

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

# **Disertační práce**

srpen 2014

Ing. Jan Šefrámek



České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektroenergetiky

# **SPOLEHLIVOST A KVALITA DODÁVEK ELEKTŘINY A MOŽNOSTI JEJICH OVLIVŇOVÁNÍ**

**Disertační práce**

**Ing. Jan Šefrámek**

Praha, srpen 2014

Doktorský studijní program: Elektrotechnika a informatika  
Studijní obor: Elektroenergetika

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

## Anotace

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 zpřísňování. 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.

## Klíčová slova

Spolehlivost, metoda Monte Carlo, kvalita dodávek elektřiny, nepřetržitost dodávek, ukazatele nepřetržitosti, SAIFI, SAIDI, oceňování přerušení, liberalizace, regulace kvality, metoda MBCA, komponenta Q.

## **Abstract**

*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.*

## **Keywords**

*Reliability, Monte-Carlo method, quality of the electricity supply, continuity of supply, continuity indicators, SAIFI, SAIDI, pricing interruption, liberalization, regulation of the quality, method MBCA, Q component.*

## O autorovi

Jan Šefrámek se narodil v roce 1982 ve Strakonících. V roce 2001 vystudoval Střední průmyslovou a vyšší odbornou školu v Písku, obor slaboproudá elektrotechnika. Poté v roce 2007 ukončil studium magisterského programu na Fakultě elektrotechnické ČVUT v Praze a úspěšně obhájil diplomovou práci na téma „Kvalita elektrické energie v distribučních soustavách“. Uvedená práce byla ohodnocena prvním místem v celostátní soutěži diplomových prací Cena ČEZ 2007.

Na své předchozí studium navázal doktorským studijním programem na Katedře elektroenergetiky FEL ČVUT v Praze, kde se pod vedením Prof. Ing. Jiřího Tůmy, DrSc. zabýval problematikou spolehlivosti a kvality dodávek elektřiny a možnostmi jejich ovlivňování. V roce 2010 úspěšně složil státní doktorskou zkoušku.

Od roku 2008 pracuje na Energetickém regulačním úřadě, kde v současné době vede oddělení statistiky a sledování kvality a mimo jiné se zabývá kvalitou v elektroenergetice a plynárenství a metodami jejich regulace. Je členem stálé pracovní skupiny Sdružení evropských regulátorů CEER EQS TF, která je zaměřena na kvalitu elektrické energie a problematiku „Smart Grids“ v evropském kontextu.

V rámci svého odborného působení je autorem nebo spoluautorem řady publikací, z nichž některé byly publikovány v zahraničí. Dále se pravidelně aktivně účastní konferencí, seminářů či pracovních skupin zaměřených na problematiku kvality a spolehlivosti dodávek elektrické energie jak v ČR, tak i v zahraničí.

## Poděkování

Rád bych poděkoval Prof. Ing. Jiřímu Tůmovi, DrSc. za vedení v průběhu studia a za pomoc a cenné rady při zpracování této práce.

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Cíle disertační práce .....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>Spolehlivost v elektroenergetice .....</b>	<b>16</b>
3.1	Základní pojmy a definice .....	17
3.2	Vztahy a ukazatele spolehlivosti .....	19
3.3	Rozdělení využívaná v elektroenergetice .....	25
3.4	Výpočet spolehlivosti .....	29
3.4.1	Metoda síťového modelu .....	30
3.4.2	Metoda Monte-Carlo .....	31
3.5	Ekonomické aspekty spolehlivosti .....	34
3.5.1	Oceňování přerušení distribuce elektřiny .....	36
3.5.2	Shrnutí výsledků a zkušeností ze zahraničí .....	40
3.5.3	Výpočet ocenění nedodané energie pro podmínky ČR .....	46
<b>4</b>	<b>Kvalita dodávek elektřiny .....</b>	<b>50</b>
4.1	Kvalita napětí .....	50
4.1.1	Vyšší harmonické .....	52
4.1.2	Mezilehlé harmonické .....	57
4.1.3	Kolísání napětí .....	59
4.1.4	Flikr .....	61
4.1.5	Nesymetrie napětí .....	66
4.2	Nepřetržitost dodávek .....	67
4.2.1	Ukazatele nepřetržitosti .....	68
4.2.2	Ukazatele kvality využívané v ČR .....	73
4.2.3	Přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny .....	75
4.3	Dosahovaná úroveň kvality v ČR .....	79
4.3.1	Přenos elektrické energie .....	79
4.3.2	Distribuce elektrické energie .....	82
4.4	Srovnání kvality v ČR a zahraničí .....	88
<b>5</b>	<b>Opatření pro zlepšení spolehlivosti a kvality dodávek elektřiny .....</b>	<b>94</b>
5.1	Opatření pro oblast neplánovaných přerušení .....	94
5.2	Opatření pro oblast plánovaných přerušení .....	96
5.2.1	Vyšší četnost využívání prací pod napětím .....	98
5.2.2	Využívání náhradních zdrojů .....	99

5.2.3	Využívání tzv. „bypassů“ .....	100
5.2.4	Lepší koordinace práce při provádění plánovaných prací .....	100
5.3	Výběr vhodných opatření pomocí metody MBCA .....	101
<b>6</b>	<b>Regulační mechanismy pro ovlivnění spolehlivosti a kvality .....</b>	<b>102</b>
6.1	Vliv orgánů a institucí na spolehlivost a kvalitu dodávek elektřiny .....	102
6.2	Liberalizace trhu a regulace kvality .....	104
6.3	Zavedení integrované motivační regulace v Evropě .....	106
6.4	Regulační prostředí v ČR.....	108
6.4.1	Vyhláška o kvalitě.....	109
6.4.2	Motivační regulace kvality .....	110
6.5	Navržení nového mechanismu regulace kvality.....	113
6.5.1	Úprava metodiky regulace se zohledněním provozních výdajů .....	115
6.5.2	Jasná definice vstupních ukazatelů .....	116
6.5.3	Nastavení požadovaných hodnot na delší časové období.....	117
6.5.4	Zavedení klouzavého průměru .....	118
6.5.5	Nastavení parametrů ukazatele kvality .....	122
6.5.6	Doplňující návrhy pro ovlivnění kvality dodávek .....	124
6.6	Nastavení požadovaných hodnot ukazatelů nepřetržitosti $SAIFI_Q$ , $SAIDI_Q$ .....	125
6.6.1	Vytvoření metodiky pro stanovení požadovaných parametrů .....	127
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>134</b>
<b>8</b>	<b>Literatura .....</b>	<b>137</b>
<b>9</b>	<b>Publikace autora .....</b>	<b>140</b>
9.1	Publikace autora vztahující se k tématu disertační práce.....	140
9.2	Publikace autora ostatní.....	141
9.3	Nepublikované příspěvky autora (konference, semináře).....	142



## Seznam zkratek a symbolů

AEEG	Regulatory Authority for Electricity Gas and Water (Regulační orgán v Itálii)
AIT	Average Interruption Time
ASAI	Average service availability index
ASIDI	Average System Interruption Duration Index
ASIFI	Average system interruption frequency index
CAIDI	Customer average interruption duration index
CAIFI	Customer average interruption frequency index
CEER	Rada evropských regulátorů (Council of European Energy Regulators)
$CEMI_n$	Customers experiencing multiple interruptions
$CEMSMI_n$	Customers experiencing multiple sustained interruption and momentary interruption events)
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
CK	jednotková cena kvality
CN	je celkový počet zákazníků, kteří byli postiženi dlouhodobým přerušením dodávek během vykazovaného období
CTAIDI	Customer total average interruption duration index
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
DW	Direct Worth (přímé ocenění)
END	Energy Not Distributed
ENS	Energy Not Supplied (nedodaná elektrická energie)
EQS TF	Electricity Quality of Supply and Smart Grids Task Force
ERÚ	Energetický regulační úřad

EU	Evropská unie
EURELECTRIC	Union of the electricity industry
$f(t)$	hustota pravděpodobnosti poruchy
HHNP	horní hranice neutrálního pásma
$IM_i$	je počet krátkodobých přerušení
$L_i$	je odběr (zatížení) odpojený přerušením způsobeným danou událostí
$L_T$	je celkový odběr (zatížení) v dané oblasti (soustavě) v kVA
MAIFI	Momentary average interruption frequency index)
MAX	procentuální vyjádření bonusu ve vztahu k regulovanému zisku
MBCA	Marginal Benefit to Cost Analysis
MIN	procentuální vyjádření penále ve vztahu k regulovanému zisku
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
$N_i$	je počet zákazníků postižených dlouhodobým přerušením způsobeným danou událostí (za vykazované období)
$N_{mi}$	je počet zákazníků postižených krátkodobým přerušením způsobeným danou událostí
nn	nízké napětí
$N_{por}$	roční porovnávací náklady
$N_T$	je celkový počet připojených zákazníků v dané oblasti (soustavě)
O	obecný symbol pro odpisy
OTE	Operátor trhu s elektřinou a plynem
PDS	provozovatel distribuční soustavy
PN	obecný symbol pro povolené náklady
PPN	práce pod napětím
PPS	provozovatel přenosové soustavy
PV	obecný symbol pro výnos
Q	komponenta kvality
$Q(t)$	pravděpodobnost poruchy
$Q_i$	finanční vyjádření penalizace nebo bonusu za (ne)dosažení požadované úrovně kvality služeb
$Q_p$	finanční vyjádření penalizace nebo bonusu za (ne)dosažení požadované úrovně kvality služeb ve vztahu k provozním výdajům

$Q_{sum6r,prum}$	průměrná hodnota ukazatele kvality za dané období
$Q_{sumRO,prum}$	průměrná souhrnná hodnota ukazatele kvality pro čtvrté regulační období
$R(t)$	pravděpodobnost bezporuchového provozu
$r_i$	je doba trvání dlouhodobého přerušení (způsobeného danou událostí)
RO	regulační období
RPI	index růstu spotřebitelských cen
SAIDI	System average interruption duration index
SAIDI <sub>Q</sub>	průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období – hodnota vstupující do komponenty Q
SAIDI <sub>s</sub>	průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období (systémový ukazatel)
SAIFI	System average interruption frequency index
SAIFI <sub>Q</sub>	průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období – hodnota vstupující do komponenty Q
SAIFI <sub>s</sub>	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
$t_{ph}$	průměrná doba trvání jednoho přerušení přenosu elektřiny v roce
$T_s$	střední doba bezporuchového provozu
UNIPED	International Union of Producers and Distributors of electrical Energy
vn	vysoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí
$W_{ned}$	nedodaná elektrická energie v roce
WTA	Willingness to Accept (ochota přijmout kompenzaci)
WTP	Willingness to Pay (ochota zaplatit)
$X$	faktor efektivity
$Z$	obecný symbol pro zisk
$\Delta PV_{max}$	maximální hodnota bonusu za dosaženou kvalitu služeb
$\Delta PV_{min}$	maximální hodnota penále za dosaženou kvalitu služeb
$\Delta PV_t$	finanční vyjádření bonusu nebo penále za dosaženou kvalitu služeb
$\lambda(t)$	intenzita poruch

## Seznam obrázků a tabulek

- Obr. 1: Vanová křivka
- Obr. 2: Průběhy ukazatelů
- Obr. 3: Závislost mezi náklady a kvalitou
- Obr. 4: Výsledek průzkumu u zákazníků v Itálii
- Obr. 5: Výpočet ocenění nedodané energie pro sektor domácností
- Obr. 6: Geometrický vztah mezi výkony
- Obr. 7: Zrakový vjem jasů  $L(t)$
- Obr. 8: Průběh napětí při flikru
- Obr. 9: Vývoj ukazatelů nepřetržitosti – průměrná doba trvání jednoho přerušení
- Obr. 10: Vývoj ukazatelů nepřetržitosti – nedodaná energie
- Obr. 11: Porovnání ukazatele ENS v Evropě (pro oblast přenosu)
- Obr. 12: Regionální distribuční společnosti v rámci ČR
- Obr. 13: Celková délka vedení
- Obr. 14: Podíl kabelových vedení
- Obr. 15: Vývoj ukazatele SAIFI
- Obr. 16: Vývoj ukazatele SAIDI
- Obr. 17: Ukazatel nepřetržitosti SAIFI na hladině nn
- Obr. 18: Ukazatel nepřetržitosti SAIDI na hladině nn
- Obr. 19: Mapa mimořádných událostí v ČR
- Obr. 20: Podíl jednotlivých kategorií přerušení na ukazateli nepřetržitosti na hladině nn (%)
- Obr. 21: Podíl kabelových vedení na hladině nn a vn
- Obr. 22: Skupiny států EU podle podílu kabelových vedení
- Obr. 23: Ukazatele SAIFI - neplánované přerušení (bez mimořádných událostí)
- Obr. 24: Ukazatele SAIDI - neplánované přerušení (bez mimořádných událostí)
- Obr. 25: Ukazatele SAIFI - plánované přerušení
- Obr. 26: Ukazatele SAIDI - plánované přerušení
- Obr. 27: Ukazatele SAIFI - podíl plánovaných a neplánovaných přerušení
- Obr. 28: Ukazatele SAIDI – podíl plánovaných a neplánovaných přerušení
- Obr. 29: Mechanismus motivační regulace kvality v ČR
- Obr. 30: Mechanismus nastavení hodnot na delší časové období a klouzavého průměru
- Obr. 31: Vliv tříletého průměrování – příklad Maďarsko

Obr. 32: Motivační regulace s využitím víceletých průměrů

Obr. 33: Model motivační regulace kvality na IV. RO

Obr. 34: Model motivační regulace kvality na IV. RO

Obr. 35: Nulové hranice pro vytvořený model

Tab. 1: Vztahy mezi základními veličinami

Tab. 2: Porovnání výsledků norských průzkumů – normalizované náklady pro přerušení s dobou trvání 1 hodina

Tab. 3: Porovnání výsledků průzkumů v Norsku - hodnoty použité v regulaci

Tab. 4: Výpočet ocenění nedodané energie pro podnikatelský sektor

Tab. 5: Výpočet ocenění nedodané energie pro sektor domácností

Tab. 6: Výpočet celkového ocenění nedodané energie

Tab. 7: Profil společnosti ČEPS, a.s.

Tab. 8: Ukazatele nepřetržitosti přenosu v roce 2013

Tab. 9: Profil distribučních společností v roce 2013

Tab. 10: Ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny v roce 2013

Tab. 11: Přehled ukazatelů nepřetržitosti a stanovení referenčních hodnot

Tab. 12: Příklad vytvoření jednotlivých variant zpřísnování pro ukazatele  $SAIFI_Q$  na IV. RO

Tab. 13: Příklad vytvoření jednotlivých variant zpřísnování pro ukazatele  $SAIDI_Q$  na IV. RO

Tab. 14: Zvolené scénáře pro další zpracování - změna  $STQ$

## 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 zpřísnění 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.

Disertační práce tematicky navazuje na diplomovou práci autora, která se věnovala problematice kvality elektřiny v distribučních soustavách, konkrétně vyhodnocení vlivu obloukové pece na kvalitu elektřiny a návrhu technického řešení pro odstranění nežádoucích zpětných vlivů.

## 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, flikr, 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 zpřísňování.

### 3 Spolehlivost v elektroenergetice

Spolehlivost je hlavním cílem při návrhu a provozu elektrizační soustavy. Definovat spolehlivost a její aspekty však není jednoznačnou a snadnou záležitostí. V minulosti byla oblast spolehlivosti definována českou normou ČSN 01 0102, která však byla následně zrušena a nahrazena jinými technickými předpisy. Mezi hlavní, současně platné normy definující tuto oblast v elektroenergetice patří jednotlivé část mezinárodního elektrotechnického slovníku v ČR vydané pod označením ČSN IEC 50(191), který řeší spolehlivost a jakost služeb a dále související části předpisu, především pak ČSN 33 0050-603, ČSN 33 0050-604, ČSN IEC 60050-617.

Je však nezbytné upozornit, že některé pojmy a definice uváděné v normách jsou (minimálně) v rozporu s běžnou praxí, využívanou nejen v ČR, ale i v jiných zemích. Pro příklad se může jednat o definici dlouhodobého přerušování – dle normy přerušování, u něhož není dodávka obnovena do specifikované doby, v opačném případě se jedná o krátkodobé přerušování. V ČR je za dlouhodobé přerušování považováno přerušování dodávek elektřiny s dobou trvání delší než tři minuty. Přerušování s dobou trvání kratší než tři minuty jsou obecně označována za krátkodobé. I tyto zprvu nepodstatné rozdíly mohou v konečném důsledku vést k milným závěrům při porovnávání dosahované úrovně spolehlivosti a kvality mezi jednotlivými státy či společnostmi, jelikož vstupují do výpočtu nejrůznějších ukazatelů. Rozdíly lze nalézt i u základních pojmů využívaných v elektroenergetice jako je např. rozmezí napěťových úrovní (nn, vn, vvn, atd.), kdy jsou v jednotlivých státech využívány limity především dle místních podmínek a historického vývoje a mnohdy jsou tedy i rozdílné. Tyto skutečnosti je nezbytné brát v úvahu při hodnocení a porovnávání států či společností.

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 přerušování. 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. V další části práce jsou zmíněny obě tyto oblasti.

Dále v textu této kapitoly jsou uvedeny základní pojmy a definice využívané ve spolehlivosti, včetně základních vztahů a metod pro jejich výpočet. V této oblasti uvedená práce shrnuje jak poznatky z technických norem a předpisů, tak i z odborných publikací, mezi které patří především kniha Prof. Tůmy a kolektivu autorů „Spolehlivost v elektroenergetice“ [1] a publikace Prof. Hradílka “Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení” [2].

### 3.1 Základní pojmy a definice

- **Spolehlivost** – pravděpodobnost, že elektrizační soustava může plnit požadovanou funkci za daných podmínek v daném časovém intervalu. Spolehlivost je hlavní cíl při návrhu a provozu elektrizační soustavy (*pozn.: jedna z možných definic spolehlivosti*).
- **Kvalita dodávky elektřiny** – společný výsledek všech aspektů při dodávce elektřiny. Kvalita dodávky elektřiny zahrnuje zabezpečení dodávky elektřiny jako předpoklad spolehlivosti elektrizační soustavy, kvality elektřiny a vztahů se zákazníky.
- **Kvalita elektřiny** – charakteristiky elektrického proudu, napětí a kmitočtu v daném bodu elektrizační soustavy, vyhodnocené vůči souboru daných technických parametrů.
- **Zabezpečení dodávky elektřiny** – schopnost elektrizační soustavy dodávat v předávacím místě elektrický výkon a energii uživatelům s využitím stávajících norem a smluvních podmínek.
- **Stabilita** – schopnost elektrizační soustavy znovu nabýt nebo udržet ustálený stav, charakterizovaný synchronním chodem generátorů a trvalou přípustnou kvalitou dodávky elektřiny po jejím porušení, způsobeném například změnou výkonu nebo impedance.
- **Adekvátnost** – schopnost elektrizační soustavy dodávat za ustálených podmínek souhrnný elektrický výkon a energii požadované zákazníky bez překročení stanovených hodnot komponent soustavy, napětí v uzlech a kmitočtu soustavy udržovanými v tolerancích, přičemž se berou v úvahu plánované odstávky i neplánované výpadky komponent.
- **Pohotovost** – schopnost objektu být ve stavu schopném plnit požadovanou funkci v daných podmínkách, v daném časovém okamžiku nebo v daném časovém intervalu, za předpokladu, že jsou zajištěny požadované vnější prostředky.

- **Bezporuchovost** – schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu.
- **Porucha** – ukončení schopnosti objektu plnit požadovanou funkci (nepředvídaná událost nebo závada zařízení, která může způsobit jednu nebo více poruch tohoto zařízení nebo jiných zařízení s ním spojených).
- **Poruchový stav** – stav objektu charakterizovaný neschopností plnit požadovanou funkci, kromě neschopnosti, během preventivní údržby nebo jiných plánovaných činností, nebo způsobený nedostatkem vnějších prostředků.
- **Oprava** – část údržby po poruše, při níž se na objektu provádějí ruční operace.
- **Obnova** – jev, kdy objekt po poruchovém stavu opět získá schopnost plnit požadovanou funkci.
- **Nedodaný výkon** – velikost výkonu, který není dodán v důsledku omezení elektrizační soustavy.
- **Nedodaná energie** – energie, která měla být dodána z elektrizační soustavy za dobu odpojení dodávky.
- **Ztráty z nedodané energie** – dohodnuté náklady používané v ekonomických studiích k vyhodnocení společenských dopadů přerušení dodávky elektrické energie.
- **Cena za nedodanou kWh** – ekonomický odhad nákladů veškerého druhu v důsledku přerušení dodávky elektrické energie v dané síti k nedodané energii v kWh.
- **Udržovatelnost** – schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo vrátit se do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy a prostředky.
- **Zajištěnost údržby** – schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat podle požadavků v daných podmínkách prostředky potřebné pro údržbu podle dané koncepce údržby.
- **Údržba** – kombinace všech technických a administrativních činností, včetně činností dozoru, zaměřených na udržení ve stavu nebo navrácení objektu do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci.

- **Doba údržby** – časový interval, během něhož se na objektu provádí údržbářský zásah, buď ručně, nebo automaticky, včetně technických a logistických zpoždění.
- **Pracnost údržby (MMH)** – kumulované trvání jednotlivých dob na údržbu, vyjádřené v normohodinách, využití veškerými pracovníky údržby pro daný typ údržbářského zásahu nebo během daného časového intervalu.
- **Práce pod napětím** – všeobecný výraz označující různé pracovní způsoby užívané při provádění oprav, údržby, včetně spojování a rozpojování, bez přerušení provozu a odpojení napětí.

### 3.2 Vztahy a ukazatele spolehlivosti

Ukazatelem spolehlivosti je obecně míněna kvalitativní charakteristika jedné nebo několika vlastností, tvořících spolehlivost objektu. V této kapitole bude pozornost věnována především **bezporuchovosti**, která zahrnuje zejména následující ukazatele: pravděpodobnost poruchy, pravděpodobnost bezporuchového provozu, hustota pravděpodobnosti poruchy, intenzita poruch, střední intenzita poruch, střední doba poruchy a střední doba mezi poruchami.

Ve spolehlivosti se uvažují pouze náhodné poruchy, které vznikají bez zjevných předchozích příčin. Ostatní poruchy, které lze předvídat podle určitých závislostí, nejsou náhodné. Podle souvislosti s jinými poruchami můžeme poruchy dále dělit na nezávislé a závislé. Závislá porucha vzniká následkem poruchy jiného prvku, nezávislá nikoliv. Dále dělíme poruchy podle doby trvání na trvalé a dočasné. Trvalou poruchu je možno odstranit pouze opravou nebo náhradou porouchaného prvku, dočasné poruchy mohou samovolně vymizet nebo trvají po dobu působení vnějšího vlivu.

Základním ukazatelem bezporuchovosti je **pravděpodobnost bezporuchového provozu**, ze které je možno odvodit další veličiny spolehlivosti viz níže. Bezporuchovost se sleduje zpravidla v závislosti na čase, případně jiných veličinách (počtu sepnutí prvku atd.). V dalších úvahách budeme předpokládat, že daný objekt může být buď ve stavu bezporuchového provozu, nebo ve stavu poruchy a že přechod mezi těmito stavy je okamžitý.

- **Pravděpodobnost bezporuchového provozu  $R(t)$**  objektu (systému) v časovém intervalu od 0 do  $t$  je pravděpodobnost, že v tomto časovém intervalu porucha nenastane.

$$R(t) = P(\xi > t) \quad (1)$$

kde  $\xi$  je náhodná veličina určující dobu do poruchy.

- **Pravděpodobnost poruchy objektu  $Q(t)$**  (systému) je analogicky pravděpodobnost, že v daném časovém intervalu porucha nastane

$$Q(t) = P(\xi \leq t) = 1 - R(t) \quad (2)$$

Tyto dvě veličiny jsou kladná bezrozměrná čísla, která jsou nejvýše rovné 1 a předpokládáme, že  $R(0) = 1$ ,  $R(\infty) = 0$ .

- **Hustota pravděpodobnosti poruchy  $f(t)$**  má rozměr ( $\text{čas}^{-1}$ ) a je dána vztahem

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (3)$$

- **Intenzita poruch  $\lambda(t)$**  je definována jako poměr hustoty poruchy  $f(t)$  a pravděpodobnosti bezporuchového stavu  $R(t)$ . Obvykle se udává v jednotkách ( $h^{-1}$ ) nebo ( $\text{rok}^{-1}$ ).

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (4)$$

Intenzitu poruch můžeme vyjádřit i následujícím způsobem (dle platné normy):

- **Intenzita poruch (okamžitá)  $\lambda(t)$** : limita, existuje-li, podílu podmíněné pravděpodobnosti, že časový okamžik vzniku poruchy neopravovaného objektu leží v daném časovém intervalu ( $t, t + \Delta t$ ), a doby trvání  $\Delta t$  tohoto časového intervalu, když se  $\Delta t$  blíží k nule, za podmínky, že do začátku časového intervalu objekt neměl poruchu.

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (5)$$

kde  $F(t)$  je distribuční funkce,

$f(t)$  je hustota pravděpodobnosti poruchy,

$R(t)$  je funkce bezporuchovosti vztahující se k pravděpodobnosti bezporuchového provozu  $R(t_1, t_2)$ , přičemž  $R(t) = R(0, t)$ .

- **Střední intenzita poruch  $\bar{\lambda}(t_1, t_2)$ :** střední hodnota okamžité intenzity poruch v daném časovém intervalu  $(t_1, t_2)$

$$\bar{\lambda}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt \quad (6)$$

Veličiny  $f(t)$  a  $\lambda(t)$  mají rozměr (čas<sup>-1</sup>), obvykle h<sup>-1</sup> nebo rok<sup>-1</sup>. Každá ze čtyř základních veličin uvedených výše popisuje bezporuchovost objektu a z každé z nich je možné odvodit zbývající tři základní veličiny. Vzájemné vztahy jsou uvedeny v tabulce:

**Tab. 1:** Vztahy mezi základními veličinami

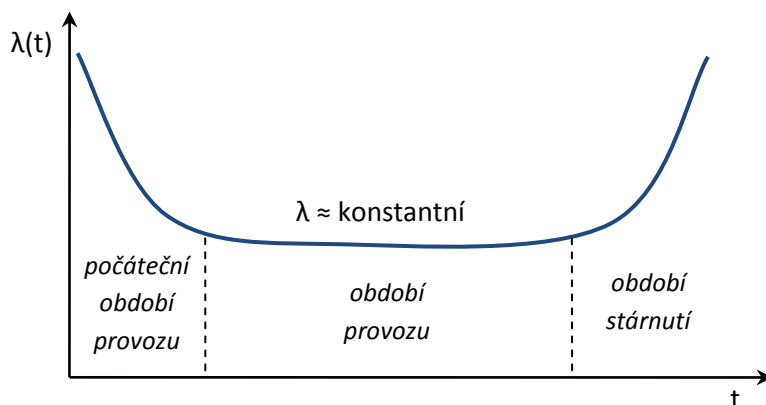
Veličina	$R(t)$	$Q(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
$R(t)$	-	$1 - Q(t)$	$1 - \int_0^t f(t) dt$	$\exp \left[ - \int_0^t \lambda(t) dt \right]$
$Q(t)$	$1 - R(t)$	-	$\int_0^t f(t) dt$	$1 - \exp \left[ - \int_0^t \lambda(t) dt \right]$
$f(t)$	$-\frac{dR(t)}{dt}$	$\frac{dQ(t)}{dt}$	-	$\lambda(t) \exp \left[ - \int_0^t \lambda(t) dt \right]$
$\lambda(t)$	$-\frac{\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)}$	$\frac{\frac{dQ(t)}{dt}}{1 - Q(t)}$	$\frac{f(t)}{1 - \int_0^t f(t) dt}$	-

Časový průběh intenzity poruch  $\lambda(t)$  je možné znázornit například tzv. **vanovou křivkou**. Průběh vanové křivky se obvykle dělí na tři základní úseky. V prvním úseku intenzita poruch výrazně klesá a odpovídá období počátečního provozu prvku. V druhém úseku je průběh intenzity poruch přibližně rovnoběžný s osou času a intenzita poruch je tedy téměř

konstantní. Poruchy v tomto období jsou náhodné a vznikají bez zjevných příčin. Pravidelné revize a opravy po poruchách v tomto úseku zlepšují stav daného prvku a zmenší intenzity výpadků. Ve třetím úseku intenzita poruch opět prudce stoupá, v souvislosti s dožíváním výrobku.

V praxi jsou prvky provozovány obvykle v první a druhé části vanové křivky a to i díky pravidelné údržbě a revizím. Z tohoto důvodu je možné pro účely výpočtu spolehlivosti považovat intenzitu poruch (výpadků) za konstantní.

**Obr. 1:** Vanová křivka



Mimo výše uvedených základních veličin jsou ve spolehlivosti využívány i další vztahy a závislosti. Zároveň je potřeba upozornit, že vyjádření spolehlivosti může být různé podle toho, jaké jsou k dispozici vstupní údaje a podle použité metody výpočtů.

- **Střední doba bezporuchového provozu  $T_s$**  je definována jako střední hodnota  $E$  náhodné veličiny  $\xi$  (doby poruchy). Některá literatura používá pro označení symbol  $m$ .

$$T_s = E(\xi) = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (7)$$

Hodnota střední doby bezporuchového provozu se obvykle udává v ( $h$ ) a po úpravách výrazu dostaneme následující vztah:

$$T_s = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (8)$$



- Střední hodnotu  $E$  náhodné veličiny  $\xi$  je možné doplnit **rozptylem**  $D$  náhodné doby poruchy  $\xi$ :

$$D(\xi) = E\left\{\left[\xi - E(\xi)\right]^2\right\} = \int_0^{\infty} (t - m)^2 f(t) dt \quad (9)$$

po úpravě dostáváme vztah:

$$D(\xi) = 2 \int_0^{\infty} tR(t) dt - m^2 \quad (10)$$

- **Směrodatná odchylka**  $\sigma$ , rovná střední kvadratické odchylce náhodné doby poruchy  $\xi$  od její střední hodnoty  $m$  se definuje jako odmocnina rozptylu

$$\sigma(\xi) = +\sqrt{D(\xi)} \quad (11)$$

- **Funkce okamžité pohotovosti**  $A(t)$  je pravděpodobnost, že objekt je ve stavu schopném plnit v daných podmínkách a v daném časovém okamžiku požadovanou funkci, za předpokladu, že požadované vnější prostředky jsou zajištěny.
- **Funkce okamžité nepohotovosti**  $U(t)$ : pravděpodobnost, že objekt není ve stavu schopném plnit v daných podmínkách a v daném časovém okamžiku požadovanou funkci, za předpokladu, že požadované vnější prostředky jsou zajištěny.
- **Součinitel střední pohotovosti**  $\bar{A}(t_1, t_2)$ : střední hodnota funkce okamžité pohotovosti v daném časovém intervalu  $(t_1, t_2)$

$$\bar{A}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} A(t) dt \quad (12)$$

- **Součinitel střední nepohotovosti**  $\bar{U}(t_1, t_2)$ : střední hodnota funkce okamžité nepohotovosti v daném časovém intervalu  $(t_1, t_2)$

$$\bar{U}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} U(t) dt \quad (13)$$

- **Součinitel asymptotické pohotovosti A:** limita okamžité pohotovosti, pro účely modelování, existuje-li, jestliže se doba blíží nekonečnu
- **Součinitel asymptotické nepohotovosti U:** limita okamžité nepohotovosti, pro účely modelování, existuje-li, jestliže se doba blíží nekonečnu
- **Součinitel asymptotické střední pohotovosti  $\bar{A}$ :** limita součinitele střední pohotovosti, existuje-li, v časovém intervalu  $(t_1, t_2)$ , pro účely modelování, jestliže se  $t_2$  blíží nekonečnu

$$\bar{A} = \lim_{t_2 \rightarrow \infty} \bar{A}(t_1, t_2) \quad (14)$$

- **Součinitel asymptotické střední nepohotovosti  $\bar{U}$ :** limita součinitele střední nepohotovosti, existuje-li, v časovém intervalu  $(t_1, t_2)$ , pro účely modelování, jestliže se  $t_2$  blíží nekonečnu

$$\bar{U} = \lim_{t_2 \rightarrow \infty} \bar{U}(t_1, t_2) \quad (15)$$

- **Parametr proudu poruch (okamžitý)  $z(t)$ :** limita poměru, existuje-li, středního počtu poruch opravovaného objektu v časovém intervalu  $(t, t+\Delta t)$  k délce tohoto intervalu  $\Delta t$ , jestliže se délka časového intervalu blíží nule

$$z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{E[N(t + \Delta t) - N(t)]}{\Delta t} \quad (16)$$

kde  $N(t)$  je počet poruch v časovém intervalu  $(0, t)$  a  $E$  označuje očekávanou hodnotu,

- **Střední parametr proudu poruch  $\bar{z}(t_1, t_2)$ :** střední hodnota okamžitého parametru proudu poruch v daném časovém intervalu  $(t_1, t_2)$

$$\bar{z}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} z(t) dt \quad (17)$$

Dále jsou normou ČSN IEC 50(191)-Z1 definovány **základní ukazatele přerušení**. Vzhledem k tomu, že se v rámci hodnocení kvality dodávek elektřiny využívají i jiné ukazatele je podrobněji tato oblast řešena v kapitole 4.2.1.

### 3.3 Rozdělení využívaná v elektroenergetice

Ve spolehlivosti se časové průběhy základních ukazatelů (uvedených v předchozí kapitole) získávají z informací o provozu jednotlivých prvků tj. statisticky. V případě znalosti poruchových mechanismů a materiálových parametrů je možné tyto průběhy odvodit i z těchto podkladů tj. deterministicky.

Při statistickém sledování se zaznamenávají doby poruch jednotlivých objektů, nebo počty poruch v časových intervalech. Jedním z možných vyjádření spolehlivostních charakteristik je pak tabulka naměřených hodnot, či jejich vynesení do grafu a proložení, tzv. neparametrický odhad. Častěji se však v praxi využívá tzv. parametrický odhad, který spočívá v porovnání průběhu rozdělení poruch s některým známým rozdělením odvozeným z určitého matematického modelu. Poté postačuje určit jeden nebo několik parametrů definice rozdělení a bezporuchovost udat těmito parametry. Pro odhad hodnoty parametrů se nejčastěji používá metoda největší věrohodnosti či metoda čtverců.

Definice rozdělení poruch s udanými parametry plně popisuje charakteristiky bezporuchovosti a je tudíž možné vypočítat všechny ostatní veličiny, jako je střední doba bezporuchového provozu, pravděpodobnost poruchy, pravděpodobný počet poruch v časovém intervalu atd. V teorii spolehlivosti se používá pro diskrétní náhodnou proměnu nejvíce binomické a Poissonovo rozdělení. Pro spojitou náhodnou proměnnou se používají nejčastěji exponenciální, Weibullovo, normální, logaritnicko-normální a gama rozdělení.

V následující části budou ve stručnosti uvedeny vybraná rozdělení, která se používají v elektroenergetice. Podrobnější rozbor této problematiky včetně uvedení dalších typů rozdělení je uveden v odborné literatuře např. [1].

#### ▪ Exponenciální rozdělení

Exponenciální rozdělení spojitě náhodné veličiny je určeno parametrem  $\lambda$  (intenzitou poruch). Pro exponenciální rozdělení platí, že intenzita poruch je konstantní, tedy odpovídá období normálního provozu z „vanové křivky“ (neuvažuje se období počátečního provozu a dožívání). Při výpočtech tedy předpokládáme, že poruchy vlivem stárnutí předcházíme údržbou a revizemi. Výhodou tohoto rozdělení je jednoduchost i pro složité a rozsáhlé systémy.

Pro exponenciální rozdělení platí následující vztahy:

$$\lambda = \text{konst.}, \lambda > 0, t \geq 0 \quad (18)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (19)$$

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (20)$$

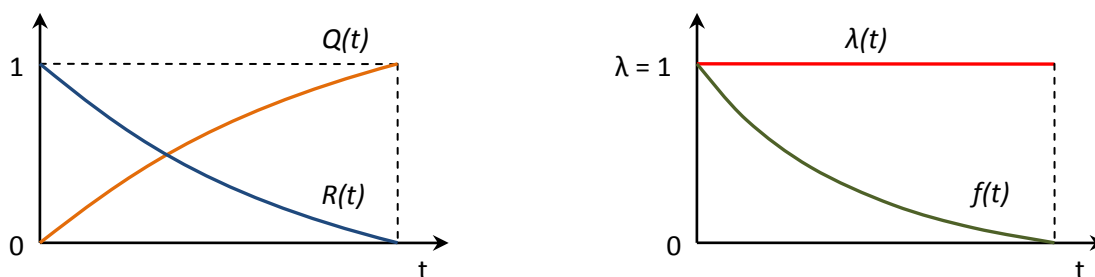
$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (21)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda \cdot e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda \quad (22)$$

$$T_s = \frac{1}{\lambda}, \quad T_\gamma = \frac{1}{\lambda} \cdot \lg \frac{100}{\gamma}, \quad D = \frac{1}{\lambda^2} \quad (23)$$

kde  $T_\gamma$  je doba, za kterou nebude mít daný objekt poruchu s pravděpodobností  $\gamma$ (%).

