
- c) *vytvoření závislosti mezi náklady a kvalitou*

Z uvedených možností doporučuji, aby požadované hodnoty byly nastaveny na základě detailní *studie, která bude mít za cíl určit závislost mezi kvalitou*

**a náklady na její dosažení.** Na základě této analýzy bude možné stanovit požadované hodnoty se znalostí dopadu do cen pro jednotlivé zákazníky.

Pokud pomineme určení závislosti mezi náklady a kvalitou, tj. určení přínosů jednotlivých opatření ve vztahu k jejich ceně, **je dále nezbytné vytvořit metodiku pro správné nastavení požadovaných hodnot ukazatelů SAIFI<sub>Q</sub>, SAIDI<sub>Q</sub>** v rámci daného časového období (předpokládáme regulační období). Pomocí této metodiky bude možné rozhodnout o zvolení ideálního scénáře zpřísňování ukazatelů na základě znalosti dopadu na hodnotu komponenty Q v jednotlivých letech i za celé regulační období. V dalších částech bude pozornost zaměřena na vytvoření této metodiky a její aplikaci.

#### **6.4. Vytvoření metodiky pro stanovení požadovaných parametrů**

Metodika pro stanovení požadovaných parametrů bude založena na hodnocení dopadů různých modelů (scénářů) regulace. Pro stanovení konkrétních hodnot ukazatelů nepřetržitosti SAIFI<sub>Q</sub>, SAIDI<sub>Q</sub> a scénáře zpřísňování v jednotlivých letech je navržen níže uvedený postup. Zároveň bude vytvořen model, který bude ilustrovat navržený postup pro hodnoty ukazatelů za celou ČR při zachování podmínek uplatněných v rámci III. RO. Metodika se skládá z následujících kroků:

- 1. Analýza ukazatelů nepřetržitosti**
- 2. Zvolení jednotlivých scénářů zpřísňování**
- 3. Výpočet komponenty Q**
- 4. Citlivostní analýza pro zvolené scénáře**

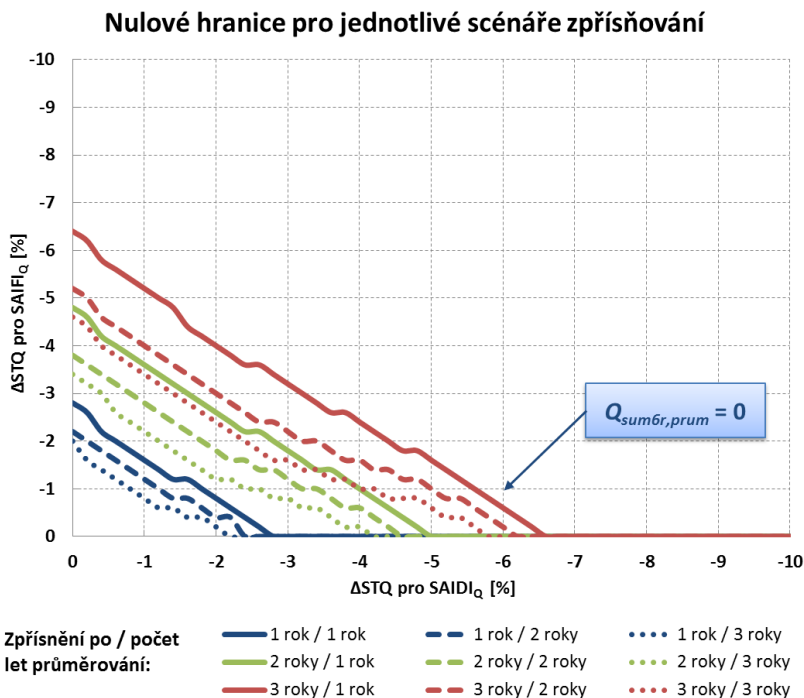
Výsledkem výpočtu je však dosti rozsáhlá tabulka hodnot, která je pro další rozhodování nepraktická. Otázkou je, jakým způsobem vytvořit srozumitelné výstupy. Jednou z možností, jak názorně prezentovat a porovnat výsledky širokého spektra asymetrických scénářů je **vykreslení hranice mezi záporným a kladným ukazatelem kvality**, můžeme ji zkráceně nazývat **nulovou hranicí**. Tuto hranici tvoří body, pro které je  $Q_{sumRO,prum}$  rovno nule (příp.  $Q_{sum6r,prum} = 0$ ). V grafu je nulová hranice vykreslena jako jedna čára, kde osa x představuje změnu standardu pro SAIDI<sub>Q</sub> (přesněji relativní meziroční změna STQ pro SAIDI<sub>Q</sub>) a na ose y je změna STQ pro SAIFI<sub>Q</sub>.

