



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## ANALÝZA DOPADŮ PORUCHOVOSTI JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY NA SPOLEHLIVOSTNÍ UKAZATELE

ANALYSIS OF THE IMPACTS OF DS ELEMENT FAILURES ON RELIABILITY INDICATORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Vachutka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

BRNO 2019



# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Ondřej Vachutka

**ID:** 191512

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2018/19

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Analýza dopadů poruchovosti jednotlivých prvků distribuční soustavy na spolehlivostní ukazatele**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Úvod do spolehlivosti a kvality DS a popis spolehlivostních ukazatelů
2. Popis a kompletace vstupních dat pro sledování nepřetržitosti distribuce elektrické energie
3. Provedení základní analýzy, stanovení vlivu jednotlivých prvků sítě ve vybraných oblastech na ukazatele spolehlivosti SAIDI a SAIFI a identifikace prvků s významným dopadem na MAIFI

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

podle pokynů vedoucího práce a konzultanta z PREdi

**Termín zadání:** 4.2.2019

**Termín odevzdání:** 27.5.2019

**Vedoucí práce:** Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
*předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení částí druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

VACHUTKA, O. Analýza dopadů poruchovosti jednotlivých prvků distribuční soustavy na spolehlivostní ukazatele. Bakalářská práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2019. 45 stran.

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma: „Analýza dopadů poruchovosti jednotlivých prvků distribuční soustavy na spolehlivostní ukazatele“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 27. května 2019

.....

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Michalu Ptáčkovi, Ph.D. za pomoc a cenné rady při zpracování této práce. Dále děkuji společnosti PREdistribuce, a. s., Ing. Janu Hejhalovi, Ing. Petru Skalovi, Ph.D. a všem svým blízkým, kteří mě ve studiu podporují.



## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá problematikou dopadů poruchovosti různých prvků distribuční soustavy na spolehlivostní ukazatele. V teoretické části práce je popsána spolehlivost, kvalita elektrické energie distribučních soustav, spolehlivostní ukazatele a regulace nepřetržitosti distribuce elektrické energie. Praktická část práce je zaměřena na identifikaci a vyhodnocení poruch jednotlivých prvků distribuční sítě PREDistribuce, a. s. pro období mezi lety 2011–2016 na napětíové hladině 22 kV.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Spolehlivost; spolehlivostní ukazatele; SAIDI; SAIFI; distribuční síť

## **ABSTRACT**

Bachelor's thesis deals with the impacts of distribution network element failures on reliability indicators. Therefore it makes basic description of the reliability, the reliability indicators or the regulation of continuity in distribution of electric power. It also presents main results of the identification and evaluation of individual 22 kV elements failures in distribution network of PREdistribuce, a. s. between 2011 to 2016.

**KEY WORDS:** Reliability; reliability indicators; SAIDI; SAIFI; distribution network

**OBSAH**

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>7</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>9</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>2 SPOLEHLIVOST A KVALITA DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ V ČR</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 ZÁKLADNÍ POJMY</b> .....	<b>13</b>
2.1.1 STAVY OBJEKTU.....	14
2.1.2 JEVY OBJEKTU.....	14
2.1.3 ČINNOSTI OBJEKTU .....	14
<b>2.2 KVALITA DISTRIBUCE ELEKTRICKÉ ENERGIE</b> .....	<b>14</b>
<b>3 SPOLEHLIVOSTNÍ UKAZATELE</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1 OBECNÉ UKAZATELE SPOLEHLIVOSTI</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2 UKAZATELE SPOLEHLIVOSTI ZAŘÍZENÍ A PRVKŮ UŽÍVANÉ V ČR</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3 UKAZATELE NEPŘETRŽITOSTI</b> .....	<b>19</b>
3.3.1 ZÁKLADNÍ UKAZATELE NEPŘETRŽITOSTI DISTRIBUCE .....	19
3.3.2 AGREGOVANÉ UKAZATELE NEPŘETRŽITOSTI DISTRIBUCE .....	20
<b>3.4 UKAZATELE NEPŘETRŽITOSTI DISTRIBUCE UŽÍVANÉ V ČR</b> .....	<b>22</b>
3.4.1 HLADINOVÉ UKAZATELE NEPŘETRŽITOSTI DISTRIBUCE DS .....	22
3.4.2 SYSTÉMOVÉ UKAZATELE NEPŘETRŽITOSTI DISTRIBUCE DS .....	23
<b>4 REGULACE NEPŘETRŽITOSTI DISTRIBUCE V ČR</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1 DATA POTŘEBNÁ KE SLEDOVÁNÍ NEPŘETRŽITOSTI DISTRIBUCE ELEKTRICKÉ ENERGIE</b> .....	<b>25</b>
<b>5 ANALÝZA PORUCHOVOSTI JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ DS</b> .....	<b>27</b>
<b>5.1 POPIS VSTUPNÍCH DAT</b> .....	<b>27</b>
<b>5.2 HODNOCENÍ INTENZITY PROSTOJŮ</b> .....	<b>29</b>
<b>5.3 HODNOCENÍ SYSTÉMOVÝCH UKAZATELŮ NEPŘETRŽITOSTI DS</b> .....	<b>30</b>
<b>5.4 IDENTIFIKACE SÍŤOVÝCH PRVKŮ UKAZATELE <i>MAIFI</i></b> .....	<b>36</b>
<b>5.5 HODNOCENÍ PŘÍSPĚVKU <i>SAIFI<sub>Q</sub></i> A <i>SAIDI<sub>Q</sub></i></b> .....	<b>37</b>
<b>6 ZÁVĚR</b> .....	<b>39</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>40</b>
<b>PŘÍLOHA A</b> .....	<b>42</b>

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 3-1: Vanová křivka (modifikováno z [1]).....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 4-1: Ilustrace stanovení dílčího faktoru kvality, modifikováno z literatury [3] .....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 5-1: Vývoj systémového ukazatele SAIFI v rozmezí let 2011–2016 pro jednotlivé síťové prvky na napěťové hladině 22 kV .....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 5-2: Vývoj systémového ukazatele <math>\Sigma</math>SAIFI v rozmezí let 2011–2016 pro všechny síťové prvky na napěťové hladině 22 kV .....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 5-3: Ilustrace systémového ukazatele SAIFI pro různé distribuční společnosti [13] .....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 5-4: Vývoj systémového ukazatele SAIDI v rozmezí let 2011–2016 pro jednotlivé síťové prvky na napěťové hladině 22 kV .....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 5-5: Vývoj systémového ukazatele <math>\Sigma</math>SAIDI v rozmezí let 2011–2016 pro všechny síťové prvky na napěťové hladině 22 kV .....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 5-6: Ilustrace systémového ukazatele SAIDI pro různé distribuční společnosti [13] .....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 5-7: Ilustrace vývoje <math>Q</math> komponenty PREDistribuce, a. s. – parametr SAIFI<sub>Q</sub> [15] .....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 5-8: Ilustrace vývoje <math>Q</math> komponenty PREDistribuce, a. s. – parametr SAIDI<sub>Q</sub> [15] .....</i>	<i>38</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 3-1: Vztahy mezi čtyřmi základními veličinami [1] .....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 5-1: Místo a počet poruch po odstranění nevhodných dat v období 2011–2016 na napěťové hladině 22 kV.....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 5-2: Zjištěné hodnoty množství prvků .....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 5-3: Výpočet intenzity prostojů pro vybrané síťové prvky v období 2011–2016 na napěťové hladině 22 kV.....</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 5-4: Celkové počty odběratelů v DS.....</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 5-5: Výsledek SAIFI na napěťové hladině 22 kV pro jednotlivé síťové prvky v období 2011–2016.....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 5-6: Výsledek SAIDI na napěťové hladině 22 kV pro jednotlivé síťové prvky v období 2011–2016.....</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 5-7: Místo a počet krátkodobých poruch na napěťové hladině 22 kV .....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 5-8: Výsledek SAIFI<sub>Q</sub> a SAIDI<sub>Q</sub> na napěťové hladině 22 kV v období 2011–2016.....</i>	<i>37</i>

**SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK**

<i>ASAI</i>	ukazatel průměrné dostupnosti služeb	-
<i>ASIFI</i>	ukazatel průměrného počtu přerušení	-
<i>CAIDI</i>	ukazatel průměrné doby trvání přerušení distribuce elektřiny	min
<i>CAIDI<sub>h</sub></i>	hladinový ukazatel – průměrné doby přerušení distribuce elektřiny	min
<i>CAIDI<sub>s</sub></i>	systémový ukazatel – průměrné doby přerušení distribuce elektřiny	min
<i>CAIFI</i>	ukazatel průměrné četnosti trvalých dlouhodobých přerušení distribuce	r <sup>-1</sup>
<i>CEMI<sub>n</sub></i>	ukazatel poměru mezi odběrateli s více přerušeními distribuce elektřiny	r <sup>-1</sup>
<i>CN</i>	součet odběratelů zasažených dlouhodobým přerušením	-
<i>CTAIDI</i>	ukazatel celkové průměrné doby přerušení distribuce elektřiny	min
<i>IM<sub>i</sub></i>	počet krátkodobých přerušení	-
<i>L<sub>i</sub></i>	odpojený odběr pro trvalé přerušení	kVA
<i>L<sub>T</sub></i>	celkový odběr elektrické energie	kVA
<i>MAIFI</i>	ukazatel průměrné četnosti krátkodobých přerušení distribuce elektřiny	r <sup>-1</sup>
<i>N</i>	počet prostojů	-
<i>N<sub>i</sub></i>	počet odběratelů postižených dlouhodobým přerušením	-
<i>N<sub>mi</sub></i>	počet odběratelů zasažených krátkodobým přerušením	-
<i>NS</i>	celkový počet odběratelů v DS	-
<i>N<sub>sh</sub></i>	celkový počet odběratelů zasažených na úrovni napěťové hladiny <i>h</i>	-
<i>N<sub>T</sub></i>	celkový počet odběratelů v distribuční soustavě	-
<i>P</i>	délka sledovaného období	r <sup>-1</sup>
<i>Q(t)</i>	pravděpodobnosti poruchy	-
<i>R(t)</i>	pravděpodobnost bezporuchového stavu	-
<i>SAIDI</i>	ukazatel celkové doby trvání dlouhodobého přerušení	min·r <sup>-1</sup>
<i>SAIDI<sub>h</sub></i>	hladinový ukazatel – vyjadřuje trvání přerušení distribuce elektřiny	min·r <sup>-1</sup>
<i>SAIDI<sub>Q</sub></i>	ukazatel doby přerušení distribuce elektřiny pro 2. a 11. událost	min·r <sup>-1</sup>
<i>SAIDI<sub>s</sub></i>	systémový ukazatel – trvání přerušení distribuce elektřiny	min·r <sup>-1</sup>

<i>SAIFI</i>	ukazatel četnosti přerušení dodávky	$r^{-1}$
<i>SAIFI<sub>h</sub></i>	hladinový ukazatel – četnost přerušení dodávky elektrické energie	$r^{-1}$
<i>SAIFI<sub>Q</sub></i>	ukazatel četnosti přerušení distribuce elektřiny pro 2. a 11. událost	$r^{-1}$
<i>SAIFI<sub>s</sub></i>	systémový ukazatel – četnost přerušení dodávky elektrické energie	$r^{-1}$
<i>T</i>	střední doba prostoje	hod
<i>Z</i>	počet prvků příslušného typu v síti	-
<i>f(t)</i>	hustota pravděpodobnosti poruchy	-
<i>l</i>	délka vedení	km
<i>n<sub>jh</sub></i>	počet odběratelů zasažených <i>j</i> -té události na úrovni napěťové hladiny <i>h</i>	-
<i>n<sub>jhi</sub></i>	počet odběratelů zasažených přerušením v <i>i</i> -tém manipulačním kroku, <i>j</i> -té události na úrovni napěťové hladiny <i>h</i>	-
<i>n<sub>z</sub></i>	počet přerušení u zákazníka	-
<i>r<sub>i</sub></i>	doba trvání dlouhodobého přerušení	min
<i>t<sub>i</sub></i>	doba prostoje	hod
<i>t<sub>i,z</sub></i>	doba trvání <i>i</i> -tého přerušení u <i>z</i> -tého zákazníka	$r^{-1}$
<i>t<sub>ji</sub></i>	doba trvání <i>i</i> -tého manipulačního kroku v rámci <i>j</i> -té události	min
<i>t<sub>p,z</sub></i>	ukazatel průměrné doby trvání jednoho přerušení	$r^{-1}$
<i>t<sub>s,z</sub></i>	ukazatel souhrné doby trvání přerušení	$r^{-1}$
<i>t<sub>sjh</sub></i>	součet dob trvání přerušení <i>j</i> -té události na úrovni napěťové hladiny <i>h</i>	min
<i>λ</i>	intenzita prostojů	$r^{-1}$
<i>λ(t)</i>	intenzita poruch	-
<i>ČEZ</i>	České energetické závody	
<i>ČR</i>	Česká republika	
<i>DS</i>	distribuční soustava	
<i>ERÚ</i>	Energetický regulační úřad	
<i>EZ</i>	energetický zákon	
<i>L<sub>1</sub></i>	fázový vodič – 1. fáze	
<i>L<sub>2</sub></i>	fázový vodič – 2. fáze	

---

<i>L<sub>3</sub></i>	fázový vodič – 3. fáze
<i>MOO</i>	maloodběratel obyvatel
<i>MOP</i>	maloodběratel podnikatel
<i>N</i>	nulový vodič
<i>P</i>	pravděpodobnost
<i>PDS</i>	provozovatel distribuční soustavy
<i>PPDS</i>	pravidla provozování distribuční soustavy
<i>PREdi</i>	PREdistribuce, a. s.
<i>VO</i>	velkoodběratel
<i>nn</i>	nízké napětí
<i>vn</i>	vysoké napětí
<i>vvn</i>	velmi vysoké napětí



# 1 ÚVOD

Spolehlivost distribučních sítí je a bude i nadále probíranou problematikou, která se stále vyvíjí s příchodem novějších technologií. Z toho důvodu je potřeba spolehlivost a kvalitu elektrické energie monitorovat a zlepšovat, aby nedocházelo k neplánovaným poruchám, které zapříčiní výpadek dodávky elektřiny k odběratelům. Ze strany distributorů je proto snaha o regulaci nepřetržitosti dodávky elektrické energie. V České republice (ČR) se o regulaci stará Energetický regulační úřad, který vydává vyhlášky k zákonům a cenová rozhodnutí. Vyhlášky stanovují limity spolehlivosti elektrických sítí, jež se musí dodržovat. Energetický regulační úřad uděluje bonusy a penále distribučním společnostem. Bonusy závisí na dosažení nadprůměrných hodnot spolehlivostních ukazatelů. Penále naopak na podprůměrných hodnotách.