Na následujících obrázcích jsou znázorněny průběhy ukazatelů spolehlivosti  $Q(t)$ ,  $R(t)$ ,  $f(t)$ ,  $\lambda(t)$  při exponenciálním rozdělení.

**Obr. 2:** Průběhy ukazatelů

### ▪ Poissonovo rozdělení

Většinou se Poissonovo rozdělení odvozuje jako aproximace binomického rozdělení. Důležitá je souvislost exponenciálního rozdělení a Poissonova procesu. Poissonovo rozdělení  $Q_k(t)$  udává pravděpodobnost výskytu poruch v intervalu  $(0, t)$  v případě, že doby mezi jednotlivými poruchami jsou nezávislé náhodné veličiny s konstantní intenzitou  $\lambda$ . Je dáno vztahem:

$$Q_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \quad (24)$$

Tento vztah bere v úvahu větší počet poruch, ale neuvažuje dobu potřebnou pro opravu, nebo výměnu porušeného prvku. Tento předpoklad lze přijmout pouze v případě, kdy je střední doba opravy velmi krátká a zanedbatelná ve srovnání se střední dobou poruchy.

### ▪ Weibullovo rozdělení

Toto rozdělení je přirozeným zobecněním exponenciálního rozdělení. Srovnáme-li exponenciální rozdělení a Weibullovo rozdělení, lze říci, že exponenciální rozdělení dobře vystihuje rozdělení doby do poruchy neopravovaných výrobků, složitých agregátů, dále prvků, které se neopotrebovávají a u nichž k poruše dochází z vnějších příčin, přičemž jde vesměs o poruchy náhlé. Poruchy vznikají v důsledku náhodných šoků, které tvoří Poissonův proces. Rozdělení má diskrétní funkci:

$$Q(t) = 1 - e^{-(t\lambda)^\beta} \quad (25)$$

Weibullovým rozdělení lze aproximovat po částech celou vanovou křivku:

$\beta < 1$  vystihuje rozdělení doby do poruchy prvku, u něhož se často vyskytují skryté vady, ale v průběhu dlouhého intervalu téměř nestárne,

$\beta = 1$  přechází v exponenciální rozdělení,

$\beta > 1$  u prvků se neobjevují skryté vady, ale zato stárnou a opotřebovávají se.

#### ▪ Normální rozdělení

Normální rozdělení patří mezi nejdůležitější a nejčastější rozdělení spojité náhodné veličiny. Je použitelné v těch případech, kdy kolísání náhodné veličiny je způsobeno velkým počtem malých a vzájemně nezávislých vlivů. Tyto náhodné a nekontrolovatelné vlivy mají za následek vznik odchylky od skutečné měřené veličiny. Normální rozdělení se označuje  $N(\mu, \sigma^2)$ , z čehož vyplývá, že funkce má dva parametry. Prvním je střední hodnota  $\mu$ , která se pohybuje v rozmezí  $(-\infty, \infty)$ . Druhým parametrem je rozptyl náhodné veličiny  $\sigma^2 > 0$ . Parametr  $\sigma$  zde určuje šířku pásma, kde se náhodné veličiny  $x$  vyskytují s pravděpodobností  $P = 68,268 \%$ . Speciálním případem normálního rozdělení je pak tzv. normované normální rozdělení, kdy je střední hodnota rovna nule a rozptyl je roven jedné.

V praxi se normální rozdělení používá k modelování doby do poruchy stárnoucích prvků, které se opotřebovávají a pro aproximaci jiných rozdělení. Intenzita poruch odpovídá poslední třetí části vanové křivky.

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp - \frac{(t-a)^2}{2\sigma^2} \quad (26)$$

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp - \frac{(t-a)^2}{2\sigma^2} \quad (27)$$

### **3.4 Výpočet spolehlivosti**

Ve většině případů je výpočet spolehlivosti založen na znalosti spolehlivosti jednotlivých prvků systému, ze kterých je následně proveden výpočet celkové spolehlivosti systému. V těchto případech pak má výpočet spolehlivosti dvě základní fáze. První fází je získání vstupních spolehlivostních údajů a druhou fází je samotný výpočet podle zvolené metody. Zároveň je však nezbytné správně interpretovat výsledky výpočtů a následně i vybrat vhodná opatření pro zvýšení spolehlivosti daného systému. Této oblasti se věnuje další část práce.

Základním předpokladem pro úspěšný proces tj. výpočet spolehlivosti a konečné určení vhodných opatření pro zvýšení spolehlivosti je získání věrohodných vstupních dat a údajů. Metodiky pro získání vstupních údajů vycházejí z druhu zkoumaného objektu, z dostupných údajů atd.

Podle způsobu získávání vstupních údajů pro výpočet lze spolehlivost rozdělit na dvě základní skupiny. První skupinou je tzv. spolehlivost empirická, kdy vstupní údaje jsou získány z údajů o činnosti daného zařízení, nebo podobného zařízení, které pracuje v obdobných podmínkách. Druhou skupinou je spolehlivost apriorní, kdy jsou vstupní údaje určeny dopředu. Ze znalostí možných stavů daného objektu se vyjádří pravděpodobnost bezporuchového chodu.

Pro samotný výpočet spolehlivosti je k dispozici několik metod. Vhodnost použití jednotlivých metod závisí na několika faktorech: druhu a rozsahu daného systému, struktuře vstupních dat, jaké jsou požadované výsledky, požadovaná přesnost výsledků a v neposlední řadě i rychlost výpočtů. Mezi základní používané metody pro výpočet spolehlivosti patří:

- metoda síťového modelu (spolehlivostních schémat),
- metoda rozkladů,
- metoda minimálních řezů a drah,
- metoda incidenční matice,
- metoda stromu událostí (poruch),
- metoda Markovových řetězců,
- simulační metoda Monte-Carlo, atd.

Většina výše uvedených metod je popsána v odborné literatuře, jako například v již zmíněných publikacích [1] a [2]. V další části této práce budou popsány pouze dvě výpočetní metody a jejich charakteristiky. Zvláštní pozornost bude věnována simulační metodě *Monte-Carlo*, která se v současné době využívá ve velké míře vzhledem ke svým vhodným vlastnostem a rozvoji výpočetní techniky.

### 3.4.1 Metoda síťového modelu

Metoda síťového modelu (někdy označována metoda spolehlivostních schémat) je nejjednodušší a z tohoto důvodu i zřejmě nejpoužívanější z dostupných metod pro výpočet spolehlivosti.

Základním principem metody je sestavení spolehlivostního schématu, přiřazení příslušných spolehlivostních veličin k jednotlivým prvkům spolehlivostního schématu a následné zjednodušování spolehlivostního schématu až na jeden prvek, jehož spolehlivostní parametry jsou výsledné spolehlivostní parametry celého systému, který byl spolehlivostním schématem namodelován.

Důležitým pravidlem pravděpodobnosti je princip násobení pravděpodobnosti. Spočívá-li nějaký jev v tom, že nastane určitý počet jednotlivých a nezávislých událostí, pak pravděpodobnost tohoto jevu je rovna součinu jednotlivých pravděpodobností všech dílčích jevů. Jsou-li například dva nezávislé jevy A a B, pak pravděpodobnost, že oba jevy nastanou současně, lze matematicky vyjádřit takto:

$$P(A, B) = P(A) \cdot P(B), \quad (28)$$

kde  $P(A)$ ,  $P(B)$  je pravděpodobnost výskytu jevu A, B.

Toto pravidlo je základním pravidlem pro řešení spolehlivosti různých zapojení prvků. Při řešení spolehlivosti systému je vždy nutno vytvořit tzv. spolehlivostní schéma, ve kterém je každý prvek systému nahrazen jedním nebo více prvky náhradního schématu a je definován svou spolehlivostí. Schéma je obvykle znázorněno graficky ve formě sériové, paralelní či kombinované. Toto schéma je nutno vyřešit a určit spolehlivost celého systému.



### 3.4.2 Metoda Monte-Carlo

Přesto, že jsou simulační metody výpočtu spolehlivosti známé a používané řadu let, tak za poslední dobu získaly zcela jiný rozměr díky rychlému rozvoji výpočetní techniky. Současně vyráběné počítače mají o několik řádů vyšší parametry oproti počítačům využívaných dříve a díky tomuto vývoji se staly simulační metody daleko více využitelné v praxi. Vyšší rychlost počítačů umožňuje simulovat daleko složitější sítě, provést více iterací a tím pádem i zpřesnit výsledky výpočtů. Razantní vývoj zaznamenaly i programy na výpočet spolehlivosti a staly se více přístupné uživateli jak při zadávání dat tak i například grafickým zobrazením dané sítě. Součástí některých programů využívajících metodu Monte-Carlo, také bývá i např. optimalizace nákladů na provoz dané sítě.

Metoda *Monte-Carlo* oproti jiným metodám nevyužívá analytické výpočty, ale je založena na stochastickém chování systému. Díky tomu je velice univerzální a jediným omezením jsou používaná vstupní data a výkon počítače. Princip metody je v simulaci skutečného chování systému pomocí vztahů definovaných v daném modelu. Ukazatele spolehlivosti jsou vypočítány po určitém počtu průchodů stavu (simulací) systému a tento počet je dán požadovanou přesností výpočtu. Při výpočtech se využívá matematické statistiky. Pro dosažení použitelné přesnosti je nutné provést velký počet pokusů. Náročnost na výpočet není ani tak dána velikostí dané sítě, jako na požadované přesnosti výpočtu. Počet pokusů nepřímo závisí na kvadrátu požadované přesnosti a z tohoto důvodu je snaha zmenšit počet pokusů např. pomocí kombinace s některou z analytických metod.

Při používání simulační metody Monte-Carlo získáváme hodnoty, které jsou řešením daného problému pomocí realizace náhodných procesů. Tyto náhodné procesy jsou tvořeny tak, aby jejich statistiky byly hledanými hodnotami nebo se na ně daly převést. Při simulaci je využíváno *generování náhodných čísel*, což znamená, že i při stejných vstupech získáme rozdílné výsledky. Díky tomu při opakovaných simulacích získáváme statistické rozložení výsledků, ze kterého lze následně vypočítat požadované hodnoty (např. střední hodnota, rozptyl, odchylka, atd.). Abychom dostali co nejvíce přesný výsledek je tedy nutné provést velký počet simulací, což můžeme matematicky vyjádřit jako

$$\bar{x} = \lim_{N \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \right) \quad (29)$$

kde  $\bar{x}$  je střední hodnota

$x_i$  je výsledek  $i$ -té simulace

$N$  počet simulací.

Pokud střední hodnota konverguje k ustálené hodnotě, je považován počet simulací za dostatečný a výsledek jako uspokojivý.

Chyba metody Monte-Carlo (*rozptyl výsledků*) se obecně zmenšuje s koeficientem  $\varepsilon$

$$\varepsilon = \frac{3\sigma}{\sqrt{N}} \quad (30)$$

kde  $N$  je počet simulačních kroků,  $\sigma$  odchylka. Tedy přibližně k desetinásobnému snížení chyby je třeba zvýšit počet simulačních kroků stokrát. Abychom získali výsledek s přesností na šest desetinných míst, což odpovídá přesnosti jiných metod, musíme získat  $10^{12}$  kroků. Důležitým rysem metody Monte-Carlo (a simulačních technik obecně) je skutečnost, že chyba odhadu nezávisí na počtu vstupních náhodných proměnných.

Při používání metody Monte-Carlo existují dva základní přístupy a to *sekvenční* a *nesekvenční*.

- **nesekvenční (náhodná) simulace**

Při nesekvenční simulaci je každý vzorek stavu systému zvolen náhodně podle svého rozdělení nezávisle na předchozím stavu systému. Využívá se, pokud jsou náhodné události vzájemně nezávislé, chování systému nezávisí na předchozích událostech a simulace mohou probíhat v náhodném pořadí. Výhodou této metody je menší náročnost při výpočtech.

Začátek simulace obsahuje množinu možných náhodných událostí, kdy pro každou z nich je tolikrát generováno číslo, kolikrát se může vyskytnout v simulační periodě. Přesné číslo závisí na použitém pravděpodobnostním rozdělení. Např. jestliže má prvek konstantní intenzitu poruch  $\lambda$  (exponenciální rozdělení) za rok, pravděpodobnost jeho poruchy  $Q(t)$  násobená počtem těchto poruch  $n$  za rok je následující:

$$Q(t) \times n = \frac{\lambda^x \cdot e^{-\lambda}}{x!} \quad (31)$$

K určení toho, kolikrát porucha nastane v simulovaném roce je generováno náhodné číslo mezi 0 a 1. Jestliže je

$x < e^{-\lambda}$	nedojde k žádnému výskytu poruch
$e^{-\lambda} < x < \lambda e^{-\lambda}$	nastane jedna porucha,
$\lambda e^{-\lambda} < x$	nastane vícenásobný počet poruch.

#### ▪ **sekvenční simulace**

Sekvenční simulace oproti nesequenční (náhodné) zachovává vztah k minulosti a náhodně je zvolena pouze změna systému. Dochází tedy k modelování chování systému přesně ve stejném sledu událostí, v jakém nastávají ve skutečnosti.

Některé náhodné události jsou modelovány určitým pravděpodobnostním rozdělením a mohou nastat kdykoliv během simulace, jiné jsou naopak podmíněny výskytem předcházející události, nebo stavem systému. Zároveň jsou modelovány pomocí pravděpodobnosti i odezvy systému na tyto události. Celkový časový interval je rozdělen do malých časových úseků a postupně je každý úsek testován, zda v něm dojde k výskytu náhodné události a jak systém reaguje na předcházející jev. Tento postup je časově velice náročný, umožňuje však modelovat i složité prvky a chování celých systémů. Metoda je vhodná pro použití v případech, kdy je systémová odezva velice závislá na předcházející události.

Závěrem lze simulační metody, do kterých patří metoda Monte-Carlo, označit za vhodný nástroj pro výpočty spolehlivosti i složitých elektrických sítí, které se dají řešit analyticky jen velmi obtížně nebo vůbec. Zároveň s rozvojem výpočetní techniky roste i využitelnost simulačních metod, jež jsou velice náročné na dobu výpočtu. Výsledky simulací a jejich správná interpretace však stále závisí na člověku, který model vytváří a musí dané problematice rozumět. V této souvislosti je velice důležitá správná interpretace získaných výsledků.

### 3.5 Ekonomické aspekty spolehlivosti

Jak již bylo napsáno v úvodu této práce, elektřina se v liberalizovaném prostředí stala zbožím, které musí mít jasně definovanou kvalitu. Problematika kvality a spolehlivosti je však velice rozsáhlá, jelikož se na ní podílejí všichni nezávislí účastníci trhu, jak výrobci, provozovatel přenosové soustavy, provozovatelé distribučních soustav, obchodníci s elektřinou, tak i koneční zákazníci. Nepostradatelnou úlohu v liberalizovaném prostředí mají však i další instituce, jako jsou především Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO), Operátor trhu (OTE, a.s.) a Energetický regulační úřad (ERÚ). Cílem celého procesu by mělo být poskytnout spolehlivou a kvalitní dodávku elektřiny za přiměřenou cenu pro konečné zákazníky. Se stále častějším využíváním citlivých zařízení a spotřebičů a neustálým zdražováním energií jsou v současnosti čím dál více aktuální i ekonomické aspekty spolehlivosti, kterým se věnuje tato kapitola.

Na základě energetického zákona, který v ČR určuje podmínky podnikání a výkon státní správy v energetických odvětvích, je **držitel licence** (tj. výrobce, provozovatel přenosové soustavy, provozovatel distribuční soustavy, atd.) povinen vykonávat licencovanou činnost tak, aby byla zajištěna spolehlivá a trvale bezpečná dodávka energie. Dále je držitel licence povinen dodržovat stanovené parametry kvality dodávek a služeb a v případě jejich nedodržení poskytovat náhradu. **Provozovatel přenosové soustavy**, na základě tohoto předpisu, mimo jiné zajišťuje bezpečný, spolehlivý a efektivní provoz, obnovu a rozvoj přenosové soustavy a propojení přenosové soustavy s jinými soustavami. Za tím účelem zabezpečuje podpůrné služby a dlouhodobou schopnost přenosové soustavy uspokojovat přiměřenou poptávku po přenosu elektřiny. **Provozovatel distribuční soustavy** následně zajišťuje spolehlivé provozování, obnovu a rozvoj distribuční soustavy na území vymezeném licenci.

Z výše uvedeného je patrné, kdo je zodpovědný za spolehlivou a kvalitní dodávku elektřiny. V běžné praxi je z pohledu většiny odběratelů hlavní pozornost zaměřena na provozovatele distribuční soustavy a stejně tomu bude i v této práci. Odběratelé připojení k dané distribuční soustavě nemají ve většině případů možnost odebírat elektřinu z jiného místa a ve své podstatě se jedná o monopolní činnost na daném území (vymezeném licenci na provoz distribuční soustavy). Z tohoto důvodu je složka ceny elektřiny, která pokrývá distribuci elektřiny regulována a stanovena Energetickým regulačním úřadem. V ceně podle

příslušného cenového rozhodnutí ale není obsažena cena za distribuci elektřiny se zvláštními nároky na způsob zajištění nad rámec předepsaných standardů dodávek a služeb (uvedené stanovuje vyhláška o kvalitě č. 540/2005 Sb. viz dále v textu). Dále platí, že v případě, kdy v odběrném místě nejsou dodrženy předepsané parametry kvality dodávky elektřiny, jsou stanovené ceny maximální. Uvedené ve stručnosti znamená, že odběratel má možnost dohodnout se s provozovatelem distribuční soustavy na dodávce elektřiny s vyšší kvalitou a spolehlivostí, ale za vyšší cenu. Pokud však nejsou dodrženy předepsané parametry kvality, pak může být poskytnuta odběrateli sleva z ceny za distribuci elektřiny.

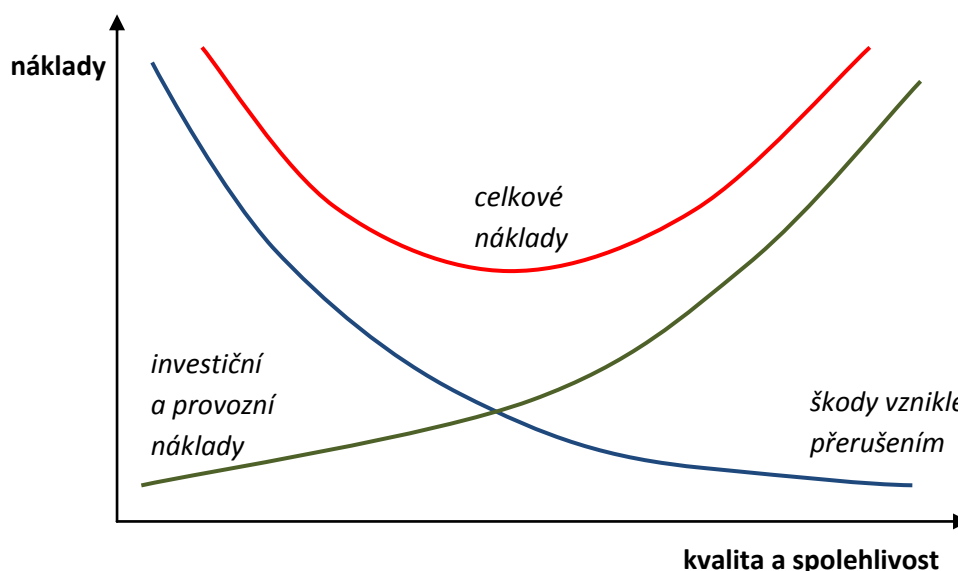
Z pohledu požadavku na kvalitu a spolehlivost můžeme odběratele rozdělit do několika skupin:

- a) zákazníci, kterým nevádí nižší kvalita a spolehlivost dodávek elektřiny, ale jejich hlavním kritériem je co možná nejnižší cena
- b) zákazníci, kterým vyhovuje standardní (předepsaná) kvalita a spolehlivost dodávek elektřiny za současnou cenu
- c) zákazníci, kteří požadují vyšší kvalitu a spolehlivost dodávek elektřiny a zároveň jsou ochotni zaplatit i vyšší cenu

Ve většině případů je toto rozdělení dáno charakteristikou jednotlivých zákazníků a účelem využívání elektrické energie. Rozdílné požadavky na kvalitu jistě mají společnosti na výrobu např. plastů, skleněných výrobků atd. (riziko zatuhnutí roztavených materiálů v případě dlouhodobého přerušení) či společnosti s nepřetržitým provozem a na druhé straně domácnosti. S tímto souvisí i požadavky na plánovaná přerušení, ve většině případů podnikatelský sektor upřednostňuje jedno přerušení dodávek s delší dobou trvání, kdy může být zajištěn náhradní zdroj napájení, případně zrušena směna zaměstnancům. Opačné požadavky mají domácnosti, jež nejčastěji preferují rozdělení přerušení dodávek do více přerušení, ale s krátkou dobou trvání. Důležitým faktorem jsou i zkušenosti daného odběratele s kvalitou a spolehlivostí ve svém odběrném místě. Například jiný pohled na požadovanou kvalitu má zákazník, který nebyl za celý rok postižený přerušením distribuce elektřiny a zákazník, který má dvacet dlouhodobých přerušení za rok. Následkem přerušení dodávek elektřiny či jinými odchylkami od předepsané kvality vznikají jednotlivým zákazníkům škody. Vyčíslením škod a oceněním nedodané energie se zabývá řada publikací např. [7]. Oceňováním přerušení distribuce elektřiny se věnuje následující kapitola.

Obecně lze říci, že s klesající spolehlivostí a kvalitou dodávek elektřiny rostou škody jednotlivých odběratelů. Zajištění vyšší kvality však přináší nemalé náklady na straně provozovatele dané distribuční soustavy, které v konečném důsledku opět zaplatí zákazníci. Tyto náklady můžeme rozdělit na investiční a provozní (této problematice se věnují další části práce). Optimální úroveň kvality a spolehlivosti je dána minimem celkových nákladů. Na následující obrázku je znázorněna **závislost mezi náklady** provozovatelů distribučních soustav, **škodami zákazníků a kvalitou** a spolehlivostí.

**Obr. 3:** Závislost mezi náklady a kvalitou



### 3.5.1 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. Tato oblast není příliš často v odborné literatuře řešena, v ČR se jí např. zabývá habilitační práce Z. Medvece „Spolehlivost elektroenergetické soustavy v souvislosti s oceněním nedodané elektrické energie“. V této kapitole bude 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 CEER nejprve uvádí důvody k vytváření odhadů ocenění na národní úrovni a předkládá doporučení k průzkumům ocenění a k tvorbě odhadů nákladů na přerušení. Dále jsou uvedeny výsledky z uskutečněných průzkumů u zákazníků a jejich využití v regulaci z Itálie, Nizozemska a Norska. Zároveň jsou uvedeny a diskutovány problémy a poznatky, kterým jednotlivé země v té souvislosti čelily. CEER pohlíží na problematiku oceňování přerušení jako na komplexní oblast vyžadující zkušenosti s metodami průzkumů, statistickými analýzami, ekonomickým hodnocením a provozem elektrických sítí, což vyžaduje spolupráci regulátorů s dalšími subjekty.

Zpráva konstatuje, že studie oceňování jsou **důležitým nástrojem při odhadu optimální úrovně nepřetržitosti distribuce**, přičemž tato „optimální“ úroveň se může lišit podle regionů (města versus venkov) a typu zákazníků (průmysl versus domácnosti) a jistě se vyvíjí v průběhu času tak, jak se mění vybavení zákazníků, požadavky zákazníků a investiční náklady. Oceňování přerušení musí odrážet nejen skutečné náklady u zákazníků, ale také jejich ochodu zaplatit za vyšší kvalitu a ochotu akceptovat kompenzaci v případě nižší kvality.

Zpráva CEER se oceňování přerušení věnuje výhradně **prostřednictvím průzkumů u zákazníků** a rozděluje proces získání ocenění do následujících kroků:

- definice cílů
- specifikace skupin zákazníků
- výběr metody odhadu
- výběr normalizačních faktorů a očištění dat
- kontrola dostupnosti dat
- výběr metody provedení průzkumu
- návrh a otestování dotazníků a scénářů
- volba vzorku (počet respondentů)
- provedení průzkumu
- zpracování průzkumu a výsledky

▪ **Definice cílů**

V souvislosti s definicí cílů by měly být vyjasněny otázky, zda je potřebné pokrýt všechny typy zákazníků nebo jen určité skupiny a které druhy přerušení (z pohledu doby

trvání a četnosti) jsou důležité pro průzkum. Současně musí být uváženy finanční možnosti, které mohou limitovat realizaci průzkumu.

#### ▪ **Skupiny zákazníků**

Je doporučeno, aby se specifikace skupin zákazníků kryla se statistickou klasifikací ekonomických činností v Evropském společenství. Těmito skupinami pak mohou být např.: domácnosti, komerční služby, veřejné služby, průmysl (mimo velkých zákazníků), velcí zákazníci (tj. energeticky nároční), infrastruktura. Pro některé země může být vhodné vyčlenit některé zvláštní zákazníky (např. zemědělství).

#### ▪ **Metody odhadu**

Pro různé typy zákazníků je doporučeno několik metod zjišťování odhadu nákladů na přerušení. Přímým oceněním „*Direct Worth*“ se myslí dotazování se zákazníků na odhad nákladů, které utrpí při hypotetickém přerušení. Tato metoda je doporučována pro všechny typy zákazníků mimo velkých odběratelů a infrastruktury.

U velkých odběratelů a infrastruktury se čeká, že jsou náklady závislé na řadě proměnných, které se mohou významně lišit. Proto se zde doporučuje přímé ocenění na základě jednotlivých podrobných studií, které vyčíslí náklady pro konkrétní situace, které mohou u daného zákazníka nastat.

Metoda „preventivních nákladů“ měří náklady zákazníků na prevenci nebo vypořádání se s následky přerušení (předpokládá se ocenění zařízení – např. náhradních zdrojů, UPS, která zákazník již používá).

#### ▪ **Normalizační faktory**

Je doporučováno, aby při zpracování dat z průzkumů byly prostřednictvím normalizačních faktorů zohledněny velikosti odběrů jednotlivých zákazníků pomocí např. roční spotřeby, průměrného zatížení, maximálního zatížení nebo přerušného výkonu. Jde



tedy o normalizaci ocenění uvedených jednotlivými zákazníky na vyjádření např. v Kč/kWh nebo Kč/kW. (Velikosti odběrů zákazníků jsou i v rámci jedné kategorie různé.)

Volba normalizačních faktorů je závislá na specifikách dané země a dostupných datech. Při zpracování dotazníků je obvykle třeba se vypořádat s neúplnými údaji nebo evidentně nesmyslnými hodnotami. To vede k pravidlům, podle kterých dojde k úplnému vyřazení dotazníku nebo k využití pouze některých dat.

#### ▪ **Dostupná data**

Při tvorbě dotazníků je třeba maximálně redukovat počet otázek – samozřejmě při zachování nutné informační hodnoty. Snižuje se tak čas potřebný na vyplnění dotazníků a tím se zvyšuje ochota zákazníků se takovému dotazníku věnovat. Větší počet otázek, jejich přílišné členění, podrobnosti nebo příliš technické formulace (vzdálené běžným zkušenostem neodborné veřejnosti) mohou vést k nevyplnění dotazníků nebo k poskytnutí nepodložených údajů (zákazník si hodnotu vymyslí bez skutečného zvážení obsahu otázky). Je třeba ověřit, zda dotazované technické údaje o odběru jsou zákazníkovi dostupné (např. z vyúčtování) anebo zda je lze získat přímo z odpovídajících informačních systémů, aniž by tím byl zákazník „zatěžován“. Přílišná složitost dotazníků může významně znehodnotit úsilí a čas věnovaný jeho přípravě a realizaci.

Dalším aspektem je, zda jsou dostupná data pro příspěvek definované kategorie zákazníků (či subkategorie) k datům za celou soustavu, resp. za ekonomiku daného státu (tj. zda jde výsledky následně agregovat na vyšší hierarchické úrovni).

#### ▪ **Metody průzkumu**

Průzkum může být proveden poštou, telefonem, přes internet nebo osobním dotazováním. Pro domácnosti zpráva CEER upřednostňuje s ohledem na vyšší míru odpovědí telefonní dotazování před korespondenční formou. U služeb a průmyslových odběrů sice CEER doporučuje internetový dotazník, ale poznamenává, že je vhodné nejprve kompetentní osobu kontaktovat telefonicky. U velkých zákazníků je preferováno osobní jednání, příp. telefonické dotazování. Metoda provedení je dle zprávy CEER ovšem silně závislá na dané zemi.

#### ▪ **Návrh dotazníku**

Dotazník by měl mít dvě části – otázky charakterizující odběr zákazníka a otázky k odhadu ocenění pro různé scénáře. Je doporučováno nejprve provedení testovacího průzkumu na malém počtu respondentů (přednostně osobní formou) a až následně na statisticky významném vzorku.

### **3.5.2 Shrnutí výsledků a zkušeností ze zahraničí**

V této kapitole je provedeno shrnutí výsledků a zkušeností z provedených průzkumů ocenění přerušení distribuce v Itálii, Nizozemsku a Norsku, které jsou převzaty z již zmíněné zprávy CEER [20]. Zároveň jsou zde uvedeny poznatky z oceňování přerušení, které bylo využito v Německu v souvislosti s nastavením regulace kvality tamním úřadem.

#### ▪ **Itálie**

Celostátní průzkum ocenění přerušení distribuce byl realizován italským regulačním úřadem AEEG v roce 2003. Výsledky průzkumu přispěly k formě i parametrům regulačních mechanismů od tamního druhého regulačního období tj. roku 2004 až 2007. Regulační schéma obsahuje bonusy i penále a cílem průzkumu proto bylo aktualizovat úroveň bonusů/penále. Více o principu regulace kvality je uvedeno v kapitole č. 6.

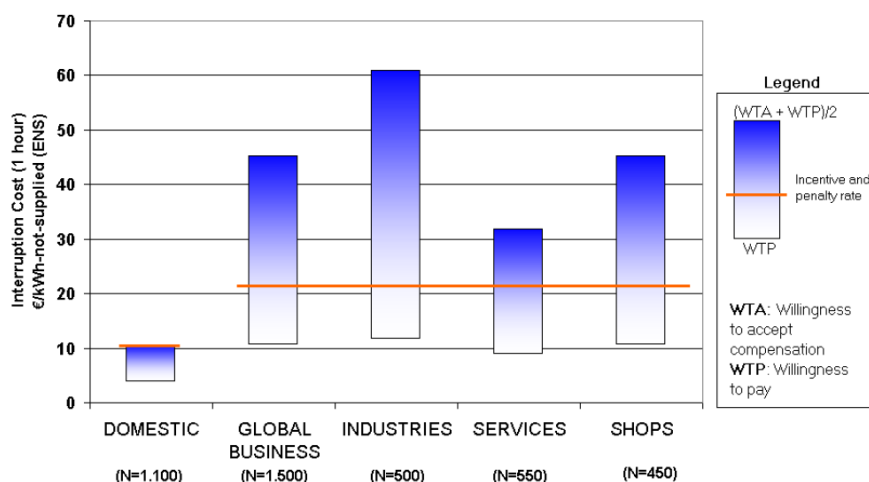
AEEG rozdělil zákazníky do dvou skupin: domácnosti a podnikatelský odběr. Podnikatelský odběr byl dále rozdělen na skupiny: průmysl, komerční služby (obchody) a ostatní komerční a obchodní služby (např. banky). Průzkum byl proveden osobním dotazováním v domácnostech a ve firmách. Osobní dotazování bylo zvoleno vzhledem k velmi malé očekávané návratnosti korespondenčních dotazníků. Dotazník obsahoval otázky týkající se vyjádření přímých nákladů a také ochoty zaplatit (WTP) a ochoty přijmout kompenzaci (WTA). Hodnoty WTA a WTP byly normalizovány na €/kWh nedodanou během dlouhodobého neplánovaného přerušení (1 hod, 2 hod, 4 hod, 8 hod) a v €/kW nedodanou během krátkodobého neplánovaného přerušení (3 min).

Dotazování bylo prováděno tak, aby byl získán celkový soubor 1100 domácností a 1500 podnikatelských odběrů (500 průmyslových, 450 komerčních služeb (obchodů) a 550 ostatních komerčních a obchodní služeb). Po úpravách (vyloučení dotazníků vykazujících

anomální extrémní hodnoty nebo chybějící hodnoty) se vzorek zmenšil na 909 domácností a 1217 podnikatelských odběrů.

**Z výsledků průzkumu vyplynulo**, že ochota přijmout kompenzaci (WTA) je 4 až 7 krát větší než ochota zaplatit (WTP). Podrobněji je rozpětí vidět na následujícím obrázku, kde obdélníky jsou vykresleny tak, že spodní hrana odpovídá WTP a horní hrana hodnotě  $(WTP+WTA)/2$  (tj. průměru z WTP a WTA – samotná hodnota WTA by byla vyšší). Podle zprávy CEER, lze tento výsledek interpretovat jako interval hodnot, ve kterém by se měla nacházet hodnota zvolená regulátorem pro regulační mechanismus. Nakonec AEEG zvolil pro regulaci ocenění 10,8 €/kWh pro domácnosti a 21,6 €/kWh pro podnikatelský odběr (bez dalšího rozlišení). Na obrázku jsou tyto hodnoty zvýrazněny červenými čarami.

**Obr. 4:** Výsledek průzkumu u zákazníků v Itálii



Z výsledků je tedy patrné, že samotný průzkum nedodá jediné jasné a „správné“ číslo. Průzkum udává rozpětí, ze kterého regulátor zvolí danou hodnotu, způsob volby je plně rozhodnutím regulátora.

#### ▪ Norsko

Norsko má s uvedenou problematikou zřejmě největší zkušenosti. První průzkum ocenění přerušení u zákazníků byl v Norsku proveden během 70. let. Další průzkum byl proveden v letech 1990-1991 a pak v 2001-2002. Protože přípravná studie v roce 2008

poukázala na vývoj ocenění přerušení z pohledu zákazníků v průběhu času, proběhl v roce 2012 nový celostátní průzkum. Zpráva CEER se věnuje jen průzkumu z let 2001-2002.

Cílem průzkumu provedeného v 2001-2002 bylo přinést poznatky o společensko-ekonomických nákladech týkajících se přerušení a kvality napětí a poskytnout nutnou základnu a pobídky zúčastněným stranám k přispění k socioekonomicky optimální úrovni kvality. Výsledky by měly také být využitelné při plánování, provozu a rozvoji sítě. Průzkum byl spolufinancován řadou subjektů v elektroenergetice.

Během předběžného průzkumu v roce 2000 bylo doporučeno rozdělit zákazníky na šest skupin: zemědělství, domácnosti, průmysl, komerce, veřejné služby a energeticky náročný průmysl. Průzkum byl proveden poštou. Míra odpovědí se pohybovala mezi 25 % a 45 % v závislosti na skupině zákazníků. Navíc některé otázky nebyly zodpovězeny nebo nebyly zodpovězeny adekvátně. Některé dotazníky proto musely být vyřazeny.

Dotazník obsahoval otázky jak na přímé ocenění nákladů, tak na vyjádření ochoty zaplatit a ocenění opatření k předejití přerušením. Poměr mezi přímým oceněním (DW) a ochotou zaplatit (WTP) byl mezi 5 až 12 u komerčních zákazníků, mezi 6 a 8 u průmyslových odběrů a mezi 2 a 3 u domácností a zemědělského sektoru. Obecně platí, že respondenti mají tendenci nadhodnocovat přímé náklady a podhodnocovat odpovědi k otázkám na ochotu zaplatit. Z toho důvodu byla u každého respondenta WTP korigována na hodnotu  $(DW+WTP)/2$  (pokud respondent uvedl pouze jednu z hodnot, byla použita jako korigovaná hodnota právě tato uvedená hodnota). Výsledky byly následně normalizovány instalovaným výkonem. Spotřeba elektřiny v Norsku je silně závislá na venkovní teplotě, neboť je elektřina často využívána pro vytápění. Pro získání normalizovaných výsledků proto byly využity diagramy zatížení, které jsou na teplotě závislé.

Porovnání výsledků průzkumů z let 1990-1991 a 2001-2002 je možné z následujících tabulek. Průzkumy používaly trochu odlišné metody, a proto jsou porovnány hodnoty DW, příp. WTP. Je patrné, že hodnoty z průzkumu 2001-2002 jsou u všech skupin zákazníků vyšší (nejvíce pro zemědělství – téměř 12krát, nejméně pro energeticky náročný průmysl – 1,2krát; pro domácnosti pak 1,7krát). Průzkum z 2001-2002 také ukázal, že se náklady liší významně v závislosti na dni v týdnu a denní době. Tabulka č. 3 zobrazuje hodnoty použité v regulaci.