Způsob odečítání z těchto grafů je následující:

- Pro body, odpovídající zpřísňování  $SAIFI_Q$  a  $SAIDI_Q$ , ležící pod čarou – pod nulovou hranicí vychází průměrná souhrnná hodnota faktoru kvality za IV. RO **kladná** (v bilanci převažuje bonifikace).
- Pro body, odpovídající zpřísňování  $SAIFI_Q$  a  $SAIDI_Q$ , ležící nad čarou – nad nulovou hranicí vychází průměrná souhrnná hodnota faktoru kvality za IV. RO **záporná** (v bilanci převažuje penalizace).
- Pokud čára pro určité parametry není v grafu patrná, pak leží mimo první kvadrant souřadného systému a pro jakoukoliv kombinaci ročního zpřísňování je  $Q_{sumRO,prum} < 0$ .

**Pro ilustraci byl vytvořen model**, na kterém bude presentováno vykreslení nulových hranic pro zvolené scénáře. Vytvořené nulové hranice jsou uvedeny v následujícím obrázku.

**Obr. 11:** Nulové hranice pro vytvořený model



▪ **Závěry:**

Po zpracování výsledků dle uvedené metodiky a na základě vykreslení nulových hranic lze učinit obecné závěry:

**Kroky zpřísňování** - Porovnání výsledků pro různé kroky zpřísňování je obtížné, protože je třeba uvážit, zda u srovnávaných variant dosáhneme na konci regulačního období stejných požadovaných hodnot  $SAIFI_Q$  a  $SAIDI_Q$ . Z hlediska vyšší souhrnné hodnoty ukazatele kvality je výhodnější, když míra zpřísňování v čase narůstá, než když je přes celé období rovnoměrně rozdělená (byť v obou případech dospěje ke stejné cílové hodnotě). Čistě z hlediska velikosti míry zpřísňování umožňuje tříletý krok (případně dvouletý krok) vyšší hodnoty míry zpřísnění než při ročním zpřísňování. Tato úvaha však nemusí vést ke stejným cílovým hodnotám ukazatelů  $SAIFI_Q$  a  $SAIDI_Q$ .

**Víceleté průměry** - Obecně vedou víceleté průměry k nižším hodnotám  $Q_{sumRO,prum}$  díky tomu, že se déle kalkuluje s ukazateli pro současný stav. V hodnotách  $Q_{sum6r,prum}$  se tento jev uplatňuje méně. Výpočet s ročními hodnotami  $SAIFI_Q$ ,  $SAIDI_Q$  umožňuje vyšší meziroční zpřísnění než dvouleté a tříleté průměry.

**Aritmetická/geometrická řada** - Zpřísňování aritmetickou řadou a geometrickou řadou nevedou k velkým změnám  $Q_{sumRO,prum}$ . Geometrická řada klade mírnější nároky na ukazatele nepřetržitosti distribuce, a proto jsou v jejím případě i hodnoty  $Q_{sumRO,prum}$  vyšší. Zpřísňování geometrickou řadou umožňuje vyšší meziroční zpřísnění než zpřísňování aritmetickou řadou (ovšem cílová hodnota zpřísnění může být menší).

