

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY  
A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vyhodnocení výskytu přerušení a událostí na napětí**

## ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2019/2020

### ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Václav JÍRŮ**  
Osobní číslo: **E17B0020P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**  
Téma práce: **Vyhodnocení výskytu přerušení a událostí na napětí**  
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

#### Zásady pro vypracování

1. Specifikujte pojmy kvalita dodávek elektřiny, kvalita elektrické energie a kvalita napětí.
2. Uveďte jednotlivé charakteristiky napětí podle normy ČSN EN 50 160, definujte tyto charakteristiky a uveďte příčiny jejich narušení.
3. Vyhodnoťte výskyt přerušení, poklesů a zvýšení napětí pro konkrétní monitorovací místa se zřetelem na možnou agregaci těchto jevů.
4. Porovnejte výsledky výstupu vyhodnocení pro různé agregační algoritmy.



Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

#### Seznam doporučené literatury:

1. ČSN EN 50160: Charakteristiky napětí el. energie dodávané z veřejné distribuční sítě, 3.vydání 2012.
2. Pravidla provozování distribučních soustav, 2019.
3. Tůma, J., Martínek, Z., Tesařová, M., Chemišinec, I. – Security, quality and reliability of electrical energy. Praha : Conte, 2007. ISBN 978-80-239-9056-0.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **4. října 2019**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **11. června 2020**



**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan



**Prof. Ing. Václav Kús, CSc.**  
vedoucí katedry

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá vyhodnocením napěťových událostí s ohledem na jejich možnou agregaci. V první části je teoreticky rozebrána kvalita dodávek elektrické energie a z toho vycházející kvalita napětí a nepřetržitost dodávky elektrické energie. V druhé části se práce zabývá vyhodnocením výskytu závažných poklesů napětí a dále pak vyhodnocením seskupení napěťových událostí a jejich agregací, při použití časové agregace a agregáčních metod. Cíl této agregace je vystihnout skutečný možný dopad napěťových událostí na zařízení zákazníka.

## **Klíčová slova**

Distribuční soustava, dodávka elektrické energie, kvalita napětí, napěťové události, agregace

**Abstract**

This bachelor thesis deals with the evaluation of voltage events and their possible aggregation. The first part theoretically discusses the quality of electricity supply, voltage quality and continuity of electricity supply. The second part deals with the evaluation of the occurrence of severe voltage dips and then the evaluation of the clusters of voltage events and their aggregation, using time aggregation and aggregation methods. The aim of this aggregation is to capture the real possible impact of voltage events on the customer's equipment.

**Keywords**

Distribution system, electricity supply, voltage quality, voltage events, aggregation

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 4. 6. 2020

Václav Jírů

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za uvedení do problematiky kvality dodávky elektrické energie, za vstřícný přístup a vedení práce. Dále bych rád poděkoval mé rodině.

## Obsah

Úvod .....	1
<b>1 Charakteristiky dodávky elektrické energie.....</b>	<b>2</b>
<b>2 Charakteristiky kvality elektrické energie.....</b>	<b>3</b>
2.1 Průběžné jevy .....	4
2.1.1 Kmitočet sítě .....	4
2.1.2 Odchyšky napájecího napětí .....	4
2.1.3 Rychlé změny a kolísání napětí.....	5
2.1.4 Nesymetrie napájecího napětí .....	5
2.1.5 Harmonická napětí .....	6
2.1.6 Meziharmonická napětí .....	6
2.1.7 Úrovně napětí signálu v napájecím napětí .....	6
2.2 Napět'ové události.....	6
2.2.1 Přerušení napájecího napětí.....	6
2.2.2 Poklesy napájecího napětí .....	8
2.2.3 Dočasné zvýšení napětí .....	11
2.3 Vyhodnocení napět'ových událostí.....	11
<b>3 Ukazatele kvality dodávky elektrické energie .....</b>	<b>13</b>
3.1 Výpočet ukazatelů nepřetržitosti dodávky elektrické energie.....	13
3.1.1 SAIDI .....	14
3.1.2 SAIFI.....	15
3.1.3 CAIDI.....	15
3.1.4 MAIFI.....	15
3.2 Vývoj ukazatelů nepřetržitosti.....	16
3.3 Regulace kvality .....	17
<b>4 Vyhodnocení závažných poklesů napětí .....</b>	<b>20</b>
4.1 Popis vyhodnocovaných dat a cíl analýzy .....	20
4.2 Rozvodny 110 kV .....	22
4.3 Trafostanice 110/22 kV .....	24
<b>5 Vyhodnocení seskupení napět'ových událostí .....</b>	<b>26</b>
5.1 Použití časové agregace.....	26
5.1.1 Zvýšení napětí .....	28
5.1.2 Poklesy napětí .....	29
5.1.3 Krátká přerušení napětí .....	30
5.2 Použití agregačních metod.....	30
<b>Závěr.....</b>	<b>35</b>
<b>Seznam literatury a informačních zdrojů .....</b>	<b>36</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>38</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>38</b>



## Úvod

Tato bakalářská práce se zaměřuje na vyhodnocení výskytu napěťových událostí v distribuční soustavě. Tyto události jsou nedílnou součástí technické stránky kvality dodávky elektrické energie. Kvalita dodávky je velmi pečlivě vyhodnocována s cílem navýšení její úrovně. V tomto kontextu neustálého zlepšování kvality dodávky, za účelem plnění zvyšujících se nároků zákazníku, roste i oblast jejího sledování. Tato práce tedy navazuje na tuto problematiku s cílem nabídnout možné způsoby vyhodnocení napěťových událostí jako jsou krátkodobá přerušení a poklesy napájecího napětí, které jsou sledovány, ale nejsou zahrnuty v motivační regulaci kvality dodávek elektrické energie. To vše v souladu se skutečnými dopady těchto událostí na zákazníka.