**Tab. 2:** Porovnání výsledků norských průzkumů – normalizované náklady pro přerušení s dobou trvání 1 hodina

Customer group	Estimate	1991 <sup>1</sup> [NOK/kWh]	2001 [NOK/kWh]	Relative increase
Industry	DW	68.6	123.0	1.8
Commercial	DW	47.8	201.5	4.2
Large Industry	DW	19.3	23.8	1.2
Agriculture	DW	1.4	16.6	11.9
Residential	WTP	3.0	5.0	1.7

<sup>1)</sup> Updated to account for inflation

**Tab. 3:** Porovnání výsledků průzkumů v Norsku - hodnoty použité v regulaci

Based on survey conducted in 2001-2002 Rates applicable in regulation in 2003-2006			Based on survey conducted in 1990-1991 Rates applicable in regulation in 2001-2002		
Customer group	Non-notified interruption (duration 1.3 h), NOK/kWh ENS	Notified interruption (duration 2.85 h), NOK/kWh ENS	Customer group NOK/kWh ENS	Non-notified interruption NOK/kWh ENS	Notified interruption
Residential	8	7	Residential and agricultural customers	4	3
Agriculture	15	10			
Industry	66	46	Industrial and commercial customers (all but res.& agr.)	50	35
Commercial	99	68			
Public sector	13	10			
Large industry	13	11			

#### ▪ Nizozemí

Průzkum ocenění přerušení u zákazníků byl v Nizozemí proveden společností SEO Economic research, nezávislým ústavem pro ekonomický výzkum, v roce 2004. Cíl průzkumu byl spatřován v odpovědi na otázku „Jaká je správná úroveň kvality?“. Kvalitou se myslela doba trvání a četnost přerušení, kvalita napětí ani komerční kvalita nebyly zahrnuty. Zákazníci byli rozděleni na malé a střední podniky a domácnosti. Vzorek domácností pokrýval všechny distributory a byl reprezentativní ve smyslu pohlaví, věku, příjmu apod. U obou skupin zákazníků bylo dotazování provedeno přes internet, avšak potenciální respondenti

byli nejprve kontaktováni telefonicky a následně jim byl zaslán odkaz na internetovou stránku s dotazníkem mailem.

Dotazník byl koncipován metodou „Conjoint Analysis“, tj. zákazníci nebyli žádáni přímo o vyjádření jejich ochoty zaplatit, ale měli ohodnotit možné přínosy od nejvíce preferovaných k nejméně preferovaným, přičemž se měnily některé parametry scénáře (výskytu hypotetického přerušení). Výsledky dotazníku tedy měly relativní charakter. Průzkum se zajímal o ohodnocení vlivu doby trvání přerušení u scénáře s jedním přerušením za rok (parametry byly např. denní doba, den týdne, roční období) a také o ohodnocení scénáře s násobným dvouhodinovým přerušením, přičemž předmětem zájmu byl vliv četnosti takového přerušení na ohodnocení. Součástí scénáře byla nabídka slevy pro zákazníka vyjádřená v procentech z měsíčního účtu za elektřinu. Celkově bylo ohodnocováno 136 variant scénáře s jedním přerušením a 60 variant scénáře s násobným přerušením.

Testování dotazníku proběhlo na vzorku 690 domácností a 200 podniků. Ostrá verze dotazníku pokryla 27 % zákazníků-domácností (12 409 domácností) a 6,5 % podnikových odběřů z NN (2 481 podniků). Výsledky průzkumu jsou používány v regulaci od roku 2007. Zpráva CEER však blíže nespécifikuje způsob použití výsledků a nezmiňuje výsledné hodnoty.

#### ▪ Německo

Zkušenosti z Německa nejsou uvedeny ve zmiňované zprávě CEER, ze které bylo čerpáno v předchozích bodech. Nicméně v Německu byla v souvislosti s tamním nastavením regulace kvality zapracována v roce 2010 rozsáhlá studie (*Konzeptionierung und Ausgestaltung des Qualitäts-Elements (Q-Element) im Bereich Netzzuverlässigkeit Strom sowie dessen Integration in die Erlösbergrenze*), která se věnuje i samotnému oceňování přerušení, jakožto transformaci ukazatelů spolehlivosti na finanční vyjádření.

Zpráva uvádí, že ocenění přerušení distribuce „vyžaduje komplexní průzkum a analýzu zákaznických preferencí, které dosud pro Německo nejsou k dispozici“. Skutečný průzkum ani nebyl předmětem prací směřujících k nastavení komponenty Q vzhledem k finanční nákladnosti a dlouhému času potřebnému na přípravu a zpracování.

Ve zprávě byl zvolen postup odhadu nákladů na přerušení na základě **makroekonomické analýzy** s ohledem na hodnotu volného času (průměrné ocenění).

Makroekonomická analýza je vnímána jako kompromisní prostředek, která má svá omezení – např. že „určité druhy nákladů, jako jsou doby rozběhu ve výrobě nebo následné náklady v domácnostech, nejsou zobrazeny nebo jen neúplně“. Výsledky analýz byly dále konfrontovány s hodnotami získanými z průzkumu v jednotlivých zemích přepočtených na poměry Německa.

Provedení reálného průzkumu u zákazníků je navrhováno jako výhledová možnost, nicméně zpráva poznamenává, že „zákaznické průzkumy obecně a průzkumy prospěchu zvláště kladou vysoké nároky na provádění odpovídajících empirických studií, takže výsledky později prováděných průzkumů by měly být rovněž stále předmětem kritického ověření a zajištění kvality“.

### ***Náklady na přerušení na základě makroekonomické analýzy***

V rámci použité makroekonomické analýzy byly vypočteny za celé Německo náklady na přerušení distribuce elektřiny v průmyslu, řemeslech, obchodu a zemědělství (dále zkráceně označováno „podnikový sektor“) a dále náklady na promeškaný volný čas v domácnostech. Základním předpokladem analýzy je lineárnost všech závislostí.

Náklady na přerušení **v podnikovém sektoru** jsou podílem hrubé přidané hodnoty sektoru a celkové spotřeby energie v sektoru. Vycházelo se z makroekonomických údajů německého Federálního statistického úřadu. Odhad nákladů na přerušení pro průmysl byl 2,36 €/kWh, pro obchod, služby, dopravu a řemesla 12,1 €/kWh. Celkové náklady v podnikatelském sektoru pak byly stanoveny 5,78 €/kWh.

Pro stanovení nákladů na přerušení **v sektoru domácností** byl položen za základ předpoklad lineárního vztahu mezi hodnotou volného času a spotřebou elektřiny (využití volného času je přímo úměrné spotřebě energie). Tento předpoklad je však nutně zjednodušující: na jedné straně jsou jistě také možné volnočasové aktivity bez spotřeby energie, na druhé straně nejsou v tomto přístupu např. přímé náklady (např. zkažené zásoby) a rizika zvláště zachycena. Přístup nezachycuje ani aspekt „odložitelnosti spotřeby“.

V odhadu se skládá množství volného času a jeho hodnota. Rozlišuje se mezi lidmi zaměstnanými a ostatními (nezaměstnanými, resp. ekonomicky neaktivními). Jejich počet pochází ze statistických dat. Do výpočtu vstupuje podíl volného času za rok, který byl převzat

ze studie OECD, která v tomto zahrnovala i Německo (2400 hod). Míněn je veškerý čas, který není věnován práci. Pro osoby ekonomicky neaktivní se navíc připočítává další volný čas, rovný průměrné pracovní době zjištěné v německém sčítání osob v roce 2008.

Vyčíslení hodnoty volného času se opírá o předpoklad, že poměr mezi prací a volným časem odpovídá rovnováze mezi marginálním prospěchem z práce a volným časem. Pro zaměstnané se proto klade hodnota volného času rovna čisté hodinové mzdě. Pro ekonomicky neaktivní se s poukazem na literaturu provádí srážka ve výši 50 %. Čistá hodinová mzda je počítána jako podíl celkové čisté mzdy v Německu (použit byl údaj Federálního statistického úřadu za rok 2008) a souhrnu pracovní doby, což je součin průměrné roční pracovní doby na jednoho zaměstnance a počtu zaměstnanců. Celková hodnota volného času dělená spotřebou domácnostní pak udává ocenění přerušení pro domácnosti. Výsledná hodnota ocenění přerušení pro trávení volného času je 14,2 €/kWh.

Výsledné **průměrné ocenění přerušení**, jakožto jediné číslo, bylo získáno pomocí váženého průměru roční spotřeby elektřiny podle odvětví a ocenění pro podniky a domácnosti a jeho hodnota je **8,0 €/kWh**. Je však třeba poznamenat, že použitý přístup se zaměřuje na orientační odhad celkových nákladů na přerušení distribuce elektřiny (resp. při vztahení na kWh průměrných nákladů) a pracuje s řadou předpokladů. Jde o odhad (aproximaci), nakonec stejně jako mnoha ostatních metod ocenění spolehlivosti.

Jak již bylo uvedeno, součástí studie bylo i **provedení analýzy průzkumů**, které se ve světě v souvislosti s oceněním přerušením uskutečnily. Získané hodnoty ocenění v jednotlivých zemích byly přepočteny na poměry Německa a následně bylo vytvořeno pásmo mezi 25. a 75. percentilem výsledků studií, tj. pásmo, do kterého spadá 50 % sebraných hodnot. Dolní hranice pásma byla stanovena na 8,3 €/kWh a horní hranice pásma 15,8 €/kWh, medián vyšel **11,1 €/kWh**.

### **3.5.3 Výpočet ocenění nedodané energie pro podmínky ČR**

Jak je patrné z výše uvedeného srovnání, v jednotlivých zemích 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 jednotlivé odběratele.

V ČR nejsou doposud zkušenosti s prováděním obdobných průzkumů u zákazníků v této oblasti. Zároveň po zkušenostech ostatních zemí s prováděním těchto průzkumů se dá pochybovat o přínosu této metody vzhledem k její časové a finanční náročnosti.

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. V obou těchto sektorech budou využívány jiné postupy pro výpočet ocenění.

#### 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. Údaje byly použity z volně přístupné databáze Českého statistického úřadu (ČSÚ) a ERÚ. V následující tabulce je uveden výpočet nedodané energie. Ocenění nedodané energie pro podnikatelský sektor činí **80,8 Kč/kWh**.

**Tab. 4:** Výpočet ocenění nedodané energie pro podnikatelský sektor

<b>Hrubá přidaná hodnota v ČR (2012)</b>	<i>HPH</i>	3 451 737 [mil. Kč]
<b>Spotřeba elektřiny v ČR (2012)</b>	$W_{VO}$ - (velkoodběr)	34 614 [GWh]
	$W_{MOP}$ - (maloodběr podnikatelé)	8 101 [GWh]
	$W_{VO+MOP}$ - (celkem podnikatelský sektor)	42 714 [GWh]
<b>Ocenění ENS pro podnikatelský sektor</b>	$C_{ENS,P} = HPH/W_{VO+MOP}$	<b>80,8</b> [Kč/kWh]
<i>přepočten na základě průměrného měnového ukazatele CZK/EUR pro rok 2012:</i>		<b>3,2</b> [€/kWh]

#### b) 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.

V následující tabulce je proveden výpočet ocenění nedodané energie na základě dostupných podkladů pro rok 2012. Při výpočtu je předpokládáno, že podíl trávení volného času pro zaměstnané obyvatele je 2 500 hod/rok., což činí necelých 7 hodin denně. Podíl trávení volného času pro nezaměstnané (ekonomicky neaktivní) je navýšen oproti předchozí kategorii o **průměrnou pracovní dobu**, která v roce 2012 činila v ČR 1 947 hod/rok (zdroj databáze OECD).

Nezbytným krokem je výpočet tzv. „hodnoty volného času“, kdy v případě nezaměstnaných je počítáno s hodnotou 50% oproti ekonomicky aktivním. Výsledkem je výpočet ocenění nedodané energie pro domácnosti, jehož hodnota činí **203,1 Kč/kWh**.

**Tab. 5:** Výpočet ocenění nedodané energie pro sektor domácností

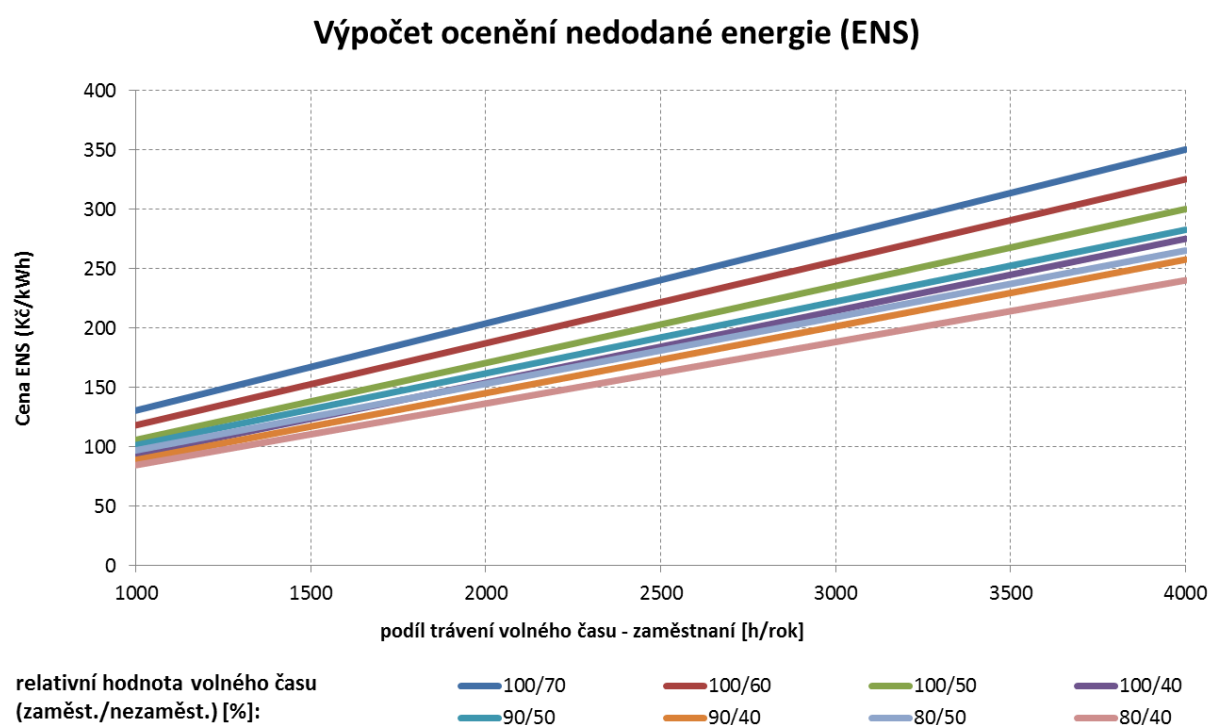
Počet obyvatel v ČR	$a$	10 509 286	[-]
Počet zaměstnaných (ekonomicky aktivní)	$a_z$	5 353 422	[-]
Počet nezaměstnaných a ekonomicky neaktivních	$a_N = a - a_z$	5 155 864	[-]
Podíl trávení volného času - zaměstnaní	$b_z$	2 500	[hod/rok]
Podíl trávení volného času - nezaměstnaní	$b_N = b_z + f$	4 447	[hod/rok]
Souhrn volného času za rok - zaměstnaní	$d_z = a_z \cdot b_z$	13 383 555 000	[hod]
Souhrn volného času za rok - nezaměstnaní	$d_N = a_N \cdot b_N$	22 928 127 208	[hod]
Souhrn volného času za rok - celkem	$d = d_z + d_N$	36 311 682 208	[hod]
Celková čistá mzda	$e$	1 242 180 631 359	[Kč]
Průměrná pracovní doba zaměstnance za rok	$f = c_N$	1 947	[hod/rok]
Celková pracovní doba	$g = a_z \cdot f$	10 423 112 634	[hod/rok]
Průměrná čistá hodinová mzda	$h = e/g$	119,2	[Kč/hod]
Relativní hodnota volného času - zaměstnaní	$i_Z$	100%	[%]
Relativní hodnota volného času - nezaměstnaní	$i_N$	50%	[%]
Hodnota volného času - zaměstnaní	$j_Z = h \cdot i_Z$	119,2	[Kč/hod]
Hodnota volného času - nezaměstnaní	$j_N = h \cdot i_N$	59,6	[Kč/hod]
Celková hodnota volného času	$k = j_Z \cdot d_z + j_N \cdot d_N$	2 961 229 687 244	[Kč]
Spotřeba elektřiny	$W_{MO}$	14 580 700 000	[kWh]
<b>Ocenění ENS pro domácnosti</b>	$c_{ENS,D} = k/W_{MO}$	<b>203,1</b>	[Kč/kWh]
<i>přepočten na základě průměrného měnového ukazatele CZK/EUR pro rok 2012:</i>		<b>8,1</b>	[€/kWh]

Zdroj dat: ČSÚ, ERÚ, OECD

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

Na základě vytvořeného modelu je možné po zvolení podílu trávení volného času za rok pro zaměstnané obyvatele (osa x) odečíst ocenění nedodané energie v Kč/kWh (osa y) pro jednotlivé navržené varianty relativní hodnoty volného času.

**Obr. 5:** Výpočet ocenění nedodané energie pro sektor domácností



#### a) Celkové ocenění

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

**Tab. 6:** Výpočet celkového ocenění nedodané energie

<b>Celkové ocenění ENS</b>	$C_{ENS} = (C_{ENS,D} \cdot W_{MO} + C_{ENS,P} \cdot W_{VO+MOP}) / (W_{MO} + W_{VO+MOP})$	<b>111,9</b> [Kč/kWh]
přepočet na základě průměrného měnového ukazatele CZK/EUR pro rok 2012:		<b>4,5</b> [€/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, flickr atd. Této oblasti se stručně věnuje kapitola 4.1.
- 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, jež jsou předmětem kapitoly 4.2.
- 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 nebude předmětem této práce. Bližší informace lze nalézt v literatuře, například [10].

### 4.1 Kvalita napětí

Kvalita napětí zahrnuje širokou škálu možných odchylek napěťových charakteristik jako je velikost napětí a tvar napěťové vlny od hodnot stanovených. Hlavními příklady jsou pak odchylky napájecího napětí, napěťové poklesy a harmonická napětí. Aspektům přerušení se věnuje oblast nepřetržitost (plynulost) dodávek, která je předmětem další kapitoly. Kvalita napětí je z technického pohledu nejvíce složitou oblastí kvality dodávek elektřiny.

Problematika kvality napětí se za poslední desetiletí stává ve všech zemích světa stále více aktuální a to především díky rozmachu citlivých zařízení zapojovaných do rozvodných sítí s čímž souvisí i zvyšující se emise nežádoucích rušení z těchto zařízení. Tato skutečnost vyvolává zvýšené náklady provozovatelům distribučních a přenosových soustav, kteří jsou

odpovědní za dodávku elektřiny s odpovídajícími parametry. To se následně projevuje i na zvýšení ceny za elektřinu pro konečné zákazníky. Zároveň se zvyšují i škody způsobené nekvalitou dodávané elektřiny. Do budoucna se dá předpokládat eskalace těchto jevů a to i díky rozšíření obnovitelných zdrojů. V řadě evropských zemí již dnes platí, že zákazník má možnost připojit do distribuční soustavy zdroj do 16 A, a to bez vědomí provozovatele dané soustavy. Všechny tyto skutečnosti vedou k nutnosti zabývat se problematikou kvality dodávek elektřiny co nehlouběji.

Nejdůležitějším dokumentem v oblasti kvality napětí je evropská norma EN 50 160, která popisuje veškeré defekty kvality napětí a pro většinu z nich stanovuje i požadované či orientační hodnoty. Postupy a metody pro měření kvality jsou následně stanoveny evropskou normou EN 61000-4-30. Cílem je zajistit eliminaci rušení (směrnice EMC) a minimalizovat možné škody. Z tohoto důvodu je důležité stanovit maximální možné úrovně rušení a zároveň stanovit odpovědnost jednotlivých účastníků trhu na této problematice. Proto mají i v této oblasti nezbytnou úlohu regulační orgány a instituce stanovující pravidla a příslušné normy.

Jak již bylo uvedeno technické standardy, jako je uvedená norma EN 50 160, definují kvalitu dodávané elektrické energie, respektive kvalitu napěťové křivky, pomocí činitelů kvality, které specifikují jednotlivá dílčí rušení. Do charakteristiky dodávky elektrické energie jsou zahrnuty zejména:

- kmitočet sítě,
- velikost napájecího napětí,
- odchylky napájecího napětí,
- rychlé změny napětí,
- krátkodobé poklesy napájecího napětí,
- krátká přerušení napájecího napětí,
- dlouhodobá přerušení napájecího napětí,
- dočasná přepětí síťového kmitočtu mezi vodiči pod napětím a zemí,
- přechodná přepětí mezi vodiči pod napětím a zemí,
- nesymetrie napájecího napětí,
- harmonické napětí,
- mezi-harmonická napětí a napětí síťových signálů v napájecím napětí.

Norma následně definuje kvalitu dodávky elektrické energie jako vyhodnocení odchylek technických parametrů dodávané elektrické energie od hodnot určených (dohodnutých nebo obecných). Dále jsou ve stručnosti uvedeny vybrané aspekty, které se podílejí na defektech kvality napětí. V této části bude citováno z [5] a [6].

#### **4.1.1 Vyšší harmonické**

V rozvodných sítích se vyskytují napětí, která nemají čistě sinusový průběh základního kmitočtu 50 Hz, ale obsahují i jeho celé násobky, tyto napětí označujeme jako vyšší harmonické. Největšími zdroji vyšších harmonických napětí jsou zařízení s nesinusovými proudy. Tato zařízení můžeme rozdělit do dvou skupin:

- elektrická zařízení, u kterých vyvolávají nesinusové proudy prvky výkonové elektroniky (usměrňovače, pohony s frekvenčními měniči, pulsní zdroje atd.)
- elektrická zařízení, která sama vykazují nelineární voltampérové charakteristiky (obloukové pece, plynové výbojky, zářivky, indukčnosti, malé transformátory atd.).

##### **▪ Teorie vzniku vyšších harmonických**

Vyjdeme-li z předpokladu, že zdroje soustavy dodávají pouze sinusové napětí základního kmitočtu, pak pro udržení napěťové rovnováhy mezi sítí a jedním z výše uvedených spotřebičů musí protékat proud vyšší harmonické takovou částí obvodu, aby na jeho indukčnostech respektive odporech vybudil rozdílová napětí o kmitočtu vyšší harmonické. Takto vzniklá napětí se superponují na sinusové napětí síťového kmitočtu a jsou pak měřitelná na všech odběrových místech a způsobují přídavné namáhání jiných zařízení připojených do téže sítě. Překročení napětí vyšší harmonické, přes hodnotu odolnosti proti rušení, se u připojeného zařízení projeví následujícími způsoby:

- zkrácením životnosti a tím způsobenými předčasnými výpadky kondenzátorů a motorů v důsledku tepelného přetížení,
- poruchami funkce elektronických zařízení,
- chybnou funkcí ochrany,
- nesprávnou funkcí přijímačů HDO (nespínání nebo nadbytečné spínání),

- proudy vyšších harmonických nepříznivě ovlivňují zhášení oblouků zemních spojení.

Z těchto důvodů je provozovatel distribuční soustavy nucen dbát, aby napětí vyšších harmonických nepřevyšovala určené meze. Zcela nepřípustné je připojit zařízení způsobující stejnosměrný proud v distribuční síti NN (např. usměrňovač s vyvedeným středem připojený přímo bez předřazeného transformátoru), který by mohl způsobit korozi v PEN-vodiči. Při hlubším pohledu zjistíme, že pro vyšší harmonické proudy se uplatňují zákony elektrodynamiky (skinefekt, blízkostní jevy). Pokud činné odpory vodičů i vinutí strojů vzrůstají, rostou i jejich činné ztráty. Například i velice malý proud 11. harmonické může být příčinou značných činných ztrát, protože protéká velkým odporem ( $P_z = RI^2$ ). Odpor roste rychleji u vícevrstvých vinutí (např. transformátory). Vodiče a vinutí strojů, navržených na 50 Hz, většinou nevyhoví z hlediska ztrát od vyšších harmonických proudů. Vyskytují-li se v systému proudy vyšších harmonických, vznikají přídavné činné ztráty v asynchronních motorech, transformátorech i na vedeních, proto se je snažíme uzavřít „dokrátka“, co možná nejblíže k jejich zdrojům.

#### ▪ Vztahy pro nesinusové proudy a napětí

Nesinusové průběhy proudu a napětí se rozkládají na řadu sinusových průběhů (vyšších harmonických) pomocí Fourierova teorému.

Přepokládejme proud a napětí ve tvaru:

$$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^q U_{nm} \sin(n\omega t + \varphi_{U,n}) \quad (32)$$

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^q I_{nm} \sin(n\omega t + \varphi_{I,n}) \quad (33)$$

Efektivní hodnota napětí je:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left[ \sum_{n=1}^q U_{nm} \sin(n\omega t + \varphi_{U,n}) \right]^2 dt} = \sqrt{\sum_{n=1}^q U_n^2} \quad (34)$$

kde  $U_n$  pro  $n = 1, 2, 3, \dots$  jsou efektivní hodnoty napětí jednotlivých harmonických.

Analogicky můžeme psát vzorec pro efektivní hodnotu proudu:

$$I = \sqrt{\sum_{n=1}^q I_n^2} \quad (35)$$

K posouzení deformace křivky a z ní vyplývající množství vyšších harmonických, zavádíme (za předpokladu, že dosadíme za horní mez  $q = \infty$ ) následující vztahy:

- obsah základní harmonické proudu

$$g = \frac{I_1}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}} = \frac{I_1}{I} \quad (36)$$

- obsah vyšších harmonických proudů

$$k = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}}{I} \quad (37)$$

Analogicky můžeme psát rovnice pro napětí.

K posouzení celkového zkreslení průběhu se v současné době v normách používá koeficient zkreslení proudu  $k_{zi}$  a koeficient zkreslení napětí  $k_{zu}$ . Tyto výrazy jsou totožné s užívanou zkratkou THD (Total Harmonic Distortion).

$$k_{ZI} = THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \cdot 100 \quad (38)$$

$$k_{ZU} = THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \cdot 100 \quad (39)$$



Některé prameny uvádějí i zkratku *TDD* (*Total Demand Distortion*), obvykle se uvádí v souvislosti pouze s proudem a je speciálním případem *THD<sub>i</sub>* pro jmenovité proudy, případně maximální proudy.

▪ **Vztahy pro výkony nesinusových proudů a napětí**

Obecně pro střední hodnotu činného výkonu střídavého proudu platí:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt \quad (40)$$

Po dosazení za  $u(t)$  a  $i(t)$  a při použití ortogonality goniometrických funkcí pro činný výkon platí:

$$P = \sum_{n=0}^{\infty} U_n I_n \cos \varphi_n \quad \text{kde} \quad \varphi_n = \varphi_{U,n} - \varphi_{I,n}$$

$$P = \sum_{n=0}^{\infty} P_n = P_0 + P_1 + P_2 + \dots$$

Z poslední napsané rovnice vyplývá, že střední hodnota výkonu obecně střídavého proudu se rovná součtu středních hodnot výkonů jednotlivých harmonických. To znamená, že napětí a proud dvou různých kmitočtů nedávají trvale žádný výkon. Myšleno napětí určitého kmitočtu a proud kmitočtu jiného.

Střední hodnota jalového výkonu je definovaná analogicky jako součet středních hodnot jalových výkonů jednotlivých harmonických:

$$Q = \sum_{n=0}^{\infty} Q_n = \sum_{n=0}^{\infty} U_n \cdot I_n \sin \varphi_n \quad (41)$$

Střední hodnota zdánlivého výkonu je definována jako součin efektivní hodnot proudu a napětí:

$$S = U \cdot I = \sqrt{\left( \sum_{n=0}^{\infty} U_n^2 \cdot \sum_{n=0}^{\infty} I_n^2 \right)} \quad (42)$$

Poměr činného a zdánlivého výkonu označujeme jako činitel výkonu, případně jako opravdový účinník:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} U_n \cdot I_n \cos \varphi_n}{\sqrt{\left( \sum_{n=0}^{\infty} U_n^2 \cdot \sum_{n=0}^{\infty} I_n^2 \right)}} \quad (43)$$

Pro zdánlivý výkon také platí:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \quad (44)$$

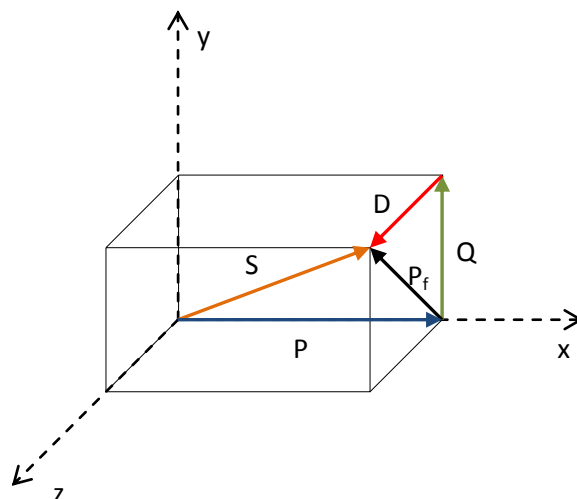
kde  $D$  je tzv. deformační výkon, který je produktem efektivních hodnot harmonických různého řádu včetně jejich součinů se stejnosměrnými složkami napětí a proudu. Deformační výkon způsobuje, že není-li mezi harmonickými proudy a napětí fázový posuv, je přesto činitel výkonu  $\lambda < 1$ .

Výhodné je zavést také pojem fiktivní výkon  $P_f$ , často nazývaný ekvivalentní jalový výkon

$$P_f^2 = Q^2 + D^2 = S^2 - P^2 \quad (45)$$

Geometrický vztah mezi zdánlivým, činným, jalovým a deformačním výkonem jednofázové soustavy je vidět na následujícím obrázku.

**Obr. 6:** Geometrický vztah mezi výkony



Pokud budeme předpokládat, že napětí je sinusové a má tvar

$$u(t) = U_m \sin \omega t \quad U_0 = U_2 = U_3 = \dots = U_n = 0$$

Dostaneme pro deformační výkon vztah:

$$D^2 = \sum_{k=2}^{\infty} U_1^2 I_k^2 \quad (46)$$

a pro opravdový účinník dostaneme:

$$\lambda = \frac{P_1}{S} = \frac{U_1 I_1 \cos \varphi_1}{\sqrt{\left( U_1^2 \sum_{n=0}^{\infty} I_n^2 \right)}} = \frac{I_1}{\sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} I_n^2}} \cos \varphi_1 \quad (47)$$

Základním způsob zjištění vyšších harmonických v periodickém signálu známého průběhu je Fourierova transformace. Podle druhu vstupních hodnot volíme buď analytickou metodu nebo numerickou metodu (*Diskrétní Fourierova Transformace – DFT resp. FFT*). Podrobnosti jsou uvedeny v odborné literatuře (například [5]).

- **Stanovení příspěvku odběratele k znečištění sítě vyššími harmonickými**

Příspěvek odběratele je možné zanedbat (připojení vždy přípustné), pokud je splněna podmínka:

$$\frac{S_{odb}}{S_{kV}} \leq \frac{1}{1000} \quad (48)$$

kde  $S_{odb}$  je zdánlivý výkon připojovaného zařízení a  $S_{kV}$  je zkratový výkon ve společném napájecím bodě (PCC).

#### 4.1.2 Mezilehlé harmonické

Pojmem mezilehlé harmonické (někdy označováno jako interharmonické) se rozumí všechny sinusové průběhy napětí a proudu, jejichž frekvence nejsou celočíselným násobkem frekvence sítě (50 Hz).

$$\mu = \frac{f_{\mu}}{50} \quad (49)$$

Tato napětí způsobují přídavná zkreslení napěťové křivky a na rozdíl od vyšších harmonických nejsou periodická vůči frekvenci 50 Hz. Zdroji mezilehlých harmonických jsou převážně měniče frekvence například: měniče s meziobvodem, přímé měniče, podsynchronní usměrňovači kaskády, indukční motory a obloukové pece.

Dalšími zdroji mezilehlých harmonických jsou elektronická cyklová zařízení vyznačující se připínáním a odpínáním jednotlivých sinusovek napětí na spotřebič (př. tepelné zařízení). Takto vzniklé mezilehlé harmonické je nutné brát v úvahu, protože mohou být na frekvenci využívané k přenosu signálu HDO (hromadné dálkové ovládání). Stroje s periodicky se měnícím zátěžným momentem (např. pohony s excentrem, kovářské lisy) také způsobují mezilehlé harmonické, větší význam však mají z hlediska kolísání napětí a flikru.

Úměrně k zatížení sítě vyššími harmonickými mohou vznikat postranní pásma mezilehlých harmonických s odstupem 100 a 200 Hz.

#### ▪ Hodnocení rušivého vlivu mezilehlých harmonických

Pro hodnocení se používá vztažné hodnoty napětí mezilehlé harmonické  $u_{\mu}$ , která je dána podílem:

$$u_{\mu} = \frac{U_{\mu}}{U}, \quad (50)$$

kde  $U_{\mu}$  je velikost napětí mezilehlé harmonické

$U$  je velikost jmenovitého napětí sítě.

Sečtení napětí mezilehlých harmonických od více zdrojů může nastat, pouze pokud mají stejnou frekvenci a fázi. Tato podmínka je při nezávislých zdrojích náhodná a je splněna jen po krátkou dobu. V provozu je možné při libovolném počtu zdrojů počítat s maximálně dvojnásobkem nejvyššího napětí mezilehlé harmonické. Pokud velikost napětí mezilehlé harmonické od jednoho zařízení nepřekročí hodnotu 0,1 %, nedojde s velkou pravděpodobností k rušení.

#### ▪ Výpočet frekvence mezilehlých harmonických

Největší amplitudy mezilehlých harmonických se nejčastěji vyskytují u měničů frekvence zpravidla jako postranní pásma základní harmonické 50 Hz ( $n = 1$ ). Rovněž se vyskytují postranní pásma nejvýraznější vyšší harmonické (charakteristická harmonická) typické pro daný měnič. Frekvence mezilehlých harmonických  $f$  je možné vypočítat z rovnice:

$$f_{\mu} = n \cdot 50 \pm h \cdot p \cdot f_m, \quad (51)$$

kde  $h = 1, 2, 3 \dots$

$n$  je řád harmonické

$p$  je počet pulzů usměrňovače

$f_m$  je frekvence zátěže.

Frekvence zátěže většinou není pevná, ale jde o pásmo (dáno regulačním rozsahem pohonu), ve kterém se může pohybovat. V mnoha případech dojdeme k výsledku, že se mohou vyskytovat všechny frekvence v rozsahu (0 - 600 Hz).

#### ▪ Opatření pro snižování velikosti mezilehlých harmonických

U měničů frekvence s meziobvodem mohou být úrovně mezilehlých harmonických sníženy tím, že dojde k vyhlazení v meziobvodu. Usměrňovače s vyšším počtem pulsů, které snižují úrovně určitých harmonických (např. 5. a 7. u dvanáctipulsního měniče) vedou současně k zmenšení amplitudy modulačních frekvencí těchto harmonických.

Zvolením odběrového bodu s vyšším zkratovým výkonem se napětí vyšších harmonických snižuje nepřímo úměrně s poměrem zkratových výkonů. Při rušení signálu HDO je možné použití hradících členů.

### 4.1.3 Kolísání napětí

Kolísání napětí je rušivý jev, který vzniká při provozu el. zařízení s proměnlivým zatížením. Změny zatížení způsobují změny napěťových úbytků na impedanci sítě a tím dochází i ke změnám velikosti napětí v odběrových místech. Z fyzikálního hlediska lze kolísání

napětí přirovnat k amplitudové modulaci. Nosným signálem je napájecí napětí o síťovém kmitočtu a modulačním signálem je časově proměnlivý úbytek. Změny napětí způsobují u světelných zdrojů, především u žárovek, změny světelného toku – flickr (popsán dále). Jelikož lidské oko je velice citlivé na flickr, musí být změny napětí udrženy ve velmi úzkých mezích. U zařízení jednotlivých odběratelů je proto nutné ověřit, zda změny zátěže vyvolané těmito zařízeními (zapínání, vypínání, střídavá zátěž atd.), nevedou k nepřijatelným rušivým koeficientům flickru.

Kolísání napětí v el. síti může mít periodický, nebo čistě stochastický charakter. Pro harmonický průběh modulace můžeme psát vztah:

$$u(t) = U_Y \cdot (1 + m \cdot \cos \Omega t) \cdot \cos \omega t \quad (52)$$

$$m = \frac{\Delta U_Y}{U_m} \quad (53)$$

kde  $m$  je hloubka modulace, nebo relativní změna napětí

$\Omega$  je úhlová frekvence modulační vlny

$U_Y$  je amplituda síťového napětí

$\Delta U_Y$  je amplituda modulujícího napětí

Vztah lze upravit na:

$$u(t) = U_Y \cdot \sin \omega t + \frac{\Delta U_Y}{2} \cdot \cos(\omega - \Omega)t - \frac{\Delta U_Y}{2} \cdot \cos(\omega + \Omega)t \quad (54)$$

Ze vztahu vyplývá, že amplitudově modulovaný signál lze rozložit na tři signály, pro který v lineárních obvodech platí princip superpozice.