Na základě těchto obecných závěrů je možné postupovat při výběru daného scénáře zpřísňování. Vykreslení nulové hranice pro jednotlivé scénáře dává názornější přehled o dané situaci a zobrazuje možnosti zpřísňování ukazatelů  $SAIFI_Q$  a  $SAIDI_Q$  při zachování kladné bilance ukazatele kvality v rámci regulačního mechanismu. Uvedená metodika jistě přispěje k hodnocení různých modelů regulace v praxi a poskytne potřebné podklady pro konečné rozhodnutí o nastavení požadovaných hodnot a souvisejících parametrů.

## 7. Závěr

Disertační práce se zabývá problematikou spolehlivosti a kvality dodávek elektřiny a možnostmi jejich ovlivňování. Spolehlivost a kvalita dodávek je jednou ze základních otázek současné elektroenergetiky a její zajištění patří mezi hlavní cíle na liberalizovaném trhu s elektřinou. Vzhledem k tomu, že je uvedená problematika značně rozsáhlá, předmětem zájmu práce je především nepřetržitost dodávek elektřiny v distribučních soustavách. Tato oblast je v současné době velice aktuální a je tématem v řadě zemí po celém světě. Na základě provedené rešerše odborné literatury a ze zkušeností z praxe, však tato oblast nebyla doposud komplexně řešena. Cílem práce je tudíž přispět k řešení uvedené problematiky.

Práce je strukturovaná do několika kapitol. První kapitola se věnuje spolehlivosti v elektroenergetice. V této kapitole je uveden teoretický rozbor včetně popsání základních pojmů, definic, vztahů, používaných rozdělení a výpočetních metod. Zde je pozornost zaměřena především na výpočetní metodu Monte Carlo, která je vhodným nástrojem pro výpočet spolehlivosti v elektroenergetice. Součástí kapitoly jsou i ekonomické aspekty spolehlivosti včetně provedení shrnutí zkušeností ze zahraničí. V závěru je vytvořen výpočetní model pro ocenění nedodané energie v ČR na základě makroekonomické analýzy. Nejen podle doporučení sdružení CEER lze konstatovat, že studie oceňování jsou důležitým nástrojem při odhadu optimální úrovně nepřetržitosti distribuce. Existuje několik přístupů k získání ocenění, jak se však ukazuje, v praxi vedou k obtížně uchopitelným výsledkům a mnohdy i snadno zpochybnitelným. Výsledky je možné využít jako podpůrný prvek či argument při stanovování požadovaných úrovní kvality.

Druhá kapitola se zabývá kvalitou dodávek elektřiny. Předkládá základní pohled na tuto problematiku a její jednotlivé oblasti. Dále je proveden teoretický rozbor negativních jevů, jako jsou vyšší a mezilehlé harmonické, kolísání napětí, flickr, nesymetrie atd. Podrobněji se práce věnuje oblasti nepřetržitosti dodávek, kde jsou uvedeny základní vztahy a metody používané pro její hodnocení a to jak obecně, tak se zaměřením na postupy používané v ČR. V závěru kapitoly je provedeno podrobné vyhodnocení dosahované úrovně kvality v ČR včetně porovnání se zahraničím. Na základě porovnání lze konstatovat, že úroveň kvality v ČR nedosahuje takových hodnot jako ve „vyspělých“ zemích EU. Na tento fakt má vliv několik aspektů,

jako je například struktura sítí, především pak podíl kabelových vedení atd. Nicméně je patrné, že v ČR je podíl plánovaných prací značně vysoký a dává zřejmě velký prostor pro snížení celkových ukazatelů nepřetržitosti.