Spolehlivost se vyjadřuje pomocí spolehlivostních ukazatelů, které jsou popsány v bakalářské práci. V ČR se používají ukazatele nepřetržitosti *SAIFI*, *SAIDI* a *CAIDI*. Udávají se jako hladinové a systémové. Nepřetržitost dodávky elektrické energie je narušována neplánovanými poruchami a postihuje velký počet odběratelů.

Na základě stále přísnějších požadavků na spolehlivost jsou distribuční společnosti tlačeny do neustálého vývoje distribuční soustavy. Distribuční společnosti jsou povinny vést záznamy o všech dlouhodobých přerušeních distribuce elektřiny v jejich provozované soustavě. Dále je provozovatel distribuční soustavy povinen vyhodnocovat ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny.

Cílem bakalářské práce je vyhodnotit ukazatele nepřetržitosti distribuce elektrické energie na napěťové hladině 22 kV v období 2011–2016 pro distribuční společnost PREdistribuce, a. s. V práci je popsána teorie potřebná k provedení analýzy poruchovosti jednotlivých prvků distribuční soustavy a hodnocení spolehlivostních ukazatelů. Zpracována jsou témata nezbytná pro pochopení analytické části práce; jedná se o pojmy spolehlivost, kvalita distribučních sítí, spolehlivostní ukazatele a regulace nepřetržitosti distribuce elektrické energie. Následně je provedena analýza vstupních dat získaných od společnosti PREdistribuce, a. s., hodnocení intenzity prostojů, hodnocení systémových spolehlivostních ukazatelů nepřetržitosti DS, identifikace síťových prvků ukazatele *MAIFI* a hodnocení spolehlivostních ukazatelů *SAIDI<sub>Q</sub>*, *SAIFI<sub>Q</sub>*.

## 2 SPOLEHLIVOST A KVALITA DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ V ČR

V rámci teoretické části práce je vhodné vymezit definice, znalosti, hodnocení spolehlivosti, kvality distribučních sítí a související náležitosti pro provozovatele distribučních sítí za nedodržení standardů, které udává Energetický regulační úřad (ERÚ).

### 2.1 Základní pojmy

Podle Pravidel provozování distribučních soustav [2] jsou vymezeny definice:

- Distribuční soustavy (DS) jsou takové soustavy, které jsou navzájem mezi sebou propojené pomocí souboru vedení a zařízení 110 kV (s výjimkou vybraných vedení a zařízení 110 kV, která jsou součástí přenosové soustavy). Jedná se o vedení a zařízení o napětí od 0,4/0,23 kV, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV a 35 kV a 110 kV. Vedení a zařízení zabezpečují distribuci elektřiny na vymezených územích ČR, včetně systémů měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky.
- Distribuce elektřiny je transport elektřiny DS.
- Provozovatel DS (PDS) je zavázán k distribuci elektřiny zákazníkům, kteří spadají na vymezené území ČR a dále je povinen připojit k DS každého, kdo o to požádá a splňuje podmínky EZ (energetického zákona).
- Provozování DS se zabývá veškerou činností PDS, která souvisí se zajištěním spolehlivé distribuce elektřiny.
- Pravidla provozování DS, dále jen (PPDS), vymezují technická hlediska mezi uživateli připojenými k DS a provozovateli DS. Ustanovení PPDS jsou společná a závazná pro všechny provozovatele a uživatele DS.
- Odběratelem DS se rozumí fyzická či právnická osoba, která odebírá elektřinu z DS.
- Standardy dodávky z DS plní charakteristiku kvality napětí elektřiny, která se odebírá z DS a přivádí odběratelům. Spadá zde frekvence sítě, velikost napětí, rychlé změny napětí, poklesy napětí, krátká a dlouhá přerušování napájení, dočasná přepětí o síťové frekvenci, přechodná přepětí, nesymetrie, harmonická a meziharmonická napětí, napětí signálů a standardy definované ve vyhlášce č. 540/2005, která pojednává o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice.
- Standardy provozování jsou souhrn důležitých požadavků na provoz řízené oblasti. Dodržování těchto požadavků se kontroluje monitorováním.
- Kvalita dodávané elektřiny se zaměřuje na pracovní hodnoty systémových veličin, které jsou zajištěny provozovatelem DS během normálního stavu.

Má-li být předmětem hodnocení spolehlivost DS, je nezbytné respektovat i kontext její definice. Literatura [1] uvádí definici spolehlivosti jako: „*Obecná vlastnost objektu spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a v čase podle stanovených technických podmínek. Spolehlivost je komplexní vlastnost, která zahrnuje dílčí spolehlivostní vlastnosti, jako např. bezporuchovost, životnost, udržovatelnost, skladovatelnost a jiné vlastnosti.*“

Dle zdroje [1] je objekt předmět, u kterého se studuje jeho spolehlivost. Při rozboru spolehlivosti je možné objekt rozdělit na dva druhy:

- prvek – individuální část objektu (např. kabelové vedení),

- systém – soubor prvků, které jsou určeny k plnění předepsaných funkcí (např. soustava),

### 2.1.1 Stav objektu

Stav objektu je možnost objektu plnit stanovené funkce [3]:

- provoz je takový stav, kdy objekt vykonává určenou funkci,
  - plný provoz – funkci koná úplně,
  - omezený provoz – funkci koná neúplně,
- prostoj je stav užívání objektu v momentu, kdy není v provozu. Může jít např. o nezávislou technickou poruchu.

### 2.1.2 Jevy objektu

V době přecházení z jednoho stavu objektu do druhého může docházet k následujícím jevům [1] [3]:

- porucha je jev, při kterém zaniká schopnost provozu daného objektu. Poruchy lze členit hned podle několika aspektů. Např. podle vlivu na schopnost provozu na poruchy částečné a úplné, či podle doby trvání na trvalé a dočasné,
- závada znamená, že se zhorší způsobilost provozu objektu, ale ještě nedochází k poruše,
- ukončení opravy je jev, při kterém dochází k obnovení schopnosti objektu plnit předepsanou funkci,

### 2.1.3 Činnosti objektu

- Údržba – činnost, která se koná z důvodu zachování bezporuchového stavu objektu po dobu stanovenou technickými podmínkami. Provádí se pravidelnými kontrolami stavu objektu [1] [3],
- oprava – činnost, která se koná po poruše se záměrem znovuobnovení funkce objektu [1] [3].

Bezporuchovost, opravitelnost, pohotovost, udržovatelnost, životnost, skladovatelnost a bezpečnost jsou dílčí vlastnosti spolehlivosti. Z pohledu spolehlivosti spadají tematicky do kapitoly a je zapotřebí je vnímat. Vzhledem k zaměření práce jsou méně podstatné, a proto jsou jejich definice k nahlédnutí v literatuře [1].

## 2.2 Kvalita distribuce elektrické energie

Spolehlivost DS silně souvisí s dodržováním kvality distribuce elektrické energie. Standardy kvality distribuce elektrické energie jsou předepsány vyhláškou č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice [5].

Kvalitu distribuce elektrické energie lze členit na:

- kvalitu napětí, dle ČSN EN 50160 [16]:
  - 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,
- harmonická napětí,
- mezipharmonická napětí,
- napětí síťových signálů v napájecím napětí,
- nepřetržitost distribuce je definována množstvím a časem přerušení [3].

Zdroj [5] říká, že: „*Přerušení elektrické energie je 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.*“

Dlouhodobé přerušení se chápe jako doba, která trvá více než 3 minuty. Přerušení, která trvají méně než 3 minuty, se označují jako přerušení krátkodobá [16].

Přerušení elektrické energie se člení dle literatury [5] podle příčiny na:

- neplánované, které se dělí na:
  - poruchové, kde dochází k přerušení z důvodů, které jsou způsobeny vznikem poruchy a posléze jejím odstraněním na zařízení provozovatele DS. Dále jsou zapříčiněny také chybným nebo bezdůvodným vypnutím zařízení. Člení se na:
    - způsobené poruchou, která vznikla v zařízení nebo při jejím provozu. Rozdělují se na:
      - za obvyklých povětrnostních podmínek. Dochází k přerušení soustavy v období, kdy na ni nepůsobí nepříznivé podmínky,
      - za nepříznivých povětrnostních podmínek. Dochází k přerušení soustavy v období, kdy na ni působí nepříznivé podmínky; provozovatel DS ovšem musí do 10 pracovních dnů prokázat, že došlo k přerušení z tohoto důvodu, a oznámit tuto skutečnost Energetickému regulačnímu úřadu,
    - způsobené v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby,
  - vynucené, jedná se o přerušení distribuce elektrické energie z důvodu bezprostředního ohrožení života, zdraví nebo majetku osob,
  - mimořádné přerušení nastává při stavu nouze nebo jejímu předejití,
  - v důsledku události mimo distribuční soustavu provozovatele soustavy a u výrobce,
- plánované.

Z vyhlášky č. 540/2005 Sb. [5] dle § 5 se za nesplnění standardů distribuce elektřiny myslí neplánované přerušení distribuce elektrické energie, které trvá déle než:

- 18 hodin v DS s napětíovou úrovní do 1 kV,
- 12 hodin v DS s napětíovou úrovní do 1 kV na území hlavního města Prahy,

- 12 hodin v DS s napětovou úrovní nad 1 kV,
- 8 hodin v DS s napětovou úrovní nad 1 kV na území hlavního města Prahy.

Provozovatel distribuční soustavy je povinen vyplatit zákazníkovi náhradu za nedodržení standardů, jestliže si o náhradu zažádá. Náhrada činí 10 % z jeho roční platby za distribuci, ale nesmí překročit částku [5]:

- 6 000 Kč v sítích do 1 kV,
- 12 000 Kč v sítích nad 1 kV do 52 kV,
- 120 000 Kč v sítích nad 52 kV.

### 3 SPOLEHLIVOSTNÍ UKAZATELE

Jakýkoliv prvek může být charakterizován pomocí souboru spolehlivostních parametrů. Jednoduché modely jsou založeny na intenzitě poruch a střední době trvání poruchy zařízení či vedení [8]. V elektroenergetice se ve spolehlivosti počítají pouze náhodné poruchy. Spolehlivostní ukazatele vyjadřují numericky dílčí vlastnosti spolehlivosti a je možné je rozdělit na [3]:

- obecné ukazatele spolehlivosti,
- ukazatele spolehlivosti zařízení a prvků,
- ukazatele nepřetržitosti.

#### 3.1 Obecné ukazatele spolehlivosti

Základním ukazatelem [1] bezporuchovosti objektů je pravděpodobnost bezporuchového provozu. Z ní je dále možno odvodit další veličiny, jako jsou například pravděpodobnost bezporuchového provozu, pravděpodobnost poruchy, hustota pravděpodobnosti poruch, intenzita poruch a střední doba bezporuchového provozu. Bezporuchovost obvykle monitorujeme v závislosti na čase. Dále uvažujeme, že daný objekt se nachází v bezporuchovém stavu provozu či se vyskytuje ve stavu poruchy, a také bereme v úvahu, že přechod mezi těmito stavy je okamžitý.

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

$$R(t) = P(\xi > t), \quad (5.1)$$

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

Pravděpodobnost poruchy objektu je pravděpodobnost, která udává v daném časovém období, že porucha nastane.

$$Q(t) = P(\xi \leq t) = 1 - R(t), \quad (5.2)$$

$R(t)$  je nerostoucí funkce času,  $Q(t)$  je neklesající funkce času. Obě veličiny jsou kladné a bezrozměrné. Jejich nejvyšší hodnota se může rovnat nule. Nejčastěji uvažujeme  $R(0)=1$ ,  $R(\infty)=0$ .