#### ▪ Příčiny vzniku kolísání napětí

Důvodem vzniku kolísání napětí jsou rázové změny odebíraného proudu el. zařízení vyvolané charakterem provozu. Tyto proudy mohou být činné, nebo jalové. Elektrické zařízení vyvolávající změny proudu je možné nahradit časově proměnnou impedancí. Velikost kolísání napětí lze určit výpočtem nebo měřením.

#### ▪ Možnosti potlačení kolísání napětí

Velikost kolísání napětí lze snadno snížit tím, že se zařízení vyvolávající kolísání napětí připojí do sítě s dostatečně velkým zkratovým výkonem, nebo se provede zesílení sítě tím, že se zvětší její zkratový výkon. Zvětšením zkratového výkonu lze omezit kolísání napětí vyvolaná změnami činného i jalového výkonu.

Zvětšení zkratového výkonu je možné dosáhnout pomocí:

- zvětšení průřezu napájecího vedení (zdvojení přívodů) zvětšením zkratového výkonu napájecího transformátoru
- připojením nového generátoru, synchronního kompenzátoru
- zmenšení impedance napájecího vedení pomocí sériové kompenzace
- připojením do vyšší napěťové hladiny

U zařízení s velkými změnami jalového výkonu lze použít dynamickou kompenzaci. Napájíme-li z jednoho bodu více zařízení způsobujících kolísání napětí, lze jejich společný vliv na napájecí síť snížit rozvržením doby provozu jednotlivých zařízení tak, aby pravděpodobnost kumulace rušivých účinků byla co nejmenší.

#### 4.1.4 Flicker

Změny světelného toku zdrojů světla, způsobené kolísáním napětí nazýváme **flicker**. Pro objektivní posouzení flickru, je zapotřebí sestavit model zrakového orgánu. Při jeho sestavení se vychází z fyziologie skutečného lidského oka, zejména jeho chování v dynamickém režimu.

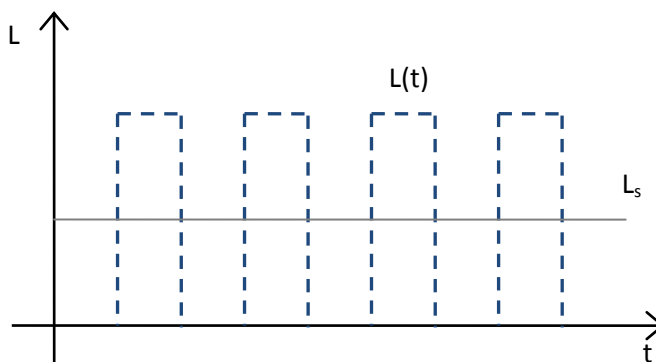
Při náhlém zvětšení jasu, má zrakový vjem (vnímaný jas) následující průběh. Z počátku rychle roste až do určitého maxima a následně postupně klesá, na určitou neměnnou hladinu, která odpovídá ustálenému zrakovému vjemu. Doznívání zrakového vjemu má exponenciální charakter a jeho doba záleží na jasu zorného pole, na který je oko adaptováno, a době trvání světelného podnětu.

V případě opakovaných světelných podnětů (záblesků) je vjem dán jejich integrací (integrální vjemem oka). Podle Talbotova zákona platí pro zrakový vjem  $H(t)$  vztah:

$$H(t) = \frac{C}{T} \int^T L(t) \cdot dt = c \cdot L_s \quad (55)$$

Vztah znamená, že zrakový vjem jasu  $L(t)$  je stejný jako vjem konstantního jasu o hodnotě  $L_s$ .

**Obr. 7:** Zrakový vjem jasu  $L(t)$



Talbotův zákon platí za předpokladu, že frekvence přerušování světelného toku je vyšší než tzv. kritický kmitočet  $f_k$ , při kterém průměrný pozorovatel přestává vnímat míhání světla. Tomuto stavu se také říká splnutí míhání ( $f_k$  se také nazývá kmitočet splývání). Podrobnější informace jsou uvedeny v [5].

- **Hodnocení míry vjemu blikání**

**Výpočet relativní změny napětí**

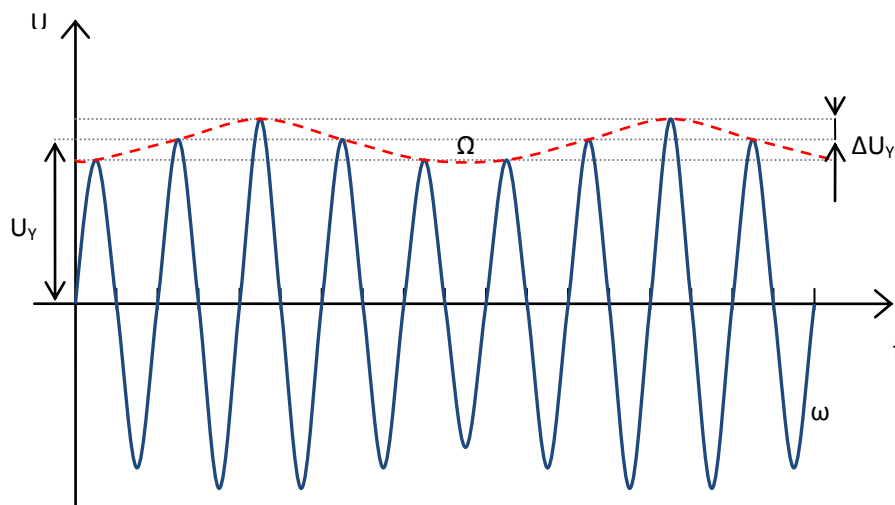
Relativní změna napětí je úměrná změně výkonu odběratele vztahované ke zkratovému výkonu v napájecím bodě. U symetrické trojfázové zátěže jsou relativní změny fázových napětí stejné se změnami sdružených napětí. Pro relativní změnu napětí  $d$  platí následující vztah:

$$d = \frac{\Delta U_Y}{U_{nY}} = \frac{\Delta U}{U_n} \cong \frac{\Delta S_A}{S_k} \quad (56)$$

kde  $U_Y$  je amplituda síťového napětí,

$\Delta U_Y$  je amplituda modulujícího napětí.



**Obr. 8:** Průběh napětí při flikru

Pro přesnější výpočet je vhodné použít k určení relativní změny napětí  $d$  hodnoty impedancí sítě  $Z_s$  a připojeného zařízení  $Z_z$ , respektující rozdíly mezi vnitřními úhly impedance soustavy a připojeného zařízení:

$$d = 1 - \text{Abs} \left[ \frac{R_z + jX_z}{R_s + R_z + j(X_s + X_z)} \right] \quad (57)$$

Pokud známe činnou a jalovou složku změny výkonu, je možné pro výpočet relativní změny napětí  $d$  použít následující vztah:

$$d = \frac{1}{U_n^2} \cdot (R_s \cdot \Delta P_A + X_s \cdot \Delta Q_A) \quad (58)$$

Při znalosti činné a jalové složky proudu  $\Delta I \cos \varphi$  a  $\Delta I \sin \varphi$  lze pro výpočet  $d$  použít vztah pro úbytek na předřazené impedanci:

$$d = \frac{R_s \cdot \Delta I \cos \varphi + X_s \Delta I \sin \varphi}{U_n} \quad (59)$$

V případě, že se jedná o jednofázovou zátěž, připojenou mezi dvě fáze je největší napěťová změna fázového napětí dána vztahem:

$$d = \frac{\Delta U_Y}{U_{nY}} = \frac{\sqrt{3} \Delta S_A}{S_k} \quad (60)$$

**Výpočet činitele flikru**

Činitele rušení od různých zdrojů se v síti sčítají:

$$A_{celk} = A_1 + A_2 + \dots + A_n \quad (61)$$

Střední rušivý činitel flikru  $A$  během 10 min se označuje  $A_{st}$ . U zdrojů rušení s dlouhodobě působícím činitelem rušení může jeho velikost dosahovat pouze nižších hodnot, protože pravděpodobnost překrývání rušení od různých zdrojů je větší. Pro interval 2 hodiny se označuje  $A_{lt}$  (dlouhodobý). Vypočtenou hodnotu rušení je třeba považovat za  $A_{lt}$ , pokud se může kolísání napětí trvale vyskytovat v delším časovém úseku (déle než 30 min). Pro kratší trvání se posuzuje hodnotou  $A_{st}$ .

Činitel rušení  $A$ , vyvolaný jednotlivým rušením, lze vyčíslit nebo přibližně popsat dobou působení flikru  $t_f$ .

$$t_f = a \cdot (100 \cdot d \cdot F)^3 \quad (62)$$

kde  $d$  je relativní změna napětí

$F$  je činitel tvaru

$a$  je přizpůsobovací koeficient (2,3 s).

Výsledný činitel rušení  $A$  se přibližně určí jako součet trvání účinku flikru, vztažený na sledovaný časový interval, ve kterém se kolísání napětí vyskytuje:

$$A_{st} = \frac{\sum t_f}{10 \text{ min}} \quad (63), (64)$$

$$A_{lt} = \frac{\sum t_f}{120 \text{ min}}$$

- **Vyhodnocení míry vjemu blikání**

**Vyhodnocení krátkodobého blikání**

Výsledkem měření míry vjemu blikání s periodou pozorování  $T_{st} = 10 \text{ min}$  je hodnota  $P_{st}$ , která je odvozena ze statistiky časových úrovní získaných měřičem blikání. Je použit následující vzorec:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_{1s} + 0,0657P_{3s} + 0,28P_{10s} + 0,08P_{50s}}, \quad (65)$$

kde percentily  $P_{0,1}$ ,  $P_1$ ,  $P_3$ ,  $P_{10}$  a  $P_{50}$  jsou úrovně blikání překročené pro 0,1; 1; 3; 10 a 50 % doby během periody pozorování. Přípona  $_s$  v indexech percentilů znamená, že by se měla použít vyhlazená hodnota, která se získá použitím následující rovnice:

$$\begin{aligned}
 P_{50s} &= \frac{(P_{30} + P_{50} + P_{80})}{3} \\
 P_{10s} &= \frac{(P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17})}{5} \\
 P_{3s} &= \frac{(P_{2,2} + P_3 + P_4)}{3} \\
 P_{1s} &= \frac{(P_{0,7} + P_1 + P_{1,5})}{3}
 \end{aligned}
 \tag{66-69}$$

### **Vyhodnocení dlouhodobého blikání**

Perioda 10 min, použitá pro vyhodnocování krátkodobé míry vjemu blikání, je vhodná pro určování rušení způsobených jednotlivými zdroji s krátkým pracovním cyklem. V případech, kdy se mají brát v úvahu kombinované účinky několika rušících zařízení pracujících náhodným způsobem (např. svářečky, motory), nebo když se předpokládají zdroje blikání s dlouhým nebo proměnným pracovním cyklem (např. obloukové pece), je nutné zajistit dlouhodobé určení míry vjemu blikání. Pro tento účel se musí z hodnoty krátkodobé míry vjemu blikání  $P_{st}$  odvodit dlouhodobá míra vjemu blikání  $P_{lt}$  po dobu přiměřené periody odpovídající pracovnímu cyklu zatížení nebo periody, po kterou provozovatel může reagovat na blikání, tj. několik hodin, přičemž se použije následující vzorec:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{sti}^3}{N}}, \tag{70}$$

kde  $P_{sti}$  ( $i=1, 2, 3, \dots$ ) jsou po sobě následující odečty krátkodobé míry vjemu blikání  $P_{st}$ .

### 4.1.5 Nesymetrie napětí

Nerovnoměrné rozložení zatížení na tři fáze má za následek nesymetrické proudy, které způsobí na impedanci sítě i nesouměrnost napětí. Typickým příkladem jsou jednofázové zátěže. Nesymetrické odběry v sítích vn a vvn jsou nejčastěji vyvolávány:

- indukčními pecemi o síťové frekvenci,
- odporovými tavíci pecemi,
- ohřívacími zařízeními (konduktivními),
- odporovými pecemi na výrobu elektrod,
- obloukovými ohřívacími zařízeními,
- odporovými svářečkami,
- obloukovými ocelářskými tavíci pecemi.

Jednofázové zátěže, připojené mezi fázový a střední vodič jsou možné pouze v sítích NN. U těchto odběrů není třeba provádět kontrolu z hlediska nesymetrií napětí, jelikož jsou vzhledem k očekávanému poměru výkonů zanedbatelné (většinou menší než 1 %). Nárůstu nesymetrie, způsobeným současným působením více jednofázových odběrů, by mělo být zabráněno stejnoměrným rozdělením těchto odběrů na jednotlivé fáze.

#### ▪ Výpočet stupně nesymetrie napětí

Pro posouzení účinků nesymetrické zátěže je zapotřebí rozložit jejich proudy a napětí na souslednou  $U_{(1)}$ , zpětnou  $U_{(2)}$  a netočivou  $U_{(0)}$  složku. Netočivou složku u sítí vn a vvn nemusíme uvažovat, protože zátěže jsou připojeny mezi fázové vodiče.

Pro jednofázovou zátěž  $S_A$  lze pro stupeň nesymetrie napsat:

$$u(2) = \frac{U_{(2)}}{U_{(1)}} = \frac{S_A}{S_K} \quad (71)$$

Zapojením trojfázových transformátoru, včetně těch s vyrovnávacím vinutím do trojúhelníka, se stupeň nesymetrie nemění, i když na straně vyššího napětí se proudy rozdělí do všech fází.

#### ▪ Vliv nesymetrické zátěže

Při stejném činném výkonu je proudové zatížení při jednofázovém odběru až dvojnásobné proti symetrické zátěži. Transformátory a vedení tak mohou být zatíženy pouze na 50 až 60 % jmenovitého výkonu. Jednotlivé sloupky transformátoru jsou nestejně zatěžovány. V synchronních a asynchronních strojích proudy zpětné složky vyvolávají magnetické pole, které se otáčí dvojnásobnou rychlostí proti směru magnetického pole budiče. Tím dochází ke vzniku přídavných ztrát v rotoru.

U synchronních strojů se udává jako trvale přípustná velikost proudu zpětné složky 5 až 10 % jmenovitého proudu, tomu odpovídá stupeň nesymetrie  $u_{(2)} = 1 - 2 \%$ . U asynchronních strojů může docházet k pozorovatelnému oteplení již při  $u_{(2)} > 1 \%$ .

#### ▪ Opatření pro snížení vlivu

- rozdělení jednorázové zátěže a rovnoměrné rozdělení mezi fázové vodiče
- symetrizační zařízení s kondenzátory a tlumivkami (při velkých změnách je nutné toto zařízení opatřit regulací)
- oddělení měniči (třífázový motor, jednorázový generátor)
- připojení přes usměrňovač (pozor na vyšší harmonické)
- připojení k místům s vyšším zkratovým výkonem SK

## 4.2 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, kterým se věnuje následující kapitola. Úlohou provozovatelů soustav by mělo být optimalizovat sítě

s cílem dosahovat co nejlepší úroveň kvality ve vztahu k vynaloženým nákladům. V tomto směru má důležitou roli regulační orgán (v ČR ERÚ), který by měl motivovat provozovatele soustav zlepšovat kvalitu dodávek elektřiny za podmínky efektivního vynakládání prostředků. Této oblasti se věnují další části práce.

#### **4.2.1 Ukazatele nepřetržitosti**

V této kapitole bude pozornost věnována ukazatelům nepřetržitosti (plynulosti). 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 této souvislosti je však nezbytné podotknout, že v jednotlivých zemích se využívají ukazatele na základě určitého historického vývoje, zkušeností a předmětu zájmu v této oblasti a i přes snahu výše zmíněných dokumentů na sjednocení, existuje stále řada rozdílů ve výpočtu jednotlivých ukazatelů. Tuto skutečnost je nezbytné brát v úvahu především při případném srovnávání dosahované úrovně ukazatelů v jednotlivých zemích. Důležitým faktorem je i způsob sběru dat a další kritéria, která mohou mít vliv na odlišnosti při výpočtech.

Obecně můžeme ukazatele rozdělit do tří základních skupin. První skupina ukazatelů je zaměřena na zákazníky postižené dlouhodobým přerušením dodávek elektřiny (nejčastěji využívány ukazatele SAIFI, SAIDI). Další skupinou jsou ukazatele zaměřené na odpojený odběr (zatížení) během daného přerušení, které se nejčastěji využívají v oblastech s malým počtem zákazníků, ale s velkým odběrem. Třetí skupinou jsou ukazatele hodnotící krátkodobé přerušení. Definice jednotlivých přerušení je uvedena v kapitole 4.2.3. Dále jsou uvedeny definice nejvíce rozšířených ukazatelů:

- **SAIFI (System average interruption frequency index)**

Následující ukazatele se využívají pro hodnocení dlouhodobých přerušení. Ukazatel SAIFI udává, jak často je průměrný zákazník postižen přerušením v průběhu předem stanoveného časového období. Matematicky je vyjádřen následující rovnicí:

$$SAIFI = \frac{\sum \text{celkový počet zákazníků postižených přerušením}}{\text{celkový počet připojených zákazníků}} = \frac{\sum N_i}{N_T} \quad (72)$$

kde  $N_i$  je počet zákazníků postižených dlouhodobým přerušením způsobeným danou událostí (za vykazované období)

$N_T$  je celkový počet připojených zákazníků v dané oblasti (soustavě)

- **SAIDI (System average interruption duration index)**

Ukazatel udává celkovou dobu trvání přerušení pro průměrného zákazníka v průběhu předem určené doby. Obvykle se udává v minutách za daný kalendářní rok. Matematicky je vyjádřen následující rovnicí:

$$SAIDI = \frac{\sum \text{doba trvání dlouhodobého přerušení u zákazníka}}{\text{celkový počet připojených zákazníků}} = \frac{\sum r_i N_i}{N_T} \quad (73)$$

kde  $r_i$  je doba trvání dlouhodobého přerušení (způsobeného danou událostí)

- **CAIDI (Customer average interruption duration index)**

Ukazatel představuje průměrnou dobu potřebnou k obnovení dodávky. Matematicky je vyjádřen následující rovnicí:

$$CAIDI = \frac{\sum \text{doba trvání přerušení u zákazníka}}{\sum \text{celkový počet přerušení u zákazníků}} = \frac{\sum r_i N_i}{\sum N_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (74)$$

- **CTAIDI (Customer total average interruption duration index)**

Ukazatel představuje celkovou průměrnou dobu ve sledovaném období, kdy zákazníci, kteří skutečně byli postiženi dlouhodobým přerušením, byli bez dodávky. Tento index je variantou ukazatele *CAIDI*, s tou výjimkou, že zákazníci s více přerušeními ve sledovaném období se počítají pouze jednou (do jmenovatele). Matematicky je vyjádřen následující rovnicí:

$$CTAIDI = \frac{\sum \text{doba trvání dlouhodobého přerušení u zákazníka}}{\text{celkový počet zákazníků postižených přerušením}} = \frac{\sum r_i N_i}{CN} \quad (75)$$

kde *CN* je celkový počet zákazníků, kteří byli postiženi dlouhodobým přerušením dodávek během vykazovaného období (*CNT* dlouhodobá i krátkodobá přerušení)

- **CAIFI (Customer average interruption frequency index)**

Ukazatel udává průměrnou četnost trvalých dlouhodobých přerušení pro ty zákazníky, u kterých dochází k přerušení. Každý zákazník se počítá (do jmenovatele) pouze jednou bez ohledu na počet přerušení v daném časovém intervalu. Matematicky je vyjádřen následující rovnicí:

$$CAIFI = \frac{\sum \text{celkový počet zákazníků postižených dlouhodobým přerušením}}{\text{celkový počet zákazníků poškozených dlouhodobým přerušením}} = \frac{\sum N_i}{CN} \quad (76)$$



- **ASAI (Average service availability index)**

Ukazatel uvádí průměrnou dostupnost služeb (často v procentech), které zákazník získal během hodnoceného období. Matematicky je vyjádřen následující rovnicí:

$$ASAI = \frac{\text{dostupnost zákaznických služeb}}{\text{požadavek na zákaznické služby}} = \frac{N_T \times (\text{počet hodin za rok}) - \sum r_i N_i}{N_T \times (\text{počet hodin za rok})} \quad (77)$$

- **CEMI<sub>n</sub> (Customers experiencing multiple interruptions)**

Ukazatel udává poměr zákazníků, kteří zaznamenali více než  $n$  trvalých přerušení v daném období na celkovém počtu zákazníků. Matematicky je vyjádřen následující rovnicí:

$$CEMI_n = \frac{\sum \text{celkový počet zákazníků s více než } n \text{ přerušením}}{\text{celkový počet připojených zákazníků}} = \frac{\sum CN_{(k>n)}}{N_T} \quad (78)$$

- **ASIFI (Average system interruption frequency index)**

Výpočet ukazatele je oproti předchozím zákaznickým ukazatelům založen na hodnocení zatížení (odběru). ASIFI se používá v oblastech, kde je relativně málo zákazníků, ale mají velké odběry (převážně průmyslové subjekty). Matematicky je vyjádřen následující rovnicí:

$$ASIFI = \frac{\sum \text{celkový odběr odpojený během přerušení (kVA)}}{\text{celkový odběr v dané oblasti (kVA)}} = \frac{\sum L_i}{L_T} \quad (79)$$

kde  $L_i$  je odběr (zatížení) odpojený přerušením způsobeným danou událostí (za vykazované období)

$L_T$  je celkový odběr (zatížení) v dané oblasti (soustavě) v kVA

- **ASIDI (Average system interruption duration index)**

Obdoba ukazatele ASIFI založeného na zatížení (odběru) nikoliv na postižených zákaznících jako ukazatel SAIDI. Matematicky je vyjádřen následující rovnicí:

$$ASIDI = \frac{\sum \text{odběr odpojený během trvání přerušení (kVA)}}{\text{celkový odběr v dané oblasti (kVA)}} = \frac{\sum r_i L_i}{L_T} \quad (80)$$

- **MAIFI (Momentary average interruption frequency index)**

Následující ukazatel je využíván pro hodnocení krátkodobých přerušení. Ukazatel MAIFI uvádí průměrnou četnost krátkodobých přerušení. Další variace tohoto ukazatele vyjímá z výpočtu OZ (opětovné zapnutí). Matematicky je vyjádřen následujícím vztahem:

$$MAIFI = \frac{\sum \text{celkový počet zákazníků postižených krátkodobým přerušením}}{\text{celkový počet připojených zákazníků}} = \frac{\sum IM_i N_{mi}}{N_T} \quad (81)$$

kde  $IM_i$  je počet krátkodobých přerušení

$N_{mi}$  je počet zákazníků postižených krátkodobým přerušením způsobeným danou událostí

- **CEMSMI<sub>n</sub> (Customers experiencing multiple sustained interruption and momentary interruption events)**

Ukazatel uvádí poměr jednotlivých zákazníků, u kterých dochází k více než  $n$  dlouhodobým a krátkodobým přerušením na celkovém počtu připojených zákazníků. Ukazatel slouží k identifikaci „problémových“ zákazníků, kteří nejsou odhaleni systémovými ukazateli uvedenými výše.

$$CEMSMI_n = \frac{\sum \text{celkový počet zákazníků s více jak } n \text{ přerušením}}{\text{celkový počet připojených zákazníků}} = \frac{\sum CNT_{(k>n)}}{N_T} \quad (82)$$

## 4.2.2 Ukazatele kvality využívané v ČR

V České republice jsou ukazatele nepřetržitosti dány vyhláškou o kvalitě č. 540/2005 Sb. V další části je uveden výpočet jednotlivých ukazatelů pro oblast přenosu a distribuce. Událostí se pro účely výpočtů rozumí stav v přenosové nebo distribuční soustavě, který vedl k přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny dané kategorie na napěťové hladině.

Ukazatele se vypočítávají pouze z dlouhodobých přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny, tj. přerušení s dobou trvání nad 3 minuty. Začátkem přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny pro výpočet ukazatelů je okamžik, kdy se provozovatel přenosové soustavy nebo provozovatel distribuční soustavy dozvěděl o vzniku přerušení nebo kdy vznik přerušení mohl a měl zjistit.

### Ukazatele nepřetržitosti přenosu elektřiny

- Průměrná doba trvání jednoho přerušení přenosu elektřiny v roce

$$t_{ph} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}, \quad (83)$$

kde  $i$  je pořadové číslo přerušení přenosu elektřiny v hodnoceném roce,

$n$  je roční počet přerušení přenosu elektřiny,

$t_i$  je doba trvání  $i$ -tého přerušení přenosu elektřiny.

- Nedodaná elektrická energie v roce

$$W_{ned} = \sum_{i=1}^n t_i P_{ned,i}, \quad (84)$$

kde  $P_{ned,i}$  je výkon dopravovaný účastníkovi trhu s elektřinou do předávacího místa z přenosové soustavy, ve kterém došlo k  $i$ -tému přerušení přenosu elektřiny, těsně před tímto přerušením.

**Ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny****a) Hladinové ukazatele**

- Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině  $h$  v hodnoceném období

$$SAIFI_h = \frac{\sum_j n_{jh}}{N_{sh}}, \quad (85)$$

kde  $h$  je označení hodnocené napěťové hladiny (nn, vn nebo vv),

$j$  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,

$N_{sh}$  je celkový počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny  $h$  ke konci předchozího kalendářního roku.

- Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině  $h$  v hodnoceném období

$$SAIDI_h = \frac{\sum_j t_{sj}}{N_{sh}}, \quad (86)$$

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:

$$t_{sj} = \sum_i t_{ji} \cdot n_{jhi}, \quad (87)$$

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 na napěťové hladině  $h$  v hodnoceném období

$$CAIDI_h = \frac{SAIDI_h}{SAIFI_h}. \quad (88)$$

#### b) Systémové ukazatele

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

$$SAIFI_s = \frac{\sum_{h=\{nn;vn;vvn\}} \sum_j n_{jh}}{N_s}, \quad (89)$$

kde  $N_s$  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

$$SAIDI_s = \frac{\sum_{h=\{nn;vn;vvn\}} \sum_j t_{sj}}{N_s}. \quad (90)$$

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

$$CAIDI_s = \frac{SAIDI_s}{SAIFI_s}. \quad (91)$$

### 4.2.3 Přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny

Přerušení dodávek elektřiny je obecně definováno technickými předpisy jako je EN 50 160, CENELEC TR 50 555 aj. Obvykle je za přerušení považováno poklesnutí napětí pod určitou úroveň trvajícím po danou dobu. Přerušení lze z pohledu délky trvání rozdělit na **dlouhodobá a krátkodobá**. Definice dlouhodobých a krátkodobých přerušení není ve všech zemích jednotná. Nejčastěji je považováno za dlouhodobé přerušení takové, které je delší jak

tři minuty. Za krátkodobé je považováno přerušení kratší jak tři minuty. V některé literatuře se objevuje i třetí kategorie přerušení a to „transientní“, jejich hranice se pohybuje okolo 20 ms, ale v praxi se příliš často tato kategorie nevyužívá.

Dále můžeme přerušení dělit podle příčiny vzniku. Z tohoto pohledu lze přerušení rozdělit na dvě hlavních oblasti a to na **plánovaná a neplánovaná**. Plánovaná přerušení musí být dotčeným zákazníkům oznámena danou společností určitou dobu v předstihu. V ČR je lhůta pro oznámení plánovaných přerušení dána energetickým zákonem a pro přerušení distribuce se jedná o oznámení minimálně 15 dnů předem. Neplánovaná přerušení jsou všechna taková přerušení, která nejsou plánovaná. Neplánovaná přerušení lze dále dělit do jednotlivých podkategorií viz dále.

Zároveň jsou přerušení zkoumána z pohledu jejich vzniku. Zde se jedná především o hodnocení jednotlivých napěťových úrovní či konkrétních prvků soustavy. Tato členění se dělí podle potřeby zájmů společností či jiných institucí.

#### **Kategorie přerušení využívané v ČR:**

Mezi základní pojmy při určování spolehlivosti v přenosové a distribučních soustavách patří přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny, dlouhodobé přerušení, plánované přerušení a ukončení přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny. Význam těchto pojmů je mimo jiné definován vyhláškou č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek elektřiny a služeb v elektroenergetice. Pro tyto účely se rozumí:

- **přerušením přenosu nebo distribuce elektřiny** – stav v odběrném nebo předávacím místě účastníka trhu s elektřinou, při kterém není přenosová nebo distribuční soustava schopna dopravovat do tohoto místa elektřinu; za přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny není považován stav, jehož příčinou je elektrické zařízení zákazníka nebo elektrická přípojka, která není ve vlastnictví provozovatele distribuční soustavy a není provozovatelem distribuční soustavy provozována podle § 45 odst. 6 energetického zákona, nebo společné elektrické zařízení v nemovitosti,
- **dlouhodobým přerušením** – přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny s dobou trvání delší než 3 minuty,

- **plánovaným přerušením** – přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny při provádění plánovaných prací na zařízení přenosové nebo distribuční soustavy nebo v jejich ochranném pásmu podle § 24 odst. 3 písm. c) bodu 6 a odst. 5 a § 25 odst. 4 písm. c) bodu 5 a odst. 6 energetického zákona,
- **ukončením přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny** – okamžik obnovení schopnosti přenosové nebo distribuční soustavy dopravovat do odběrného nebo předávacího místa účastníka trhu s elektřinou elektřinu v množství a kvalitě podle technických norem a uzavřených smluv; ukončením přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny se rozumí i stav náhradního napájení odběrného nebo předávacího místa včetně případného omezení množství dodávané elektřiny, které je sjednáno ve smlouvě o distribuci elektřiny nebo ve smlouvě o sdružených službách dodávky elektřiny.

Přerušení lze následně dělit na jednotlivé kategorie podle příčiny vzniku. Základní dělení je uvedeno v následující části. Podle doby trvání se přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny dělí na následující:

- a) dlouhodobé** – s dobou trvání delší než 3 minuty,
- b) krátkodobé** – s dobou trvání alespoň 1 sekunda a současně ne delší než 3 minuty.

Podle příčiny se přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny dělí na následující:

- 1. neplánované** - přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny, které není plánovaným přerušením. Neplánované přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny se dále dělí na:
  - 1.1. poruchové** - přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny při vzniku a odstraňování poruchy na zařízení provozovatele přenosové soustavy podle § 24 odst. 3 písm. d) bodu 7 energetického zákona nebo provozovatele distribuční soustavy podle § 25 odst. 4 písm. c) bodu 6 energetického zákona a přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny způsobené chybným nebo bezdůvodným vypnutím zařízení přenosové nebo distribuční soustavy jejím provozovatelem. Poruchové přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny se dále dělí na:
    - 1.1.1. způsobené poruchou mající původ v zařízení přenosové nebo distribuční soustavy provozovatele soustavy nebo jejím provozu,**

1.1.1.1. za obvyklých povětrnostních podmínek – přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny způsobené poruchou, které není přerušením přenosu nebo distribuce elektřiny způsobeným poruchou za nepříznivých povětrnostních podmínek,

1.1.1.2. za nepříznivých povětrnostních podmínek – přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny způsobené vlivem nepříznivých povětrnostních podmínek, jestliže provozovatel přenosové nebo distribuční soustavy takovou skutečnost do 10 pracovních dnů ode dne, ve kterém k přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny došlo, oznámí a prokáže Úřadu.

1.1.2. způsobené v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby,

1.2. vynucené - přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny z důvodů podle § 24 odst. 3 písm. c) bodu 1 nebo § 25 odst. 4 písm. c) bodu 1 energetického zákona,

1.3. mimořádné - přerušení přenosu nebo distribuce při stavech nouze nebo předcházení stavu nouze podle § 24 odst. 3 písm. c) bodu 2 nebo § 25 odst. 4 písm. c) bodu 2 energetického zákona,

1.4. v důsledku události mimo přenosovou nebo distribuční soustavu provozovatele soustavy a u výrobce,

**2. plánované** – přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny podle § 2 písm. c) vyhlášky.

V této souvislosti je pro úplnost nezbytné zmínit ještě jeden aspekt členění přerušení. V odborné literatuře jsou často předmětem zájmu mimořádná přerušení či přerušení způsobená „**vyšší mocí**“. Přerušení způsobená z těchto příčin jsou mnohdy vyjmuta z dodržování předepsaných standardů či různých hodnocení a srovnání a z tohoto důvodu je žádoucí přesně definovat i tyto kategorie. Již ze svého názvu je však zřejmé, že definování těchto událostí není jednoduchou záležitostí. Obvykle se využívají metody založené na historických zkušenostech tj. srovnávání průměrných počtů přerušení (v historii) s danou konkrétní situací. Na základě předem určených kritérií je pak rozhodnuto, zda uvedená událost splňuje znaky této kategorie. Bližší informace jsou uvedeny v *CENELEC TR 50 555*, *IEEE Std 1366™-2003* či materiálech CEER, atd. V ČR se obdobné případy posuzují individuálně.



### **4.3 Dosahovaná úroveň kvality v ČR**

Hodnocením dosahované úrovně kvality se v ČR zabývá ERÚ. Na základě vyhlášky o kvalitě je sledována a vyhodnocována nepřetržitost přenosu a distribuce elektřiny v přenosové soustavě a v distribučních soustavách. Způsob výpočtu ukazatelů nepřetržitosti je uveden v příloze č. 5 k vyhlášce o kvalitě, respektive výše v textu.

V následující části je provedeno vyhodnocení dat získaných do roku 2013 od provozovatele přenosové soustavy (společnosti ČEPS) a provozovatelů regionálních distribučních soustav (společností ČEZ Distribuce, E.ON Distribuce a PREDistribuce).

Znalost současné úrovně kvality v ČR je základním předpokladem pro další kroky, jako je např. srovnání s ostatními státy EU či navrzení možností pro zlepšení kvality a vyčíslení jejich dopadů do financování jednotlivých společností.

#### **4.3.1 Přenos elektrické energie**

Přenosovou soustavou se ve smyslu energetického zákona rozumí vzájemně propojený soubor vedení a zařízení 400 kV, 220 kV a vybraných vedení a zařízení 110 kV sloužící pro zajištění přenosu elektřiny pro celé území České republiky a propojení s elektrizačními soustavami sousedních států, včetně systémů měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky.

Úroveň kvality v přenosové soustavě je určena ukazateli nepřetržitosti přenosu podle § 21 vyhlášky. Pro provozovatele přenosové soustavy jsou vyhláškou definovány následující ukazatele:

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

Provozovatel přenosové soustavy vykazuje roční zprávu o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu elektřiny podle přílohy č. 7 uvedené ve vyhlášce o kvalitě. Dále jsou uvedeny informace o profilu přenosové soustavy a hodnoty ukazatelů nepřetržitosti získané prostřednictvím roční zprávy za rok 2013.

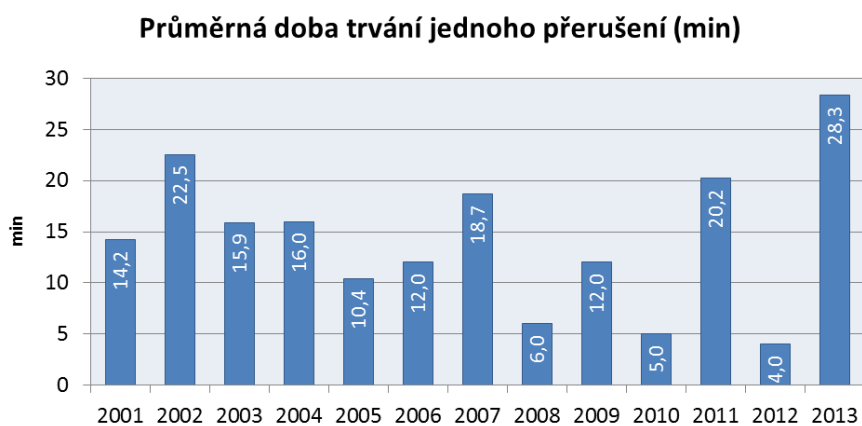
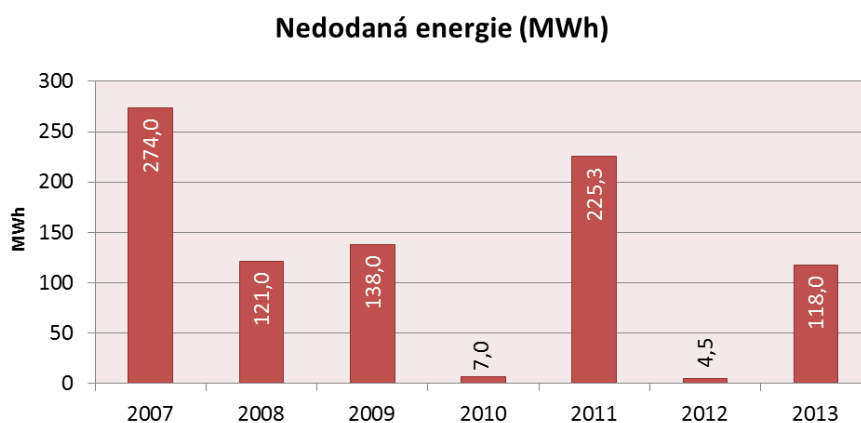
**Tab. 7:** Profil společnosti ČEPS, a.s.