Další kapitola se již věnuje opatřením pro zlepšení spolehlivosti a kvality dodávek. Vzhledem k tomu, že je pozornost zaměřena na ukazatele nepřetržitosti, je tato kapitola rozdělena na opatření pro oblast neplánovaných přerušení a plánovaných přerušení. Pro tyto dvě základní oblasti jsou uvedeny jednotlivá opatření, u kterých se dá předpokládat pozitivní dopad na snížení počtu a dob trvání dlouhodobých přerušení. V závěru je navržen postup pro výběr kombinace vhodných opatření a to pomocí metody MBCA, která vytváří posloupnost sestav opatření s postupně narůstajícími náklady a příspěvkem ke snížení ukazatelů *SAIFI*, *SAIDI*. Nalezení vhodných opatření pro zlepšení kvality v praxi by mělo být výsledkem analýz, jejichž cílem bude určení závislosti mezi kvalitou a náklady. Vztah mezi potenciálními opatřeními a vynaloženými náklady je jednou z možných cest k nastavení požadovaných cílů, která byla na základě rozboru jednotlivých možností shledána v současných podmínkách jako nejvhodnější z hlediska věrohodnosti a vypovídací schopnosti.

Závěrečná kapitola se věnuje regulačním mechanismům pro ovlivnění spolehlivosti a kvality. Popisuje vliv jednotlivých institucí a účinek zavedení regulace na liberalizovaném trhu s elektřinou. Hlavní pozornost je věnována regulačnímu prostředí v ČR, zejména vyhlášce o kvalitě a motivační regulaci kvality. Dále je proveden návrh nového mechanismu regulace kvality včetně úpravy stávajícího systému. Mezi hlavní prvky v navrhovaném systému patří nutnost zohlednění provozních nákladů spojených s opatřeními pro zlepšení kvality, jelikož současná metoda regulace ve svém výsledku dlouhodobě preferuje pouze investiční opatření. Opatření v provozní oblasti navíc mohou být i efektivnější, než nové investice. Zároveň jsou navrženy nástroje pro zajištění funkční a předvídatelné regulace kvality, jako je nastavení požadovaných hodnot na celé regulační období, jasná definice ukazatelů, zavedení klouzavých průměrů a další doplňující návrhy. Uvedené návrhy povedou k vyšší motivaci provozovatelů distribučních soustav zabývat se touto oblastí a v konečném důsledku i ke kvalitnější a spolehlivější dodávce elektřiny konečným zákazníkům.

Zvláštní pozornost je věnována stanovení požadovaných hodnot ukazatelů nepřetržitosti *SAIFI<sub>Q</sub>*, *SAIDI<sub>Q</sub>* v rámci mechanismu motivační regulace



kvality. V této souvislosti byla vytvořena metodika, která hodnotí jednotlivé modely (scénáře) regulace. Výsledkem navrženého postupu je vykreslení tzv. nulových hranic, které jsou vhodnou metodou, jak názorně prezentovat a porovnat výsledky širokého spektra asymetrických scénářů zpříšňování. Jedná se o vykreslení hranice mezi záporným a kladným ukazatelem kvality. Pro ilustraci byl vytvořen modelový příklad, na kterém je tento postup prezentován. Uvedená metodika přispěje k hodnocení různých modelů regulace v praxi a poskytne potřebné podklady pro konečné rozhodnutí o nastavení požadovaných hodnot ukazatelů nepřetržitosti.

Cílem disertační práce bylo poskytnout souhrnný pohled na tuto problematiku a navrhnout řešení pro zlepšení kvalitativních parametrů včetně návrhu regulačních nástrojů pro implementaci vhodných technických či netechnických opatření. V práci jsou navrženy změny metodiky regulace kvality včetně návrhu nových prvků do stávajícího systému, které společně zajistí funkční regulaci v této oblasti. Na základě zkušeností se současně platnými principy je vhodné zavést prvky, které přispějí k zefektivnění regulačního mechanismu a zároveň zabezpečí jednotlivým distribučním společnostem lepší předvídatelnost. Předvídatelnost regulačních mechanismů je jednou ze zásadních věcí celého systému, jelikož budování energetických sítí je velice zdoluhavý proces a daná zařízení se staví na několik desetiletí.