Hustota pravděpodobnosti poruchy příslušná k distribuční funkci  $Q(t)$  je dána vztahem:

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (5.3)$$

Intenzita poruch se definuje jako poměr mezi hustotou pravděpodobnosti poruchy a pravděpodobností bezporuchového provozu a je dána vztahem:

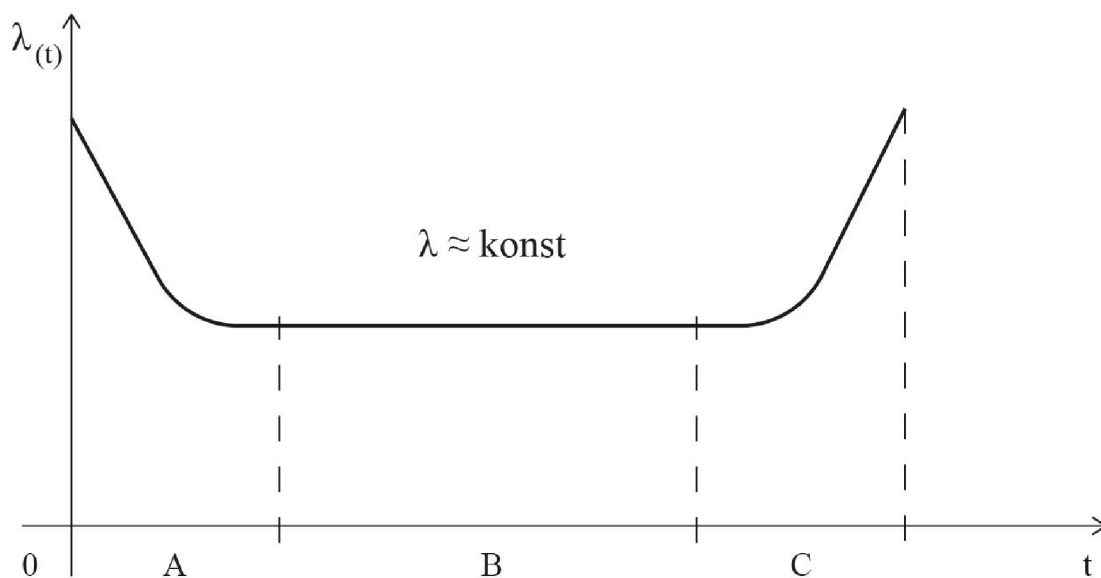
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (5.4)$$

Každá z těchto čtyř primárních veličin  $R(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $f(t)$ ,  $\lambda(t)$  popisuje bezporuchovost objektu a je z nich možné odvodit následující tři základní veličiny. Vzájemné vztahy mezi těmito obecnými ukazateli jsou uvedeny v Tab. 3-1 [1]:

Tab. 3-1: Vztahy mezi čtyřmi základními veličinami [1]

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

Časový průběh intenzity poruch  $\lambda(t)$  lze znázornit například tzv. vanovou křivkou, Obr. 3-1 [1]. Průběh této vanové křivky se obvykle dělí na tři úseky, konkrétně A, B a C. Úsek A je úsek počátečního období provozu. Křivka intenzity v tomto období klesá. V úseku B je průběh intenzity poruch přibližně rovnoběžný s časovou osou. Můžeme říci, že intenzita poruch je téměř konstantní. Třetí úsek se vyznačuje značnou strmostí křivky z důvodu výskytu poruch, které jsou zapříčiněny konečnou životností prvku.



Obr. 3-1: Vanová křivka (modifikováno z [1])

## 3.2 Ukazatele spolehlivosti zařízení a prvků užívané v ČR

Metodika těchto výpočtů vychází ze zdroje [7]. Pro intenzitu prostojů prvků platí následující vztah:

$$\lambda = \frac{N}{Z \cdot P}, \quad (5.6)$$

kde  $N$  se rozumí jako počet prostojů (-),  $Z$  je počet prvků příslušného typu v síti (-) a  $P$  je délka sledovaného období (rok).

Pro intenzitu prostojů vedení platí:

$$\lambda = \frac{N}{l \cdot P \cdot 0,01}, \quad (5.7)$$

kde  $l$  značí délku vedení příslušného typu (km).

Pro střední dobu prostoje platí:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}, \quad (5.8)$$

kde  $N$  je počet prostojů prvku příslušného typu a  $t_i$  se považuje za dobu prostoje prvku příslušného typu (hod).

## 3.3 Ukazatele nepřetržitosti

Dle literatury [3] je možné spolehlivost distribučních sítí charakterizovat pomocí ukazatelů nepřetržitosti. Obecně lze říci, že se výpočty spolehlivostních ukazatelů aplikují pouze pro dlouhodobá přerušení, pro určité výjimky i pro krátkodobá přerušení. Ukazatele nepřetržitosti distribuce elektrické energie se dělí na:

- základní ukazatele nepřetržitosti distribuce,
- agregované ukazatele nepřetržitosti distribuce.

### 3.3.1 Základní ukazatele nepřetržitosti distribuce

Počítají se pro konkrétního zákazníka. Do těchto ukazatelů spadá ukazatel počtu přerušení u daného zákazníka v určeném období  $n_z$ , souhrnná doba trvání přerušení u daného zákazníka, která je dána vztahem (5.9), a průměrná doba trvání jednoho přerušení u daného zákazníka v určeném období, která se udává vztahem (5.10). Zpravidla se ukazatele odkazují na období jednoho roku [3].

$$t_{s,z} = \sum_{i=1}^{n_z} t_{i,z}, \quad (5.9)$$

kde  $t_{i,z}$  je doba trvání  $i$ -tého přerušení v daném období u  $z$ -tého zákazníka.

$$t_{p,z} = \frac{t_{s,z}}{n_z} \quad (5.10)$$



### 3.3.2 Agregované ukazatele nepřetržitosti distribuce

V literatuře [8] se říká, že: „Z hlediska hodnocení plynulosti distribuce elektrické energie je nutné se zabývat obecnými ukazateli, jejichž cílem je vytvoření objektivního přístupu pro porovnávání ukazatelů plynulosti distribuce elektrické energie jednotlivých distribučních soustav.“ Spotřebitelé mohou na základě informací o ukazatelích zaznamenat, jaká úroveň kvality se v dané oblasti vyskytuje. Díky tomu mají odběratelé možnost porovnat pro danou oblast provozovatele distribuční sítě. Ukazatele nepřetržitosti dodávek elektřiny se mohou lišit dle země, ve které se využívají. Záleží na historii vývoje těchto ukazatelů, které mají pro danou zemi náležitou hodnotu. Z toho důvodu může být srovnávání spolehlivostních ukazatelů nepřetržitosti mezi různými státy složité. Záleží i na způsobu sběru dat [9].

Následující vztahy, které jsou obsaženy v kapitole 3.3.2, jsou převzaty z literatury [9].

#### 3.3.2.1 SAIFI

Ukazatel *SAIFI* (system average interruption frequency index), který znázorňuje celkový počet postižených odběratelů přerušením v daném časovém období. Zpravidla se časové období vymezuje jako jeden rok. Ukazatel je dán vztahem:

$$SAIFI = \frac{\sum N_i}{N_T}, \quad (5.11)$$

kde  $N_i$  značí počet zákazníků postižených při dlouhodobém přerušení určité události, které bylo způsobeno za dané období a  $N_T$  je celkový počet odběratelů v určité soustavě.

#### 3.3.2.2 SAIDI

*SAIDI* z anglického jazyka (system average interruption duration index) je ukazatel, který nám udává celkovou dobu trvání dlouhodobého přerušení u odběratele v průběhu daného období. Zpravidla se zaznamenává v minutách za rok. Numericky se vyjadřuje následovně:

$$SAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{N_T}, \quad (5.12)$$

kde  $r_i$  značí dobu trvání dlouhodobého přerušení určité události.

#### 3.3.2.3 CAIDI

*CAIDI* (customer average interruption duration index) je ukazatel, který nám udává průměrnou dobu potřebnou k obnovení dodávky elektřiny. *CAIDI* se vypočítá dle vztahu:

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (5.13)$$

#### 3.3.2.4 CTAIDI

*CTAIDI* (customer total average interruption duration index) představuje ukazatel, který zobrazuje celkovou průměrnou dobu v určitém období, ve kterém byli odběratelé bez elektrické energie. *CTAIDI* se od *CAIDI* liší tím, že odběratelé s více přerušeními v daném období se počítají pouze jednou. Numericky lze vyjádřit tento ukazatel jako:

$$CTAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{CN}, \quad (5.14)$$

kde  $CN$  znázorňuje sumaci počtu odběratelů, kteří byli zasaženi dlouhodobým přerušením elektřiny během sledovaného období.

### 3.3.2.5 CAIFI

Ukazatel *CAIFI* (customer average interruption frequency index) je ukazatel, který udává průměrnou četnost trvalých dlouhodobých přerušení pro odběratele, kteří se vyskytli v oblasti přerušení elektrické energie. I když by se odběratel vyskytl v počtu přerušení v určitém časovém intervalu vícekrát, započítává se pouze jednou. Numericky je dán vztahem:

$$CAIFI = \frac{\sum N_i}{CN} \quad (5.15)$$

### 3.3.2.6 ASAI

*ASAI* (average service availability index) je ukazatel, který udává za daný časový interval průměrnou dostupnost služeb, které nabyl odběratel. Matematicky se zapisuje jako:

$$ASAI = \frac{N_T \cdot 8760 - \sum r_i N_i}{N_T \cdot 8760} \quad (5.16)$$

### 3.3.2.7 CEMI<sub>n</sub>

*CEMI<sub>n</sub>* (customers experiencing multiple interruptions) je ukazatel, který uvádí poměr mezi odběrateli, kterých se týká více než  $n$  trvalých přerušení v určitém časovém intervalu na počet odběratelů v daném místě. Numericky se vyjadřuje následující rovnicí:

$$CEMI_n = \frac{\sum CN_{(k>n)}}{N_T} \quad (5.17)$$

### 3.3.2.8 ASIFI

*ASIFI* (average system interruption frequency index) je ukazatel, který se využívá v úsecích s málo odběrateli. Tito odběratelé však mají vysoké odběry elektřiny. Jedná se tedy o průmyslové firmy. Numericky je *ASIFI* dáno vztahem:

$$ASIFI = \frac{\sum L_i}{L_T}, \quad (5.18)$$

kde  $L_i$  značí odběr odpojený přerušením způsobeným danou událostí a  $L_T$  je celkový odběr v dané oblasti.

### 3.3.2.9 MAIFI

*MAIFI* (momentary average interruption frequency index) je ukazatel, který se udává pro období krátkodobých přerušení. *MAIFI* představuje průměrnou četnost krátkodobých přerušení. Numericky se jedná o následující rovnici:

$$MAIFI = \frac{\sum IM_i N_{mi}}{N_T}, \quad (5.19)$$

kde  $IM_i$  vyznačuje počet krátkodobých přerušení a  $N_{mi}$  je počet odběratelů, kteří byli zasaženi krátkodobým přerušením způsobeným určitou událostí.

### 3.4 Ukazatele nepřetržitosti distribuce užívané v ČR

Dle vyhlášky č. 540/2005 Sb. [5] §21 je provozovatel distribuční soustavy povinen vést záznamy o všech dlouhodobých přerušeních distribuce elektřiny v jím provozované soustavě. Distributor elektrické energie je dále povinen vypočítávat ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny z přerušení, která nastala během daného období či v kalendářním roce. Ukazatele se vypočítávají pro jednotlivé napěťové hladiny a celou distribuční soustavu.

Systémové ukazatele a ukazatele pro různé napěťové hladiny se počítají podle následujících vztahů, které jsou převzaty ze zdroje [7]:

#### 3.4.1 Hladinové ukazatele nepřetržitosti distribuce DS

Hladinové ukazatele formulují postihy, které vznikly na základě přerušení distribuce elektrické energie vztahené k odběratelům. Do této skupiny ukazatelů patří:

##### 3.4.1.1 SAIFI<sub>h</sub>

SAIFI<sub>h</sub> vyjadřuje četnost přerušení odběratele pro určitou hladinu napětí v daném časovém období. Numericky se zapisuje jako:

$$SAIFI_h = \frac{\sum_j n_{jh}}{N_{sh}}, \quad (5.20)$$

kde index  $h$  vyjadřuje danou napěťovou hladinu,  $j$  označuje číslo události,  $n_{jh}$  je počet zákazníků, kteří byli postiženi událostí  $j$  na úrovni napěťové hladiny  $h$  a  $N_{sh}$  je celkový počet zákazníků, kteří jsou napájeni z napěťové hladiny  $h$ .

##### 3.4.1.2 SAIDI<sub>h</sub>

SAIDI<sub>h</sub> vyjadřuje trvání přerušení distribuce elektrické energie zákazníka pro danou napěťovou hladinu v určitém období.

$$SAIDI_h = \frac{\sum_j t_{sjh}}{N_{sh}}, \quad (5.21)$$

kde  $t_{sjh}$  vyznačuje součet všech dob trvání přerušení distribuce elektřiny, která byla zapříčiněna  $j$ -té událostí u jednotlivých zákazníků, kteří byli přímo napájeni z napěťové hladiny  $h$  a byla jim přerušena dodávka elektřiny. Pro číselník  $t_{sjh}$  platí následující rovnice:

$$t_{sjh} = \sum_i t_{ji} \cdot n_{jhi}, \quad (5.22)$$

kde  $i$  je evidenční číslo manipulačního kroku v rámci  $j$ -té události,  $t_{ji}$  je doba trvání  $i$ -tého manipulačního kroku v rámci  $j$ -té události a  $n_{jhi}$  je počet odběratelů, kterým nastalo přerušení distribuce elektrické energie v  $i$ -tém manipulačním kroku  $j$ -té události pro určitou napěťovou hladinu  $h$ .

##### 3.4.1.3 CAIDI<sub>h</sub>

CAIDI<sub>h</sub> značí průměrné přerušení distribuce elektřiny pro zákazníka pro danou hladinu napětí v určitém období. Vyjadřuje se následující rovnicí:

$$CAIDI_h = \frac{SAIDI_h}{SAIFI_h}. \quad (5.23)$$

### 3.4.2 Systémové ukazatele nepřetržitosti distribuce DS

Systémové ukazatele nepřetržitosti značí průměrné počty dopadů událostí přerušení distribuce elektřiny pro všechny zákazníky v DS.

#### 3.4.2.1 SAIFI<sub>s</sub>

SAIFI<sub>s</sub> vyjadřuje četnost přerušení v daném období. Matematicky se vyjadřuje vztahem:

$$SAIFI_s = \frac{\sum_{h=nn}^{vvn} \sum_j n_{jh}}{N_s}, \quad (5.24)$$

kde  $N_s$  je formulováno jako celkový počet odběratelů v DS (na hladinách nn, vn a vvn) ke konci předchozího roku.