V první části práce je teoreticky rozebrána kvalita dodávky elektrické energie, a to z hlediska charakteristik napětí a problematiky nepřetržitosti dodávky. V druhé části následuje samotné vyhodnocení napěťových událostí. Zde jsou vyhodnoceny poklesy napětí, a to z hlediska jejich závažnosti. Dále následuje vyhodnocení seskupení napěťových událostí s ohledem na možnosti jejich agregace.

# 1 Charakteristiky dodávky elektrické energie

Na kvalitu dodávky elektrické energie se můžeme dívat z technického i netechnického hlediska a můžeme ji rozdělit do tří hlavních skupin (dle [10]):

- nepřetržitost dodávky
- kvalita napětí
- kvalita služeb.

Nepřetržitost dodávky (spolehlivost dodávky) je vyznačována počtem přerušení a jejich trváním. K vyhodnocení nepřetržitosti dodávky v přenosových a distribučních soustavách se používají ukazatele nepřetržitosti.

Kvalita napětí se týká odchylek napěťových charakteristik od předepsaných hodnot a je definována v normě ČSN EN 50160 ed. 3 [1]. Lze ji chápat jako kvalitu výrobku dodávaného zákazníkům.

Kvalita služeb se týká vztahu mezi dodavatelem a zákazníkem a zahrnuje mnoho aspektů (poskytování informací, reakce na stížnosti zákazníků, fakturace, měření atd.). Pouze některé z nich lze však kvantifikovat a regulovat.

Kvalitou dodávek elektrické energie a služeb se zabývá vyhláška č. 540/2005 Sb. [2]. Stanovuje požadovanou kvalitu dodávek elektrické energie a souvisejících služeb, výši náhrad za její nedodržení, lhůty pro uplatnění nároku na náhrady a postupy pro vykazování dodržování kvality dodávek elektrické energie a služeb. [2]

## 2 Charakteristiky kvality elektrické energie

Elektrická energie dodávaná uživatelům má různé proměnné charakteristiky, které mohou ovlivňovat její užitečnost pro uživatele. Při definování kvality elektrické energie nás zajímá kvalita napětí, neboť ji můžeme dobře měřit. Cílem této kapitoly je přiblížit požadavky na kvalitu napájecího napětí a povolené tolerance parametrů napětí.

Hlavní charakteristiky napětí v místech připojení uživatelů z veřejných distribučních sítí popisuje a udává norma ČSN EN 50160 ed.3 [1] a to za normálních provozních podmínek (bez přítomnosti mimořádných stavů). Norma [1] popisuje charakteristiky napětí, které se týkají:

- kmitočtu
- velikosti
- tvaru vlny
- symetrie třífázových napětí.

Kvalitativní parametry napájecího napětí se rozdělují na dvě skupiny. Jedná se o průběžné jevy a napěťové události. Průběžné jevy jsou způsobeny změnami zatížení nebo například charakterem zátěže. Naproti tomu napěťové události jsou zapříčiněny neočekávatelnými událostmi, jako jsou například poruchy, nebo vnějšími vlivy, například počasí. [8]

- Průběžné jevy
  - Kmitočet sítě
  - Odchytky napájecího napětí
  - Rychlé změny a kolísání napětí
  - Nesymetrie napájecího napětí
  - Harmonická napětí
  - Meziharmonická napětí
  - Úrovně napětí signálu v napájecím napětí
- Napěťové události
  - Přerušování napájecího napětí
  - Poklesy napájecího napětí
  - Dočasné zvýšení napětí

## 2.1 Průběžné jevy

V této kapitole jsou stručně popsány průběžné jevy. Jsou to odchylky od jmenovitých hodnot vyskytující se v průběhu času. Pro tyto jevy udává norma [1] hodnoty, které jsou jednoznačně určené. Jak již bylo zmíněno, jsou způsobeny převážně charakterem zatížení a jeho změnou. Následující kapitoly byly zpracovány převážně ze zdroje [1].

### 2.1.1 Kmitočet sítě

Frekvence sítě je spjatá s frekvencí otáčení synchronních generátorů, které pracují do sítě. Udržení konstantní frekvence vyžaduje, aby se výkon výroby přizpůsoboval okamžitému odběru [16]. Podle normy [1] je jmenovitý kmitočet napájecí sítě 50 Hz. Dále jsou stanoveny meze střední hodnoty základní harmonické složky měřené v intervalu 10 s (za normálních provozních podmínek):

- systémy se synchronním připojením k propojenému systému
  - 50 Hz  $\pm$  1 %                      během 99,5 % roku
  - 50 Hz + 4 % / - 6 %              během 100 % času
- ostrovní napájecí systémy
  - 50 Hz  $\pm$  2 %                      během 95 % týdne
  - 50 Hz  $\pm$  15 %                      během 100 % času.

Výraznější změny frekvence můžeme pozorovat při ostrovním provozu, kdy výkon výroby není dostatečně velký ve srovnání se změnami zátěže.

### 2.1.2 Odchytky napájecího napětí

Odchytky napájecího napětí jsou způsobeny zapínáním a vypínáním zátěže v síti. Napájecí napětí má být podle normy [1] v mezích  $\pm$  10 % jmenovitého napětí (sítě nízkého napětí) nebo dohodnutého napětí (sítě vysokého napětí). V síti nízkého napětí za dohodnuté napájecí napětí  $U_c$  obvykle považujeme jmenovité napětí sítě  $U_n$ .