Přínos práce lze spatřovat v komplexním pohledu na danou problematiku a zejména v zaměření na regulační mechanismy pro ovlivnění kvalitativních parametrů. Zde se jedná především o návrh nových prvků regulace a vytvoření metodiky pro hodnocení jednotlivých modelů. Na rozdíl od jiných zemí, kde byly nastaveny požadované hodnoty ukazatelů nepřetržitosti na základě průzkumů u zákazníků či na základě historického vývoje, je v této práci navrženo postupovat na základě znalosti závislosti mezi náklady a kvalitou. Práce neposuzuje pouze technické možnosti pro ovlivnění kvality, ale i regulační mechanismy v této oblasti. Regulační mechanismy jsou nezbytné pro zajištění požadované úrovně kvality v praxi. Na základě zkušeností ze zahraničí, hrozí bez využití těchto mechanismů zhoršování kvality dodávek elektřiny, mnohdy s fatálními důsledky pro odběratele.

Další rozšíření uvedené práce se dá očekávat v aplikaci navržených postupů pro konkrétní distribuční soustavu. V této souvislosti by bylo nezbytné vytvořit spolehlivostní schéma za účelem výpočtu přínosu jednotlivých opatření ke snížení ukazatelů nepřetržitosti a to na základě skutečných dat.

## 8. Literatura použitá v tezích

- [1]. Tůma J., Rusek S., Martínek Z., Chemišinec I., Goňo R.: Spolehlivost v elektroenergetice, ČVUT Praha, ISBN 80-239-6483-6
- [2]. Hradílek Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení, VŠB TU Ostrava 2008, ISBN 978-80-7225-291-6
- [3]. Ibler Z. a kol.: Technický průvodce energetika, BEN Praha, 2002, ISBN 80-7300-026-1
- [4]. Chemišinec I., Marvan M., Nečesaný J., Sýkora T., Tůma J.: Obchod s elektřinou, Conte Praha 2010, ISBN 978-80-254-6695-7
- [5]. Tlustý J.: Kvalita elektrické energie, K 13115 interní text, ČVUT, Praha, 2005
- [6]. Skala P., Dětrich V.: Kvalifikace přínosů kabelizace vybraných úseků venkovního vedení vn, Sborník konference CIRED 2013 [CD-ROM]. Praha: CIRED, 2013
- [7]. Elena Fumagalli, Luca Lo Schiavo, Florence Delestre: Service Quality Regulation in Electricity Distribution and Retail, Springer 2007, ISBN: 978-3-540-73442-0
- [8]. 5th Benchmarking Report on Quality of Electricity Supply, CEER, 2011
- [9]. CEER Benchmarking Report 5.1 on the Continuity of Electricity Supply, CEER, 2013
- [10]. Guidelines of Good Practice on Estimation of Costs due to Electricity Interruptions and Voltage Disturbances, CEER, 2010
- [11]. Vyhláška ERÚ č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek elektrické energie a souvisejících služeb v elektroenergetice, ve znění vyhlášky č. 41/2010 Sb.
- [12]. Brown R.: Electric Power Distribution Reliability, Second Edition, CRC Press, 2009, ISBN 978-0-8493-7567-5.
- [13]. Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)
- [14]. Závěrečná zpráva Energetického regulačního úřadu o metodice regulace pro III. regulační období včetně základních parametrů regulačního vzorce a stanovení cen v odvětví elektroenergetiky a plynárenství, ERÚ ČR, Praha, 2009
- [15]. Vyhláška č. 140/2009 Sb. o způsobu regulace cen v energetických odvětvích a postupech pro regulaci cen (v platném znění)

## 9. Publikace autora vztahující se k tématu disertační práce

### A. Publikace v impaktovaných časopisech:

-

### B. Publikace v recenzovaných časopisech:

- [1]. Šefránek J.: Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb elektroenergetice, Energetika. 2009, roč. 59, č. 12, s. 505-508. ISSN 0375-8842
- [2]. Šefránek J.: Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb elektroenergetice za rok 2010, Energetika. 2011, roč. 61, č. 11