#### 3.4.2.2 SAIDI<sub>s</sub>

SAIDI<sub>s</sub> znamená souhrnnou dobu trvání přerušení distribuce elektrické energie v námi sledovaném časovém intervalu. Je vyjádřeno následující rovnicí:

$$SAIDI_s = \frac{\sum_{h=nn}^{vvn} \sum_j t_{sjh}}{N_s} \quad (5.25)$$

#### 3.4.2.3 CAIDI<sub>s</sub>

CAIDI<sub>s</sub> je ukazatel, který vyznačuje průměrné přerušení distribuce elektřiny v daném období, a je popsán vztahem:

$$CAIDI_s = \frac{SAIDI_s}{SAIFI_s} \quad (5.26)$$

## 4 REGULACE NEPŘETRŽITOSTI DISTRIBUCE V ČR

Rokem 2001 započala v České republice regulace nepřetržitosti distribuce elektrické energie, když vstoupila v platnost vyhláška č. 306/2001 Sb., o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektrotechnice. Vyhláška ovšem nenaplňovala všechny potřebné regulace, a proto byla novelizována. V roce 2006 nabyla účinnosti vyhláška č. 540/2005 Sb. Ve vyhlášce jsou definovány základní ukazatele spolehlivosti distribuce elektřiny, které se musí užívat v České republice. Těmi jsou *SAIFI*, *SAIDI* a *CAIDI* [3]. Limity těchto ukazatelů stanovuje vyhláška č. 436/2013 Sb., [6] která říká, že: „*Úřad stanoví ceny do 30. listopadu kalendářního roku předcházejícího regulovaného roku, a to s účinností od 1. ledna regulovaného roku. V případě regulace cen způsobem věcného usměrňování cen stanoví Úřad podmínky pro sjednání cen do 30. listopadu kalendářního roku předcházejícího kalendářního roku, pro který jsou podmínky pro sjednání cen stanoveny, a to s účinností od 1. ledna tohoto roku. Pokud Úřad reguluje ceny s jinou účinností než od 1. ledna regulovaného roku, stanoví ceny nebo podmínky pro sjednávání cen nejméně 30 kalendářních dnů přede dnem jejich účinnosti.*“

V roce 2009 byla vydána vyhláška č. 140/2009 Sb., o regulaci cen v energetických odvětvích a postupech pro regulaci cen. V rámci vyhlášky je nově řešen také pojem faktor kvality [3].

Faktor kvality (jinak řečeno komponenta  $Q$  [3]) je faktor, který označuje navýšení cen za distribuci elektrické energie. Navýšení cen vzniká, když kvalita distribuce je lepší než určitý limit. Naopak snížení cen vzniká, když kvalita distribuce je horší než určitá úroveň. Faktor kvality vzniká [3]:

- sumací faktoru kvality, která bere v potaz počet přerušení distribuce elektřiny v odběrných místech odběratelů,
- sumací faktoru kvality, která bere v potaz dobu přerušení distribuce elektřiny v odběrných místech odběratelů [3].

Z toho vyplývá, že faktor kvality obsahuje složku, která je funkcí ukazatele nepřetržitosti  $SAIFI_Q$  a ukazatele nepřetržitosti  $SAIDI_Q$  [3]. Momentálně probíhá IV. regulační období (2016–2020) [4], ve kterém se uvádí skutečnosti pro výpočet  $SAIFI_Q$  a  $SAIDI_Q$ . Literatura [4] říká: „*S ohledem na uvedenou skutečnost nejsou do výpočtu ukazatelů nepřetržitosti zahrnuty následující kategorie přerušení dle přílohy č. 4, vyhlášky č. 540/2005 Sb.:*

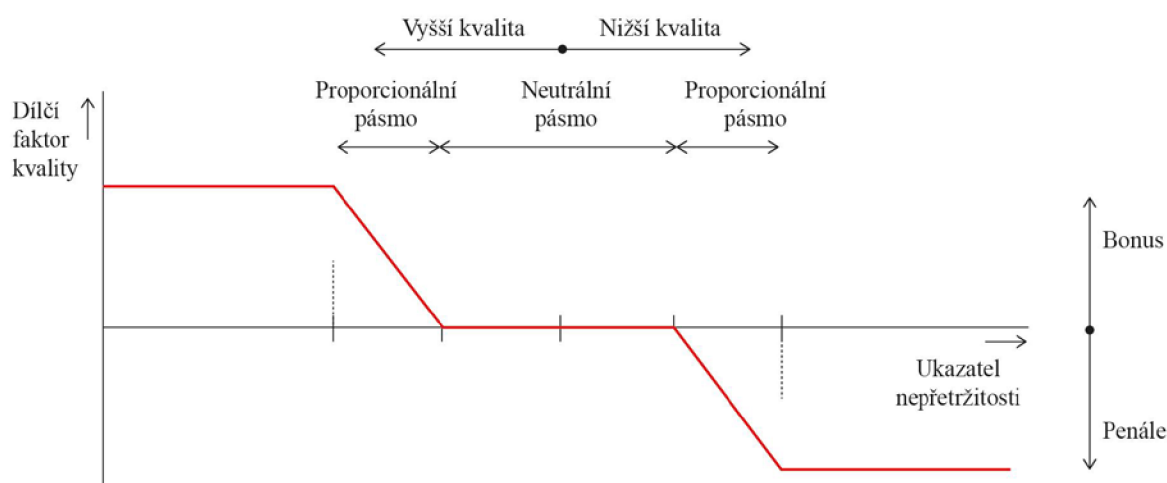
- *neplánovaná poruchová přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny způsobená poruchou mající původ v zařízení přenosové nebo distribuční soustavy provozovatele soustavy nebo jejím provozu za nepříznivých povětrnostních podmínek (kategorie č. 16),*
- *neplánovaná poruchová přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny způsobená v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby (kategorie č. 12),*
- *neplánovaná přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny vynucená (kategorie č. 15),*
- *neplánovaná přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny mimořádná (kategorie č. 14),*
- *neplánovaná přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny způsobená v důsledku události mimo soustavu daného provozovatele soustavy a u výrobce (kategorie č. 13).“*

$SAIFI_Q$  se vypočítává stejně jako  $SAIFI_s$  dle rovnice (5.24) s tím rozdílem, že v  $SAIFI_Q$  se hodnotí pouze pro kategorie přerušení č. 11 a č. 2, detailněji viz Tab. A-1 v příloze této práce.  $SAIDI_Q$  se rovněž tak jako  $SAIFI_Q$  vyhodnocuje z kategorie přerušení č. 11 a č. 2, viz Tab. A-1 v příloze A. Rovnice (5.25) udává výpočet  $SAIDI_s$ , který je souhlasný i pro  $SAIDI_Q$ . Parametry

a nastavení požadovaných hodnot ukazatele kvality na IV. regulační období jsou podrobně uvedeny v literatuře [4].

Velikost každé části dílčích faktorů je možné znázornit graficky dle Obr. 4-1 [3], kde lze pozorovat následující informace [3]:

- Jestliže se ukazatel nepřetržitosti nachází uvnitř neutrálního pásma, je hodnota jeho dílčího faktoru kvality nulová.
- Jestliže se ukazatel nepřetržitosti nachází uvnitř proporcionalního pásma, značí to lineární vzestup či sestup dílčího faktoru kvality.
- Jestliže se ukazatel nepřetržitosti nachází mimo neutrální pásmo i mimo proporcionalní pásmo, dochází k jeho nasycení. To znamená, že dílčí faktor kvality dosáhl konstantní hodnoty [3].



Obr. 4-1: Ilustrace stanovení dílčího faktoru kvality, modifikováno z literatury [3]

Distribuční společnosti se snaží o co nejvyšší hodnoty faktoru kvality z důvodu vyššího účtování cen za distribuci elektrické energie čili získávají bonus. Jestliže ukazatel nepřetržitosti  $SAIFI_Q$  nebo  $SAIDI_Q$  nabývá vysokých hodnot, které překračují limit neutrálního pásma, dochází k penalizaci společnosti [3].

Z toho vyplývá, že faktor kvality má velký dopad na ekonomiku firem, které distribují elektrickou energii, a proto je jejich velkým motivačním činitelem.

## 4.1 Data potřebná ke sledování nepřetržitosti distribuce elektrické energie

Literatura [7] poukazuje na nutnost zaznamenávat níže uvedená data z důvodu řádné identifikace událostí. Díky tomu je možné následně charakterizovat nepřetržitost distribuce a spolehlivostní ukazatele. Data potřebná ke sledování jsou:

- Pořadové číslo události v běžném roce.
- Typ události, druh přerušení.
- Druh sítě – rozděluje se podle způsobu provozu uzlu na izolované sítě, kompenzované, odporově uzemněné, kombinované a účinně uzemněné.

- d) Napětí sítě – jmenovité napětí sítě, které se týká sledovaného vedení. Jestliže se zde vyskytuje více napěťových hladin, bere se nejvyšší napěťová hladina.
- e) Napětí zařízení – jmenovité napětí zařízení, které se nachází v místě události. Je-li zde více napěťových hladin, bere se opět nejvyšší napěťová hladina.
- f) Příčina události.
- g) Druh zkratu.
- h) Druh zařízení.
- i) Poškozené zařízení.

Data byla převzata z literatury [7], respektive byla následně upravena do tabulkové podoby, viz Tab. A-1 [7] až Tab. A-7 [7] v příloze A.

## 5 ANALÝZA PORUCHOVOSTI JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ DS

Analýza se zakládá na hodnocení obdržných dat od společnosti PREdistribuce, a. s. Zaznamenaná data spadají do období od 1. 1. 2011 do 31. 12. 2016 včetně. V souladu s požadavky zadavatele je předmětem hodnocení napěťová hladina 22 kV a s ní spojené hodnocení spolehlivostních ukazatelů. V následujících částech dochází k technickému popisu dat a jsou představeny výsledky vlivu jednotlivých síťových prvků na spolehlivostní parametry.

### 5.1 Popis vstupních dat

V rámci analytické práce je zapotřebí jednoznačně identifikovat relevantní data, která se vztahují k vyhodnocení spolehlivostních ukazatelů. Obsahem hodnocených dat jsou následující informace:

- Záznam dat poruch PREdistribuce, a. s.
  - Uvnitř záznamu jsou sepsány údaje, které slouží ke sledování nepřetržitosti distribuce elektrické energie. Těmi jsou:
    - a) Čas začátku poruchy – den, měsíc, rok, hodiny a minuty.
    - b) Napětí – jmenovitá hodnota napětí, na které se vyskytla porucha. Obsaženy jsou jmenovité napěťové hladiny elektrických sítí: 6 kV, 22 kV a 110 kV.
    - c) Místo poruchy – bleskojistka, izolátor, kabelové vedení, koncovka, přípojnice, trafostanice, transformátor, spojka, linka, měřící transformátor proudu, odpínač, pojistka, přeponka, přeskok, rozvodna vysokého napětí, sběrna, strana primárního odběratele, úsekový odpínač, výkonový vypínač, uzemněno (závada odporníku).
    - d) Napájecí uzel – Běchovice, Černý Most, Červený Vrch, Jih, Jinonice, Měcholupy, Západ, Chodov, Holešovice, Lhotka, Karlov, Letňany, Malešice, Pankrác, Praha Střed, Pražačka, Řeporyje, Sever, Smíchov, Třeboradice, Východ, Zbraslav a Zličín.
    - e) Připojení uzlu transformátoru – tlumivka a odporník.
    - f) Postižené zařízení – evidenční číslo zařízení.
    - g) Typ poruchy – jednofázová, dvoufázová, trojfázová a rozvíjená porucha.
    - h) Postižené fáze – 1. fáze (L1), 2. fáze (L2), 3. fáze (L3), nulový vodič (N), kombinace nulového vodiče s různými fázemi a kombinace fází navzájem mezi sebou.
    - i) Maximální poruchový proud – hodnoty se pohybují od 130 A do 22 kA.
    - j) Celkový čas poruchy – data se vyskytují v rozmezí 0 až 2890 ms.
    - k) Porucha způsobena cizím zásahem.
    - l) Porucha spadající do distribuční sítě.
    - m) Vedlejší informace – například porucha způsobená povodní.

Pokračování v příloze A, Tab. A-8.

- Výkazy nepřetržitosti na ERÚ
  - a) Označení události – číslo, které bylo přiřazeno dané poruše.
  - b) Typ události – číslováno dle přílohy A, Tab. A-1.
  - c) Příčina události – číslováno dle přílohy A, Tab. A-4.
  - d) Úroveň napětí – číslováno dle přílohy A, Tab. A-3.



- n) Počátek přerušení – den, měsíc, rok, hodiny, minuty a sekundy, ve kterých nastala porucha.
- e) Ukončení přerušení – den, měsíc, rok, hodiny, minuty a sekundy, ve kterých byla ukončena porucha.
- f) Počet zákazníků, kteří byli postiženi poruchou.
- g) Součet všech dob trvání přerušení distribuce elektřiny.
- h) Trvání události.

Pokračování v Tab. A-8 v příloze A.

Celkový počet zaznamenaných poruch je 863. Nejprve vyfiltrujeme z dat hodnoty, které nespádají pod napěťovou hladinu 22 kV. V daném období vychází pro napěťovou hladinu 22 kV 598 poruch. Z čísla 598 lze dále odstranit poruchy, u kterých nejsou zjištěny výkazy nepřetržitosti na ERÚ (neznáme počet postižených zákazníků danou poruchou a příčinu události). Po odečtení se dostáváme z množství 598 na 487 poruch. Dále odstraníme poruchy, které nebyly způsobeny v distribuční síti. Proto se číslo 487 redukuje na 385 poruch. Dalším zohledněním je neuvažování dat, ve kterých není známo místo poruchy. Tím získáváme 377 poruch. Poruchy, které vznikly zapříčiněním povodní, se také nesmí promítnout do analýzy, a proto je musíme odstranit. Celková analýza se tedy bude vztahovat k množství 376 poruch. Dle zadání je zapotřebí 376 výsledných poruch rozřadit podle místa vzniku (Tab. 5-1) a následně vypočítat po jednotlivých rocích pro každý prvek zvlášť systémové ukazatele nepřetržitosti *SAIFI* a *SAIDI*.