Za normálních provozních podmínek musí dle normy [1] platit pro síť nízkého napětí:

- 95 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí během každého týdne v měřicích intervalech 10 minut v rozsahu  $U_n \pm 10$  %
- všechny průměrné efektivní hodnoty napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut v rozsahu  $U_n + 10$  % / - 15 %.

Pro sítě vysokého napětí musí dle normy [1] za normálních provozních podmínek platit:

- 99 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí během každého týdne v měřicích intervalech 10 minut v rozsahu  $U_c \pm 10 \%$
- žádná z průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut mimo rozsah  $U_c \pm 15 \%$ .

Stavy, které jsou zapříčiněny poruchami nebo přerušením napětí tvoří výjimku.

### 2.1.3 Rychlé změny a kolísání napětí

Rychlé změny napětí jsou převážně způsobeny změnami zátěže nebo spínáním v síti. Amplituda rychlých změn obecně v síti nízkého napětí nepřekračuje velikost 5 % jmenovitého napětí a v sítích vysokého napětí nepřekračuje 4 % dohodnutého napětí. [1]

V této souvislosti je zaveden pojem míry vjemu flikru. Flikr je jev, který působí na vizuální vnímání člověka prostřednictvím změn světelného toku světelných zdrojů, které jsou napájeny rychle kolísavým napětím [12]. Míra vjemu flikru (intenzita nepříjemnosti flikru) je definovaná veličinami:

- krátkodobá míra vjemu flikru  $P_{st}$  (měřena po dobu 10 minut)
- dlouhodobá míra vjemu flikru  $P_{lt}$  (vypočítána z posloupnosti dvanácti hodnot  $P_{st}$  po dobu dvouhodinového intervalu)

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}} \quad (2.1)$$

Dlouhodobá míra vjemu flikru musí být podle normy [1] za normálních provozních podmínek po 95 % času  $P_{lt} \leq 1$ , nicméně reakce na flikr je subjektivní a může se měnit v závislosti na délce doby trvání a na jeho příčině.

### 2.1.4 Nesymetrie napájecího napětí

Nesymetrie napájecího napětí je většinou důsledek nesymetrického zatížení. Je to stav, při kterém se třífázové napětí odchyluje od fázového posunu  $120^\circ$  nebo se liší amplitudou. Případně je to kombinace těchto stavů [11]. V kterémkoli týdenním období má být podle normy [1] 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu od 0 do 2 % sousledné složky. Jsou uvedeny hodnoty pouze pro zpětnou složku, neboť je rozhodující pro rušení spotřebičů v síti.

### 2.1.5 Harmonická napětí

Harmonická napětí  $U_h$  vznikají v důsledku odběru nelineární zátěží. Jedná se o napětí s celo násobnou frekvencí základní frekvence napájecího napětí. Norma [1] předepisuje, že v libovolném týdenním období musí být 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě v této normě uvedené (porovnávají se relativní amplitudy  $u_h$  vztažené k napětí základní harmonické). Zároveň musí být celkový činitel harmonického zkreslení THD menší nebo roven 8 %. Spočítá se podle vztahu:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (u_h)^2} \quad (2.2)$$

Jsou zde zahrnuty všechny harmonické až do řádu 40. Toto omezení je dohodnuté.

### 2.1.6 Meziharmonická napětí

Jedná se o napětí, která nemají celo násobnou frekvenci základní frekvence napájecího napětí. Meziharmonická napětí mohou v určitých případech způsobit flickr nebo rušení v systémech HDO.

### 2.1.7 Úrovně napětí signálu v napájecím napětí

Veřejné distribuční sítě mohou být využívány k přenosu informací. Norma [1] stanovuje meze napětí, ve kterých se signál musí pohybovat.

## 2.2 Napět'ové události

V této kapitole jsou popsány napět'ové události. Jsou to náhlé a závažné odchylky od požadovaného stavu. Jsou způsobeny neočekávatelnými událostmi, například poruchami, cizím zaviněním nebo počasím, v případě velmi měkkých sítí i změnou zatížení.