Množství elektřiny přenesené přenosovou soustavou na výstupu [GWh]	62 462
Délka vedení 400 kV [km]	3 510
Délka vedení 220 kV [km]	1 909
Počet transformátorů 400/110 kV [-]	46
Počet transformátorů 400/220 kV [-]	4
Počet transformátorů 220/110 kV [-]	21

**Tab. 8:** Ukazatele nepřetržitosti přenosu v roce 2013

Počet přerušení přenosu elektřiny v roce [-]	4
Celková doba trvání přerušení přenosu elektřiny v roce [min]	113
Průměrná doba trvání jednoho přerušení přenosu elektřiny v roce [min]	28,3
Nedodaná elektrická energie v roce [MWh]	118,0

\* ukazatele zahrnují přerušení způsobená ČEPS, a.s.

**Obr. 9:** Vývoj ukazatelů nepřetržitosti – průměrná doba trvání jednoho přerušení**Obr. 10:** Vývoj ukazatelů nepřetržitosti – nedodaná energie

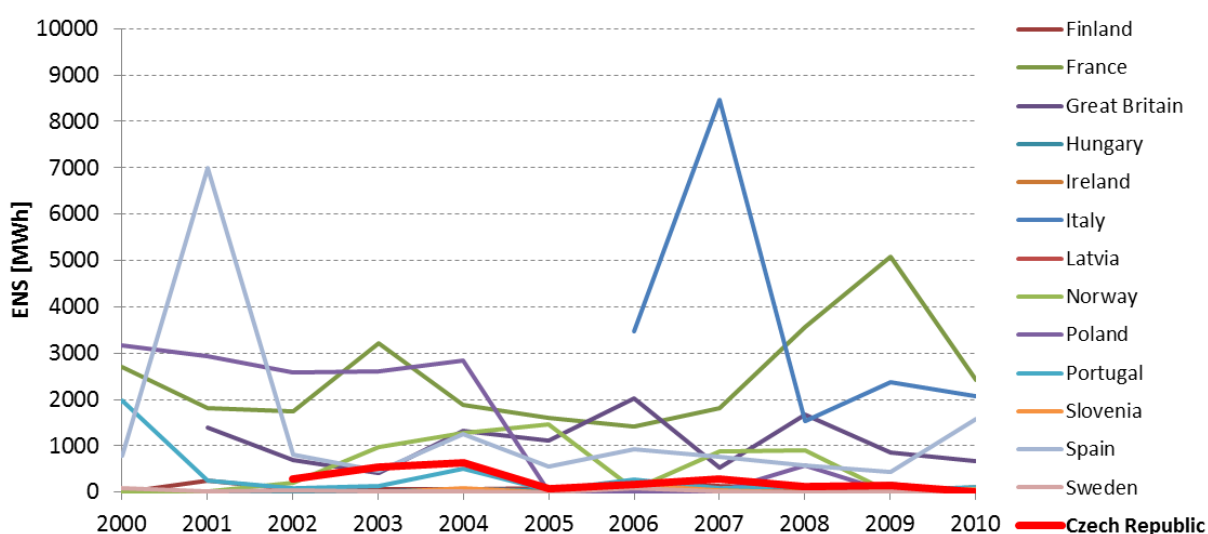
Z uvedených grafů je patrné, že zatímco v roce 2012 bylo dosaženo nejnižší průměrné doby trvání přerušení za sledované období od roku 2001, v roce 2013 byla tato hodnota naopak nejvyšší. Pokud jde o nedodanou energii, hodnota roku 2013 nevybočuje z hodnot sledovaného období. Z uvedeného vývoje je patrné, že hodnoty ukazatelů nepřetržitosti přenosu se velice obtížně predikují a v průběhu jednotlivých let výrazně kolísají. Hlavní příčinou výrazného zhoršení průměrné doby trvání jednoho přerušení za rok 2013 byla vnitřní závada a následný požár T402 v rozvodně Chodov dne 18. 6. 2013.

Jak je patrné z předchozích grafů v oblasti přenosu elektřiny, hodnoty ukazatelů nepřetržitosti výrazně kolísají v jednotlivých letech především podle počtu přerušení a z tohoto důvodu je velice obtížné predikovat další vývoj.

Na základě porovnání dosahovaných hodnot ukazatele *ENS* v Evropě, které je uvedeno na dalším obrázku, je možné konstatovat, že v současné době je nepřetržitost přenosu v ČR na úrovni, která snese srovnání s nejnávštějšími státy EU. K uvedenému grafu je nutné poznamenat, že hodnoty zobrazují celkovou hodnotu nedodané energie a nereflktují velikost jednotlivých přenosových soustav. Dále bude pozornost zaměřena především na oblast distribuce.

**Obr. 11:** Porovnání ukazatele *ENS* v Evropě (pro oblast přenosu)

### Porovnání ukazatele *ENS* v přenosových soustavách - bez mimořádných událostí



### 4.3.2 Distribuce elektrické energie

Úroveň kvality v distribučních soustavách je určena ukazateli nepřetržitosti distribuce elektřiny podle § 21 vyhlášky o kvalitě. Vyhláškou jsou definovány následující ukazatele nepřetržitosti:

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

Způsob výpočtu jednotlivých ukazatelů je uveden v příloze vyhlášky společně s kategoriemi přerušení distribuce elektřiny. Na základě kategorií přerušení, které vstupují do výpočtů, lze dále jednotlivé ukazatele dělit podle potřeby zájmu. V další části je provedeno podrobné vyhodnocení ukazatelů za rok 2013.

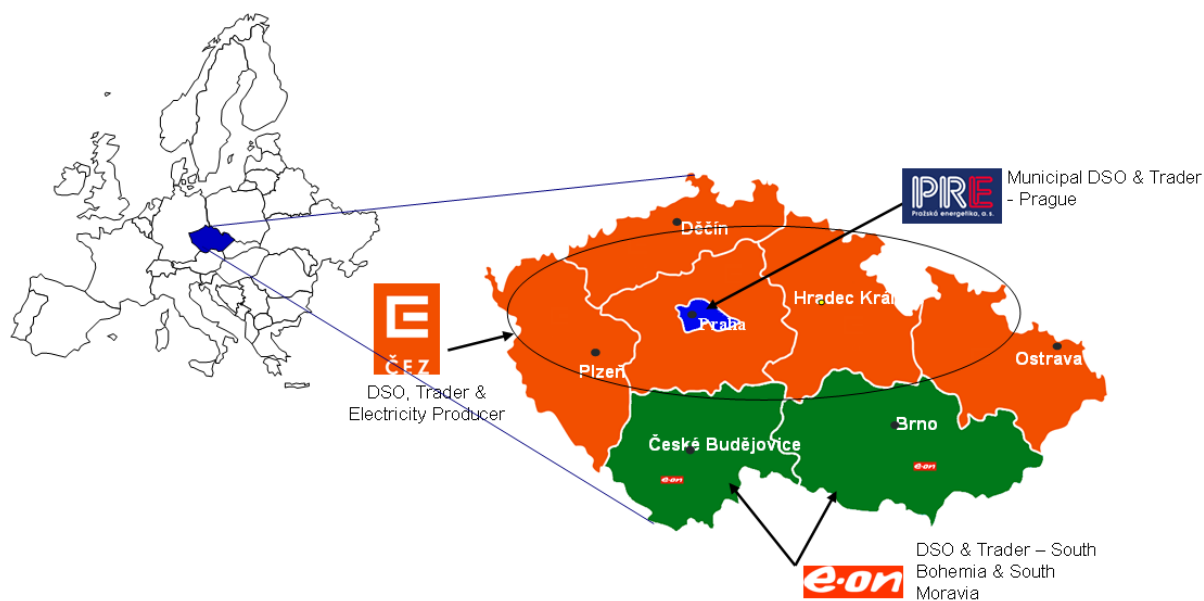
V této souvislosti je potřeba upozornit, že vzhledem k velkým rozdílům v sítích jednotlivých provozovatelů distribučních soustav není možné mezi sebou ukazatele nepřetržitosti jednoduše porovnávat. Z tohoto důvodu je důležitý profil společností, který popisuje charakter jednotlivých sítí. Hlavní vliv na ukazatele nepřetržitosti má podíl kabelových vedení v soustavě, způsob zapojení sítí, hustota odběru a počet zákazníků. Profil jednotlivých distribučních společností v ČR je uveden v následující tabulce.

**Tab. 9:** Profil distribučních společností v roce 2013

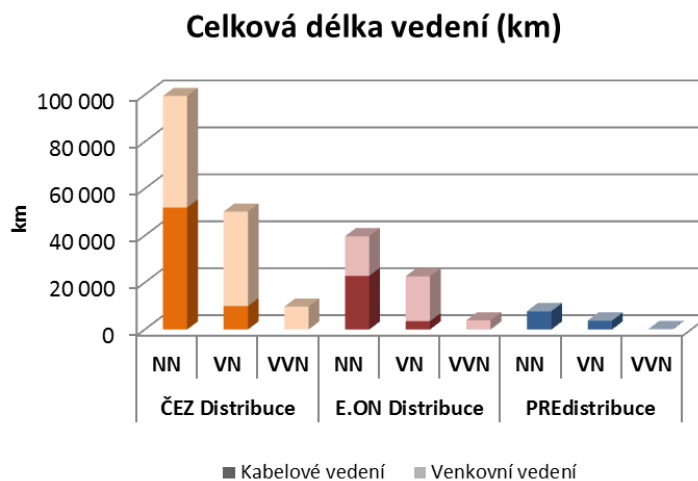
Profil společností	Napěťová hladina	Počet zákazníků [-]	Délka kabelových vedení [km]	Délka venkovních vedení [km]
ČEZ Distribuce	nn	3 547 373	52 551	48 099
	vn	14 741	10 233	40 249
	vvn	262	23	9 759
E.ON Distribuce	nn	1 490 250	23 075	16 526
	vn	8 158	3 522	18 609
	vvn	41	11	3 907

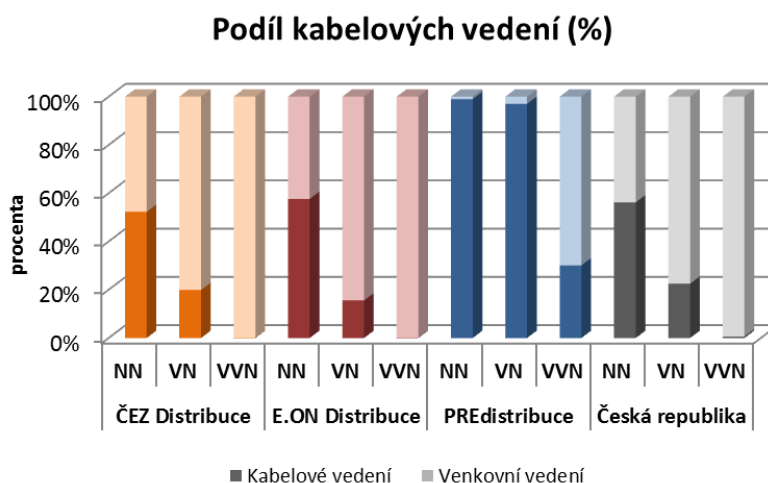
PREdistribuce	nn	757 778	7 750	84
	vn	1 986	3 758	113
	vvn	4	62	144
Česká republika	nn	5 795 401	83 376	64 709
	vn	24 885	17 513	58 971
	vvn	307	96	13 810

Obr. 12: Regionální distribuční společnosti v rámci ČR



Obr. 13: Celková délka vedení



**Obr. 14:** Podíl kabelových vedení

Z uvedeného porovnání je patrné, že podíl kabelových vedení u společnosti PREdistribuce dosahuje na hladině nn a vn téměř 100 % a především z tohoto důvodu dosahuje společnost nejnižších hodnot ukazatelů nepřetržitosti. Oproti tomu společnosti ČEZ Distribuce a E.ON Distribuce mají podíl kabelových vedení na hladině nn kolem 50 % a na hladině vn přibližně 20 %.

V následující tabulce jsou uvedeny celosystémové ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny za rok 2013, které zahrnují veškeré kategorie přerušení. Zároveň jsou zde uvedeny hodnoty ukazatelů nepřetržitosti pro Českou republiku přepočteny na celkový počet zákazníků. Tento ukazatel je vykazován vůči orgánům EU.

**Tab. 10:** Ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny v roce 2013

Ukazatel*	ČEZ Distribuce	E.ON Distribuce	PREdistribuce	Česká republika
SAIFI [přerušení/rok]	3,11	2,40	1,04	2,66
SAIDI [min/rok]	402,00	386,66	70,38	354,76
CAIDI [min]	129,13	161,28	67,79	113,47

\* systémové ukazatele, které zahrnují veškeré kategorie přerušení dle přílohy č. 4 k vyhlášce č. 540/2005 Sb.

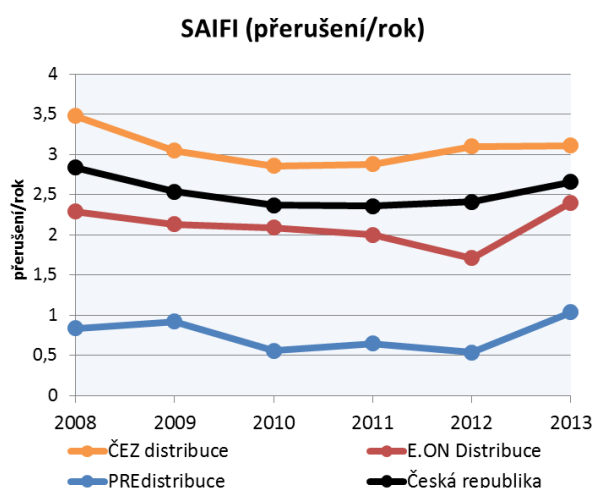
Celkový hladinový nebo systémový ukazatel se skládá ze součtu plánovaných a neplánovaných událostí. Neplánované události pak dále dělíme podle příčin přerušení na poruchová přerušení za obvyklých povětrnostních podmínek, poruchová přerušení

způsobená za nepříznivých povětrnostních podmínek, způsobená jednáním třetí osoby, vynucená přerušení, mimořádná přerušení a události mimo soustavu daného provozovatele.

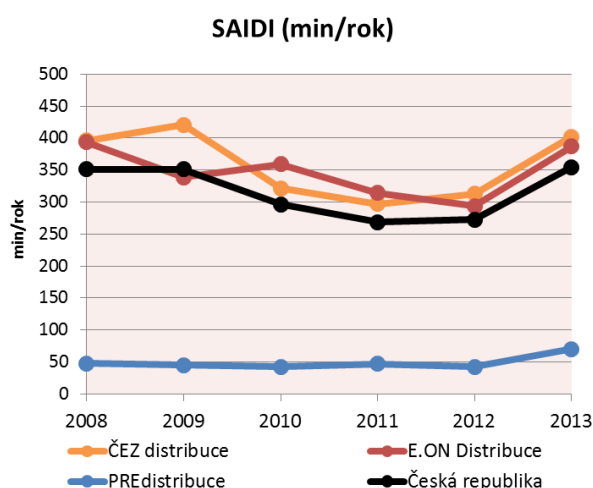
Uvedené dělení je nezbytné pro objektivní náhled na spolehlivost a nepřetržitost dodávek elektřiny v jednotlivých soustavách. Při hodnocení je nutné zohlednit situace, na které nemá provozovatel soustavy vliv. Jedná se především o kategorie přerušení způsobená za nepříznivých povětrnostních podmínek, způsobená jednáním třetí osoby, vynucená, mimořádná a přerušení v důsledku události mimo soustavu.

Jak již bylo uvedeno výše, hodnoty ukazatelů jednotlivých společností nelze mezi sebou jednoduše porovnávat vzhledem k odlišnému charakteru sítí. Z tohoto důvodu je podstatnější sledování časového vývoje ukazatelů pro jednotlivé společnosti, který je znázorněn dále. Časová řada je však k dispozici pouze od roku 2008 a proto nelze činit hlubší závěry o vývoji ukazatelů. Pro úplnost je v grafu znázorněna hodnota ukazatelů za celou Českou republiku. V této souvislosti je potřeba upozornit, že hodnoty za ČR obsahují pouze údaje od regionálních provozovatelů distribučních soustav a nejsou zde tedy započteny údaje od provozovatelů lokálních distribučních soustav.

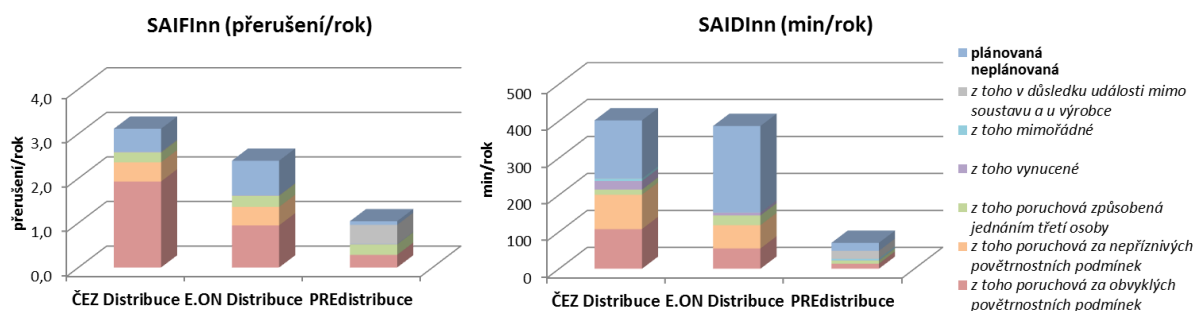
**Obr. 15:** Vývoj ukazatele SAIFI



**Obr. 16:** Vývoj ukazatele SAIDI



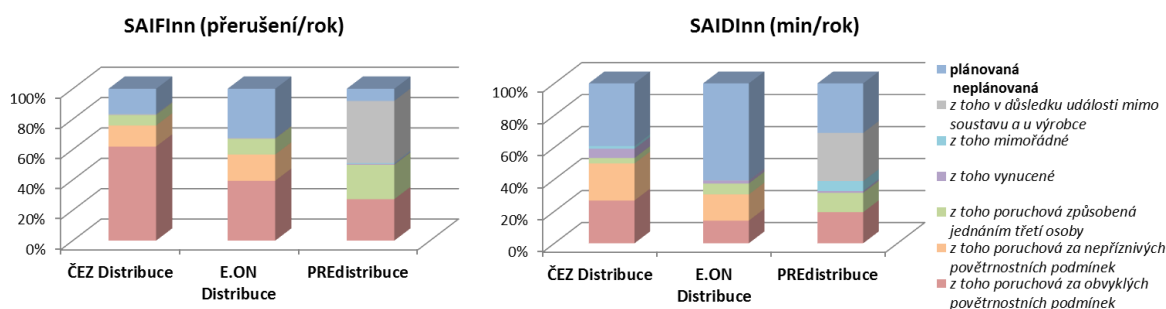
Při detailnějším pohledu na hodnoty ukazatelů SAIFI a SAIDI na hladině nízkého napětí, která má dominantní podíl na celkovém ukazateli, je patrný podíl jednotlivých kategorií přerušení. Uvedené srovnání je provedeno v následujícím grafu.

**Obr. 17, 18:** Ukazatel nepřetržitosti SAIFI a SAIDI na hladině nn

Za pozornost stojí výrazné zvýšení u neplánovaného přerušeni v důsledku události mimo soustavu u výrobce u společnosti PREdistribuce, které bylo způsobeno vnitřní závadou a následným požárem v rozvodně Chodov společnosti ČEPS (viz výše) s následkem výpadku elektřiny na téměř třetině území Prahy. Významný nárůst u neplánovaných přerušeni z důvodu poruch za nepříznivých povětrnostních podmínek zaznamenali společnosti v červenci a srpnu v důsledku bouřek a silných a vytrvalých dešťů a v prosinci jako následek vichřice a námraz. Rovněž na začátku června bylo mimo provoz velké množství trafostanic z důvodu záplav, což mělo vliv na zvýšení počtu přerušeni ať už mimořádných při vyhlášení stavu nouze či vynucených. Za pozornost stojí i poměrně velký počet událostí způsobených v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby a to u všech hodnocených společností. Dále je pak patrný velký podíl přerušeni způsobených za nepříznivých povětrnostních podmínek. Z tohoto důvodu byla zpracována mapa, která zobrazuje oznámené události právě v této kategorii od roku 2008. Z obrázku je patrné, že nejvíce postižená je severní a východní část ČR, především pak oblast v okolí Ostravy.

**Obr. 19:** Mapa mimořádných událostí v ČR



**Obr. 20:** Podíl jednotlivých kategorií přerušení na ukazateli nepřetržitosti na hladině nn (%)

Na základě analýzy vyhodnocení je potřeba věnovat pozornost zejména plánovaným přerušením distribuce elektřiny, jež v průměrné souhrnné době trvání přerušení za rok, ukazateli SAIDI, zauímají u společností ČEZ Distribuce téměř 40 %, PREdistribuce přes 30 % a u společnosti E.ON Distribuce dokonce přes 60 %. Uvedené je patrné z předchozích grafů zobrazujících podíl jednotlivých kategorií přerušení na celkovém ukazateli pro hladinu nízkého napětí.

Zároveň je potřeba poukázat na skutečnost, že plánovaná přerušení nejsou v současné době v ČR nikterak legislativně omezeny a to jak časově tak počtem přerušení. Z tohoto pohledu nejsou provozovatelé distribučních soustav nuceni zkracovat doby trvání plánovaných prací, případně hledat opatření, která by vedla k minimálnímu počtu odpojených zákazníků.

Právě kategorie plánovaných přerušení distribuce elektřiny dává zřejmě největší prostor ke snížení celkových ukazatelů nepřetržitosti a i v porovnání se zahraničím je podíl doby trvání plánovaných přerušení značně vysoký (viz následující kapitola). Před zavedením regulačních opatření je však potřeba vytvořit podrobné analýzy, které budou respektovat veškeré aspekty této problematiky. V opačném případě by hrozilo účelové ovlivnění ukazatelů ze strany provozovatelů soustav. Jednou z možností okamžitého snížení ukazatelů je právě omezení plánovaných přerušení distribuce (tj. oprav, rekonstrukcí, údržby, revizí zařízení) pouze za účelem dodržení nastavených parametrů. Tento krok by se však velice negativně projevil v následujících letech nárůstem neplánovaných přerušení distribuce způsobeným zanedbáním plánovaných prací, což by mělo za následek výrazné snížení kvality dodávek elektřiny.

#### 4.4 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 (podíl kabelových vedení, délky vývodů, stáří sítí atd.), hustotu a charakter odběru a v neposlední řadě i geografické a přírodní podmínky. Zároveň jsou podstatné i historické zkušenosti se sledováním kvality a účel regulace kvality v jednotlivých zemích.

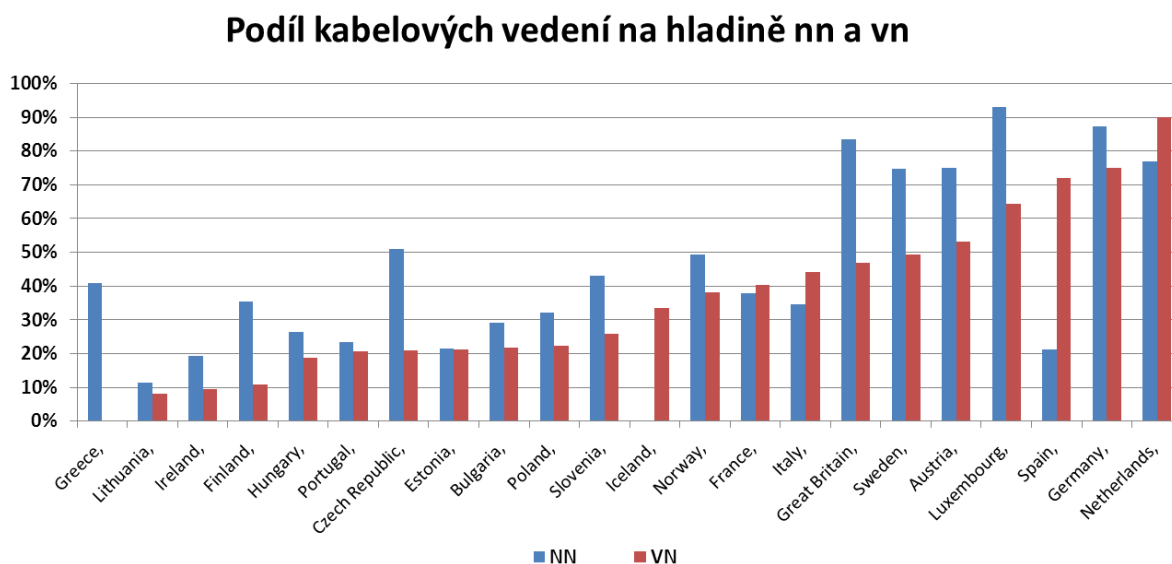
Kvalitu elektřiny lze v tomto ohledu rozdělit na dvě skupiny. První tvoří sledování dodržování předepsaných standardů tzv. *komerční kvalita*, která charakterizuje schopnost distributora či dodavatele reagovat na požadavky zákazníků a nesouvisí přímo s fyzickým provozováním soustav. V jednotlivých zemích EU jsou předepsány standardy kvality, které musí být dodrženy v každém individuálním případě tzv. *garantované standardy*. Tato oblast kvality dodávek však nebude předmětem zájmu uvedeného srovnání.

*Druhou skupinu*, na kterou je zaměřeno uvedené srovnání, tvoří **nepřetržitost dodávek elektřiny**. Nepřetržitost dodávek je hodnocena na základě ukazatelů, které však nejsou v jednotlivých zemích identické. Nejvíce rozšířené, a i v ČR používané, jsou ukazatele SAIFI a SAIDI vztažené na počty zákazníků postižených dlouhodobým přerušením distribuce. Některé země používají ukazatele hodnotící množství nedodané energie v důsledku přerušení či jinou variantu hodnocení. Nicméně ani způsob výpočtu ukazatelů není jednotný a to musí být bráno v úvahu při srovnávání dosahovaných hodnot. Řada zemí do ukazatelů zahrnuje pouze události, na které má přímý vliv provozovatel dané soustavy a z ukazatelů jsou tak vyčleněny události způsobené vyšší mocí, mimořádnými událostmi a nepříznivými povětrnostními podmínkami (např. Rakousko, Německo, atd.).

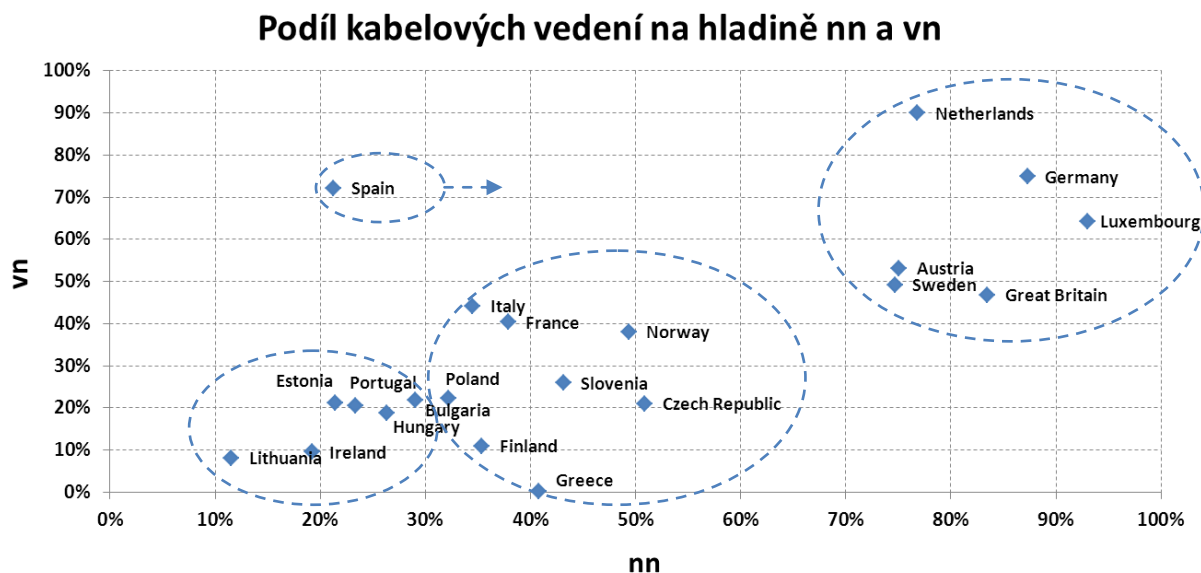
Jak již bylo uvedeno výše, dosahované hodnoty ukazatelů v jednotlivých zemích je obtížné mezi sebou porovnávat bez znalosti bližších skutečností o dané soustavě. Podstatný vliv na hodnoty ukazatelů nepřetržitosti má podíl kabelových vedení. Následující graf uvádí podíl kabelových vedení na hladině nn a vn v jednotlivých zemích. Je patrné, že v řadě zemí je podíl kabelových vedení vyšší oproti ČR. Především u hladiny napětí vn, která má dominantní vliv na ukazatele nepřetržitosti, je např. ve Francii, Rakousku, Německu, Španělsku, Švédsku a Holandsku podíl kabelových vedení i několikanásobně vyšší oproti ČR.

Tato skutečnost se přímo projeví v hodnotách ukazatelů nepřetržitosti uvedených dále, kde země s vyšším podílem kabelových vedení dosahují nižších hodnot.

**Obr. 21:** Podíl kabelových vedení na hladině nn a vn



**Obr. 22:** Skupiny států EU podle podílu kabelových vedení



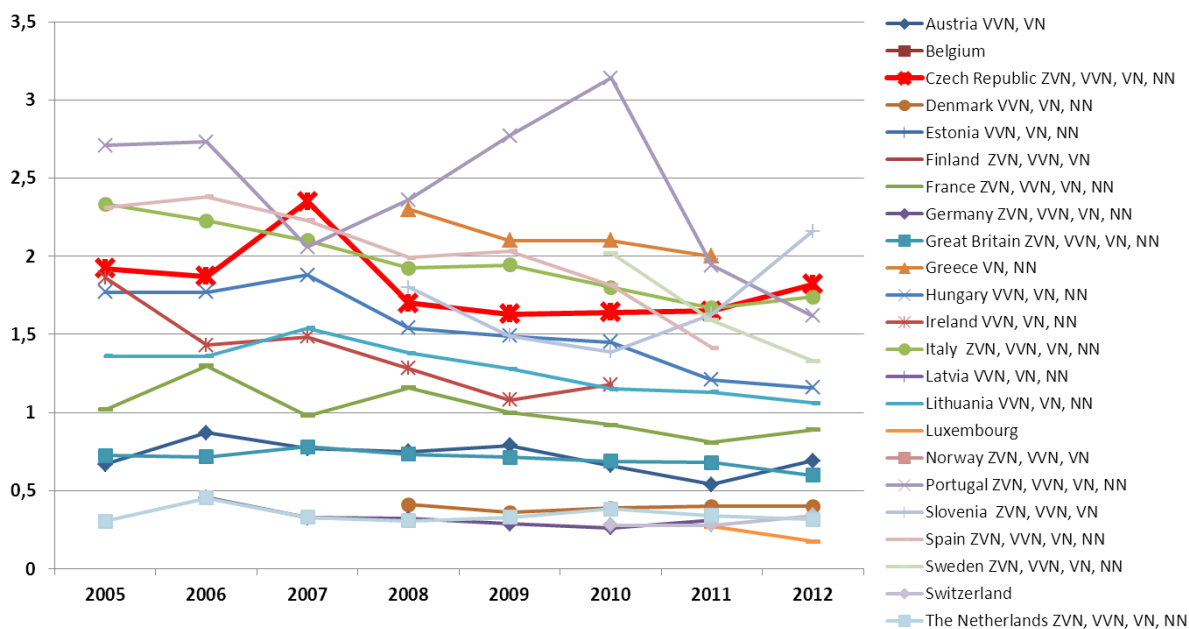
Pokud podíl kabelových vedení na hladině nn a vn dáme do vzájemné závislosti, vyjde nám zajímavé uspořádání jednotlivých států. Uvedené je patrné z předchozího obrázku, ve

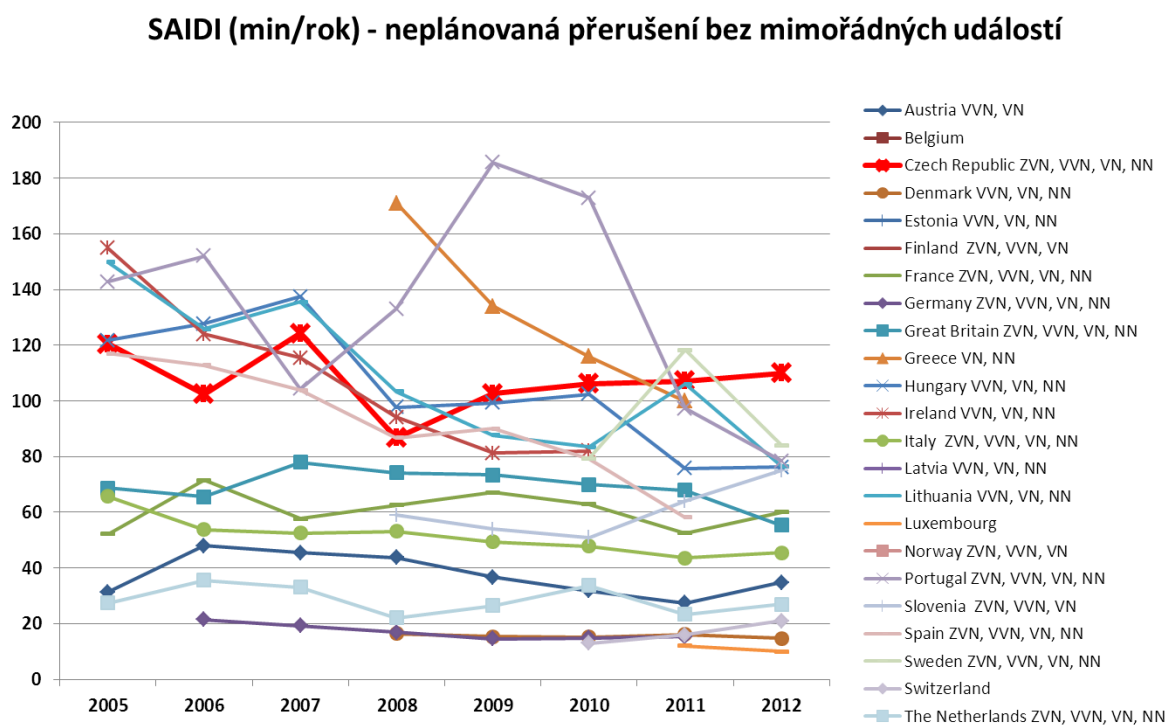
kterém jednotlivé státy tvoří určité skupiny. Státy z jednotlivých skupin je již možné mezi sebou porovnávat (zjednodušeně), jelikož dosahují obdobných hodnot v podílu kabelových vedení na hladinách nn a vn. I tato metoda je však velice zjednodušená a není jednoznačným návodem pro srovnávání daných zemí.

V následující části jsou uvedeny grafy, které zobrazují dosažené hodnoty ukazatelů SAIDI a SAIFI od roku 2005 do roku 2012 rozdělené podle příčiny přerušení na plánovaná a neplánovaná. Je potřeba doplnit, že v hodnocení nejsou zahrnuty země jako Polsko, Slovensko, Rumunsko, Bulharsko, atd., které dosahují výrazně vyšších hodnot ukazatelů nepřetržitosti oproti dále uvedeným zemím. Z důvodu lepší čitelnosti grafů nejsou hodnoty ukazatelů těchto zemí zobrazeny, jelikož mnohdy dosahují až trojnásobku uvedených hodnot a činili by porovnání nepřehledné.