Jako posledním zkoumaným ukazatelem je ukazatel *MAIFI*, který se stanovuje z krátkodobých přerušení. V obsahu hodnocených dat jsou značeny jako poruchy, u kterých neznáme výkazy nepřetržitosti na ERÚ.

Po domluvě s PREdistribucí, a. s. dochází k rozšíření o hodnocení intenzity prostoje pro jimi vybrané síťové prvky a také o hodnocení *SAIFI<sub>Q</sub>* a *SAIDI<sub>Q</sub>*, které vstupují do Q komponenty. Dále vznikají upřesnění ohledně místa poruch (Tab. 5-1):

- V tabulce se vyskytují poruchy pouze pro rozvodny VN 110/22 kV a trafostanice 22/0,4 kV, které se započítávají jen v případě, že porucha nastala na straně napěťové hladiny 22 kV.
- Při hodnocení dochází ke sloučení obecného pojmu sběrna a přípojnice do společného síťového prvku přípojnice.
- Dále dochází při hodnocení ke sloučení pojmů přeponka a izolátor pod jeden síťový prvek, kterým je izolátor.
- Porucha na straně primárního odběratele se nepromítne do výsledků práce.

Tab. 5-1: Místo a počet poruch po odstranění nevhodných dat v období 2011–2016 na napěťové hladině 22 kV

MÍSTO PORUCHY	POČET PORUCH
bleskojistka	1
izolátor	5
kabelové vedení	247
koncovka	26
venkovní linka	45
měřicí transformátor proudu	1
odpínač	14
pojistka	4
přeponka	1
přípojnice	14
rozvodny VN 110/22 kV	2
sběrna	3
spojka	1
strana primárního odběratele	3
trafostanice 22/0,4 kV	6
transformátor	1
úsekový odpínač	1
vypínač	1

Z Tab. 5-1 je patrné, že nejvíce poruch nastalo na kabelovém vedení, a proto bude hlavním předmětem zkoumání. Tab. 5-1 uvádí počty poruch, ze kterých se vychází v části 5.2 a 5.3.

## 5.2 Hodnocení intenzity prostožů

V souladu s požadavkem PREdistribuce, a. s. se hodnocení vztahuje pouze na vybrané prvky distribuční sítě: vypínače, kabelová vedení, úsekové odpínače, spojky a odpínače. Podkladem pro určení celkového množství kusů prvků je zdroj [10]. Po vyhodnocení interní dokumentace jsme zjistili počty daných síťových prvků pro rok 2018 (Tab. 5-2) a celkovou délku kabelového vedení, která činí 3 674,0904 km. V průběhu minulých let nedošlo k razantním změnám v počtu kusů síťových prvků, a proto jsme zanedbali možnou změnu v množství kusů a délce kabelového vedení.

Tab. 5-2: Zjištěné hodnoty množství prvků

PRVEK	POČET KUSŮ
Vypínač	1 402
Odpínač	7 150
Spojka	21 900
úsekový odpínač	153

Z toho vyplývá, že stanovení intenzity (Tab. 5-3) proběhlo pro neměnný počet kusů a pro neměnnou délku kabelového vedení v průběhu sledovaného období 6 let.

Tab. 5-3: Výpočet intenzity prostojů pro vybrané síťové prvky v období 2011–2016 na napěťové hladině 22 kV

PRVEK	$\lambda$ (rok <sup>-1</sup> )	$\lambda$ [rok <sup>-1</sup> ·(100 km) <sup>-1</sup> ]
vypínač	0,0001189	–
odpínač	0,0003263	–
spojka	0,0000076	–
úsekové odpínače	0,0010893	–
kabelové vedení	–	1,1205

Nejhorších výsledků (Tab. 5-3) dosáhlo kabelové vedení, které mělo nejvíce poruch. Druhé nejvyšší hodnoty intenzity prostojů dosahuje úsekový odpínač. Úsekový odpínač měl 1 poruchu, oproti tomu samostatný odpínač měl 14 poruch. Z toho se potvrzuje, že nezáleží pouze na počtu poruch síťového prvku, ale také na počtu kusů síťových prvků. Počet kusů je až přibližně 46x vyšší než počet úsekových odpínačů.

### 5.3 Hodnocení systémových ukazatelů nepřetržitosti DS

Pro plné hodnocení systémových ukazatelů je potřeba znalosti přesných počtů odběratelů v DS. Počty odběratelů jsou uvedeny v [11] a [12] a jsou přehledně zpracovány v Tab. 5-4.

Tab. 5-4: Celkové počty odběratelů v DS

POČET ODBĚRNÝCH MÍST	ROK					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
MOO	617 944	624 321	631 496	639 912	647 695	656 881
MOP	134 679	133 457	131 520	126 648	128 436	127 367
VO – VN	1 970	1 990	1 988	1 998	2 004	2 016
VO – VVN	0	0	4	4	3	3
Σ všech odběrných míst	754 593	759 768	765 008	768 562	778 138	786 267

Zkratka MOO značí maloodběratele obyvatele, MOP – maloodběratele podnikatele, VO – velkoodběratele.

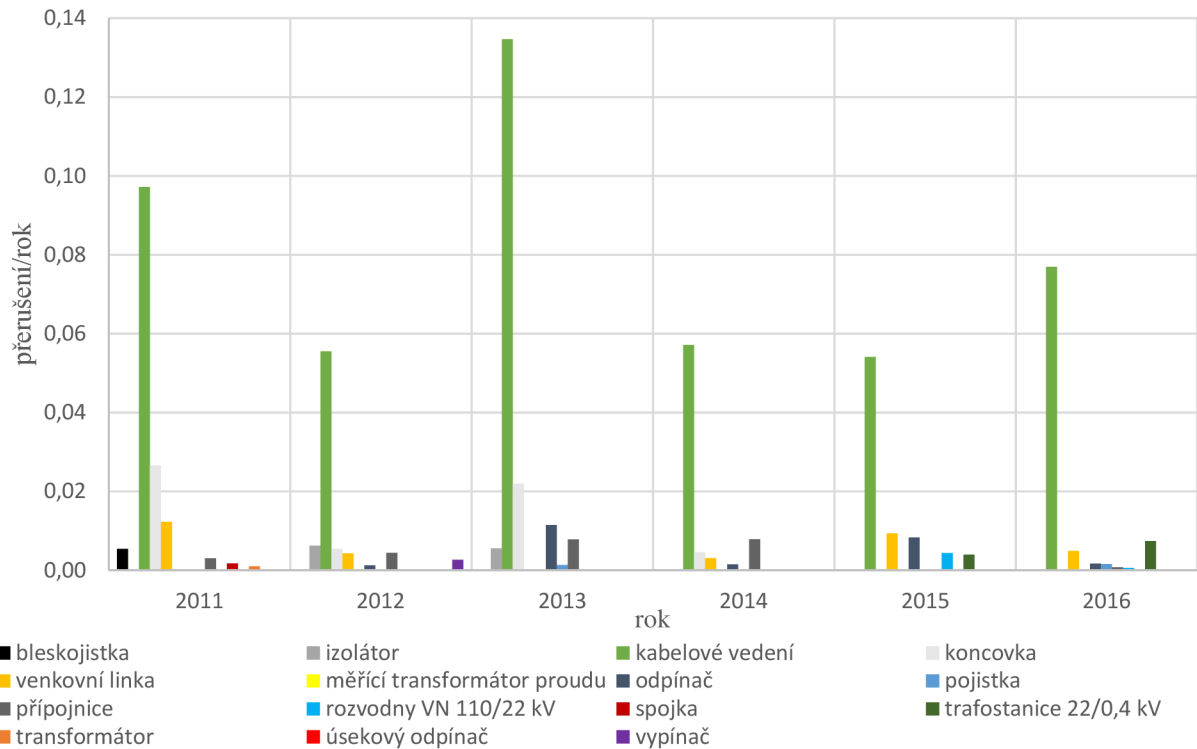
Nyní máme všechny potřebné informace pro hodnocení systémových ukazatelů nepřetržitosti SAIDI a SAIFI. Všechny výpočty se vztahují k součtu odběrných míst během jednotlivých roků (Tab. 5-4). Uvedené výpočty v Tab. 5-5 a 5-6 jsou vypočítány dle podkapitoly 3.4.2 (rovnice 5.24 a 5.25). Jestliže v některém z uvedených let nenastala žádná porucha na síťovém prvku, je hodnota značená 0 v Tab. 5-5 a 5-6. Zaokrouhlování tabulek bylo provedeno na 5 desetinných míst z důvodu lepší přehlednosti. Výsledná čísla dosahovala řádu až  $10^{-9}$ . Zaokrouhlení je využito pouze v Tab. 5-5, 5-6 a do celkového součtu vyobrazení systémových ukazatelů nepřetržitosti SAIDI a SAIFI se nepromítlo. Z toho vyplývá, že v Obr. 5-1, 5-2, 5-4 a 5-5 se použila reálná (nezaokrouhlená) čísla. Typy formátování obrázků a jejich grafické zpracování je upraveno podle zpracování grafů ve výročních zprávách ERÚ [13] [14].

Tab. 5-5: Výsledek SAIFI na napěťové hladině 22 kV pro jednotlivé síťové prvky v období 2011–2016

<b>SAIFI (přerušení/rok)</b>						
<b>PRVEK</b>	<b>ROK</b>					
	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
bleskojistka	0,00543	0	0	0	0	0
izolátor	0	0,00624	0,00555	0	0	0
<b>kabelové vedení</b>	<b>0,09717</b>	<b>0,05550</b>	<b>0,13467</b>	<b>0,05715</b>	<b>0,05408</b>	<b>0,07696</b>
koncovka	0,02655	0,00543	0,02194	0,00459	0	0
venkovní linka	0,01229	0,00430	0,00022	0,00308	0,00935	0,00491
měřicí transformátor proudu	0	0,00001	0	0	0	0
odpínač	0	0,00125	0,01148	0,00149	0,00830	0,00168
pojistka	0	0	0,00133	0	0	0,00156
přípojnice	0,00301	0,00440	0,00782	0,00786	0	0,00075
rozvodny VN 110/22 kV	0	0	0	0	0,00437	0,00061
spojka	0,00174	0	0	0	0	0
trafostanice 22/0,4 kV	0	0	0	0	0,00398	0,00742
transformátor	0,00101	0	0	0	0	0
úsekový odpínač	0	0	0	0	0,00029	0
vypínač	0	0,00265	0	0	0	0

Z Tab. 5-5 je patrné, že největších hodnot dosáhlo pro každý rok zvlášť kabelové vedení. Koncovka v roce 2011 a 2013 dosahuje po kabelovém vedení druhých nejhorších hodnot. V roce 2012 dopadl nejhůře po kabelovém vedení izolátor. Prvek venkovní linka dosáhl druhého nejhoršího hodnocení v letech 2015 a 2016. Síťové prvky bleskojistka, transformátor a spojka prodělaly pouze jednu poruchu, a to v roce 2011. V roce 2012 došlo k poruchám na 8 z 15 síťových prvků, a proto je rok 2012 v tomto ohledu nejhorší. Rozvodny VN 110/22 kV a trafostanice 22/0,4 kV byly bezporuchové od roku 2011 do roku 2014. Nejmenší celkové hodnoty SAIFI vykazuje prvek měřicí transformátor proudu. Druhých nejmenších hodnot nabyl prvek úsekový odpínač.

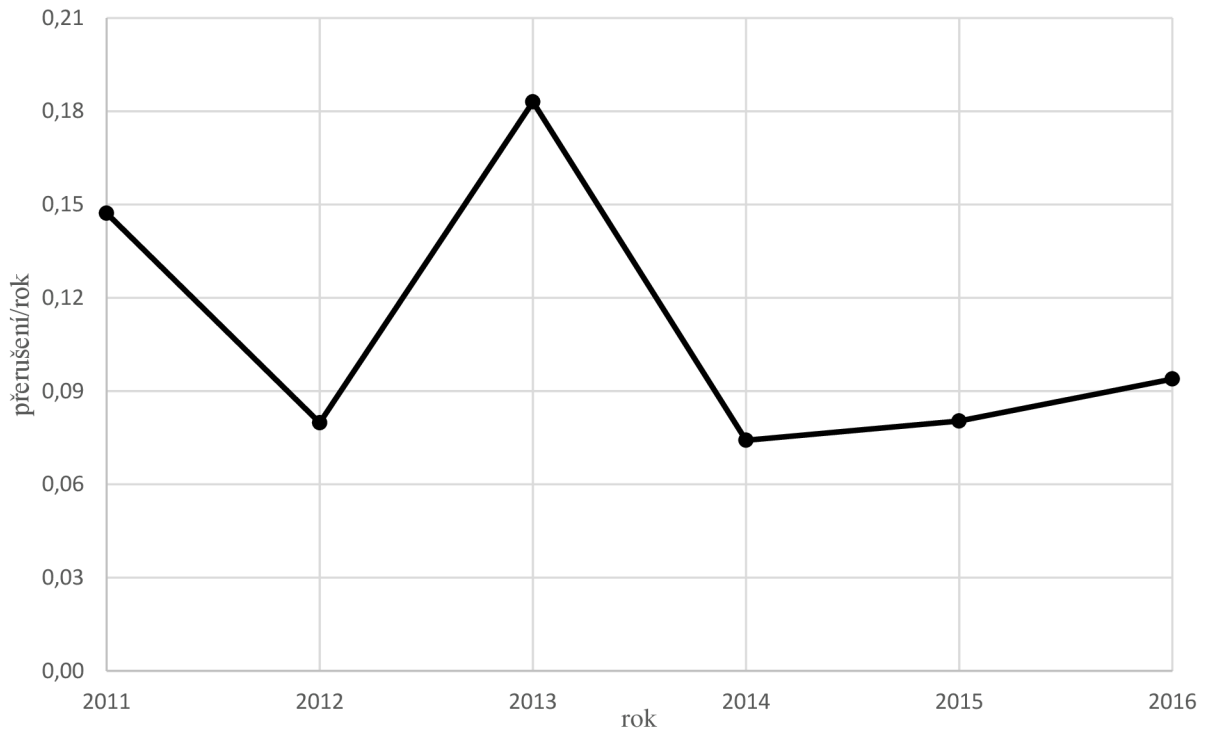
PREdistribuce, a. s. je v nejvýznamnější míře zastoupena na území hlavního města ČR. Oblast hlavního města je velmi silně osídlena, a proto zde není možný prostor pro venkovní nadzemní vedení. Z toho důvodu se vyrobená elektrická energie musí distribuovat pomocí kabelového vedení, které je umístěno v podzemí. Grafické představení výsledků systémového ukazatele SAIFI po jednotlivých letech je vyobrazeno na Obr. 5-1.