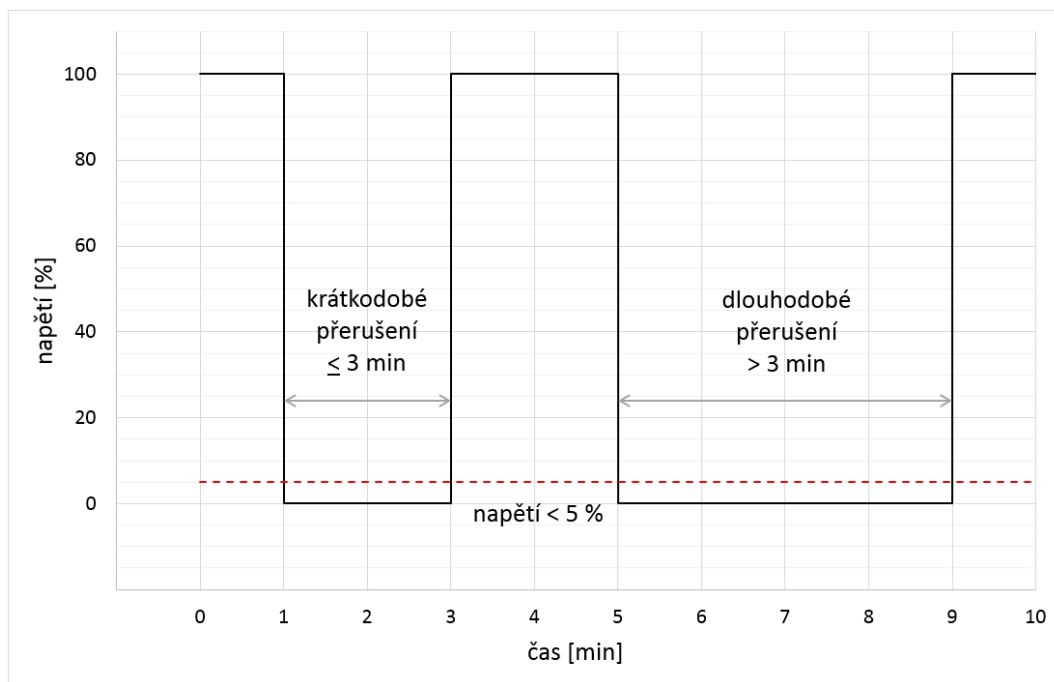
### 2.2.1 Přerušeni napájecího napětí

Za přerušeni napájecího napětí považujeme stav, v němž je napětí menší než 5 % dohodnutého napětí. Ve vícefázových soustavách nastává přerušeni v případě snížení napětí pod 5 % dohodnutého napětí ve všech fázích, v opačném případě se jedná o nesymetrický pokles napětí. [1]

Plánovaná přerušeni, předem dohodnutá, jsou obvykle způsobena prováděním prací na distribuční síti. Uživatelé jsou dopředu informováni o přerušeni, jejich následky lze tedy minimalizovat. Přerušeni náhodná, která jsou způsobena dočasnými nebo trvalými

poruchami, většinou ve spojení s vnějšími vlivy nebo poruchami zařízení, nelze zcela předpovědět. Přerušení dále dělíme z časového hlediska na [1]:

- dlouhodobá přerušení (trvání delší než 3 minuty)
- krátkodobá přerušení (trvání kratší než 3 minuty včetně).



Obrázek 2.1 Ilustrativní zobrazení krátkých a dlouhých přerušení

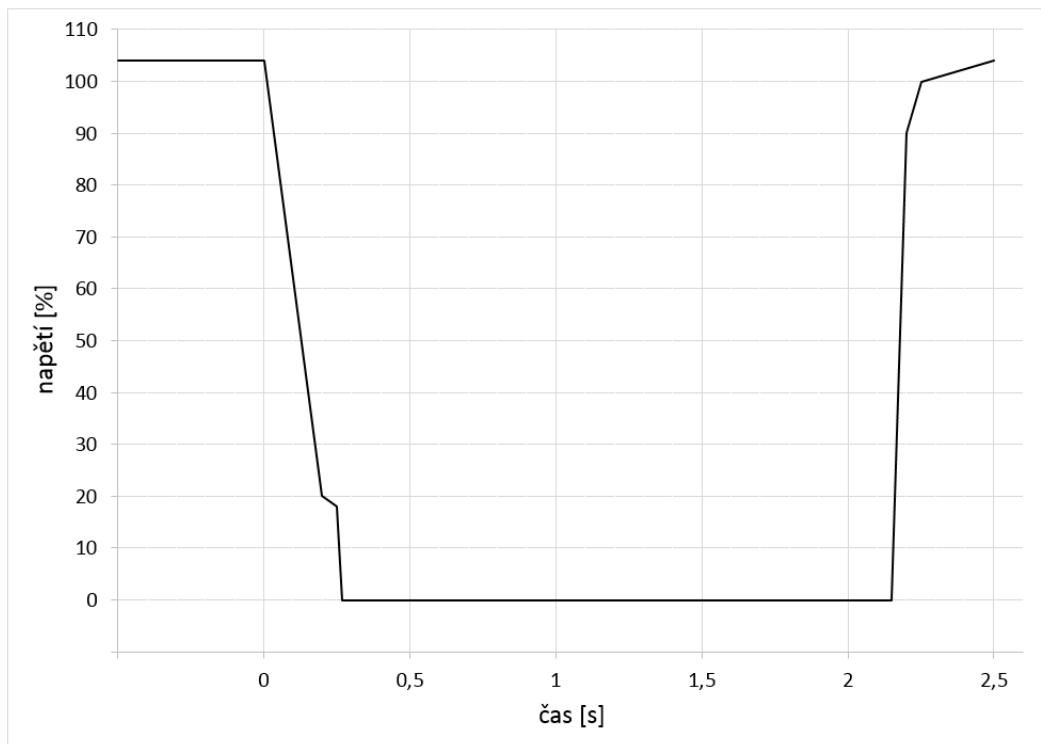
### Dlouhodobá přerušení

Dlouhodobá přerušení jsou například zapříčiněna poruchami vlivem klimatických podmínek, vnějšími vlivy nebo rozdílným systémem uspořádání a struktury sítí. Roční četnost přerušení, která jsou delší než 3 minuty, může být za normálních provozních podmínek méně než 10, ale v závislosti na oblasti jich může být až 50, také záleží na úrovni napětí. [8]

### Krátkodobá přerušení

Roční výskyt krátkodobých přerušení napětí bývá za normálních provozních podmínek v rozmezí desítek až stovek. Zhruba 70 % krátkodobých přerušení je kratší než 1 sekunda [8].