### C. Publikace ve sbornících (recenzovaných):

- [3]. Šefránek J.: Vyhodnocení plnění standardů kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, Sborník konference CIRED 2008 [CD-ROM]. Praha: CIRED, 2008, ISBN 978-80-254-2790-3
- [4]. Tůma J., Šefránek J., Chemišinec I., Nečesaný J.: Quality and Reliability of Electricity Supply – The role of the regulators and the authorities on the liberalized electricity market, CIGRE Symposium, Guilin – China 2009
- [5]. Šefránek J., Kusý P.: The Quality of Electricity and its Regulation, Poster 2009 [CD-ROM]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009
- [6]. Šefránek J.: Vyhodnocení plnění standardů kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, Sborník konference CIRED 2009 [CD-ROM], Praha, 2009
- [7]. Šefránek J., Sýkora T., Tůma J., Švec J., Chemišinec I.: Quality of Supply and Distributed Energy Sources, Fifth international scientific symposium ELEKTROENERGETIKA 2009 [CD-ROM]. Košice: TU Košice, FEI, 2009, p. 448-453. ISBN 978-80-553-0237-9
- [8]. Šefránek J.: Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, Sborník konference CIRED 2010 [CD-ROM]
- [9]. Šefránek J., Tůma J.: Vliv řídicích a regulačních orgánů na spolehlivost a kvalitu dodávek elektrické energie, 9th International Conference EEE, 2010, Tatranské Matliare, Slovak Republic
- [10]. Šefránek J.: Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, Sborník konference CIRED 2011, Praha: CIRED, 2011, ISBN 978-80-905014-0-9
- [11]. Šefránek J.: Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, Sborník konference CIRED 2012, Praha: CIRED, 2012
- [12]. Šefránek J., Tůma J.: Kvalita dodávek elektrické energie v distribučních soustavách a možnosti jejího ovlivňování, Konference EPE 2013

- [13]. Šefránek J.: Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, Sborník konference CIRED 2013, Praha: CIRED, 2013
- [14]. Šefránek J.: Kvalita elektřiny, Konference Poděbrady 2014, Poděbrady 2014
- Podíly spoluautorů na jednotlivých publikacích jsou shodné.

#### **D. Publikace ostatní:**

- [15]. Šefránek J.: Kvalita elektrické energie v distribučních soustavách – diplomová práce, ČVUT v Praze 2007
- [16]. Šefránek J.: Není elektřina jako elektřina, Třetí pól. 2008, roč. 8, č. 2
- Podíly spoluautorů na jednotlivých publikacích jsou shodné.

#### **Nepublikované příspěvky autora (konference, semináře)**

- [17]. Šefránek J.: Kvalita dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice v ČR, mezinárodní workshop Regulácia kvality dodávok a distribúcie v praxi v sektoroch elektroenergetiky a plynárenstva, Bratislava 2009
- [18]. Šefránek J.: Distribuce elektrické energie a spolehlivost její dodávky, seminář v rámci mezinárodního strojírenského veletrhu Brno, Brno 2010
- [19]. Šefránek J.: Vyhledávka o kvalitě a vyhodnocení roku 2009, seminář pracovní skupiny 5.2 ČK CIRED, Pavlov 2010
- [20]. Šefránek J.: Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb za rok 2010, semináře pracovní skupiny 5.2 ČK CIRED, Pavlov 2011
- [21]. Šefránek J.: Srovnání úrovně kvality dodávek elektřiny ČR se státy EU, seminář pracovní skupiny 5.2 ČK CIRED, Pavlov 2011
- [22]. Šefránek J.: Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb za rok 2011, seminář pracovní skupiny 5.2 ČK CIRED, Pavlov 2012
- [23]. Šefránek J.: Regulace kvality elektřiny, mezinárodní konference Trendy elektroenergetiky v evropském kontextu VIII, Špindlerův Mlýn 2013
- [24]. Šefránek J.: Kvalita elektřiny – předpoklad bezproblémového transportu a užití, seminář Energie pro budoucnost IX v rámci mezinárodní výstavy AMPÉR 2013, Brno 2013
- [25]. Šefránek J.: Kvalita dodávek elektrické energie a požadavky na provozovatele LDS, workshop Lokální distribuční soustavy - provozování, rozvoj, modernizace, Praha 2014
- [26]. Šefránek J.: Vyhodnocení nepřetržitosti distribuce elektřiny za 2013 a vazba na motivační regulaci, seminář pracovní skupiny 5.2 ČK CIRED, Pavlov 2014
- [27]. Šefránek J.: Kvalita dodávek elektrické energie, seminář Energie pro budoucnost XI v rámci mezinárodní výstavy AMPÉR 2014, Brno 2014