Obr. 5-1: Vývoj systémového ukazatele SAIFI v rozmezí let 2011–2016 pro jednotlivé síťové prvky na napěťové hladině 22 kV

Z Obr. 5-1 je zřejmé, že počet přerušení za rok je každý rok pro kabelové vedení několiknásobně větší než pro ostatní síťové prvky distribuční sítě. Rok 2015 odpovídá pro kabelové vedení nejnižším hodnotám SAIFI, naopak rok 2013 vykazuje největší hodnoty SAIFI. Kabelové vedení vykazuje v roce 2013 více než dvojnásobné hodnoty SAIFI ve srovnání s rokem 2015. Kabelová vedení a venkovní linky jsou prvky, které jako jediné vykazují hodnoty SAIFI ve všech sledovaných letech. Ostatní síťové prvky mají alespoň v jednom roce SAIFI s hodnotou 0.

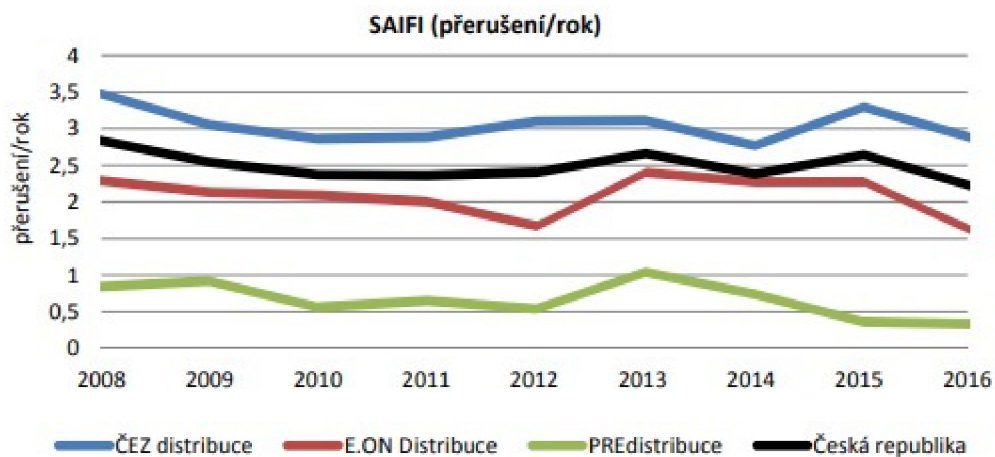
Obr. 5-2 udává celkový počet přerušení za rok na hladině 22 kV. Porovnáme-li zjištěné výsledky z Obr. 5-1 a 5-2, dojdeme k závěru, že v roce 2011 bylo celkové přerušení za rok z 66 % na kabelovém vedení. V roce 2012 došlo k nárůstu na 70 %. Rok 2013 – 74 %. Rok 2014 – 77 %, 2015 – 67 % a 2016 – 82 %.



Obr. 5-2: Vývoj systémového ukazatele  $\Sigma SAIFI$  v rozmezí let 2011–2016 pro všechny síťové prvky na napěťové hladině 22 kV

Z Obr. 5-2 je evidentní, že z pohledu ukazatele *SAIFI* dopadl nejhůře rok 2013. Rok 2016 dosáhl procentuálně nejhoršího výsledku pro kabelové vedení, kdy na něm vzniklo nejvíce přerušení za rok oproti ostatním síťovým prvkům.

Obr. 5-3 byl převzat z literatury [13] a vyobrazuje kompletní hodnotu systémového ukazatele *SAIFI* v DS největších PDS (PREdistribuce, a. s., ČEZ distribuce, a. s. a E.ON Distribuce, a. s.), respektive v rámci celé DS v ČR bez rozlišení napěťových hladin. Výsledky dosažené pro napěťovou hladinu 22 kV relativně odpovídají výsledkům představeným na Obr. 5-3 [13]. V obou případech se v roce 2013 stalo nejvíce událostí vedoucích k přerušení dodávky elektrické energie. V roce 2014 zaznamenal Obr. 5-2 větší pokles než Obr. 5-3 [13]. V Obr. 5-2 dochází mezi lety 2014–2016 k nárůstu *SAIFI*, kdežto v Obr. 5-3 [13] je viditelný pokles systémového ukazatele *SAIFI*.



Obr. 5-3: Ilustrace systémového ukazatele *SAIFI* pro různé distribuční společnosti [13]

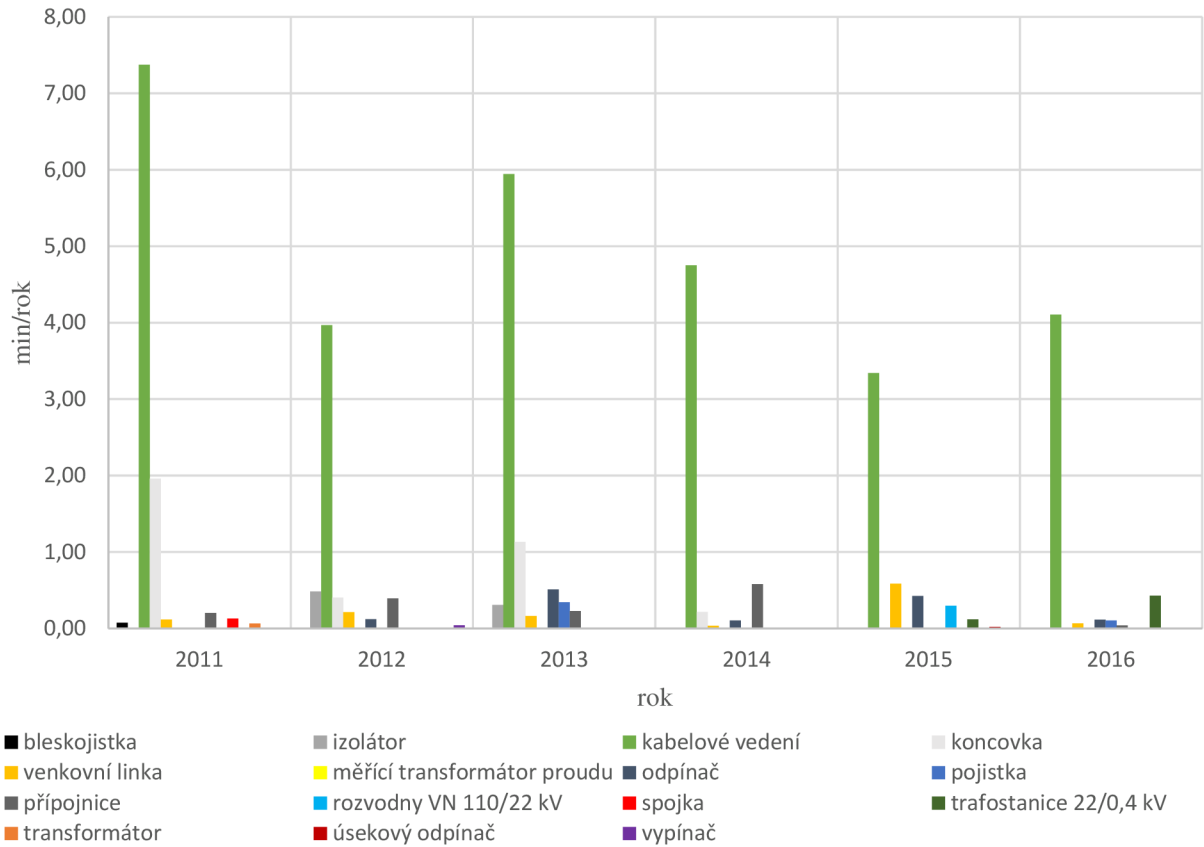
SAIDI je dalším systémovým ukazatelem nepřetržitosti, který udává souhrnnou dobu trvání přerušení distribuce elektrické energie. Jeho výsledné hodnoty jsou v Tab. 5-6.

Tab. 5-6: Výsledek SAIDI na napěťové hladině 22 kV pro jednotlivé síťové prvky v období 2011–2016

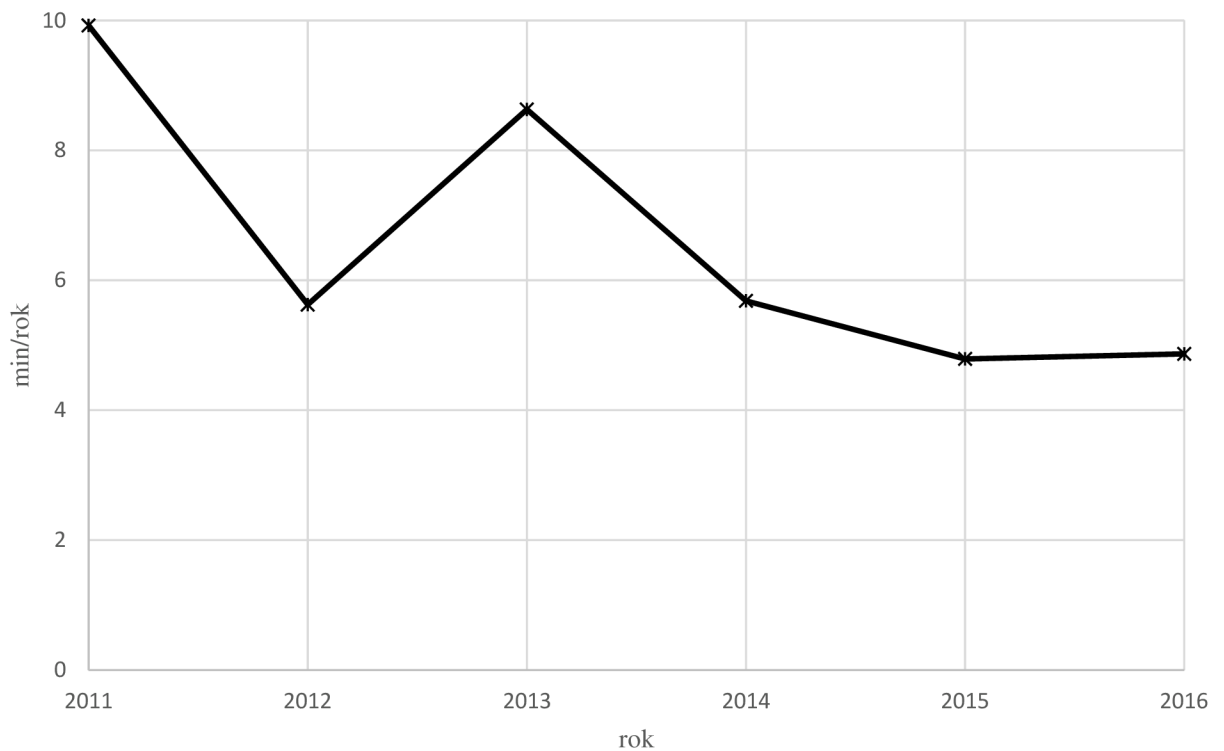
PRVEK	SAIDI (min/rok)					
	ROK					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
bleskojistka	0,07539	0	0	0	0	0
izolátor	0	0,48376	0,30729	0	0	0
<b>kabelové vedení</b>	<b>7,37446</b>	<b>3,96775</b>	<b>5,94352</b>	<b>4,74996</b>	<b>3,34104</b>	<b>4,10531</b>
koncovka	1,95856	0,40475	1,13312	0,21451	0	0
venkovní linka	0,11682	0,21278	0,16287	0,03514	0,58624	0,06629
měřicí transformátor proudu	0	0,00078	0	0	0	0
odpínač	0	0,12121	0,51108	0,10438	0,42567	0,11609
pojistka	0	0	0,34344	0	0	0,10553
přípojnice	0,20337	0,39322	0,22866	0,57918	0	0,03968
rozvodny VN 110/22 kV	0	0	0	0	0,29743	0,00422
spojka	0,13009	0	0	0	0	0
trafostanice 22/0,4 kV	0	0	0	0	0,11832	0,42926
transformátor	0,06421	0	0	0	0	0
úsekový odpínač	0	0	0	0	0,02030	0
vypínač	0	0,04106	0	0	0	0

Z Tab. 5-6 je v porovnání s Tab. 5-5 patrné, že nejhorších hodnot nabývá opět kabelové vedení, respektive ve srovnání s ostatními síťovými prvky jsou hodnoty několikanásobně větší. Nejvyšší hodnota SAIDI vznikla v roce 2011 na kabelovém vedení. Nejvyšší hodnota SAIDI, pokud nebudeme započítávat prvek kabelové vedení, vyšla v roce 2011 pro síťový prvek koncovku. Nejnižší hodnoty SAIDI jsou zaznamenány v roce 2012 na síťovém prvku měřicí transformátor proudu. Druhá nejnižší hodnota SAIDI se vyskytla na prvku rozvodny VN 110/22 kV v roce 2016.