**Obr. 23:** Ukazatele SAIFI - neplánované přerušení (bez mimořádných událostí)

### SAIFI (-/rok) - neplánovaná přerušení bez mimořádných událostí

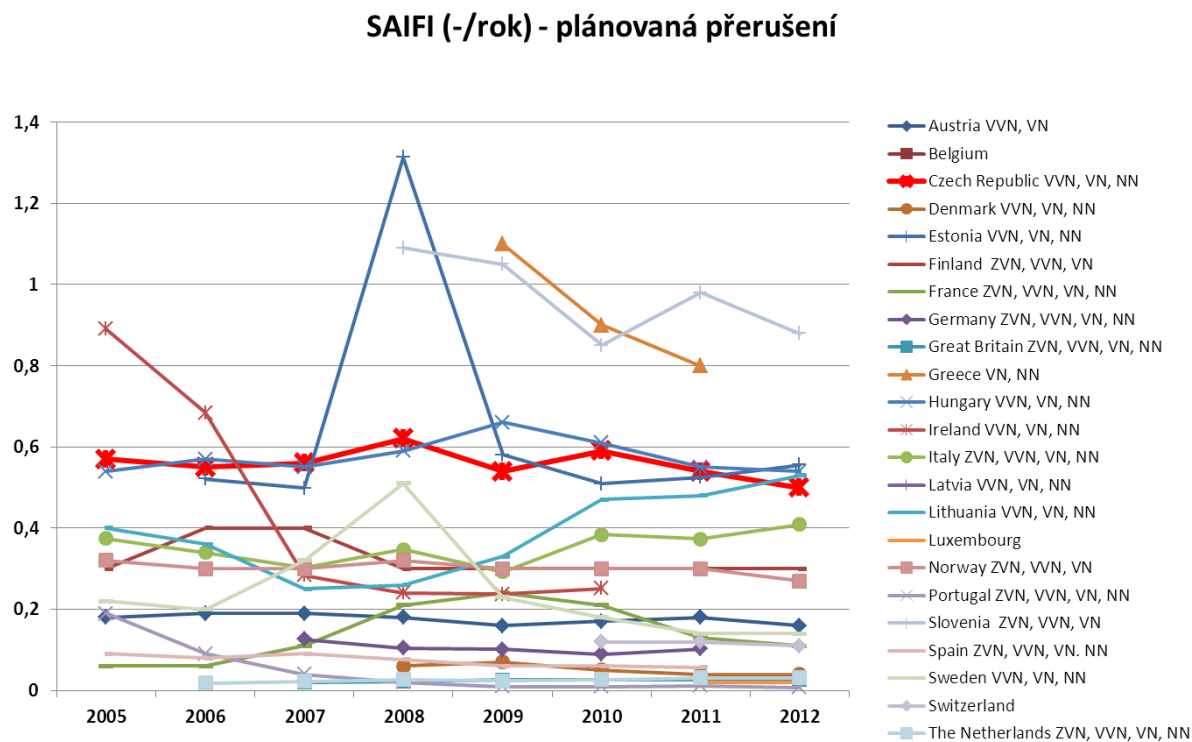


**Obr. 24:** Ukazatele SAIDI - neplánované přerušení (bez mimořádných událostí)

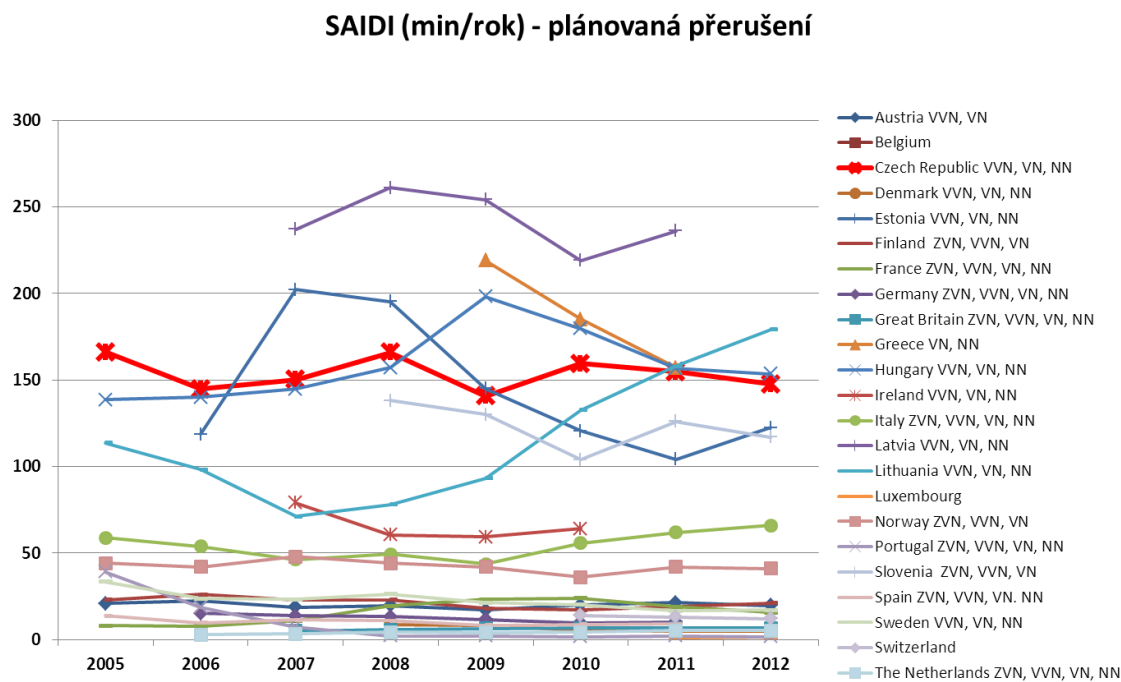
Předchozí grafy zobrazují hodnoty ukazatelů nepřetržitosti, jejichž příčinou jsou neplánovaná přerušení distribuce elektřiny vyjma mimořádných událostí. Z grafů je patrné, že nižších hodnot než ČR dosahují země, které mají podstatně vyšší podíl kabelových vedení a to především na hladině VN. Je potřeba upozornit, že některé země jako např. Rakousko a Norsko nezahrnují do ukazatelů hladinu nízkého napětí, což výrazně ovlivňuje celkovou hodnotu ukazatelů.

Následující grafy zobrazují hodnoty ukazatelů nepřetržitosti zahrnující plánovaná přerušení distribuce. Nejvýraznější rozdíl dosahovaných hodnot je v případě průměrné souhrnné doby trvání přerušení, ukazatele SAIDI, kde se opět projeví vliv kabelových vedení a způsob provozu jednotlivých sítí. Nicméně značný vliv na nízkých hodnotách v zahraničí má i poměrně rozšířený způsob prací pod napětím, kdy nedochází k omezení odběratelů nebo pouze v minimální možné míře. Přestože v ČR provádějí PDS některé práce také pod napětím, je zřejmé, že v oblasti plánovaných přerušení a především v době jejich trvání jsou určité rezervy.

Obr. 25: Ukazatele SAIFI - plánované přerušení

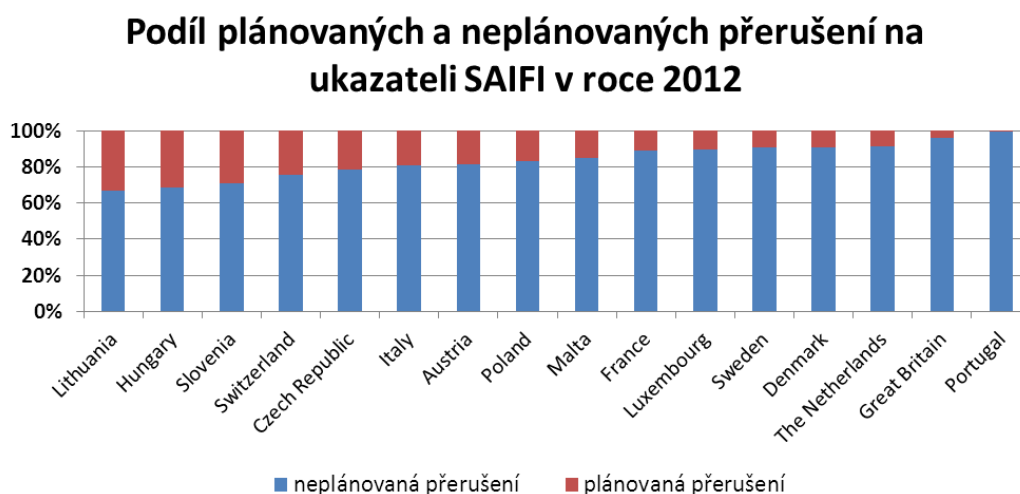


Obr. 26: Ukazatele SAIDI - plánované přerušení

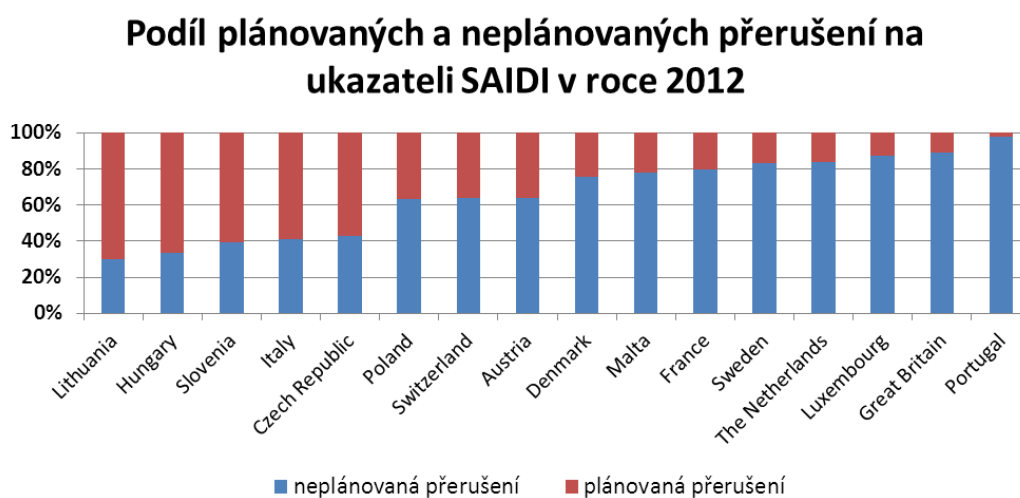


Podíl neplánovaných a plánovaných přerušení na celkovém ukazateli nepřetržitosti v jednotlivých zemích je znázorněn v následujícím grafu. Z uvedeného porovnání je patrné, že v ČR je podíl plánovaných prací značně vysoký, což je i dáno skladbou sítí. Nicméně je pravděpodobné, že právě plánovaná přerušení dávají zřejmě velký prostor pro snížení celkových ukazatelů nepřetržitosti.

**Obr. 27:** Ukazatele SAIFI - podíl plánovaných a neplánovaných přerušení



**Obr. 28:** Ukazatele SAIDI – podíl plánovaných a neplánovaných přerušení



## 5 Opatření pro zlepšení spolehlivosti a kvality dodávek elektřiny

V této části bude 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. Regulačním mechanismům, které mají za cíl přimět provozovatele soustav zabývat se touto problematikou a umožnit implementaci vhodných technických či netechnických opatření pro její zlepšení, se věnuje kapitola č. 6.

**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 (blíže v kapitole 6). V praxi mohou být vytvořeny tzv. dílčí závislosti pro vybraná opatření a vymezené části sítě dané distribuční soustavy. Výběr opatření by měl být individuální s ohledem na poměry v jednotlivých sítích a měl by obsahovat opatření s adekvátními očekávanými efekty. 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 můžeme dále dělit



na několik kategorií podle příčiny vzniku těchto přerušení (podrobnější informace jsou uvedeny v kapitole 4.2.3).

V této souvislosti je nezbytné poznamenat, že neplánovaná přerušení do velké míry závisí na charakteru dané soustavy, geografické poloze, stáří sítě atd. Obecně lze za jeden z nejpodstatnějších vlivů označit podíl kabelových vedení. Z provedeného vyhodnocení dosahované úrovně kvality v ČR i z porovnání se zahraničím je patrné, že hodnoty ukazatelů nepřetržitosti závisí právě na podílu kabelových vedení a to především na hladině vysokého napětí.

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.

Částečně se touto problematikou zabývají práce „Kvalifikace přínosů kabelizace vybraných úseků venkovního vedení vn“ a „Predikce spolehlivosti jako součást analýz přínosů a nákladů opatření ovlivňujících spolehlivost distribučních sítí vn“ autorů Skala, Dětrich, které byly publikovány na konferenci ČK CIREN v letech 2012 a 2013.

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 venkovních i kabelových 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 venkovních sítích),
- rekonstrukce DTS (ve venkovních i kabelových sítích),
- zvýšená frekvence prořezávání (ve venkovních sítích),
- propojení vývodů pro zvýšení zabezpečení záložního napájení (ve venkovních i kabelových sítích).

Uvedená opatření se předpokládá využít především na hladině vn a to zejména z těchto důvodů:

- k hodnotám SAIFI a SAIDI u neplánovaných přerušení dominantně přispívají poruchy na hladině vn,
- počet zákazníků postižených poruchou na nn je výrazně menší než u poruchy na hladině vn,
- zpracování dat pro výsledné analýzy ze sítě nn by bylo náročné, neboť počet zpracovaných vývodů by musel být větší a s ohledem na přínos jednotlivého opatření by to bylo navíc poměrně neefektivní, atd.

Po vyčerpání těchto možností na hladině vn se dá předpokládat zaměření na hladinu nn. Uvedené však neznamená jakékoliv omezení nezbytných oprav, rekonstrukcí, atd., které je nutné z určitých důvodů provést na hladině nn.

## **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, které je uvedeno v kapitole 4.4, 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. Zároveň ze zkušenosti z praxe jsou plánovaná přerušení častým tématem stížností zákazníků, kteří si stěžují na časté a zbytečně dlouhé odstávky.

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 (uvedeným v předchozí kapitole). Neplánovaná přerušení jsou z podstaty náhodné jevy, jejichž výskyt není v čase přesně dán, ale je popsán pravděpodobností. Naproti tomu 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, vypnutím 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** (podrobněji bude uvedeno v závěru kapitoly č. 6).

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:

### 5.2.1 Vyšší četnost využívání prací pod napětím

Práce pod napětím (PPN) se i v podmínkách ČR využívají již řadu let a to jak na hladině nízkého napětí, tak napěťových hladinách vyšších. Jednotlivý provozovatelé soustav disponují speciálními čtami, které jsou pro tento způsob práce vybaveny a proškoleny. Hlavním důvodem je **zajištění nepřetržité dodávky elektřiny**, případně minimalizace přerušení. Přesto, že se tento způsob práce v určitých případech využívá, zcela jistě **není využit možný potenciál**. Toto opatření je v některých zemích hojně využíváno (např. Francie) a výrazně tak přispívá ke snižování hodnot ukazatelů nepřetržitosti. Pro práce pod napětím existuje řada pracovních postupů. Obecně lze říci, že mezi obvyklé práce prováděné pod napětím obecně patří:

- údržba úsečnicků na venkovním vedení,
- montáž zábran proti ptactvu,
- odpojení/připojení vedení,
- rozpojení/spojení vedení (pro užší vymezení místa práce na vedení – snížení počtu omezených DTS),
- výměna izolátoru, konzole atd.

Maximální roční potenciální počty PPN jsou dány celkovými počty událostí, u kterých by byly jednotlivé postupy použitelné. Dá se předpokládat, že při využití PPN nevznikne žádné dlouhodobé přerušení, které by přispělo k ukazatelům SAIFI<sub>Q</sub>, SAIDI<sub>Q</sub>.

Pro ekonomické hodnocení však bude nutné počítat s rozdílem (zvýšením) nákladů proti provedení práce „klasickým“ způsobem. Tyto náklady jsou pro jednotlivé provozovatele soustav provozními náklad, kterými se zabývá kapitola č. 6.

### 5.2.2 Využívání náhradních zdrojů

V současné době dochází k využívání náhradních zdrojů v ojedinělých případech, kdy je nezbytné zajistit nepřetržitost dodávek (v individuálních případech). Obvykle daný odběratel disponuje vlastním náhradním zdrojem, či využije některou z nabídek na zapůjčení (služby nabízí jak provozovatelé soustav, tak specializované firmy). Ve většině případů se jedná o odběratele, u kterých finanční náklady na pořízení (či zapůjčení) zdroje nepřevyšují případné ztráty v důsledku přerušení dodávek elektřiny. **Nedochází však k využívání náhradních zdrojů cíleně ze strany provozovatele soustavy s úmyslem snižovat ukazatele nepřetržitosti.** Za tímto účelem by se dalo využívání náhradních zdrojů uvažovat pro plánované práce s omezením distribuce elektřiny především na venkovních vedeních vn a v DTS v kabelových či venkovních sítích.

Maximální roční potenciální počet plánovaných prací je rovný celkovému počtu těchto prací. Eventuálně by se dalo uvažovat s variantami nižší četnosti nasazení náhradních zdrojů na základě následujícího omezujícího předpokladu:

- omezení jen na práce s dobou trvání delší než zvolený limit (*například delší než 3 hod nebo delší než průměrná doba trvání přerušení při plánovaných pracích apod.*),
- omezení jen na práce vedoucí k přerušení ve více dnech u stejných zákazníků, atd.

Předpokladem je, že při využití náhradního zdroje nevznikne žádné dlouhodobé přerušení, které by přispělo k ukazatelům SAIFI<sub>Q</sub>, SAIDI<sub>Q</sub>. Současně by měly být odhady snížení ukazatelů korigovány určitým faktorem, který by reflektoval případy, kdy byla práce naplánována s využitím náhradního zdroje (tj. bez omezení zákazníků), ale kvůli nepředvídatelným okolnostem nebyla realizována (zejména klimatickým vlivům, atd.). V praxi se občas stává, že z různých důvodů není možné dostat náhradní zdroj na požadované místo atd.

Pro ekonomické hodnocení musí být uvažovány náklady na provoz zdroje, které jsou závislé na počtu nasazení, době provozu a výkonu (tj. náklady na naftu) a dále náklady na použití zdroje, závislé pouze na počtu nasazení (tj. náklady na přepravu, náklady na obsluhu při připojení a odpojení a ostatní stálé náklady).

### 5.2.3 Využívání tzv. „bypassů“

Bypassem zde rozumíme provizorní vedení postavené dočasně vedle části stávajícího vedení (obvykle venkovního vedení vysokého napětí), které je pro práci odstaveno. Toto opatření se dá předpokládat v případech rozsáhlejších rekonstrukcí trvajících více dní až měsíců. Smyslem bypassu je uvolnění vedení a zajištění napájení zákazníků.

Použití bypassů přichází v úvahu v poměrně specifických případech. Maximální roční potenciální počet plánovaných prací lze tedy určit například podle počtu rekonstrukcí na venkovních vedeních vn trvajících více dní. Pro ekonomické hodnocení bude opět nutno počítat s náklady na výstavbu a demontáž vedení a s náklady na pořízení případně pronájem.

### 5.2.4 Lepší koordinace práce při provádění plánovaných prací

Lepší koordinace práce při provádění plánovaných prací je neméně důležitým opatřením pro snížení ukazatelů nepřetržitosti, které je však dosti obtížně uchopitelné, jelikož nemá žádné měřitelné indikátory. Pokud uvážíme, že distribuční společnosti v ČR mají podíl plánovaných přerušení na celkovém ukazateli SAIDI zhruba 50 % (na ukazateli SAIDI<sub>Q</sub> ještě větší podíl - viz kapitola č. 4.3), je zřejmé, že v této oblasti je velký potenciál pro snižování celkových ukazatelů.

Lepší koordinace práce v této souvislosti znamená **zefektivnění jednotlivých postupů a činností s cílem minimalizovat ukazatele nepřetržitosti**. Konkrétně se může jednat o slučování jednotlivých plánovaných prací, cílenější vymezení oblasti (vývodů) kde je nezbytné omezit nebo přerušit dodávku, atd. Zároveň se dá předpokládat, že toto opatření bude mít **minimální (až nulové) náklady**, což je značná výhoda oproti jiným opatření, které mohou být dosti nákladné.

Vzhledem k tomu, že nelze exaktně určit potenciální přínos tohoto opatření, který by byl aplikovatelný na libovolnou společnost a soustavu, je nezbytné přínos opatření odhadnout. Odhad by měl být ale založen na znalosti dané soustavy a po seznámení se stávajícím postupem využívaným při provádění plánovaných prací daným provozovatelem soustavy.

### 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 přerušování a zároveň jako podklad pro nastavení požadovaných cílů v rámci regulace kvality (nepřetržitosti).

Vzhledem k tomu, že do motivační regulace kvality vstupují plánovaná i neplánovaná přerušování (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 přerušování s výstupy opatření v oblasti plánovaných přerušování. 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 přerušování 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 bude 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 (uvedeny v kapitole č. 5) 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.

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 konečné zákazníky.** Důležitým prvkem při návrhu regulatorních opatření je i znalost zkušeností jiných zemí s využívanými metodami včetně příčin jejich zavedení a důsledků. Z tohoto důvodu bude pozornost věnována i vývoji regulace na liberalizovaném trhu s energiemi konkrétně pak regulaci kvality dodávek elektřiny.

### 6.1 Vliv orgánů a institucí na spolehlivost a kvalitu dodávek elektřiny

Zajištění spolehlivosti a kvality dodávek elektřiny je **jedním ze základních cílů na liberalizovaném trhu s elektřinou.** Proces liberalizace vedl k rozdělení původně spojených činností tj. výroby, přenosu a distribuce elektřiny a zároveň umožnil rozvoj obchodu s elektřinou. Konkurenční principy uplatňované v obchodní oblasti však nelze implementovat do oblasti tzv. přirozeně monopolních činností jako je přenos a distribuce elektřiny. Z tohoto důvodu je nezbytné zavádět regulatorní opatření, která dlouhodobě zabezpečí bezpečnou dodávku elektřiny jednotlivým zákazníkům a to v požadovaném množství, kvalitě a pokud možno i za „přiměřenou“ cenu.



**Liberalizace trhu s elektřinou** přinesla do původně čistě technického odvětví ekonomický pohled. Lze tak usuzovat i z definice spolehlivosti, jak je definována sdružením evropských regulátorů CEER: „*Dodávka elektřiny v požadovaném množství, čase, při zachování stanovených technických ukazatelů a za co nejnížší cenu*“. Pro zajištění spolehlivé a kvalitní dodávky elektrické energie je nezbytné skloubit pohled **legislativní, provozní a podpůrný**. Na řešení uvedené problematiky se podílejí jak přenosové či distribuční společnosti, tak odběratelé elektrické energie a to s využitím technických prostředků pro zlepšení kvality, IT systémů, využívajících dat a informací, potřebných pro řídicí a optimalizační procesy.

Činnosti jednotlivých institucí v elektroenergetice, které se mimo jiné podílí na procesu zajištění kvality dodávek elektřiny, jsou v ČR vymezené energetickým zákonem (zákon č. 458/200 Sb.), definujícím podmínky podnikání a výkon státní správy v energetických odvětvích.

**Ministerstvo průmyslu a obchodu** (MPO) je zastřešující orgán státní sféry pro celou oblast energetiky, má mimo jiné na starosti státní energetickou koncepci a zabezpečuje plnění závazků vyplývajících z mezinárodních smluv, kterými je ČR vázána. **Energetický regulační úřad** (ERÚ) má zejména na starosti ochranu zájmů zákazníků a spotřebitelů s cílem uspokojení všech přiměřených požadavků na dodávku energií a ochranu oprávněných zájmů držitelů licencí, jejichž činnost podléhá regulaci. Zároveň mimo jiné stanovuje požadovanou kvalitu dodávek a služeb souvisejících s regulovanými činnostmi. **Provozovatel přenosové soustavy** (ČEPS, a.s.) je zodpovědný za zajištění přenosu elektřiny a zajištění rovnováhy mezi výrobou a spotřebou elektrické energie v každém okamžiku. Úloha **operátora trhu** (OTE, a.s.) je na trhu s elektřinou specifická, kdy jedním z úkolů je poskytnout účastníkům trhu nástroje k vyrovnání svých pozic před termínem dodávky, a tak snížit možnost vzniku odchylky, která by musela být vyrovnána provozovatelem přenosové soustavy. Úlohy těchto čtyř institucí se tak při zajištění kvalitní a spolehlivé dodávky elektrické energie velmi prolínají, navíc je jejich snahou dosáhnout co možno nejnížší cenu při zajištění bezpečné a kvalitní dodávky.

Důležitou úlohu v oblasti kvality má Energetický regulační úřad, který stanovuje požadovanou kvalitu dodávek elektřiny a souvisejících služeb. Jednotlivé oblasti kvality elektřiny lze ze strany regulačního úřadu ovlivňovat **čtyřmi hlavními nástroji**, které jsou

doporučeny sdružením evropských regulátorů CEER a aplikovány v řadě zemí EU. Jedná se o následující:

- **sledování a zveřejňování dosahované úrovně kvality** jednotlivých společností,
- **stanovení standardů kvality**, které předepisují minimální požadovanou úroveň kvality v každém individuálním případě,
- zavedení tzv. **motivační regulace kvality**, což je nastavení požadované úrovně kvality poskytovaných služeb ve vztahu k jejich ceně,
- další z možností je doporučení častějšího využívání kontraktů na tzv. **nadstandardní kvalitu** dodávek elektřiny mezi zákazníky a jednotlivými společnostmi.

## 6.2 Liberalizace trhu a regulace kvality

Liberalizace trhu s energiemi, probíhající v posledních dvaceti letech zejména v Evropě, Severní Americe, Latinské Americe, Austrálii a Novém Zélandu, významně zasáhla i do způsobu ekonomické regulace celého odvětví. V mnoha zemích byly zavedeny mechanismy ekonomické regulace, využívající různé regulační metody, počínaje regulací typu „*cost of service*“ či „*rate of return*“ a „*motivační*“ regulací konče („*revenue-cap*“, „*price-cap*“).

Zvláště poslední ze zmíněných metod regulace přinášela očekávání, že uplatněný regulační mechanismus bude motivovat regulované společnosti k redukci nákladů a ke zlepšení kvality služeb cestou zefektivnění nákladů. Zároveň, že bude společnosti stimulovat k zavádění nových produktů a služeb a k efektivnímu vynakládání investičních prostředků do síťové infrastruktury. Počáteční přílišná koncentrace regulátorů na ekonomickou motivační regulaci a na motivaci regulovaných společností k zefektivnění provozu sítí měla v mnohých případech jen částečný úspěch. Souvislostí mezi ekonomickou motivační regulací a kvalitou se v obecné rovině zabývá řada autorů např. *Anna Ter-Martirosyan, Joskow* [35, 42].

Praxe potvrdila teoretické předpoklady o tom, že ekonomická regulace bez patřičné vazby na regulaci kvality poskytovaných služeb **může znamenat v konečném důsledku zhoršení kvality těchto služeb** např. [42] uvádí, že zavedením regulace „*price cap*“ sice společnosti sníží své náklady, ale jednoznačně na úkor zhoršení kvality. Například

v Argentině, kde byla ekonomická motivační regulace zavedena v roce 1991, se vlivem absence regulace kvality prokazatelně snížila kvalita dodávek elektrické energie (Gómez, 2000). Obecně tedy aplikovaná motivační ekonomická regulace motivuje sice regulované společnosti ke snižování nákladů, přitom však společnosti často neberou přílišné ohledy na kvalitu sítě a kvalitu poskytovaných služeb. Kvalita sítí a poskytovaných služeb se tak v mnohých případech v důsledcích ekonomické regulace trhu výrazně zhoršila a v některých případech se dostala i na hranici bezpečného provozu. Vlivem zhoršené kvality sítí mohou v řadě zemí narůstat požadavky provozovatelů přenosových sítí na velikost podpůrných služeb, což v konečném důsledku zvýší jejich cenu, jak je např. uvedeno v [41]. Takto poddimenzované energetické sítě se následně stávají bezpečnostní hrozbou a v době stále výraznějšího vlivu nepredikovatelných výrobních zdrojů i jedním z prvků rozsáhlých výpadků dodávek elektřiny tzv. „**black-out**“.

Souvislost mezi kvalitou dodávek elektrické energie a „**black-outem**“, který postihl v roce 2003 severní část Spojených států a část Kanady, je popsána v závěrečné zprávě [33]. Kvalita a spolehlivost dodávek elektrické energie také úzce souvisí s podporou obnovitelných zdrojů energie a jejich dopadem na trh s elektřinou. Jak uvádí (Haas R., 2013) [39] rozvoj obnovitelných zdrojů energie způsobil bezesporu nárůst ceny na trhu s elektřinou a obnovitelné zdroje energie ovlivňují i kvalitu dodávky elektrické energie. Zatímco některé studie (João Pedro Gouveia, 2014) [36] uvádějí, že zvýšená penetrace obnovitelných zdrojů energie (zejména větrných elektráren) nemá přímý vliv na kvalitu dodávky elektrické energie a elektrizační soustava je připravena na rozvoj těchto zdrojů, většina autorů se shoduje, že nárůst instalovaného výkonu obnovitelných zdrojů energie bez současného rozvoje elektrizační soustavy obecně způsobí **zhoršení kvality dodávky elektřiny** např. (Joana Portugal-Pereira, 2014) [37]. Tento názor potvrzují i zkušenosti z ČR s rozvojem především fotovoltaických elektráren.

V těchto souvislostech si v poslední době regulační orgány v mnoha zemích začaly stále více uvědomovat závažnost důsledků přílišné orientace pouze na ekonomickou regulaci a nutnost realizace opatření směřujících k **provázání ekonomické regulace s regulací kvality**. Nejen v teorii platí, že cena služby a její kvalita jsou těsně svázány tj., že vyšší kvalita dodávek obvykle stojí více peněz, což se odráží ve vyšší ceně služeb. Jak uvádí např. Kaufmann [34] optimální úroveň kvality by měla být založena na rovnováze mezních nákladů a zisků

jednotlivých společností. Jak uvádí např. (*Christian Growitsch, 2010*) [38]: „The optimal quality level is where the marginal customer benefit of additional quality equals the marginal cost of supplying it.“ Jinými slovy, uživatel sítě je ochoten platit za poskytovanou službu vyšší cenu jen v případě, jestliže jeho marginální užitek z vyšší kvality poskytované služby je stejný nebo vyšší, než je nárůst ceny poskytované služby. Naopak v některých případech je uživatel sítě ochoten slevit z požadavků na kvalitu dodávky elektrické energie, ovšem za předpokladů finanční kompenzace zhoršené kvality dodávky, jak např. uvádí (*D. A. Hensher, 2013*) [40].

***Z uvedených důvodů 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.***

### **6.3 Zavedení integrované motivační regulace v Evropě**

Rada evropských regulátorů (CEER) vytvořila v roce 2000 pracovní skupinu k identifikaci a porovnání kvality dodávek elektřiny a její regulace v jednotlivých zemích EU. V té době se jednalo o Velkou Británii, Holandsko, Norsko, Španělsko, Itálii a Portugalsko, kde byly na státní úrovni vytvořeny instituce regulačních orgánů, které mimo jiné regulovaly právě kvalitu služeb. Tato pracovní skupina v roce 2001 vytvořila zprávu „Kvalita dodávek elektřiny: Úvodní srovnávací studie aktuální úrovně standardů a regulačních strategií“ (*CEER, Quality of Electricity Supply: Initial Benchmarking on Actual Levels, Standards and Regulatory Strategies*) [14]. Studie především definovala, co je z pohledu regulátora míněno kvalitou dodávky elektřiny a souvisejících služeb a dále se zabývala se principy a mechanismy regulace kvality. V roce 2003 byla skupina rozšířena z původních šesti účastníků o další regulátory skoro všech zemí EU. V září 2003 byla rozšířenou pracovní skupinou vytvořena Druhá srovnávací studie kvality dodávky elektřiny (*CEER, 2nd Benchmarking Report on Quality of Electricity Supply*) [15], která se zaměřila na porovnání aktuálních úrovní a standardů komerční kvality a kontinuity dodávky v různých evropských zemích. Cílem skupiny bylo zmonitorovat a vyhodnotit tzv. integrovanou motivační regulaci kvality dodávek elektrické energie, která by měla do stávající metody regulace zavést ukazatele kvality. V současné době se připravuje vydání již šesté zprávy regulátorů v této oblasti.

V jednotlivých zemích Evropské unie existuje do jisté míry podobný přístup k definici kvality dodávek elektřiny. Ve většině zemí, u kterých regulační autority přistoupily k aplikaci integrované motivační regulace kvality, jsou předmětem regulace distribuce elektřiny a v menší míře i přenos elektřiny. Měřítkem výkonnosti regulovaných společností je zpravidla dosahovaná úroveň spolehlivosti dodávky. Výjimečně jsou mezi ukazatele výkonnosti zahrnovány i některé ze standardů komerční kvality.

**Integrované motivační mechanismy regulace** se začaly v širším měřítku vyvíjet a uplatňovat v Evropě na počátku tohoto století. Podle poslední srovnávací studie CEER (5<sup>th</sup> CEER Benchmarking Report on The Quality of Electricity Supply) [18] byla integrovaná motivační regulace pro distribuci elektřiny uplatňovaná v osmi z devatenácti sledovaných evropských zemí, a to ve Velké Británii, Maďarsku, Irsku, Itálii, Norsku, Portugalsku, Švédsku a Estonsku. Vedle již zmiňovaných zemí byl integrovaný motivační režim regulace dále zaveden v roce 2007 i v Holandsku a Německu.

V obecné rovině se způsobům motivačních mechanismů regulace v různých zemích Evropy věnují autoři v knize (Fumagalli Elena, 2007) [10], podrobněji je pak tato problematika s konkrétním příkladem vyhodnocování standardů kvality v Itálii diskutována v článku (Virendra Ajodhia, 2006) [31]. Integrovanou motivační regulací ve Švédsku se zabývá článek (Alvehag, 2012) [44]. Autoři v článku např. uvádějí, že zavedení regulace kvality znamená nová finanční rizika pro provozovatele distribučních sítí.

Při integrovaném motivačním způsobu regulace lze obecný vzorec pro ekonomickou regulaci typu „price cap“ nebo „revenue cap“ se zahrnutím parametru kvality služeb zapsat ve formě:

$$PV_t = PV_{t-1} * (1 + RPI - X) \pm Q \quad (92)$$

- kde  $PV$  je obecný symbol pro výnos,  
 $t$  je pořadové číslo regulovaného roku,  
 $RPI$  je index růstu spotřebitelských cen,  
 $X$  je faktor efektivity,  
 $Q$  je finanční vyjádření penalizace nebo bonusu za (ne)dosažení požadované úrovně kvality služeb.

## 6.4 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“. Regulační úřad si byl vědom výše naznačené možnosti zhoršení kvality služeb, poskytovaných regulovanými subjekty v reakci na zavedený způsob ekonomické regulace, proto ještě téhož roku vydal předpis, ve kterém definoval ukazatele kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb a zásady jejich dodržování. V České republice však byla zavedena pouze věcná regulace kvality dodávek elektřiny. Rozhodnutí regulačního úřadu o uplatnění věcné regulace v oblasti kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb bylo plně v souladu s obecnými trendy na liberalizujících se evropských elektroenergetických trzích, kde se začaly postupně uplatňovat standardy dodávek elektřiny a souvisejících služeb zákazníkům energetických společností a začal být uplatňován i do jisté míry podobný přístup k regulaci těchto standardů. Z důvodů omezených pravomocí regulačního orgánu se však stále jedná pouze o věcnou regulaci na úrovni vyhlášky. Věcná regulace nemá vliv na samotný regulační vzorec a nikterak nemotivuje regulované subjekty k investicím spojených se zlepšením kvality dodávky elektrické energie.

Od roku 2001 je v České republice zavedena motivační regulace povolených výnosů činnosti přenosu a distribuce elektřiny založená na výrazu:

$$PV_t = PN + O_t + Z_t \quad (93)$$

- kde  $t$  je pořadové číslo regulovaného roku,  
 $PN$  [Kč] jsou povolené náklady provozovatele přenosové nebo distribuční soustavy nezbytné k zajištění přenosu nebo distribuce elektřiny,  
 $O_t$  [Kč] jsou odpisy dlouhodobého hmotného a nehmotného majetku provozovatele přenosové nebo distribuční soustavy sloužícího k zajištění přenosu nebo distribuce elektřiny,  
 $Z_t$  [Kč] 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.

Regulační 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 (podrobnosti uvedeny dále).

#### **6.4.1 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**. Za nedodržení standardů se podle energetického zákona poskytuje náhrada ve výši stanovené touto vyhláškou. Dále je na základě vyhlášky úřadem sledována a vyhodnocována nepřetržitost přenosu a distribuce elektřiny v přenosové soustavě a v distribučních soustavách. Vyhodnocení nepřetržitosti je provedeno výše v textu práce.

Standardy kvality lze pro přehlednost rozdělit do dvou základních skupin. Jedná se o standardy distribuce elektřiny (§ 5 až 18) a standardy dodávek (§ 19 a 20). Standardy distribuce elektřiny můžeme dále rozdělit na dvě skupiny. První část tvoří informace vztahující se k plynulosti dodávek elektřiny v sítích, čili údaje, které jsou ovlivňovány poruchovými nebo plánovanými událostmi v provozovaných distribučních soustavách. Na základě podkladů k těmto standardům jsou následně i počítány ukazatele nepřetržitosti. Jedná se o standardy:

- § 5 Standard ukončení přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny,
- § 6 Standard dodržení plánovaného omezení nebo přerušení distribuce elektřiny.