Na obrázku 2.2 je znázorněné přerušení napětí typické pro obloukový zkrat. V počátku klesne efektivní hodnota napětí zhruba na 20 % jmenovité hodnoty. Pak klesne napětí k nule, kde setrvává zhruba 1,8 s. Po tomto čase vyše zařízení opětovného zapnutí signál pro opětovné sepnutí kontaktů vypínače. Následuje obnovení původního napětí. [16]



Obrázek 2.2 Krátkodobé přerušení napětí (upraveno z [16])

## 2.2.2 Poklesy napájecího napětí

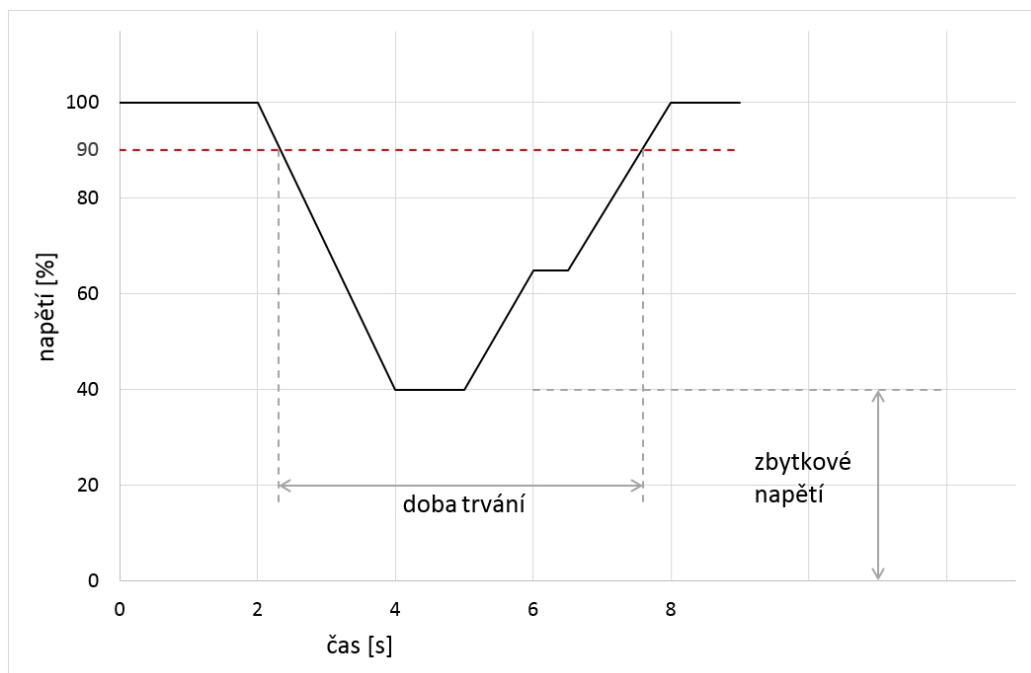
Za pokles napájecího napětí považujeme snížení efektivní hodnoty napětí pod prahovou hodnotu (90 % dohodnutého napětí) a následné vrácení zpět nad prahovou hodnotu. Poklesy napětí jsou typicky způsobeny poruchami jak v distribuční síti, tak v instalacích uživatelů, nebo například připojením velké zátěže (v síti nízkého napětí). [1]

Parametry, které charakterizují pokles napětí, jsou tyto:

- zbytkové napětí
- doba trvání

a znázorňuje je obrázek 2.3.





Obrázek 2.3 Ilustrativní zobrazení poklesu napětí

### Doba trvání

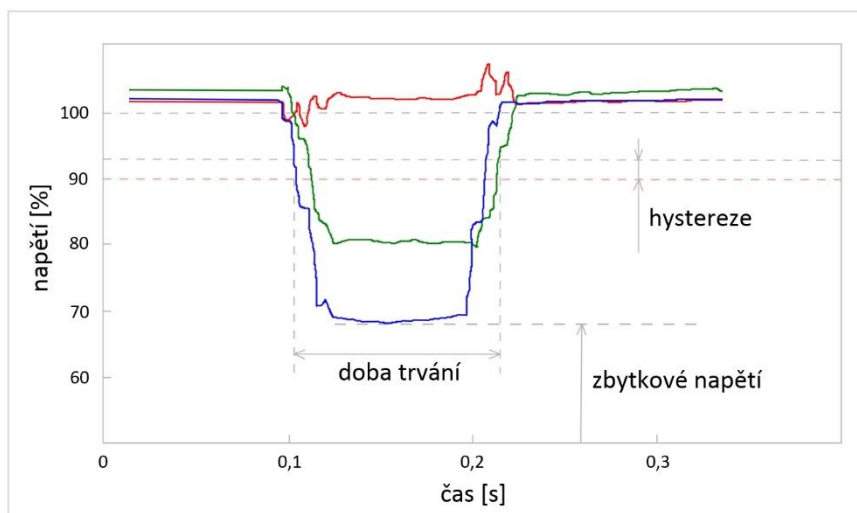
Doba trvání poklesu je časový interval od okamžiku poklesu napětí pod prahovou hodnotu (90 % dohodnutého napětí) do okamžiku vzrůstu napětí nad prahovou hodnotu s přidáním možného hysterezního napětí (2 % dohodnutého napětí). V případě, že se měřené napětí pohybuje kolem prahové úrovně, hystereze zamezí kmitání naměřených hodnot. Norma [1] uvažuje dobu trvání poklesu napětí od 10 ms do 1 minuty (včetně).