Grafické znázornění SAIDI pro jednotlivé síťové prvky uvádí Obr. 5-4. a Obr. 5-5 ukazuje celkovou dobu trvání přerušení dodávky elektřiny v jednotlivých letech.



Obr. 5-4: Vývoj systémového ukazatele SAIDI v rozmezí let 2011–2016 pro jednotlivé síťové prvky na napěťové hladině 22 kV

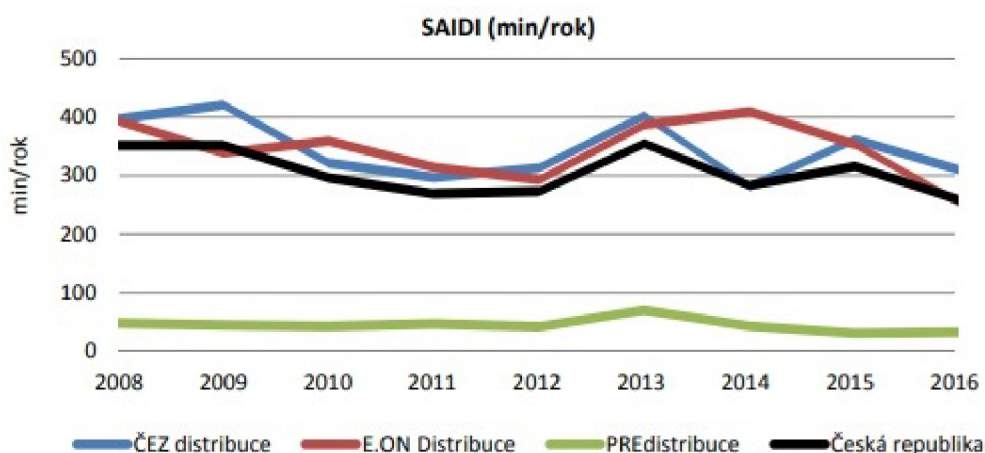


Obr. 5-5: Vývoj systémového ukazatele  $\Sigma$ SAIDI v rozmezí let 2011–2016 pro všechny síťové prvky na napěťové hladině 22 kV



Při srovnání výsledků Obr. 5-4 a 5-5 je zřejmé, že nejvyšší hodnoty jsou v roce 2011. Na rozdíl od výsledků ukazatele *SAIFI* (Obr. 5-2), kde nejvyšších hodnot dosahoval rok 2013, ukazatel *SAIDI* nabývá nejhorších výsledků v roce 2011 a na druhém místě až v roce 2013. V procentuálním porovnání, kdy zjišťujeme kolik minut za rok trvalo přerušení dodávky kabelového vedení oproti ostatním prvkům, je následující: 2011 – 74 %, 2013 – 70 %, 2013 – 69 %, 2014 – 83 %, 2015 – 70 %, 2016 – 84 %. Stejně jako u procentuálního výpočtu *SAIFI*, dopadl rok 2016 nejhůře. Poruchovost kabelového vedení v roce 2016 přitom nedosahuje hodnot jako v letech 2011 a 2013. Důvodem takto vysokých procentuálních výsledků je, že v roce 2016 došlo ke zlepšení spolehlivosti na ostatních síťových prvcích.

Následující Obr. 5-6. [13] představuje kompletní hodnotu systémového ukazatele *SAIDI* v DS největších PDS (PREdistribuce, a. s., ČEZ distribuce, a. s. a E.ON Distribuce, a. s.), respektive v rámci celé DS bez rozlišení hladin v námi sledovaném období, a je převzat z [13].



Obr. 5-6: Ilustrace systémového ukazatele *SAIDI* pro různé distribuční společnosti [13]

Výsledky *SAIDI* v celé DS PREdistribuce, a. s. odpovídají profilu vypočtených hodnot. Jediná abnormalita nastala v roce 2011, kde se vyskytují hodnoty vyšší, než nastaly v roce 2013.

## 5.4 Identifikace síťových prvků ukazatele *MAIFI*

V datech poskytnutých od PREdistribuce, a. s. se vyskytují i přerušení krátkodobá. Označována jsou jakožto přerušení, která nejsou v nepřetržitosti. Spolehlivostní parametr *MAIFI* udává přerušení, která trvají kratší dobu než 3 minuty. Jeho upřesnění se nachází v části 3.3.2.9 (rovnice 5.19). Zaznamenaná data spadají do období od roku 2011 do 2016 a předmětem hodnocení je opět napěťová hladina 22 kV.

V hodnocených datech se vyskytuje 863 poruch, z toho je 190 poruch krátkodobých. U krátkodobých přerušení známe začátek události, napěťovou hladinu, místo poruchy, napájecí uzel, připojení uzlu transformátoru, typ poruchy, čas poruchy, cizí zásah, vyhodnocení distribuce, vyhodnocení napájecí sítě a vedlejší informace.

Nejprve odebereme nevyhovující poruchy, které neplní kritérium 22 kV. Dále vyfiltrujeme poruchy, které nespádají do distribuční sítě. Vyskytují se zde i poruchy, u kterých neznáme počátek a délku poruchy, a proto je musíme také odstranit. Výsledkem je 18 poruch, které jsou rozčleněny podle místa vzniku (Tab. 5-7), dle kapitoly 5.1.

Tab. 5-7: Místo a počet krátkodobých poruch na napěťové hladině 22 kV

MÍSTO PORUCHY	POČET PORUCH
kabelové vedení	4
izolátor	3
venkovní linka	8
koncovka	1
trafostanice 22/0,4 kV	1
přípojnice	1

Na nadzemním vedení neboli venkovní lince proběhlo (Tab. 5-7) nejvíce zaznamenaných krátkodobých poruch. Na druhém místě lze spatřit kabelové vedení, pro které jsme našli 4 poruchy. Pouze 2 z celkových 18 poruch byly zaviněny cizím zásahem. Obě tyto poruchy nastaly na kabelovém vedení. Největší množství krátkodobých poruch zaznamenal napájecí uzel Běchovice, na kterém jich vzniklo 11. Z toho se 4x opakovala porucha na postiženém zařízení V 45-18 (nadzemní vedení). Z krátkodobých přerušení je venkovní linka nejvíce poruchová.

Abychom mohli provést hodnocení ukazatele nepřetržitosti krátkodobých přerušení  $MAIFI$ , potřebujeme znát počet přerušení, počet zasažených odběratelů a celkový počet odběratelů v DS. Výpočet parametru  $MAIFI$  (rovnice 5.19) není možné realizovat. Příčinou je absence počtu odběratelů, kteří byli zasaženi danými poruchami. Z toho důvodu bylo na základě domluvy s konzultantem z PREdistribuce, a. s. a vedoucím práce přidáno hodnocení ukazatelů  $SAIFI_Q$  a  $SAIDI_Q$ .

## 5.5 Hodnocení příspěvku $SAIFI_Q$ a $SAIDI_Q$

Předmětem zkoumání je napěťová hladina 22 kV v období let 2011–2016. Hodnocení spolehlivostních ukazatelů  $SAIFI_Q$  a  $SAIDI_Q$  se vztahuje k rovnicím 5.24 a 5.25. Dále je potřeba znalostí z kapitoly 4, ve které je uvedeno, že  $SAIFI_Q$  a  $SAIDI_Q$  se hodnotí pouze pro kategorie přerušení č. 11 a č. 2, viz Tab. A-1 v příloze A. Kategorie přerušení č. 11 je neplánovaná porucha zapříčiněna za obvyklých povětrnostních podmínek. Kategorie přerušení č. 2 je plánování přerušení dodávky elektrické energie. V datech se poruchy kategorie přerušení č. 2 nevyskytují, a proto bylo hodnocení (Tab. 5-8) provedeno pouze pro kategorii přerušení č. 11.

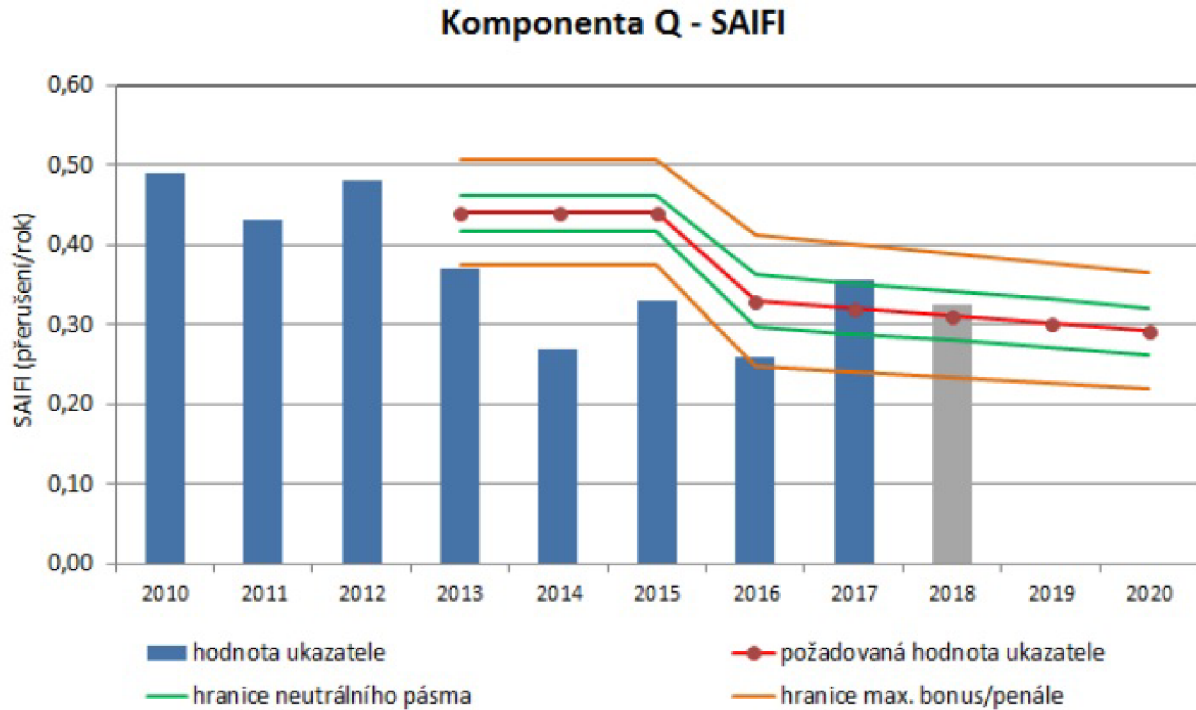
Z 863 poruch vyfiltrujeme nepotřebné poruchy. Pro kategorii přerušení č. 11 získáváme 272 poruch. Výsledné poruchy rozřídíme podle jednotlivých let a provedeme hodnocení (Tab. 5-8). Zaokrouhlení bylo provedeno na 4 desetinná místa z důvodu lepší přehlednosti.

Tab. 5-8: Výsledek  $SAIFI_Q$  a  $SAIDI_Q$  na napěťové hladině 22 kV v období 2011–2016

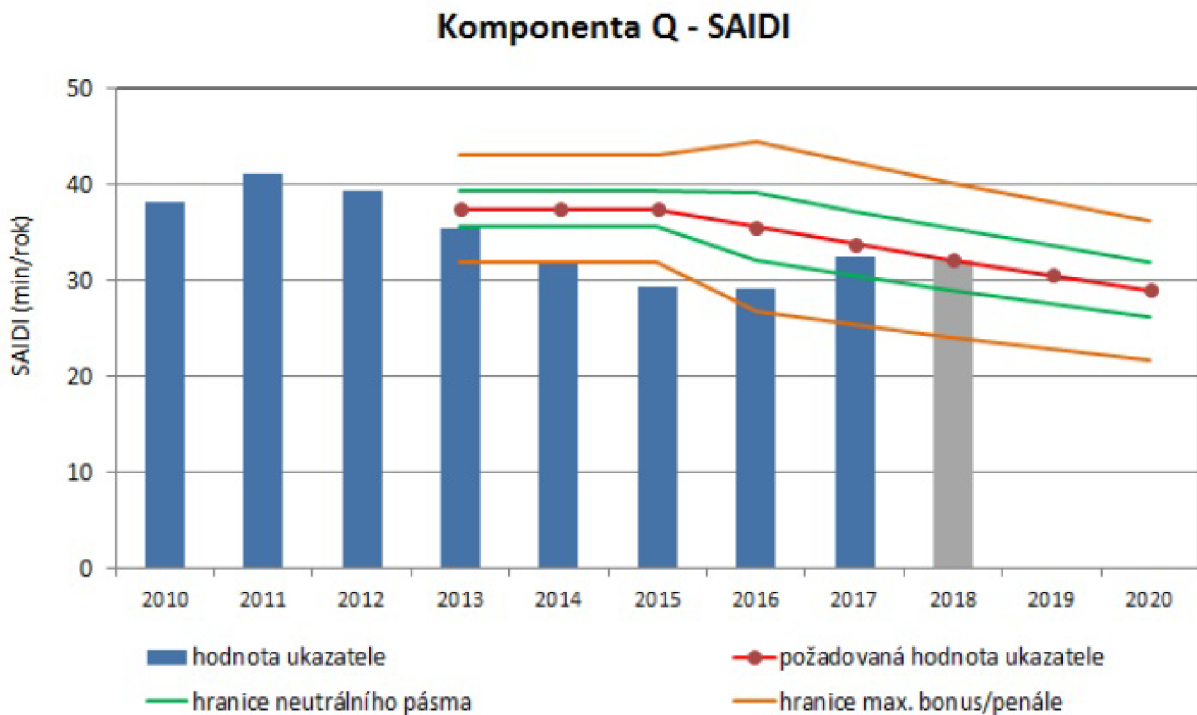
UKAZATEL NEPŘETRŽITOSTI		ROK					
		2011	2012	2013	2014	2015	2016
$SAIFI_Q$	(přerušení/rok)	0,1214	0,0594	0,1419	0,0478	0,0675	0,0561
$SAIDI_Q$	(min/rok)	8,1185	4,1659	5,8550	4,0054	4,2285	2,8616

Nejhorších výsledků pro  $SAIFI_Q$  dosáhl rok 2013. Nejlepších výsledků rok 2014. Obr. 5-7 [15] udává celkovou hodnotu  $SAIFI_Q$  v DS na všech napěťových hladinách po jednotlivých letech a pro kategorie přerušení č. 11 a 2. Při porovnání Obr. 5-7 [15] a Tab. 5-8 zjistíme, že v roce 2013 měla napěťová hladina 22 kV největší podíl na celkové hodnotě  $SAIFI_Q$  vůči ostatním rokům a nejmenší podíl v roce 2012.