Druhá část obsahuje standardy spojené s tzv. *komerční kvalitou*, která charakterizuje schopnost distributora či dodavatele reagovat na požadavky konečných zákazníků a nesouvisí přímo s fyzickým provozováním soustav. Jedná se následující standardy:

- § 7 Standard výměny poškozené pojistky,
- § 8 Standard kvality napětí,
- § 9 Standard lhůty pro vyřízení reklamace kvality napětí,
- §10 Standard lhůty pro odstranění příčin snížené kvality napětí,
- §11 Standard zaslání stanoviska k žádosti o připojení zařízení k PS nebo DS,
- §12 Standard umožnění přenosu nebo distribuce elektřiny,
- §13 Standard ukončení přerušení distribuce elektřiny z důvodu prodlení zákazníka nebo dodavatele sdružené služby s úhradou plateb za poskytnutou distribuci elektřiny,
- §14 Standard ukončení přerušení distribuce elektřiny na žádost dodavatele,
- §15 Standard výměny měřicího zařízení a vyrovnání plateb,
- §16 Standard předávání údajů o měření,
- §17 Standard lhůty pro vyřízení reklamace vyúčtování distribuce elektřiny,
- §18 Standard dodržení termínu schůzky se zákazníkem.

Standardy dodávek obsahují pouze dva standardy a to:

- § 19 Standard zajištění ukončení přerušení dodávky elektřiny z důvodu prodlení zákazníka s úhradou plateb za odebranou elektřinu,
- § 20 Standard lhůty pro vyřízení reklamace vyúčtování dodávky elektřiny.

### **6.4.2 Motivační regulace kvality**

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

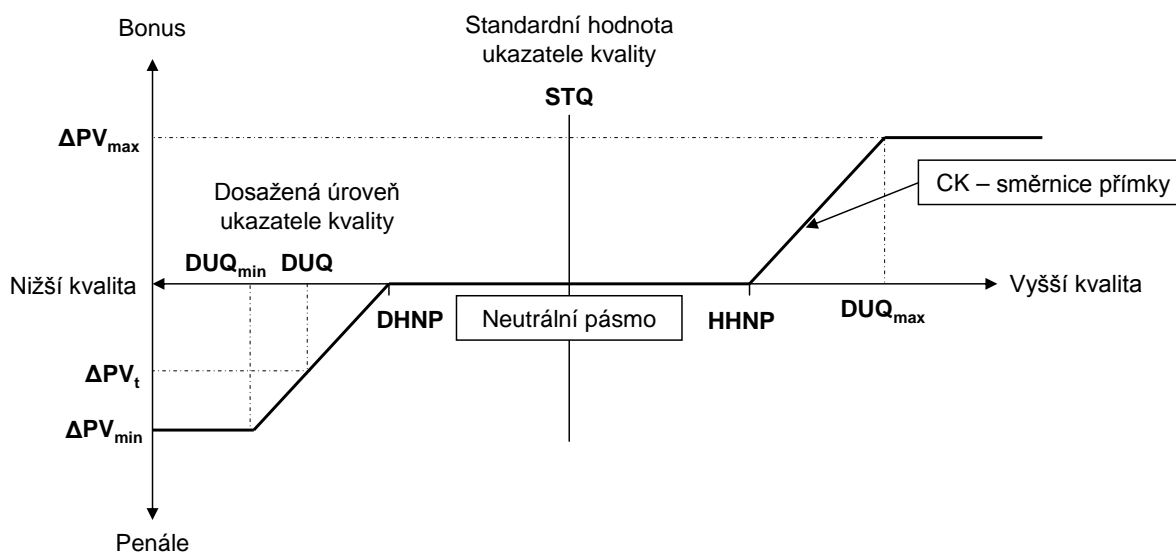
Jak již bylo uvedeno, metodika regulace pro třetí regulační prostředí, tj. od roku 2009 do 2014 (následně prodlouženo do roku 2015), zavádí tzv. motivační regulace kvality, jejímž cílem je nastavení požadované úrovně kvality poskytovaných služeb ve vztahu k jejich ceně. Vzorec pro výpočet povolených výnosů regulovaného subjektu je doplněn o člen, který upravuje hodnotu povolených výnosů o finanční vyjádření penále nebo bonusu za dosaženou úroveň kvality.

Kvalita síťových služeb je v této souvislosti měřena prostřednictvím kombinace ukazatelů nepřetržitosti SAIDI a SAIFI, zastoupených ve stejném poměru (myšleno max. výše bonusu/penále), a to při vyhodnocování dodržení nastavených limitů. Výše penále nebo bonusu za dosaženou úroveň distribuce elektřiny se stanoví v závislosti na dosažené úrovni ukazatele kvality distribuce elektřiny vzhledem k úřadem stanovené hodnotě.

Pro jednotlivé držitele licence jsou stanovovány individuální parametry ukazatele kvality. V případě distribuce elektřiny jsou hodnoty dosažené úrovně kvality určeny jako celosystémové, tj. pro celou distribuční síť příslušného provozovatele soustavy bez rozlišení napěťových úrovní dodávky elektřiny či jednotlivých oblastí.

V této souvislosti lze pro informaci uvést, že v řadě zemí byla regulace kvality zavedena z jiných důvodů a tomu odpovídají i jednotlivé prvky mechanismů. Například v Itálii byla zavedena regulace kvality z důvodu vyrovnání velkých rozdílů mezi kvalitou dodávek na severu a jihu země. Z těchto důvodů mohou být využívány i jiné ukazatele než celosystémové. Běžně se využívají ukazatele s územním (oblastním) členěním například podle velikosti měst či jiné.

Současně s požadovanými parametry kvality jsou stanovovány „horní a dolní meze“, nad které již není možné uplatnit vyšší bonifikaci, resp. penalizaci. Dále se využívá uplatnění tzv. „neutrálního pásma“ tj. rozptylu hodnot dosažené kvality od stanovené hodnoty, v rámci kterého zůstávají finance nezměněny. Tímto prvkem je možné eliminovat nahodilé drobné meziroční výkyvy (tj. necílené změny) v kvalitě. Mechanismus motivační regulace v oblasti kvality je vyjádřen na následujícím obrázku.

**Obr. 29:** 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 regulovanému zisku,
- $MIN$  je procentuální vyjádření penále ve vztahu k regulovanému zisku,
- $DHNP$  je dolní hranice neutrálního pásma (vyjádřená jako procento z  $STQ$ ),
- $HHNP$  je horní hranice neutrálního pásma (vyjádřená jako procento z  $STQ$ ),
- $STQ$  je hodnota požadované úrovně ukazatele kvality (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.

## 6.5 Navržení nového mechanismu regulace kvality

Před vlastním uvedením úpravy možného způsobu regulace kvality je nezbytné uvést některá zásadní fakta. V první řadě je potřeba zdůraznit obecnou zásadu, z níž vycházejí všechny aplikované standardní metody integrované motivační regulace: motivační regulace kvality je doplňujícím mechanismem ke standardní ekonomické regulaci příjmů nebo cen přirozeně monopolních činností. Jejím účelem je zajistit, aby spotřebitelům regulovaných služeb byla poskytována správná úroveň kvality s ohledem na cenu služeb, zaručenou mechanismem ekonomické regulace, a spotřebitelské preference (ochotu platit za kvalitu).

Při standardním způsobu regulace je regulovaným subjektům předem „nastavena“ trajektorie celkových povolených příjmů nebo cen na delší časové období. Úroveň celkových příjmů je přitom nastavena tak, aby zajistila regulovanému subjektu pro celé regulační období potřebnou výši provozních nákladů, spojených s provozem a údržbou sítě, potřebnou výši kapitálových nákladů ve formě odpisů, sloužících k obnově provozované sítě a potřebnou výši kapitálových nákladů ve formě zisku, sloužících k rozvoji sítě a úhradě výnosů z kapitálu, vloženého do podnikání investorem.

Současná metoda regulace elektroenergetiky v oblasti kvality dodávek elektrické energie **není v ČR přímo propojena s kapitálovými výdaji do obnovy a rozvoje sítí**. V současné době sice existuje v legislativě teoretický mechanismus úpravy povolených výnosů v podobě bonusu nebo penále za dodržení nebo nedodržení příslušných parametrů kvality dodávky elektrické energie, ale **regulační úřad nemá přímý nástroj jak motivovat popř. donutit provozovatele distribučních soustav k přiměřeným investicím do svých sítí**.

Stejně tak není žádná vazba mezi ukazatelem kvality (komponentou Q) a provozními výdaji. Komponenta je tak pouze ve formě bonusu/penále za dosažení ukazatelů spolehlivosti a ponechává tak zdánlivě správně na managementu distributora, jakou cestou a s jakými náklady dosáhne zlepšení kvality.

Tato metoda regulace ale ve svém výsledku dlouhodobě **preferuje pouze investiční opatření do zlepšení kvality**. Investice ke zlepšení kvality jako např. kabelizace vedení, instalace dálkově ovládaných prvků, zahušťování sítě apod. se distributorovi promítanou do hmotného majetku, jehož velikost je základnou pro výpočet regulovaného zisku. Ani odpisy tohoto nového majetku nebudou jistě označeny za ekonomicky neoprávněné a budou tak

regulačním orgánem uznány do nákladů. Investice do zvýšení kvality lze jen těžko oddělit od běžných investic do obnovy a rozšíření sítě. V důsledku toho prakticky nelze z pozice regulátora usilovat o přímou vazbu motivační komponenty Q na investice do zlepšení kvality.

**Mechanismus integrované motivační regulace** vychází z předpokladu, že regulovaný subjekt bude vynakládat kapitálové výdaje na obnovu a rozvoj své sítě jen do té výše, která mu zajistí stabilní úroveň povolených výnosů (bez klesající úrovně odpisů a zisku, vycházející z hodnoty regulační báze aktiv) a případný bonus za dosaženou kvalitu služeb. Nadbytečné kapitálové výdaje sice budou znamenat vyšší povolené výnosy, nicméně případná vyšší úroveň kvality služeb již žádný finanční efekt mít nebude. V případě, že regulovaný subjekt nebude vynakládat dostatečné kapitálové výdaje na obnovu a rozvoj své sítě, klesající regulační základna aktiv a klesající odpisy budou pro něj znamenat snížení povolených výnosů a navíc zvýšené riziko penalizace za nekvalitní služby.

V případě, že distributor přijme ke zlepšení kvality **opatření v provozní oblasti**, nebude motivace dlouhodobě fungovat. Je obecným pravidlem, že úspory v provozních výdajích dosažené během regulační periody, jsou v dalším období obvykle „odebrány“, neboť se pro další období vychází z dosažené úrovně provozních výdajů. Komponentou X se tak (např. při regulaci metodou RPI-X) distributor nadále v provozních výdajích omezuje. Opatření ke zlepšení kvality v provozní oblasti ale **mohou být i efektivnější, než nové investice**. Například pro zkrácení doby plánovaných přerušení provozu je možné přijmout opatření v přípravě provozu sítí, lze zvýšit rozsah prací pod napětím apod. Tyto činnosti zvýší provozní výdaje a jen v malém rozsahu vyvolají potřebu investic.

Z uvedených důvodů **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, která je uvedena v kapitole 6.5.1, navrhují 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 navrhují zavést následující kroky a opatření:

### 6.5.1 Úprava metodiky regulace se zohledněním provozních výdajů

Na základě výše popsaného 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:

$$PV_t = PV_{t-1} * (1 + RPI - X) \pm Q_i \pm Q_p \quad (94)$$

- 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.

Pro výpočet bonusu/penále obecné komponenty  $Q$  navrhuji její uplatnění nejen u celkových povolených výnosů, tak jak tomu je v současnosti, ale právě u komponenty odpisů a zisku, vázané na kapitálové výdaje do obnovy a rozvoje sítí. Limitní hodnoty bonusu/penále mohou být vztaženy k součtu hodnot odpisů a zisku.

Výše uvedenými kroky získá regulátor kontrolu nad efektivitou investiční činnosti distribuční společnosti. Provozovatel distribuční sítě nebude odměňován za zvýšení kvality poskytovaných služeb, dosažených neefektivní investiční činností.

V této souvislosti je však potřeba upozornit na značnou složitost s implementováním těchto mechanismů v praxi. Pokud by měly uvedené mechanismy fungovat dle předpokladů, pak je nezbytné znát dílčí závislost mezi náklady a kvalitou jednotlivých opatření, což je v praxi dosti obtížné (popsáno v kapitole 5). Přesto však věřím, že **uvedené návrhy povedou**

***k motivaci provozovatelů distribučních soustav zabývat se touto oblastí a v konečném důsledku i ke kvalitnější a spolehlivější dodávce elektřiny konečným zákazníkům.***

### **6.5.2 Jasná definice vstupních ukazatelů**

V rámci současně platné metodiky regulace kvality na třetí regulační období chybí jasná definice vstupních ukazatelů. Na základě podrobného vyhodnocení dosahované úrovně kvality v ČR, které je uvedeno v jedné z předchozích kapitol, je zřejmé, že na celkové hodnotě ukazatele nepřetržitosti se významně podílí události, na které nemá provozovatel dané soustavy vliv. Tyto události ze své podstaty nelze dopředu předjímat a významně tak ovlivňují ukazatele v jednotlivých letech. Jedná se zejména o živelné události, události způsobená jednáním třetí osoby či události vzniklé mimo danou soustavu. Vzhledem k tomu, že tyto události nelze ze strany provozovatele soustavy „ovlivnit“, neměly by být ani obsaženy v motivační regulaci kvality.

V rámci motivační regulace kvality navrhuji do výpočtu ukazatelů nepřetržitosti zahrnout pouze události, na které má provozovatel dané soustavy „vliv“ ( $SAIFI_Q$ ,  $SAIDI_Q$ ). Tento princip byl již sice uplatněn v průběhu třetího regulačního období, nebyl však uveden v příslušné metodice.

V této souvislosti by neměly být do výpočtu ukazatelů nepřetržitosti zahrnuty následující kategorie přerušování dle přílohy č. 4, vyhlášky č. 540/2005 Sb.:

- neplánovaná poruchová přerušování přenosu nebo distribuce elektřiny způsobená poruchou mající původ v zařízení přenosové nebo distribuční soustavy provozovatele soustavy nebo jejím provozu za nepříznivých povětrnostních podmínek,
- neplánovaná poruchová přerušování přenosu nebo distribuce elektřiny způsobená v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby,
- neplánovaná přerušování přenosu nebo distribuce elektřiny vynucená,
- neplánovaná přerušování přenosu nebo distribuce elektřiny mimořádná,
- neplánovaná přerušování přenosu nebo distribuce elektřiny způsobená v důsledku události mimo soustavu daného provozovatele soustavy a u výrobce.

Obdobná situace se týká i kategorie **plánovaných přerušení**. Dle stejného principu by bylo možné z motivační regulace kvality vyčlenit plánované události, které nebyly vyvolány z podnětu provozovatele soustavy. V současné době však není v rámci vykazování dat vůči úřadu využíváno detailnější členění těchto událostí. V této oblasti je proto dalším doporučením **zavést podrobné členění plánovaných přerušení a po získání dostatečné časové řady zvážit vyjmutí určitých kategorií z motivační regulace**. Například by se mohlo jednat o následující kategorie:

**1. plánovaná přerušení vyvolané z podnětu PDS:**

- *údržba, revize (řád preventivní údržby),*
- *opravy, rekonstrukce, výstavba DS,*
- *ostatní.*

**2. plánovaná přerušení nevyvolané z podnětu PDS:**

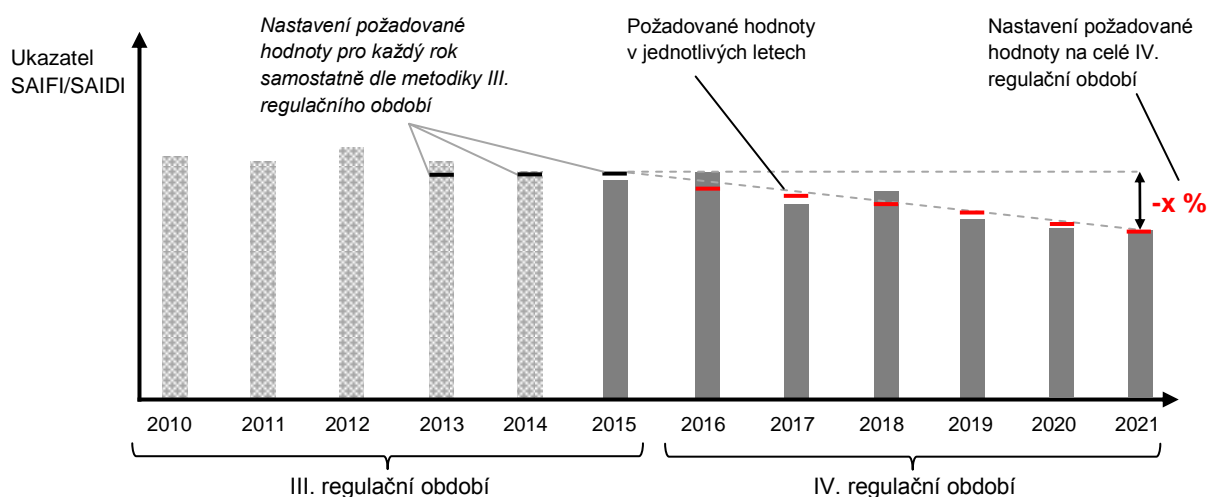
- *vypnutí na žádost uživatele DS,*
- *připojení nového uživatele DS,*
- *plánovaná přerušení z nadřazené soustavy,*
- *plánovaná přerušení vyvolaná jiným subjektem.*

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

Dalším neméně důležitým krokem je nastavení požadovaných hodnot ukazatelů nepřetržitosti na delší časové období. Dle současného principu regulace se požadované hodnoty stanovují každoročně na následující rok dopředu a to na základě historického vývoje. Rozvoj a rozsáhlé rekonstrukce distribučních soustav jsou však časově náročné činnosti, které je nutné dlouhodobě plánovat. Současně daná zařízení se budují na několik desetiletí dopředu. Z tohoto důvodu je pro fungování motivační regulace kvality v praxi nezbytné stanovení požadovaných cílů alespoň ve střednědobém horizontu, tj. určení dosažitelné úrovně kvality dodávek elektřiny s dostatečným předstihem. Tento krok by umožnil jednotlivým společnostem provést v dostatečném předstihu potřebné přípravy pro implementování opatření, které povedou ke zlepšení kvalitativních parametrů dodávek elektřiny. Z tohoto důvodu **navrhují nastavit požadované hodnoty ukazatelů nepřetržitosti minimálně na celé regulační období (tj. předpokládané šestileté období)**. Současně by však

měla existovat možnost korigovat požadované cíle v případě neočekávaného vývoje ukazatelů. Uvedený mechanismus je znázorněn na následujícím obrázku, kde je patrné nastavení požadované hodnoty na celé regulační období. Jednotlivým scénářům zpříšňování bude pozornost věnována později.

**Obr. 30:** Mechanismus nastavení hodnot na delší časové období



#### 6.5.4 Zavedení klouzavého průměru

V rámci motivační regulace kvality jsou využívány ukazatele nepřetržitosti distribuce, které meziročně mohou vykazovat určité kolísání hodnot, aniž by to samo o sobě indikovalo nějaké změny v síti. Kolísání je dáno především působením vnějších (atmosférických) vlivů na venkovní vedení. U kabelových sítí s nízkými hodnotami ukazatelů nepřetržitosti může vyvolat i jednotlivý výpadek na úrovni transformace 110/22 kV relativně velkou změnu ukazatelů. Takováto situace nastala například v roce 2013, kdy v Praze došlo k poruše v rozvodně Chodov, která měla za následek přerušení u více jak 130 tisíc zákazníků. V této souvislosti se nabízí otázka omezení vlivu tohoto kolísání v rámci motivační regulace respektive při uplatňování penalizace/bonifikace.

V zásadě existují 3 mechanismy, pomocí kterých lze **omezit vliv meziročního kolísání** ukazatelů na výsledný faktor kvality:



**a) Vyjímání jednotlivých událostí z ukazatelů vstupujících do regulace**

- Eliminuje události „mimořádného“ rozsahu, nikoliv „běžné“ kolísání.
- Je již navrženo prostřednictvím vyjmutí přerušení kategorie poruchové přerušení mající původ v zařízení soustavy nebo jejím provozování za nepříznivých povětrnostních podmínek, atd. (viz výše).

**b) Zavedení či rozšíření neutrálního pásma**

- Přímo zachycuje „běžné“ meziroční kolísání v míře dané procentní odchylkou od středu standardu.
- V současnosti je v rámci motivační regulace zavedeno, přičemž je dáno relativně vzhledem ke středu, čímž dochází při zpřísnění standardu k jeho zužování (zúžení je přímo úměrné zpřísnění).

**c) Zavedení víceletých průměrů**

- Do motivační regulace by nevstupovaly přímo hodnoty jednotlivého roku, ale průměr z posledních let, čímž dochází k vyhlazování časové řady.
- V současnosti není v ČR v regulaci zavedeno (např. Itálie používá dvouletý průměr, Maďarsko tříletý průměr).

V našich podmínkách tedy existují dvě možnosti posílení mechanismu eliminace meziročního kolísání ukazatelů:

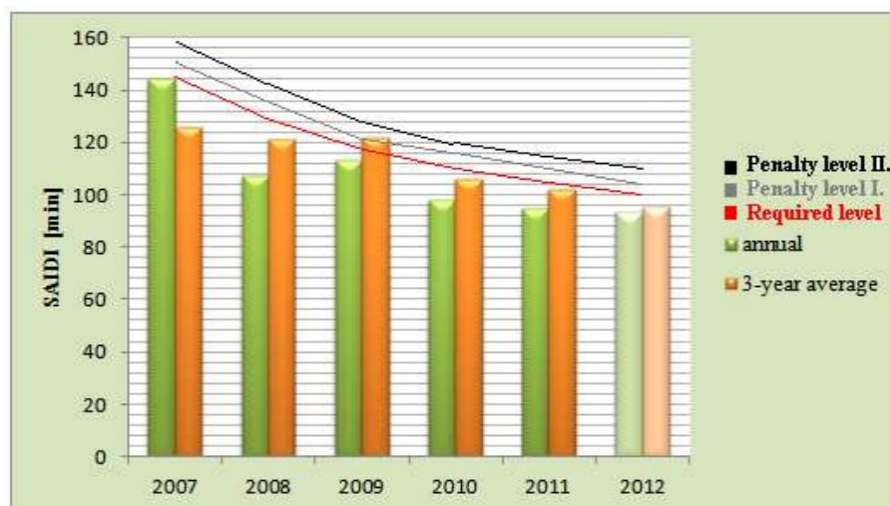
- rozšíření neutrálního pásma
  - *zvětšení relativně definované šířky (tj. s ponecháním vazby na střed),*
  - *definování pomocí absolutní hodnoty (tj. zrušení vazby na střed)*
- doplnění regulačního mechanismu o používání víceletých průměrů

Při využívání **víceletých průměrů** je však nezbytné si uvědomovat veškeré aspekty tohoto mechanismu a eliminovat nežádoucí jevy. Jedná se zejména o následující:

▪ **Standard bez zpřísňování a víceletý průměr.** Pokud nedochází ke zpřísňování standardu, pak víceletý průměr funguje dle očekávání, tj. vyhlazuje meziroční kolísání, přičemž rizikem je, že výrazně vyšší hodnota v jednom roce může způsobit vysoký průměr ve dvou (u tříletého průměrování ve třech) po sobě jdoucích letech. To by znamenalo, že by provozovatel distribuční společnosti byl dvakrát v pásmu penalizací díky jedinému roku, který je součástí dvou po sobě jdoucích klouzavých průměrů a opačně. Obdobně by tomu bylo u tříletého průměru, kde se však dá očekávat nižší pravděpodobnost takové situace. Situace by však měla být primárně podchycena v rámci vyjímání „mimořádných“ událostí. Z toho, že by společnost byla vícekrát v pásmu penalizací díky jedinému roku, automaticky neplyne, že by zaplatila celkově vyšší penalizaci (celková penalizace při víceletém průměru může být vyšší i nižší než penalizace z ročních hodnot).

▪ **Standard se zpřísňováním a víceletý průměr.** Pokud je použit víceletý průměr u zpřísňujícího se standardu, záleží výsledek na relaci mezi meziročním zpřísňováním a šířkou neutrálního pásma. Může nastat situace, kdy jednotlivé roční hodnoty jsou mimo pásmo penalizací, ale průměr do pásma penalizací již spadá, jak dokumentuje případ z Maďarska (viz následující obrázek). Obecně tato situace může nastat, pokud je meziroční zpřísňování **větší než polovina šířky neutrálního pásma**. Tato kombinace zpřísňování a víceletého průměru v podstatě skrytě znamená přísnější standard, než ukazuje samotné procentní zpřísňování.

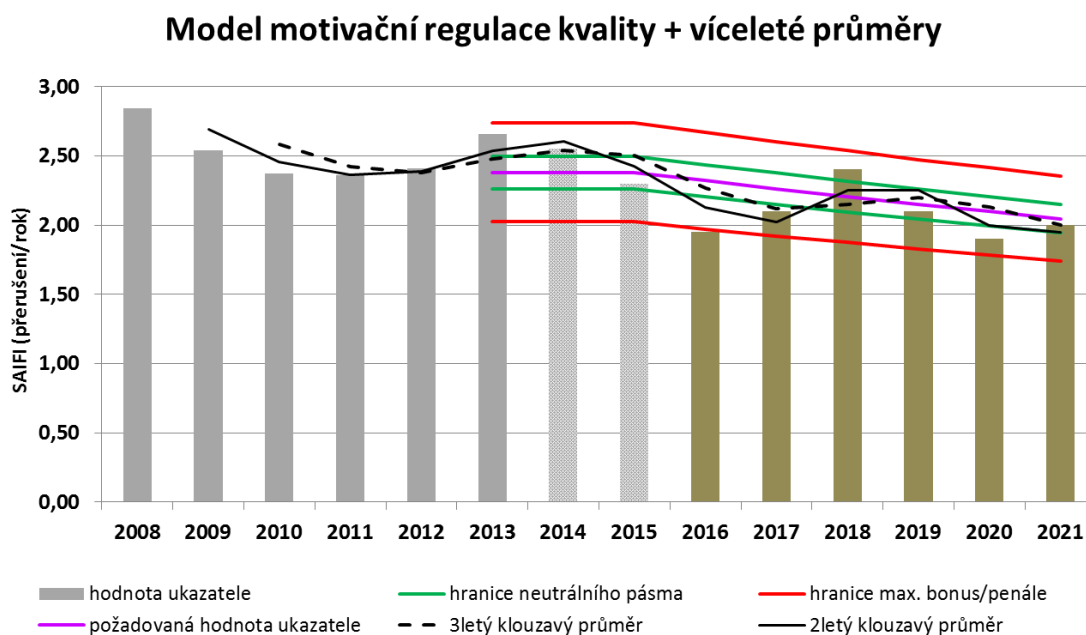
**Obr. 31:** Vliv tříletého průměrování – příklad Maďarsko [A. Mozsolics, VIII. mezinárodní energetické regulační fórum, Praha 2012]

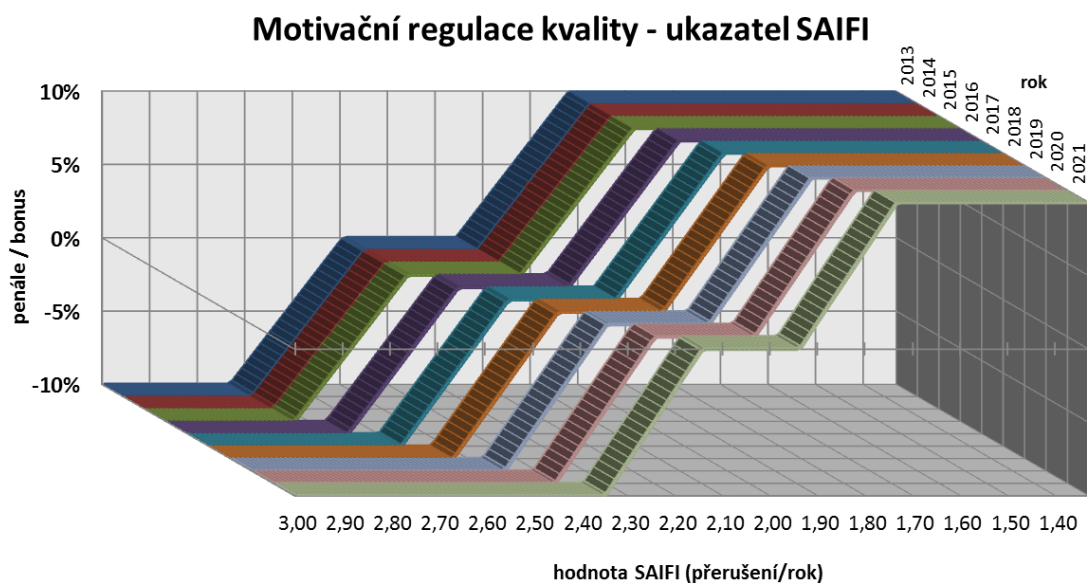
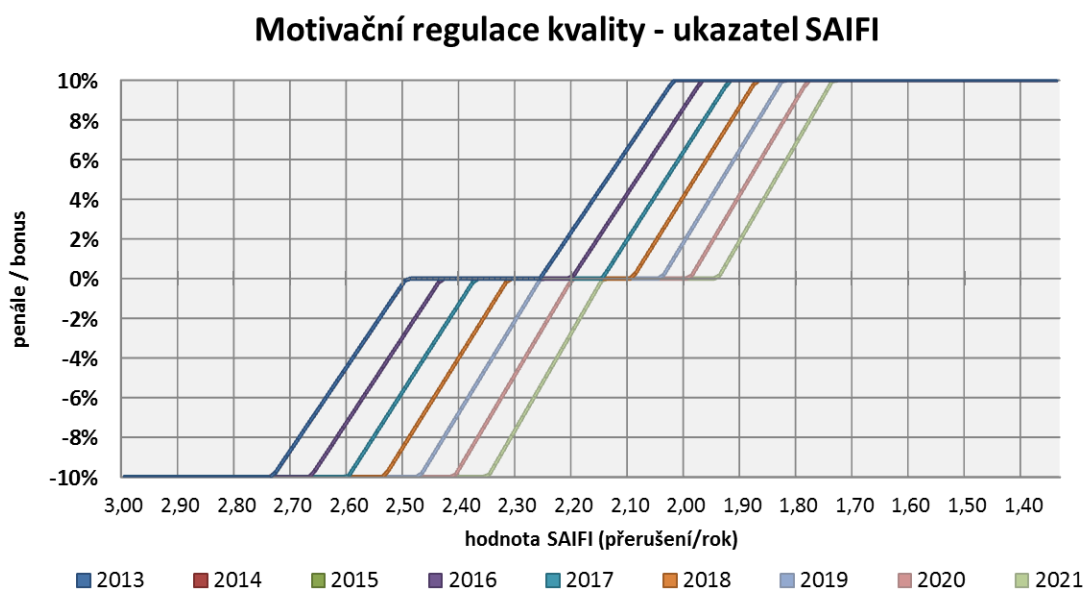


Přestože má využívání víceletých průměrů určitá rizika, přesto se přikláním k této variantě zavedení. **Tento prvek by byl zaveden za účelem posílení eliminace meziročního kolísání ukazatelů nepřetržitosti.**

Na následujících obrázcích č. 32 až 34 je znázorněn model motivační regulace kvality na IV. RO s využitím víceletých průměrů. V modelu jsou použity hodnoty ukazatele SAIFI pro celou ČR s tím předpokladem, že v průběhu třetího regulačního období (tj. roky 2013, 2014 a 2015) jsou nastaveny stejné požadované hodnoty ukazatelů nepřetržitosti. Tyto požadované hodnoty byly stanoveny jako pěti procentní pokles průměru z posledních pěti let. Pro čtvrté regulační období (tj. předpoklad od roku 2016 do 2021) byl ilustrativně nastaven pokles o 14 %, což odpovídá meziročnímu poklesu 2,48 %. Tato hodnota splňuje podmínku pro zavedení klouzavého průměru, tj. je nižší než polovina předpokládaného neutrálního pásma. Maximální hodnota bonusu/penále byla stanovena na hodnotě  $\pm 10\%$  ze zisku jednotlivých společností. Velikost tolerančního pásma byla ponechána na hodnotě  $\pm 5\%$  a hodnota pro uplatnění maximálního bonusu/penále na hodnotě  $\pm 15\%$ . Hodnoty ukazatele v jednotlivých letech IV. RO jsou pouze vykonstruovány a je na nich prezentován vliv dvouletého (či tříletého) průměrování. Z průběhu je patrné, že průměrování má pozitivní vliv v případě neočekávaných výkyvů ukazatele a eliminuje tak střídání penalizací či bonifikací v jednotlivých letech viz obr. 32.

**Obr. 32:** Motivační regulace s využitím víceletých průměrů



**Obr. 33:** Model motivační regulace kvality na IV. RO**Obr. 34:** Model motivační regulace kvality na IV. RO

### 6.5.5 Nastavení parametrů ukazatele kvality

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

- **Požadovaná hodnota ukazatelů SAIFI, SAIDI**

Na základě již uvedeného, doporučuji nastavit požadované hodnoty ukazatelů  $SAIFI_Q$ ,  $SAIDI_Q$  minimálně na celé regulační období (tj. předpokládejme šestileté období shodně jako při III. RO), s tím předpokladem, že bude možnost korigovat požadované cíle v případě neočekávaného vývoje. Bližším souvislostem pro nastavení požadovaných hodnot ukazatelů se bude věnovat další samostatná kapitola.

- **Maximální hodnota bonusu/penále**

V současné době je pro třetí regulační období nastaven tento parametr na hodnotě 3 % ze zisku dané společnosti. **Doporučuji zvýšit tuto hodnotu**, což by zvýšilo i motivační charakter regulace pro jednotlivé provozovatele distribučních soustav. Tomuto kroku však rovněž musí předcházet podrobné analýzy na základě reálných dat pro jednotlivé společnosti.

- **Dolní a horní hranice neutrálního pásma**

Princip neutrálního pásma by měl být zachován a dále doplněn o zavedení víceletých průměrů jak je popsáno v předchozí kapitole. Zde se nabízí využití dvouletého případně tříletého průměru. Hodnotu parametru pro velikost neutrálního pásma navrhuji ponechat na současné hodnotě  $\pm 5\%$ . V případě potřeby může být zváženo zavedení absolutní hodnoty neutrálního pásma, což je výhodné u společností, které dosahují nízkých hodnot ukazatelů nepřetržitosti.

- **Hodnota pro uplatnění max. bonusu/penále**

Tento parametr doporučuji ponechat na současné hodnotě  $\pm 15\%$ . V kombinaci s neutrálním pásmem a případně zavedeným principem klouzavého průměru je vhodným nástrojem pro eliminaci skokového uplatňování bonusu či penále. Tento parametr však není v řadě zemí, ve kterých je zavedena motivační regulace kvality, uplatňován a vyplácení bonusů/penále je zde skokové po dosažení určité hodnoty či schodovitě odstupňováno.

### 6.5.6 Doplnující návrhy pro ovlivnění kvality dodávek

V souvislosti s regulací kvality dále navrhuji, aby v ČR bylo zahájeno **sledování a vyhodnocování krátkodobých přerušení** (tj. přerušení s kratší dobou trvání než tři minuty). Stále více zákazníků respektive odběrných zařízení je citlivých právě na krátkodobá přerušení, které nejsou v současné době v ČR předmětem sledování (z pohledu úřadů) natož regulace. Z tohoto důvodu navrhuji začít sledovat ukazatele hodnotící krátkodobá přerušení. Po získání dostatečné časové řady bude možné zavést i tyto ukazatele do mechanismu regulace kvality, případně pro tuto oblast zavést cílené standardy v rámci dané vyhlášky o kvalitě.

Dále navrhuji zavést i další doplňující nástroj s cílem „ochránit“ zákazníky, kteří jsou nejčastěji postiženi přerušením dodávek elektřiny. Jednalo by se o nový standard zakomponovaný do vyhlášky o kvalitě, který by stanovil **maximální počet přerušení u daného zákazníka v kalendářním roce**. V případě nedodržení tohoto standardu by pak jednotlivé společnosti poskytovaly zákazníkům finanční náhrady. Toto opatření by pokrylo zákazníky, kteří jsou nejčastěji postiženi přerušením dodávek elektřiny, tj. nejvíce postižené zákazníky. Zavedení tohoto mechanismu by však znamenalo úpravy v systémech jednotlivých společností, které by musely být schopny evidovat přerušení u jednotlivých zákazníků v daném období.