### Zbytkové napětí

Zbytkové napětí je minimální efektivní hodnota napětí, která je při poklesu zaznamenána. Je udávána jako poměrná nebo procentuální hodnota referenčního napětí. [1]

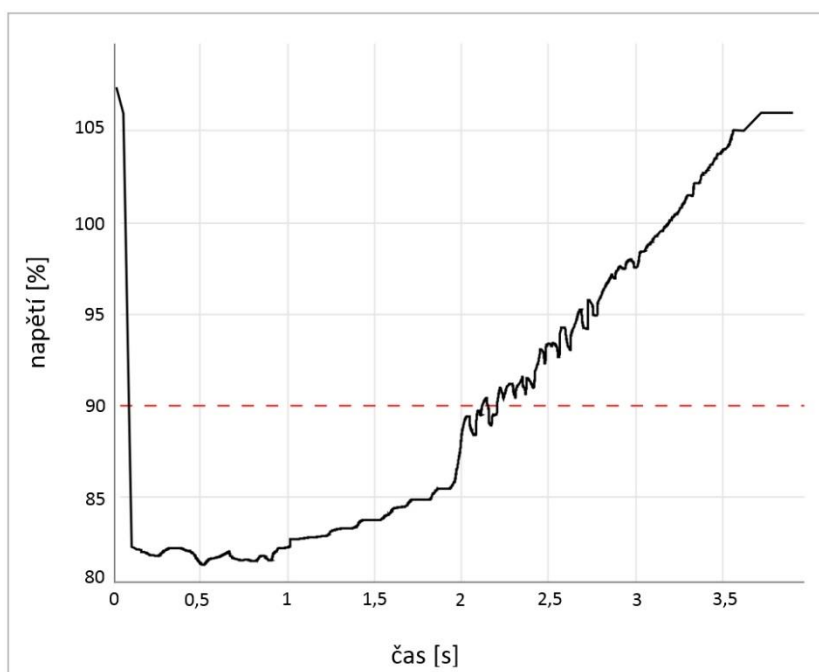
Počet krátkodobých poklesů napětí může být během roku v rozmezí desítek až tisíce. Poklesy napětí trvající méně než 1 sekundu jsou převažující a jsou způsobeny poruchami a následnou funkcí ochran. Zbytkové napětí je závislé na vzdálenosti příčiny poklesu od místa měření. Většina poklesů napětí má zbytkové napětí do 40 %. V určitých oblastech se mohou vyskytovat poklesy napětí se zbytkovým napětím okolo 90 a 85 %, což je následek spínání zařízení. [1]

V případě poklesu napětí v třífázové (vícefázové) soustavě se používá polyfázová agregace, která vytváří jev se stejným účinkem charakterizovaný právě jedním zbytkovým napětím a jednou dobou trvání. Možný průběh třífázového poklesu napětí ukazuje *obrázek 2.4*.



Obrázek 2.4 Třífázový pokles napětí (upraveno z [6])

Na obrázku 2.5 je vidět příklad poklesu napětí způsobeného spuštěním velkého asynchronního motoru. Zbytkové napětí je zhruba 80 % jmenovitého napětí a doba trvání zhruba 2 sekundy. [16]



Obrázek 2.5 Průběh napětí při spouštění asynchronního motoru (upraveno z [16])

Poklesy napětí můžeme podle charakteru rozdělit do různých skupin, například na symetrické a nesymetrické poklesy napětí. Při dopadu poklesů napětí na zařízení je také důležitá přenosová cesta, po které se poklesy napětí šíří. Například různé zapojení transformátorů různě ovlivňuje charakter poklesu napětí. Mezi zařízení citlivá na poklesy napětí můžeme zařadit elektronické přístroje, řízené pohony, přímo připojené asynchronní motory nebo například výbojky. [8]

### 2.2.3 Dočasné zvýšení napětí

Dočasné zvýšení napětí je zvýšení efektivní hodnoty napětí nad prahovou hodnotu (110 % dohodnutého napětí) a následné snížení pod tuto prahovou hodnotu. Obecně jsou dočasná zvýšení napětí způsobena atmosférickým přepětím nebo vypínáním velké zátěže (spínání v soustavě). [8]

### 2.3 Vyhodnocení napěťových událostí

Poklesy, přerušení a dočasná zvýšení napětí se měří a vyhodnocují podle normy ČSN EN 61000-4-30, která se týká elektromagnetické kompatibility, konkrétně metod měření kvality energie.

Pro přerušení napájecího napětí se uvažuje mez 5 % u, přičemž pod tuto hodnotu musí klesnout napětí ve všech fázích. Poklesy napětí se klasifikují podle *tabulky 2.1* a jejich charakteristiky jsou zbytkové napětí a doba trvání.

Tabulka 2.1 Vyhodnocení krátkodobých poklesů napětí [4]

Zbytkové napětí u [%]	Doba trvání t [ms]							
	$10 \leq t \leq 100$	$100 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1\,000$	$1\,000 < t \leq 3\,000$	$3\,000 < t \leq 5\,000$	$5\,000 < t \leq 60\,000$	$60\,000 < t \leq 180\,000$
$90 > u \geq 85$	N <sub>11</sub>	N <sub>21</sub>	N <sub>31</sub>	N <sub>41</sub>	N <sub>51</sub>	N <sub>61</sub>	N <sub>71</sub>	N <sub>81</sub>
$85 > u \geq 80$	N <sub>12</sub>	N <sub>22</sub>	N <sub>32</sub>	N <sub>42</sub>	N <sub>52</sub>	N <sub>62</sub>	N <sub>72</sub>	N <sub>82</sub>
$80 > u \geq 70$	N <sub>13</sub>	N <sub>23</sub>	N <sub>33</sub>	N <sub>43</sub>	N <sub>53</sub>	N <sub>63</sub>	N <sub>73</sub>	N <sub>83</sub>
$70 > u \geq 40$	N <sub>14</sub>	N <sub>24</sub>	N <sub>34</sub>	N <sub>44</sub>	N <sub>54</sub>	N <sub>64</sub>	N <sub>74</sub>	N <sub>84</sub>
$40 > u \geq 5$	N <sub>15</sub>	N <sub>25</sub>	N <sub>35</sub>	N <sub>45</sub>	N <sub>55</sub>	N <sub>65</sub>	N <sub>75</sub>	N <sub>85</sub>
$5 > u$	N <sub>16</sub>	N <sub>26</sub>	N <sub>36</sub>	N <sub>46</sub>	N <sub>56</sub>	N <sub>66</sub>	N <sub>76</sub>	N <sub>86</sub>