## Summary

The thesis deals with reliability and quality of the electricity supply and possibilities of their influence. Reliability and quality of the electricity supply is one of the fundamental questions of the present electric power engineering and their ensuring belongs to the main objectives at the liberalized electricity market. The focus of the thesis is primarily the continuity of the electricity supply in distribution systems. This area is currently very topical issue in many countries around the world. The thesis gives a theoretical analysis of reliability and quality of the electricity supply with focus on continuity of supply. At the same time, calculation of the pricing interruption is provided for the Czech conditions, including related experience of other countries. The essential part of the thesis is detailed evaluation of the achieved quality level in the Czech Republic, including comparison with other countries. Next part of the thesis is devoted to measures for improving reliability and quality of the electricity supply. These are technical or non-technical measures for the area of unplanned and planned interruptions whose aim is to reduce the indicators of continuity. After that, selection of the appropriate combinations is stated. The final part is devoted to regulatory mechanisms for influencing reliability and quality. Detailed analysis of the regulatory mechanisms used at the liberalized market focused on the Czech Republic is provided. In this area the aim of the thesis suggests a new method of regulation of the quality, which satisfies all the necessary requirements. The final chapter is dedicated to setting the desired values continuity indicators within the regulatory mechanism, or tightening their scenarios. In this context, method for evaluating individual control models is created. The aim is to provide guidance on finding the appropriate measures to improve quality of the electricity supply and using both technical and non-technical measures, in particular effective regulatory mechanisms.

## Resumé

Práce se zabývá problematikou spolehlivosti a kvality dodávek elektřiny a možnostmi jejich ovlivňování. Spolehlivost a kvalita dodávek elektrické energie je jednou ze základních otázek současné elektroenergetiky a její zajištění patří mezi hlavní cíle na liberalizovaném trhu s elektřinou. Předmětem zájmu práce je především oblast nepřetržitosti dodávek elektřiny v distribučních soustavách. Tato oblast je v současné době velice aktuální a je tématem v řadě zemí po celém světě. V práci je uveden teoretický rozbor spolehlivosti a kvality dodávek elektřiny se zaměřením na nepřetržitost dodávek. Současně je proveden výpočet ocenění přerušení pro podmínky ČR včetně uvedení souvisejících zkušeností z jiných zemí. Nezbytnou součástí práce je detailní vyhodnocení dosahované úrovně kvality v ČR včetně porovnání se zahraničím. Další část práce se již věnuje opatřením pro zlepšení spolehlivosti a kvality dodávek elektřiny. Jedná se o technická či netechnická opatření pro oblast neplánovaných a plánovaných přerušení, jejichž cílem je snižovat ukazatele nepřetržitosti. Následně je uveden způsob výběru jejich vhodných kombinací. Závěrečná část práce se věnuje regulačním mechanismům pro ovlivňování spolehlivosti a kvality. Je zde proveden detailní rozbor regulačních mechanismů využívaných na liberalizovaném trhu se zaměřením na ČR. V této oblasti je cílem práce navržení nového způsobu regulace kvality, který by odpovídal všem nezbytným požadavkům. Závěrečná kapitola se věnuje otázce nastavení požadovaných hodnot ukazatelů nepřetržitosti v rámci regulačního mechanismu, respektive scénářům jejich zpřísnování. V této souvislosti je vytvořena metodika pro hodnocení jednotlivých modelů regulace. Cílem práce je poskytnout návod na nalezení vhodných opatření pro zlepšení kvality dodávek elektřiny a to jak pomocí technických či netechnických opatření, tak zejména účinných regulačních mechanismů.