Dalším prvkem, o kterém by se dalo uvažovat, a který by klad větší důraz na dodržování předepsaných standardů kvality je zavedení **tzv. automatických náhrad**. Tento mechanismus ve stručnosti znamená, že pokud daná společnost nedodrží předepsaný standard určený vyhláškou, poskytne příslušnou finanční náhradu zákazníkovi automaticky (např. ve vyúčtování, jednorázově, atd.). V současné době musí v ČR zákazník o náhradu požádat a vzhledem k malé informovanosti zákazníků o této možnosti, dochází k vyplácení pouze zanedbatelného množství náhrad. Zavedení automatických náhrad má však i svá negativa, např. složité dohledávání zákazníků, kteří mají nárok na náhradu v případě standardů týkajících se přerušení atd. Řada zemí EU však tento mechanismus využívá a má s ním pozitivní zkušenosti. Je však potřeba podotknout, že v těchto zemích jsou jednotlivé finanční náhrady na nižší úrovni než v ČR. Před zavedením tohoto mechanismu by však bylo nezbytné provést důkladné analýzy, na základě kterých by byly nastaveny finanční výše jednotlivých náhrad včetně uvážení vícenákladů spojených s vyplácením těchto náhrad.

## 6.6 Nastavení požadovaných hodnot ukazatelů nepřetržitosti $SAIFI_Q$ , $SAIDI_Q$

**Stěžejní otázkou motivační regulace kvality je nastavení požadovaných hodnot ukazatelů nepřetržitosti  $SAIFI_Q$ ,  $SAIDI_Q$ .** 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). Tato kapitola bude zaměřena zejména na problematiku nastavení požadovaných hodnot ukazatelů a jejich zpříšňování ve vztahu k očekávaným dopadům na komponentu Q. Cílem práce v této oblasti je vytvoření určité metodiky pro hodnocení dopadů různých modelů regulace.

Konkrétní požadované hodnoty ukazatelů  $SAIFI_Q$ ,  $SAIDI_Q$  pro jednotlivé distribuční společnosti mohou být obecně nastaveny pomocí tří základních přístupů:

### **a) využití ocenění přerušení u zákazníků (tzv. ocenění nedodané energie)**

Tento přístup se zdá být přirozenou cestou jak nastavit požadované hodnoty. Existuje několik přístupů k získání ocenění, jak se však ukazuje, žádný v praxi **nevede k požadovaným výsledkům**. První možností je analyzování škod vzniklých v důsledku vybraných (rozsáhlých) přerušení. Vzniklý vzorek dat je však obvykle malý a analyzovaná rozsáhlá přerušení nejsou běžným jevem, navíc mimořádné situace v síti jsou z regulace vyjímány. Další možností je odhad ocenění založený na poměru HDP a spotřeby. Výsledky jsou relativně jednoduše získatelné, nicméně hrubé a jsou snadno zpochybnitelné. Poslední možností je vytvoření průzkumu u zákazníků. Tato možnost je však časově velice náročná a zkušenosti ze zahraničí ukazují, že míra odpovědí při korespondenční formě je nízká (úspěšnější je osobní dotazování, které je však nákladnější). Výsledky průzkumu mívají široké rozpětí a jsou závislé na formulaci otázek. V ČR zatím nejsou odpovídající zkušenosti s takovými průzkumy. Podrobněji se této problematice věnuje kapitola 3.5.1.

### **b) využití historických hodnot ukazatelů a odhadu „přiměřené“ ekonomické vazby**

V podmínkách ČR tento přístup naráží na krátkou časovou řadu a problém se stanovením ekonomické vazby. Hodnoty ukazatelů nepřetržitosti jsou v metodicky jednotné řadě s podrobnějším členěním k dispozici od roku 2009. Z uvedených důvodů není ani tento přístup vhodným pro použití.

**c) vytvoření závislosti mezi náklady a kvalitou**

Tento přístup se zdá být vhodnou alternativou, avšak technicky a odborně poměrně náročnou. Zde se předpokládá odhad přínosů různých variant opatření s postupně narůstajícími náklady ke snížení hodnot ukazatelů SAIFI, SAIDI. Pro predikce tohoto typu jsou obvykle používány simulační nástroje. Není však možné získat „obecnou“ závislost, tj. závislost, která by pokrývala celou distribuční síť a všechna možná opatření, jelikož by se jednalo o velice rozsáhlou optimalizační úlohu náročnou na vstupní data a čas. Možností je omezení se na „**dílčí**“ závislost, která by pokrývala pouze vybranou část sítě (např. vybrané vývody) a vybraná opatření. Pokud výběr části sítě a opatření směřuje k těm nejvhodnějším (z pohledu očekávaného zlepšení ukazatelů nepřetržitosti), je i „dílčí“ závislost dostatečně reprezentativní pro využití. Je třeba mít však na paměti, že získaný průběh nelze extrapolovat (závislost bude nelineární a efekt nejlepších opatření bude větší v porovnání s dalšími, jejichž přírůstek efektu bude postupně klesat). Použití dílčích závislostí je vázáno na vytvoření metodik, které by utvořily jednotný rámec zpracování závislostí na základě individuálních dat jednotlivých provozovatelů sítí. Přestože existují některé nástroje využitelné pro zpracování (zejména pro simulace spolehlivosti), je třeba určitých doplnění a rozvinutí některých oblastí (např. v oblasti plánovaných přerušení). Dílčí závislosti nejsou přímým generátorem parametrů komponenty Q, mohou však být hlavním podkladem pro rozhodování **na základě znalosti reálných možností daných sítí a souvisejících nákladů**.

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 zpříšňování 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.



### 6.6.1 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  $SAIFI_Q$ ,  $SAIDI_Q$  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.

#### ▪ Analýza ukazatelů nepřetržitosti

Prvním krokem je detailní analýza ukazatelů nepřetržitosti a stanovení referenčních hodnot pro další zpřísňování. Pokud budeme analyzovat současnou situaci v ČR, získáme přehled uvedený v následující tabulce. V přehledu je využito průměrných hodnot ukazatelů nepřetržitosti za celou ČR (bez mimořádných událostí) a princip, který byl uplatněn v rámci III. RO, tj. stanovení požadovaných hodnot ukazatelů ( $STQ$ ) pro roky 2013 a 2014 na základě průměrů z let 2010 a 2011 se zpřísňením o 5 %. Horní hranice neutrálního pásma ( $HHNP$ ) byla stanovena + 5 %, dolní hranice neutrální pásma ( $DHNP$ ) - 5 %, maximální hodnota bonusu ( $DUQ_{max}$ ) + 15 % a minimální hodnota bonusu ( $DUQ_{min}$ ) - 15 %. Dále jsou uvedeny změny pro jednotlivé ukazatele proti základu, hodnotě  $STQ$  a historickému průměru.

**Tab. 11:** Přehled ukazatelů nepřetržitosti a stanovení referenčních hodnot

	Ukazatel nepřetržitosti		Změna proti základu zpřísňování [%]		Změna proti $STQ$ [%]		Změna proti historickému průměru [%]	
	$SAIFI_Q$ [1/rok]	$SAIDI_Q$ [min/rok]	u $SAIFI_Q$	u $SAIDI_Q$	u $SAIFI_Q$	u $SAIDI_Q$	u $SAIFI_Q$	u $SAIDI_Q$
Základ zpřísňování (průměr 2010-2011)	2,21	263,71	0,00	0,00	5,26	5,26	-7,53	1,52
$DUQ_{max}$ pro 2013, 2014	2,41	288,10	9,25	9,25	15,00	15,00	1,02	10,91
$HHNP$ pro 2013, 2014	2,20	263,05	-0,25	-0,25	5,00	5,00	-7,76	1,26
<b><math>STQ</math> pro 2013, 2014</b>	<b>2,10</b>	<b>250,52</b>	-5,00	-5,00	0,00	0,00	-12,15	-3,56
$DHNP$ pro 2013, 2014	1,99	238,00	-9,75	-9,75	-5,00	-5,00	-16,55	-8,38
$DUQ_{min}$ pro 2013, 2014	1,78	212,95	-19,25	-19,25	-15,00	-15,00	-25,33	-18,03
Historický průměr (2004-2013)	2,39	259,77	8,14	-1,49	13,84	3,69	0,00	0,00

V uvedeném přehledu je jako základ zpřísňování vzata průměrná hodnota ukazatelů z let 2010 a 2011. Pro IV. RO bude základem pro zpřísňování hodnota  $STQ$  pro rok 2014.

### ▪ Zvolení jednotlivých scénářů zpřísňování

Dalším krokem je vytvoření určitých scénářů postupného zpřísňování jednotlivých parametrů komponenty Q, které budou následně podrobeny další analýze. Především se jedná o varianty zpřísňování požadovaných hodnot ukazatelů  $SAIFI_Q$ ,  $SAIDI_Q$  (hodnota  $STQ$ ) a všech souvisejících parametrů ( $HHNP$ ,  $DHNP$ ,  $DUQ_{max}$ ,  $DUQ_{min}$ ). Může se například jednat o zpřísňování hodnoty  $STQ$  o určité procento a to buď *aritmetickou*, nebo *geometrickou řadou*. Dále se může jednat o zpřísňování *v různém kroku* (např. ročním, 2letém, 3letém, za celé regulační období). Zároveň je možné zvolit scénáře pro shodné (*symetrické*) zpřísňování obou ukazatelů  $SAIFI$ ,  $SAIDI$  či *asymetrické zpřísňování*, kdy každý ukazatel bude zpřísňován samostatně.

Na základě vytvoření jednotlivých variant budou následně zvoleny scénáře pro další výpočty a analýzy. Příklady sestavení jednotlivých variant a scénářů jsou uvedeny v následujících tabulkách. Pro lepší orientaci bude zavedeno následující značení jednotlivých variant:  $k$ - $\check{r}$ - $x$ - $y$ , kde  $k$  označuje krok zpřísňování (1rok, 2, 3),  $\check{r}$  označuje řadu zpřísňování (Aritmetická, Geometrická),  $x$  označuje hodnotu zpřísňování pro ukazatel  $SAIFI_Q$  a  $y$  pro ukazatel  $SAIDI_Q$ . Pro roční krok je uvedena jediná hodnota, pro dvouletý krok dvě hodnoty oddělené lomítkem, pro tříletý krok tři hodnoty. Scénáře s cílovou hodnotou jsou označeny  $k$ - $\check{r}$ - $X$ - $Y$ , kde  $X$  je cílová hodnota pro  $SAIFI_Q$  a  $Y$  je cílová hodnota pro  $SAIDI_Q$ .

**Tab. 12:** Příklad vytvoření jednotlivých variant zpřísňování pro ukazatele  $SAIFI_Q$  na IV. RO

Základ 2,10	Změna STQ pro $SAIFI_Q$ vzhledem k předchozímu roku [%]						Změna STQ pro $SAIFI_Q$ proti základu zpřísňování pro IV. RO [%]		Standard $SAIFI_Q$ pro 2021 [1/rok]			Standard $SAIFI_Q$ pro 2021 [1/rok]		
	Rok	2016	2017	2018	2019	2020	2021	celkem za IV. RO	celkem za IV. RO	DHNP	STQ	HHNP	DHNP	STQ
Rok IV. RO	1	2	3	4	5	6	Aritm. řada	Geom. řada	Aritmetická řada			Geometrická řada		
1*-0-*	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	2,00	2,10	2,21	2,00	2,10	2,21
1*-1-*	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6,00	-5,85	1,88	1,97	2,07	1,88	1,98	2,08
1*-2-*	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-12,00	-11,42	1,76	1,85	1,94	1,77	1,86	1,95
2-A-0/0/0-*	0	0	0	0	0	0	0,00		2,00	2,10	2,21			
2-A-1/1/1-*	-1	0	-1	0	-1	0	-3,00		1,94	2,04	2,14			
2-A-1/1/2-*	-1	0	-1	0	-2	0	-4,00		1,92	2,02	2,12			
3-A-0/0/0-*	0	0	0	0	0	0	0,00		2,00	2,10	2,21			
3-A-1/1/1-*	-1	0	0	-1	0	0	-2,00		1,96	2,06	2,16			
3-A-2/2/2-*	-2	0	0	-2	0	0	-4,00		1,92	2,02	2,12			
1-A-1,9-240	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-9,60		1,80	1,90	1,99			
2-A-1,9-240	-3,2	0	-3,2	0	-3,2	0	-9,60		1,80	1,90	1,99			
3-A-1,9-240	-4,8	0	0	-4,8	0	0	-9,60		1,80	1,90	1,99			

Tab. 13: Příklad vytvoření jednotlivých variant zpřísňování pro ukazatele SAIDI<sub>Q</sub> na IV. RO

Základ 250,5	Změna STQ pro SAIDI <sub>Q</sub> vzhledem k předchozímu roku [%]						Změna STQ pro SAIDI <sub>Q</sub> proti základu zpřísňování pro IV. RO [%]		Standard SAIDI <sub>Q</sub> pro 2021 [1/rok]			Standard SAIDI <sub>Q</sub> pro 2021 [1/rok]		
	Rok	2016	2017	2018	2019	2020	2021	celkem za IV. RO	celkem za IV. RO	DHNP	STQ	HHNP	DHNP	STQ
Rok IV. RO	1	2	3	4	5	6	Aritm. řada	Geom. řada	Aritmetická řada			Geometrická řada		
1-*-0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	237,99	250,52	263,05	237,99	250,52	263,05
1-*-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6,00	-5,85	223,71	235,49	247,26	224,07	235,86	247,65
1-*-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-18,00	-16,70	195,16	205,43	215,70	198,24	208,68	219,11
2-A-*-0/0/0	0	0	0	0	0	0	0,00		237,99	250,52	263,05			
2-A-*-1/2/2	-1	0	-2	0	-2	0	-5,00		226,09	237,99	249,89			
2-A-*-2/2/3	-2	0	-2	0	-3	0	-7,00		221,33	232,98	244,63			
3-A-*-0/0	0	0	0	0	0	0	0,00		237,99	250,52	263,05			
3-A-*-4/4	-4	0	0	-4	0	0	-8,00		218,95	230,48	242,00			
3-A-*-5/5	-5	0	0	-5	0	0	-10,00		214,19	225,47	236,74			
1-A-1,9-220	-2,03	-2,03	-2,03	-2,03	-2,03	-2,03	-12,18		209,01	220,01	231,01			
2-A-1,9-220	-4,06	0	-4,06	0	-4,06	0	-12,18		209,01	220,01	231,01			
3-A-1,9-220	-6,09	0	0	-6,09	0	0	-12,18		209,01	220,01	231,01			

Tab. 14: Zvolené scénáře pro další zpracování - změna STQ

Rok	Změna STQ pro SAIFI <sub>Q</sub> vzhledem k předchozímu roku [%]								Změna STQ pro SAIDI <sub>Q</sub> vzhledem k předchozímu roku [%]							
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Celkem		2016	2017	2018	2019	2020	2021	Celkem	
Rok IV. RO	1	2	3	4	5	6	IV. RO		1	2	3	4	5	6	IV. RO	
1-A-0-0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	
1-A-0-1	0	0	0	0	0	0	0		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6	
1-A-0-3	0	0	0	0	0	0	0		-3	-3	-3	-3	-3	-3	-18	
1-A-1-0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6		0	0	0	0	0	0	0	
1-A-1-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6	
1-A-1-3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6		-3	-3	-3	-3	-3	-3	-18	
1-A-2-0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-12		0	0	0	0	0	0	0	
1-A-2-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-12		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6	
1-A-2-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-12		-3	-3	-3	-3	-3	-3	-18	
1-G-0-0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	
1-G-0-1	0	0	0	0	0	0	0		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6	
1-G-0-3	0	0	0	0	0	0	0		-3	-3	-3	-3	-3	-3	-18	
1-G-1-0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6		0	0	0	0	0	0	0	
1-G-1-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6	
1-G-1-3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6		-3	-3	-3	-3	-3	-3	-18	
1-G-2-0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-12		0	0	0	0	0	0	0	
1-G-2-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-12		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-6	
1-G-2-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-12		-3	-3	-3	-3	-3	-3	-18	
2-A-0/0/0-0/0/0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	
2-A-0/0/0-1/2/2	0	0	0	0	0	0	0		-1	0	-2	0	-2	0	-5	
2-A-0/0/0-2/2/3	0	0	0	0	0	0	0		-2	0	-2	0	-3	0	-7	
2-A-1/1/1-0/0/0	-1	0	-1	0	-1	0	-3		0	0	0	0	0	0	0	
2-A-1/1/1-1/2/2	-1	0	-1	0	-1	0	-3		-1	0	-2	0	-2	0	-5	
2-A-1/1/1-2/2/3	-1	0	-1	0	-1	0	-3		-2	0	-2	0	-3	0	-7	
2-A-1/1/2-0/0/0	-1	0	-1	0	-2	0	-4		0	0	0	0	0	0	0	
2-A-1/1/2-1/2/2	-1	0	-1	0	-2	0	-4		-1	0	-2	0	-2	0	-5	
2-A-1/1/2-2/2/3	-1	0	-1	0	-2	0	-4		-2	0	-2	0	-3	0	-7	
3-A-0/0-0/0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	
3-A-0/0-4/4	0	0	0	0	0	0	0		-4	0	0	-4	0	0	-8	
3-A-0/0-5/5	0	0	0	0	0	0	0		-5	0	0	-5	0	0	-10	
3-A-1/1-0/0	-1	0	0	-1	0	0	-2		0	0	0	0	0	0	0	
3-A-1/1-4/4	-1	0	0	-1	0	0	-2		-4	0	0	-4	0	0	-8	
3-A-1/1-5/5	-1	0	0	-1	0	0	-2		-5	0	0	-5	0	0	-10	
3-A-2/2-0/0	-2	0	0	-2	0	0	-4		0	0	0	0	0	0	0	
3-A-2/2-4/4	-2	0	0	-2	0	0	-4		-4	0	0	-4	0	0	-8	
3-A-2/2-5/5	-2	0	0	-2	0	0	-4		-5	0	0	-5	0	0	-10	
1-A-1,9-220	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-9,6		-2,03	-2,03	-2,03	-2,03	-2,03	-2,03	-12,18	
2-A-1,9-220	-3,2	0	-3,2	0	-3,2	0	-9,6		-4,06	0	-4,06	0	-4,06	0	-12,18	
3-A-1,9-220	-4,8	0	0	-4,8	0	0	-9,6		-6,09	0	0	-6,09	0	0	-12,18	

Obdobným způsobem se vytvoří tabulky i pro hodnoty STQ, DHNP, HHNP.

Další možností je i vytvoření jednotlivých scénářů pro **zohlednění rozložení investic v čase**. Je možné uvažovat s několika variantami jako je například: jednorázová vyšší (či nižší) počáteční investice (předpokládejme na začátku regulačního období), případně investice rozložená v čase. Rozložení investic v čase by mělo být opět posuzováno individuálně pro danou distribuční soustavu.

#### ▪ Výpočet komponenty Q

V současné době je ukazatel kvality součtem dvou složek, odpovídajících ukazatelům  $SAIFI_Q$  a  $SAIDI_Q$ , zastoupených ve stejném poměru. Počítá se tedy z hodnot těchto dvou ukazatelů dosažených v daném roce a z parametrů vyhlášených pro daný regulační rok. Je nezbytné si však uvědomit, že v praxi výpočet proběhne až po skončení daného roku a do ceny za distribuci hodnota ukazatele kvality vstoupí ještě o rok později. Dle regulační vyhlášky se ukazatel kvality, který je součástí vzorce pro výpočet ceny pro rok  $i$ , počítá z hodnot ukazatelů nepřetržitosti dosažených v roce  $i-2$ , parametrů pro rok  $i-2$  a zisku společnosti pro rok  $i-2$ . Tedy např. hodnoty  $SAIFI_Q$ ,  $SAIDI_Q$  dosažené v prvním roce IV. RO (tj. v roce 2016) vstoupí do ceny až ve třetím roce IV. RO (tj. v roce 2018) a stejně tak hodnoty dosažené v posledním roce IV. RO vstoupí do ceny až v druhém roce V. RO.

Pro základní výpočet komponenty Q bychom nemuseli tento časový posun mezi dosažením a uplatněním uvažovat a bylo by možné vyčíslit průměrnou hodnotu ukazatele kvality za dané období  $Q_{sum6r,prum}$  (pro šestileté RO). Pokud však předpokládáme zavedení víceletých průměrů, pak se zjednodušený výpočet komplikuje. Pro další postup proto zavedeme průměrnou souhrnnou hodnotu ukazatele kvality pro celé regulační období  $Q_{sumRO,prum}$  jako průměr součtů ročních hodnot ukazatele kvality v letech 2016 až 2021 a jí odpovídající složky  $Q_{SAIFIsuMRO,prum}$  za  $SAIFI_Q$  a  $Q_{SAIDIsuMRO,prum}$  za  $SAIDI_Q$ . Výpočty mohou být ovlivněny hodnotou ukazatele kvality ještě z předchozího regulačního období.

Hodnoty  $Q_{sumRO,prum}$  a  $Q_{sum6r,prum}$  budou v intervalu  $\langle -6*MIN; 6*MAX \rangle$  %, protože v obou případech jsou součtem faktorů kvality za šest let a roční hodnota je  $\langle -MIN; MAX \rangle$  %. Hodnoty složek za  $SAIFI_Q$   $Q_{SAIFIsuMRO,prum}$  a za  $SAIDI_Q$   $Q_{SAIDIsuMRO,prum}$  leží v intervalu  $\langle -3*MIN; 3*MAX \rangle$  %, jelikož roční hodnota každé složky je omezena intervalem  $\langle -MIN/2; MAX/2 \rangle$  %.

Dalším postupem bude výpočet uvedených parametrů pro zvolené scénáře zpříšňování. Výsledkem výpočtu budou buď záporné, nulové či kladné hodnoty komponenty Q. Kladná či záporná hodnota celkové bilance neznámá nutně, že v každém jednotlivém roce je hodnota faktoru kvality také pouze kladné či pouze záporná – mohou se vyskytnout roky, kdy je tomu naopak.

#### ▪ **Citlivostní analýza pro zvolené scénáře**

Jak je patrné z výše uvedeného postupu, výsledkem výpočtu bude dosti rozsáhlá tabulka hodnot, která bude 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  $SAIDI_Q$  (přesněji relativní meziroční změna  $STQ$  pro  $SAIDI_Q$ ) a na ose y je změna  $STQ$  pro  $SAIFI_Q$ .

Způsob odečítání z těchto grafů je následující:

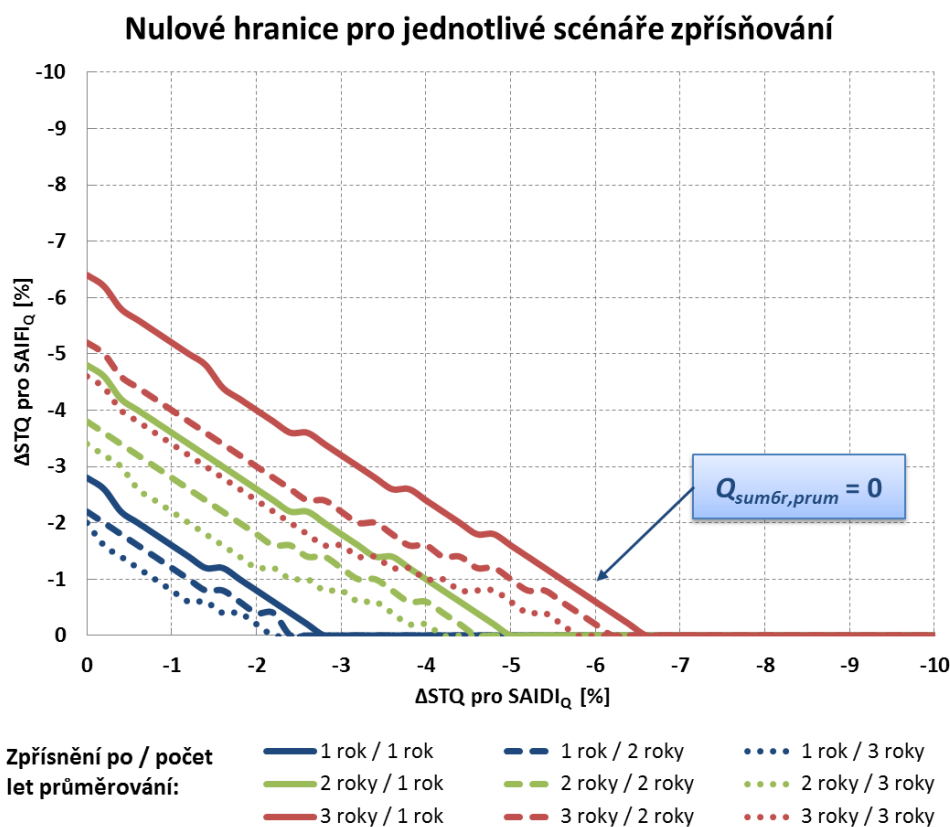
- Pro body, odpovídající zpříšňování  $SAIFI_Q$  a  $SAIDI_Q$ , ležící pod čarou – pod nulovou hranicí vychází průměrná souhrnná hodnota faktoru kvality za IV. RO **kladná** (v bilanci převažuje bonifikace).
- Pro body, odpovídající zpříšňování  $SAIFI_Q$  a  $SAIDI_Q$ , ležící nad čarou – nad nulovou 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 zpříšňování je  $Q_{sumRO,prum} < 0$ .

**Pro ilustraci bude vytvořen model**, na kterém bude prezentováno vykreslení nulových hranic pro zvolené scénáře. Model vychází z hodnot ukazatelů nepřetržitosti pro celou ČR, ze kterých byly určeny parametry logaritmicko-normálních rozdělení. Pomocí tohoto rozdělení byly následně vygenerovány hodnoty ukazatelů  $SAIFI_Q$ ,  $SAIDI_Q$

pro jednotlivé roky až do roku 2021 (tj. předpokládaného konce IV. RO). Dále se uvažuje s fiktivním snížením ukazatelů  $SAIFI_Q$  o 4 % a  $SAIDI_Q$  o 8 % a to důsledkem realizací opatření ke zlepšení těchto ukazatelů (pro tento účel není důležité pomoci jakých opatření, ani zda jsou tyto hodnoty reálné).

Následně se pro vygenerované hodnoty vypočetly hodnoty komponenty Q podle současných parametrů pro III. RO, tj. neutrální pásmo  $\pm 5$  %, hranice pro uplatnění max. bonus/penále  $\pm 15$  % a hodnota maximálního bonusu/penále  $\pm 3$  % ze zisku. Zpřísnění probíhá aritmetickou řadou od začátku IV. RO, tj. roku 2016. Výpočet je proveden z ročních hodnot i z dvou a tříletých průměrů (u těchto průměrů se použijí příslušné klouzavé průměry). Změny požadované hodnoty ukazatelů  $STQ$  se počítají v kroku 0,2 % na obou osách. Nakonec se pro každé zpřísnění  $SAIFI_Q$  vyhledá  $Q_{sum6r,prum}$  nejbližší nule a tím se odečte hodnota zpřísnění  $SAIDI_Q$ , která je vynesena do grafu a tvoří bod nulové hranice. Vytvořené nulové hranice jsou uvedeny v následujícím obrázku.

**Obr. 35:** Nulové hranice pro vytvořený model



- **Závěry**

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

**Kroky zpříšňování** - Porovnání výsledků pro různé kroky zpříšňování 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 zpříšňování v čase narůstá, než když je přes celé období rovnoměrně rozdělena (byť v obou případech dospěje ke stejné cílové hodnotě). Čistě z hlediska velikosti míry zpříšňování umožňuje tříletý krok (případně dvouletý krok) vyšší hodnoty míry zpříšnění než při ročním zpříšňování. 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 zpříšnění než dvouleté a tříleté průměry.

**Aritmetická/geometrická řada** - Zpříšňování 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. Zpříšňování geometrickou řadou umožňuje vyšší meziroční zpříšnění než zpříšňování aritmetickou řadou (ovšem cílová hodnota zpříšnění může být menší).

Na základě těchto obecných závěrů je možné postupovat při výběru daného scénáře zpříšňování. Vykreslení nulové hranice pro jednotlivé scénáře dává názornější přehled o dané situaci a zobrazuje možnosti zpříšňování 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 podpurný 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  $SAIFI_Q$ ,  $SAIDI_Q$  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 a souvisejících parametrů.

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 konečné 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

- [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]. Tlustý J.: *Energetická rušení v distribučních a průmyslových sítích*, Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze, 1999
- [7]. Medvec Z.: *Spolehlivost elektroenergetické soustavy v souvislosti s oceněním nedodané elektrické energie*, Habilitační práce, VŠB Ostrava, 2007
- [8]. Skala P., Dětrich V.: *Kvalifikace přínosů kabelizace vybraných úseků venkovního vedení vn*, Sborník konference CIRED 2013 [CD-ROM]. Praha: CIRED, 2013
- [9]. Skala P., Dětrich V.: *Predikce spolehlivosti jako součást analýz přínosů a nákladů opatření ovlivňujících spolehlivost distribučních sítí vn*, Sborník konference CIRED 2012 [CD-ROM]. Praha: CIRED, 2012
- [10]. Elena Fumagalli, Luca Lo Schiavo, Florence Delestre: *Service Quality Regulation in Electricity Distribution and Retail*, Springer 2007, ISBN: 978-3-540-73442-0
- [11]. IEEE Std 1366™-2003: *Guide for Electricity Power Distribution Reliability Indices*
- [12]. IEEE Std 1366™-2012: *Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*
- [13]. TR 50 555: *Interruption indexes*, CENELEC
- [14]. *Quality of Electricity supply: Initial Benchmarking on actual levels, standards and regulatory strategies – 1st Benchmarking Report*, CEER, 2001
- [15]. *2<sup>nd</sup> Benchmarking Report on Quality of Electricity Supply*, CEER, 2003
- [16]. *3<sup>th</sup> Benchmarking Report on Quality of Electricity Supply*, CEER, 2005

- [17]. *4<sup>th</sup> Benchmarking Report on Quality of Electricity Supply, CEER, 2008*
- [18]. *5<sup>th</sup> Benchmarking Report on Quality of Electricity Supply, CEER, 2011*
- [19]. *CEER Benchmarking Report 5.1 on the Continuity of Electricity Supply, CEER, 2013*
- [20]. *Guidelines of Good Practice on Estimation of Costs due to Electricity Interruptions and Voltage Disturbances, CEER, 2010*
- [21]. *ČSN EN 50160 Ed.3 (330122): Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*
- [22]. *ČSN EN 61 000: Elektromagnetická kompatibilita (EMC)*
- [23]. *ČSN IEC 50(191): Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 191: Spolehlivost a akost' služieb*
- [24]. *ČSN 33 0050-603: Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 603: Výroba, přenos a rozvod elektrické energie. Plánování a řízení elektrizační soustavy*
- [25]. *ČSN 33 0050-604: Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 604: Výroba, přenos a rozvod elektrické energie. Provoz*
- [26]. *ČSN IEC 60050-617: Mezinárodní elektrotechnický slovník - Část 617: Trh s elektřinou*
- [27]. *Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)*
- [28]. *Vyhláška ERÚ č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek elektrické energie a souvisejících služeb v elektroenergetice, ve znění vyhlášky č. 41/2010 Sb.*
- [29]. *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*
- [30]. *Vyhláška č. 140/2009 Sb. o způsobu regulace cen v energetických odvětvích a postupech pro regulaci cen (v platném znění)*
- [31]. *Virendra Ajodhia, Luca Lo Schiavo, Roberto Malaman: Quality regulation of electricity distribution in Italy: an evaluation study, Energy Policy, 34, 2006*
- [32]. *Tooraj Jamasb, Luis Orea, Michael Pollitt: Estimating the marginal cost of quality improvements: The case of the UK electricity, Energy Economics, 2012*

- [33]. *Natural Resources Canada, U.S. Department of Energy: Canada–United States Power System Outage Task Force, Final Report, 09 2006*
- [34]. *Kaufmann, Larry. Service Quality Regulation for Detroit Edison: A critical assessment. brak miejsca: Pacific Economics Group, 03 2007*
- [35]. *Joskow, Paul L: Incentive Regulation and Its Application to Electricity Networks. Review of Network Economics, 10 2008, Vol.7, Issue 4*
- [36]. *João Pedro Gouveia, Luís Dias, Inês Martins: Effects of renewables penetration on the security of Portuguese electricity supply, Applied Energy, 13 01 2014*
- [37]. *Joana Portugal-Pereira, Miguel Esteban: Implications of paradigm shift in Japan's electricity security of supply: A multi-dimensional indicator assessment, Applied Energy, 07 01 2014*
- [38]. *Christian Growitsch, Tooraj Jamasb, Christine Muller: Social cost-efficient service quality -Integrating customer valuation in incentiveregulation: Evidence from the case of Norway Energy Policy, 22 01 2010*
- [39]. *Haas R., Auer H, Resch A, Lettner G: The Growing Impact of Renewable Energy in European Electricity Markets, Evolution of Global Electricity Markets, 2013*
- [40]. *David A. Hensher, Nina Shore, Kenneth Train: Willingness to pay for residential electricity supply quality and reliability, Applied Energy, 30 11 2013*
- [41]. *Beneš M., Starý O., Vastl J. Orlando : International Institute of Informatics and Systemics, The 4<sup>th</sup> International Multi-Conference on Engineering and Technological Innovation, ISBN: 978-1-936338-35-1*
- [42]. *Anna Ter-Martirosyan, John Kwoka: Incentive regulation, service quality, and standards in U.S. electricity distribution, Journal of Regulatory Economics, 12 2010*
- [43]. *Gouveia, J.P., Dias, L.: Effects of renewables penetration on the security of Portuguese electricity supply, Applied Energy*
- [44]. *Alvehag, K., Soder, L. Florence: Quality regulation impact on investment decisions in distribution system reliability, European Energy Market (EEM), 2012*
- [45]. *Brown R.: Electric Power Distribution Reliability, Second Edition, CRC Press, 2009, ISBN 978-0-8493-7567-5.*

## 9 Publikace autora

### 9.1 Publikace autora vztahující se k tématu disertační práce

- [1]. Šefrámek J.: *Kvalita elektrické energie v distribučních soustavách – diplomová práce, ČVUT v Praze 2007*
- [2]. Šefrámek J.: *Není elektřina jako elektřina, Třetí pól. 2008, roč. 8, č. 2*
- [3]. Šefrámek J.: *Vyhodnocení plnění standardů kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, Sborník konference CIGRE 2008 [CD-ROM]. Praha: CIGRE, 2008, ISBN 978-80-254-2790-3*
- [4]. Tůma J., Šefrámek 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]. Šefrámek J., Kusý P.: *The Quality of Electricity and its Regulation, Poster 2009 [CD-ROM]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009*
- [6]. Šefrámek J.: *Vyhodnocení plnění standardů kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, Sborník konference CIGRE 2009 [CD-ROM], Praha, 2009*
- [7]. Šefrámek 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]. Šefrámek J.: *Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb elektroenergetice, Energetika. 2009, roč. 59, č. 12, s. 505-508. ISSN 0375-8842*
- [9]. Šefrámek J.: *Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, Sborník konference CIGRE 2010 [CD-ROM]*
- [10]. Šefrámek J., Tůma J.: *Vliv řídicích a regulačních orgánů na spolehlivost a kvalitu dodávek elektrické energie, 9th International Conference EEE, 2010, Tatranské Matliare, Slovak Republic*
- [11]. Šefrámek J.: *Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, Sborník konference CIGRE 2011 [CD-ROM]. Praha: CIGRE, 2011, ISBN 978-80-905014-0-9*

- [12]. Šefrámek J.: Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb elektroenergetice za rok 2010, *Energetika*. 2011, roč. 61, č. 11
- [13]. Šefrámek J.: Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, *Sborník konference CIREN 2012 [CD-ROM]*. Praha: CIREN, 2012
- [14]. Šefrámek J., Tůma J.: Kvalita dodávek elektrické energie v distribučních soustavách a možnosti jejího ovlivňování, *Konference EPE 2013*
- [15]. Šefrámek J.: Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, *Sborník konference CIREN 2013 [CD-ROM]*. Praha: CIREN, 2013
- [16]. Šefrámek J.: Kvalita elektřiny, *Konference Poděbrady 2014, Poděbrady 2014*

Podíly spoluautorů na jednotlivých publikacích jsou shodné.

## **9.2 Publikace autora ostatní**

- [17]. Šefrámek J., Sýkora T., Tůma J., *Zapojení elektráren na biomasu do elektrické sítě, Energetika a biomasa [CD-ROM]*. Praha: ČVUT, Fakulta strojní, 2008, s. 113-120. ISBN 978-80-01-04017-1.
- [18]. Šefrámek, J., *Decentralizovaná výroba a užití OZE, Proceedings of the 9th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2008*. Brno: Brno University of Technology, 2008, s. 87-90. ISBN 978-80-214-3650-3.
- [19]. Šefrámek J., Tůma J.: *Možnosti pro zvýšení efektivnosti a úspor při výrobě a využití elektrické energie, Sborník konference ELEN 2008 [CD-ROM]*. Praha: ČVUT FEL, Katedra elektroenergetiky, 2008, s. 1-7. ISBN 978-80-254-2293-9
- [20]. Šefrámek J., Kusý P.: *Začlenění bioplynových stanic do elektrizační soustavy v české republice, Proceedings of the fifth international scientific symposium Elektroenergetika 2009, Technical University of Košice, Slovak Republic, 2009, ISBN 978-80-553-0237-9*

Podíly spoluautorů na jednotlivých publikacích jsou shodné.

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

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