Zjištěná četnost je označena N<sub>ij</sub>. Tabulka zobrazuje poklesy trojfázové sítě. Podle výsledků sledování můžeme případně navýšit počet tříd. Řádek se zbytkovým napětím  $u < 5\%$  je určen pro napěťové poklesy, při kterých se pod tuto hodnotu napětí dostalo napětí jedné nebo dvou fází a není splněna podmínka pro vyhodnocení události jako přerušení napětí. [4]

Krátkodobá zvýšení napětí se vyhodnocují podle následující tabulky:

Tabulka 2.2 Vyhodnocení krátkodobých zvýšení napětí [4]

Zvýšení napětí $u$ [%]	Doba trvání $t$ [ms]							
	$10 \leq t < 100$	$100 \leq t < 200$	$200 \leq t < 500$	$500 \leq t < 1\,000$	$1\,000 \leq t < 3\,000$	$3\,000 \leq t < 5\,000$	$5\,000 \leq t < 60\,000$	$60\,000 \leq t < 180\,000$
$110 < u \leq 115$	$N_{11}$	$N_{21}$	$N_{31}$	$N_{41}$	$N_{51}$	$N_{61}$	$N_{71}$	$N_{81}$
$115 < u \leq 120$	$N_{12}$	$N_{22}$	$N_{32}$	$N_{42}$	$N_{52}$	$N_{62}$	$N_{72}$	$N_{82}$
$120 < u$	$N_{13}$	$N_{23}$	$N_{33}$	$N_{43}$	$N_{53}$	$N_{63}$	$N_{73}$	$N_{83}$

### 3 Ukazatele kvality dodávky elektrické energie

S kvalitou elektrické energie je spojena mimo kvalitu napětí také problematika nepřetržitosti dodávky elektrické energie. Nepřetržitost dodávky elektrické energie je monitorována Energetickým regulačním úřadem (ERÚ) a to na úrovni přenosu i distribuce elektrické energie [9]. Pro distribuci jsou ukazatele nepřetržitosti (dle [2]):

SAIDI (System average interruption duration index) – průměrná celková doba trvání přerušení dodávky elektrické energie u zákazníka v daném období,

SAIFI (System average interruption frequency index) – průměrný počet přerušení dodávky elektrické energie u zákazníka v daném období,

CAIDI (Customer average interruption duration index) – průměrná doba trvání jednoho přerušení dodávky elektrické energie u zákazníka v daném období.

Sledované období je obvykle jeden rok. Zmíněné ukazatele uvažují pouze dlouhodobá přerušení dodávky elektrické energie (plánovaná i neplánovaná). V souvislosti s krátkodobými přerušeními dodávky elektrické energie vystupuje ukazatel MAIFI.

MAIFI (Momentary average interruption frequency index) – průměrný počet krátkodobých přerušení dodávky elektrické energie u zákazníka v daném období.

Ukazatel MAIFI se nově objevuje v novele vyhlášky č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, která by měla vstoupit v platnost v roce 2020. MAIFI, na rozdíl od ukazatele SAIDI a SAIFI, není však zahrnut do motivační regulace kvality dodávek elektrické energie. Předpokladem pro zavedení ukazatele MAIFI do motivační regulace je mimo jiné stanovit jasná pravidla pro jeho započítávání. [5]

#### 3.1 Výpočet ukazatelů nepřetržitosti dodávky elektrické energie

Výsledné hodnoty ukazatelů nepřetržitosti jsou závislé na spolehlivosti distribuční soustavy, ale také na spolehlivosti výrobních zdrojů a přenosové soustavy. Dále jsou ovlivňovány procesem zjištění a lokalizace poruchy. [9]

Povinnost provozovatele distribuční soustavy je každoroční vykazování ukazatelů nepřetržitosti, a to pro jednotlivé napěťové hladiny, pro celou soustavu a pro definované kategorie přerušení. [9]

Kategorie přerušení (dle [2]):

- neplánované
  - poruchové
    - způsobené poruchou, která má původ v zařízení nebo provozu distribuční soustavy
      - za obvyklých povětrnostních podmínek
      - za nepříznivých povětrnostních podmínek
    - způsobené v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby
  - vynucené
  - mimořádné
  - v důsledku události mimo soustavu a u výrobce
- plánované

Pro výpočet ukazatelů nepřetržitosti je začátek přerušení okamžik, kdy se provozovatel distribuční soustavy dozvěděl o vzniku přerušení (nebo kdy ho mohl a měl zjistit). [2]

Jak již bylo naznačeno, rozlišujeme hladinové a systémové ukazatele nepřetržitosti. Hladinové ukazatele se vztahují k napěťovým hladinám, zatímco systémové ukazatele uvažují veškerá přerušení bez ohledu na napěťovou hladinu. Vztahy pro výpočty ukazatelů nepřetržitosti dodávky jsou dle [2].

### 3.1.1 SAIDI

Vztah pro výpočet hladinového ukazatele:

$$SAIDI_h = \frac{\sum_j t_{sjh}}{N_{sh}} \quad [\text{minut / rok / zákazník}] \quad (3.1)$$

$$t_{sjh} = \sum_i t_{ji} \cdot n_{jhi} \quad (3.2)$$

kde  $t_{sjh}$  součet všech dob trvání přerušení distribuce elektrické energie v důsledku j-té události na napěťové hladině h

$N_{sh}$  celkový počet zákazníků napájených z napěťové hladiny h

i pořadové číslo manipulačního kroku v rámci j-té události

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

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

Pro účely výpočtu se událostí myslí stav v distribuční soustavě, který vedl k přerušení napájení dané kategorie na napěťové hladině.