Ukazatel nepřetržitosti  $SAIDI_Q$  (Tab. 5-8) nabyl největší hodnoty v roce 2011 a nejnižší v roce 2016. Obr. 5-8 byl převzat z literatury [15]. Obr. 5-8 [15] vyjadřuje celkovou hodnotu  $SAIDI_Q$  v DS na všech napěťových hladinách po jednotlivých letech a pro kategorie přerušeni č. 11 a 2. V roce 2011 měla zkoumaná napěťová hladina 22 kV největší podíl na celkové hodnotě  $SAIDI_Q$  vůči ostatním rokům a nejmenší podíl v roce 2016.



Obr. 5-7: Ilustrace vývoje Q komponenty PREdistribuce, a. s. – parametr  $SAIFI_Q$  [15]



Obr. 5-8: Ilustrace vývoje Q komponenty PREdistribuce, a. s. – parametr  $SAIDI_Q$  [15]

## 6 ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byla provedena analýza poruchovosti jednotlivých prvků distribuční sítě. Před realizací samotné analýzy bylo nutné seznámit se s teorií související s danou problematikou. Detailněji byla popsána oblast spolehlivosti a spolehlivostních ukazatelů, z nichž byly stanoveny ty nejdůležitější, pro které byla následně zpracována analýza historických dat z období let 2011–2016. Zaznamenaná data byla dodána společností PREdistribuce, a. s. Požadavkem zadavatele bylo hodnocení napěťové hladiny 22 kV a s ním spojené hodnocení spolehlivostních ukazatelů. Data byla přizpůsobena vypracování analýzy, jelikož obsahovala nepotřebné informace, jiné napěťové hladiny nebo nespadała do distribuční soustavy. Celkový počet zaznamenaných poruch byl 863, po odebrání nevyhovujících hodnot se celková analýza vztahovala k množství 376 poruch. Z analýzy vstupních dat vyplývá, že síťovým prvkem s nejvyšší poruchovostí je kabelové vedení. Celkový počet poruch za posuzované období je 247.

Hodnocení vstupních dat bylo provedeno pro spolehlivostní ukazatele *SAIFI*, *SAIDI* a *MAIFI*. Pro vyhodnocení ukazatele krátkodobých přerušení *MAIFI* nebyla k dispozici všechna potřebná data, a proto došlo k doplnění práce o hodnocení intenzity prostojů a o hodnocení *SAIFI<sub>Q</sub>* a *SAIDI<sub>Q</sub>*. Část věnovaná vyhodnocení *MAIFI* se zabývá identifikací síťových prvků, které byly postiženy krátkodobými přerušeními. Bylo zjištěno, že nejvíce krátkodobých přerušení se vyskytuje na síťovém prvku venkovní linka.

Ukazatele *SAIFI* a *SAIDI* byly vyhodnoceny po jednotlivých letech pro jednotlivé síťové prvky. Kabelová vedení a venkovní linky jsou jediné síťové prvky, které vykazují hodnoty *SAIFI* a *SAIDI* ve všech sledovaných letech. Ostatní síťové prvky mají alespoň v jednom roce hodnotu *SAIFI* a *SAIDI* 0. Nejhorších hodnot v každém zkoumaném roce dosáhlo kabelové vedení. Vyhodnocení *SAIFI* a *SAIDI* proběhlo i pro celkový počet všech síťových prvků po jednotlivých letech, přičemž nejhorších výsledků, 0,18303 přerušení za rok, dosáhl rok 2013 pro ukazatel *SAIFI*. Z toho na kabelovém vedení v roce 2013 vzniklo 0,13467 přerušení za rok. Nejhorší výsledek, 9,9229 min/rok, byl zaznamenán v roce 2011 pro *SAIDI*. Hodnota ukazatele *SAIDI* na kabelovém vedení v roce 2011 je 7,37446 min/rok.

Vyhodnocení intenzity prostojů bylo provedeno pro neměnný počet kusů a délky kabelového vedení, jelikož během 6letého období nedošlo k důležitým změnám. V souladu s požadavkem zadavatele se hodnocení vztahuje pouze na vybrané prvky distribuční sítě: vypínače, kabelová vedení, úsekové odpínače, spojky a odpínače. Z vybraných síťových prvků dopadlo nejhůře kabelové vedení s hodnotou intenzity prostojů  $1,1205 \text{ rok}^{-1} \cdot (100 \text{ km})^{-1}$ .

Na závěr bylo provedeno hodnocení ukazatelů *SAIFI<sub>Q</sub>* a *SAIDI<sub>Q</sub>*. Vyhodnocení se uskutečnilo pro celkový počet všech síťových prvků po jednotlivých letech pouze pro kategorii přerušení č. 11, pro neplánované poruchy způsobené za obvyklých povětrnostních podmínek. Dosažené hodnoty *SAIFI<sub>Q</sub>* a *SAIDI<sub>Q</sub>* se nijak výrazně neliší od celkových hodnot *SAIFI* a *SAIDI*. Jediná nesrovnalost nastala v roce 2016, kde *SAIFI<sub>Q</sub>* a *SAIDI<sub>Q</sub>* dosáhlo menších hodnot než v předchozích letech, kdežto *SAIFI* a *SAIDI* se zvýšilo v roce 2016 oproti roku 2015. Důvodem nesrovnalosti je, že v roce 2016 zasáhly poruchy způsobené kategorií přerušení č. 11 méně odběratelů než v roce 2015. Ostatní kategorie přerušení zaznamenaly v roce 2016 více než dvojnásobný počet poruch ve srovnání s rokem 2015. Největší hodnota *SAIFI<sub>Q</sub>*, 0,1419 přerušení za rok, byla zaznamenána v roce 2013. Nejhorší hodnota *SAIDI<sub>Q</sub>* je 8,1185 min/rok, která byla vyhodnocena pro rok 2011.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] TŮMA, Jiří, Stanislav RUSEK, Zbyněk MARTÍNEK, Igor CHEMIŠINEC a Radomír GOŇO. *Spolehlivost v elektroenergetice*. Praha: CONTE spol. s.r.o, ČVUT Praha, 2006. ISBN 80-239-6483-6.
- [2] Provozovatelé distribučních soustav. *Pravidla provozování distribučních soustav* [online]. Energetický regulační úřad, 2016 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds/ppds-2019.html>
- [3] SKÁLA, Petr. *Distribuční a průmyslové sítě: Spolehlivost distribučních sítí*. VUT Brno, 2015, 72 stran.
- [4] *Zásady cenové regulace pro období 2016–2018 pro odvětví elektroenergetiky, plynárenství a pro činnosti operátora trhu v elektroenergetice a plynárenství s prodlouženou účinností do 31. prosince 2020* [online]. Energetický regulační úřad, Praha [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/-/zasady-cenove-regulace-pro-obdobi-2016-2018-pro-odvetvi-elektroenergetiky-plynarenstvi-a-pro-cinnosti-operatora-trhu-v-elektroenergetice-a-plynarens-1>
- [5] Vyhláška č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, v platném znění.
- [6] Vyhláška č. 463/2013 Sb., o způsobu regulace cen a postupech pro regulaci cen v elektroenergetice a teplárenství a o změně vyhlášky č. 140/2009 Sb., o způsobu regulace cen v energetických odvětvích a postupech pro regulaci cen, ve znění pozdějších předpisů.
- [7] Provozovatelé distribučních soustav. *Pravidla provozování distribučních soustav: Příloha 2 metodika určování nepřetržitosti distribuce elektřiny a spolehlivosti prvků distribučních sítí* [online]. Energetický regulační úřad, 2016 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds/ppds-2019.html>
- [8] CHEMIŠINEC, Igor, Miroslav MARVAN, Jakub NEČESANÝ, Tomáš SÝKORA a Jiří TŮMA. *Obchod s elektřinou*. Praha: Conte, 2010. ISBN 978-80-254-6695-7.
- [9] ŠEFRÁNEK, Jan. *Spolehlivost a kvalita dodávek elektřiny a možnosti jejich ovlivňování* [online]. Praha, 2014 [cit. 2018-11-29]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/60902?show=full>
- [10] VALENTA. *Kabelové vedení PREDistribuce a. s.*: interní dokument [online]. Praha, 2018 [cit. 2018-11-29].
- [11] *Výroční zpráva 2015 / PREDistribuce a. s.* [online]. Praha, 2016 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/Files/vyrocnizpravy/vz-2015-cz/>
- [12] *Výroční zpráva 2016 / PREDistribuce a. s.* [online]. Praha, 2017 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/Files/vyrocnizpravy/vz-2016-cz/>
- [13] *Roční zpráva o provozu ES ČR pro rok 2016* [online]. Energetický regulační úřad, 2017 [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/zpravy-o-provozu-elektrizacni-soustavy>
- [14] *Roční zpráva o provozu ES ČR pro rok 2015* [online]. Energetický regulační úřad [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/zpravy-o-provozu-elektrizacni-soustavy>

- [15] HANUŠ, Radek a Zbyněk BRETTSCHEIDER. *Spolehlivost a strategické cíle ve vazbě na asset management PREDi* [online]. Tábor: Konference ČK CIREC, 2018 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.ckcired.cz/konference-cired/konference-ck-cired-2018-26/o-konferenci.html>
- [16] ČSN EN 50160 ed. 3/A1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.

# PŘÍLOHA A

Příloha A uvádí: Tabulky spojené se sledováním nepřetržitosti distribuce elektrické energie a doplnění obsahu hodnotících dat.

Tab. A-1: Typ události, druh přerušeni [7]

KATEGORIE PŘERUŠENÍ		ČÍSELNÉ OZNAČENÍ PRO VYKAZOVÁNÍ
neplánované		
poruchová		
	způsobená poruchou mající původ v zařízení přenosové nebo distribuční soustavy provozovatele soustavy nebo jejím provozu	
	za obvyklých povětrnostních podmínek	11
	za nepříznivých povětrnostních podmínek	16
	způsobené v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby	12
vynucené		15
mimořádné		14
	v důsledku události mimo soustavu a výrobce	13
plánované		2

Tab. A-2: Druh sítě [7]

KÓD	VÝZNAM
1	izolovaná
2	kompensovaná
3	odporová
4	kombinovaná
5	účinně uzemněná

Tab. A-3: Jmenovité napětí sítě i zařízení [7]

KÓD	NAPĚTÍ (kV)
1	0,4
2	3
3	6
4	10
5	22
6	35
7	110

Tab. A-4: Příčina události [7]

KÓD	VÝZNAM
1	příčiny před započetím provozu
2	příčina spjatá s provozem a údržbou
3	cizí vlivy
4	vynucené vypnutí
5	porucha způsobená cizím elektrickým zařízením
6	příčina způsobená přírodními vlivy
7	příčina neobjasněna
8	neplánované vypnutí
9	plánované vypnutí

Tab. A-5: Druh zkratu [7]

KÓD	VÝZNAM
1	zkrat jednofázový zemní
2	zkrat dvoufázový zemní
3	zkrat trojfázový zemní
4	zkrat dvoufázový bez země
5	zkrat trojfázový bez země
9	druh zkratu neurčen
11	zemní spojení
12	zemní spojení přešlo ve zkrat
13	dvojité nebo vícenásobné zemní spojení
14	zemní spojení vymezené vypínáním
15	zemní spojení vymezené indikátorem zemních poruch
16	zemní spojení zmizelo při vymezování
19	ostatní

Tab. A-6: Druh zařízení [7]

KÓD	VÝZNAM
1	venkovní vedení jednoduché
2	venkovní vedení dvojité
3	kabelové vedení silové
4	kabelové vedení ostatní
5	distribuční transformovna VN/NN
6	transformovna VN/VN a spínací stanice VN
7	transformovny a rozvodny VVN
8	ostatní



Tab. A-7: Poškozené zařízení [7]

KÓD	VÝZNAM
1	stožár
2	vodič
3	izolátor
4	kabel
5	kabelový soubor
6	úsečník
7	dálkově ovládaný úsečník
8	vypínač výkonový
9	recloser
10	odpínač
11	odpojovač
12	transformátor VN/NN
13	transformátor VN/VN
14	transformátor 110 kV/VN
15	přístrojový transformátor proudu, napětí
16	svodič přepětí
17	kompensační tlumivka
18	zařízení pro kompenzaci jalového proudu
19	reaktor
20	zařízení dispečerské řídicí techniky
21	ochrany pro vedení a kabely
22	ochrany pro transformátory

Tab. A-8: Doplnění obsahu hodnoticích dat:

Záznam dat poruch PREDi		Výkazy nepřetržitosti na ERÚ		
vyhodnocení distribuční sítě	vyhodnocení napájecí sítě	překročení limitů	žádost o splnění standardu v jiném termínu	oznámeno a prokázáno úřadu