Vztah pro výpočet systémového ukazatele:

$$SAIDI_s = \frac{\sum_{h=nn}^{vvn} \sum_j t_{sjh}}{N_s} \quad [\text{minut / rok / zákazník}] \quad (3.3)$$

kde  $N_s$  celkový počet zákazníků v soustavě.

### 3.1.2 SAIFI

Vztah pro výpočet hladinového ukazatele:

$$SAIFI_h = \frac{\sum_j n_{jh}}{N_{sh}} \quad [\text{přerušení / rok / zákazník}] \quad (3.4)$$

kde  $n_{jh}$  celkový počet zákazníků postižených přerušením distribuce událostí  $j$  vzniklou na hladině  $h$

$N_{sh}$  celkový počet zákazníků napájených z napěťové hladiny  $h$ .

Vztah pro výpočet systémového ukazatele:

$$SAIFI_s = \frac{\sum_{h=nn}^{vvn} \sum_j n_{jh}}{N_s} \quad [\text{přerušení / rok / zákazník}] \quad (3.5)$$

kde  $N_s$  celkový počet zákazníků v soustavě.

### 3.1.3 CAIDI

Vztah pro výpočet hladinového ukazatele:

$$CAIDI_h = \frac{SAIDI_h}{SAIFI_h} \quad [\text{minut / přerušení}] \quad (3.6)$$

A obdobně vztah pro výpočet systémového ukazatele:

$$CAIDI_s = \frac{SAIDI_s}{SAIFI_s} \quad [\text{minut / přerušení}] \quad (3.7)$$

### 3.1.4 MAIFI

Ukazatel MAIFI se týká krátkodobých přerušení a jak již bylo řečeno, pro jeho vyhodnocování je třeba stanovit jasná pravidla. Krátkodobá přerušení se ve většině případů vyskytují buď ve skupině, nebo ve skupině s dlouhodobým přerušením. Při vyhodnocování údajů mohou být tedy použita rozdílná agregační pravidla, ve snaze co nejlépe vystihnout skutečný dopad na koncové zákazníky. [5]

Při obecném výpočtu ukazatele MAIFI tedy můžeme uplatňovat pravidla pro skupiny přerušení, nebo nikoliv.

Vztah pro výpočet ukazatele bez pravidel pro skupiny přerušení (dle [5]):

$$MAIFI = \frac{\sum NM_i}{N_T} \quad [\text{přerušeni} / \text{zákazník}] \quad (3.8)$$

kde  $NM_i$  celkový počet krátkodobých přerušení u zákazníků

$N_T$  celkový počet zákazníků.

Při uplatňování pravidel pro skupiny přerušení má vztah pro výpočet tvar (dle [5]):

$$MAIFI_E = \frac{\sum NME_i}{N_T} \quad [\text{přerušeni} / \text{zákazník}] \quad (3.9)$$

kde  $NME_i$  celkový počet událostí, která se týkají krátkodobých přerušení u zákazníků (ne počet všech krátkodobých přerušení)

Zjednodušený návrh pro výpočet MAIFI v České republice by se měl řídit tím, že vznik krátkodobých přerušení v souvislosti s dlouhodobým přerušením se nebude počítat a skupiny krátkodobých přerušení vzniklé v určité době od sebe se budou počítat jen jednou [15]. Vztah pro zjednodušený návrh výpočtu (dle [15]):

$$MAIFI_h = \frac{\sum_k n_{kh}}{N_{sh}} \quad [\text{přerušeni} / \text{rok} / \text{zákazník}] \quad (3.10)$$

kde  $n_{kh}$  celkový počet zákazníků napájených z napěťové hladiny  $h$ , jimž bylo v důsledku  $k$ -té události způsobeno krátkodobé přerušeni distribuce elektrické energie dané kategorie

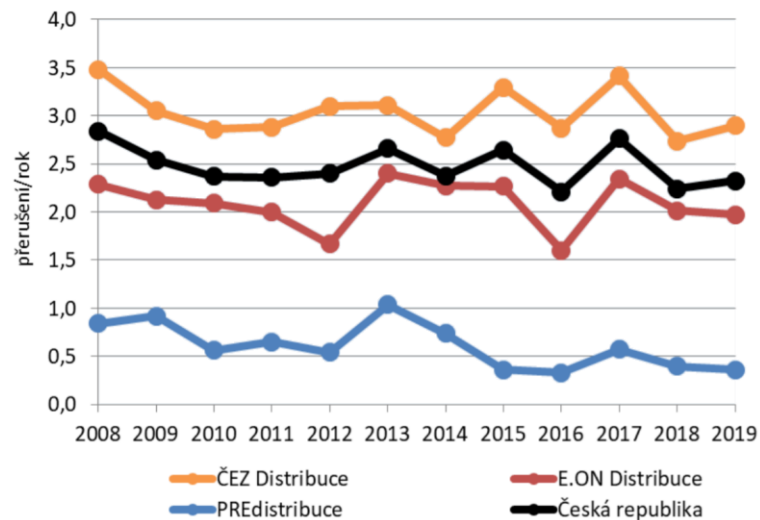
$N_{sh}$  celkový počet zákazníků napájených z napěťové hladiny  $h$

$k$  pořadové číslo události v hodnoceném období, při které vznikla jen krátkodobá přerušeni distribuce elektrické energie (jako samostatná událost se považují krátkodobá přerušeni vzniklá více než několik desítek minut po konci předchozího krátkodobého přerušeni).

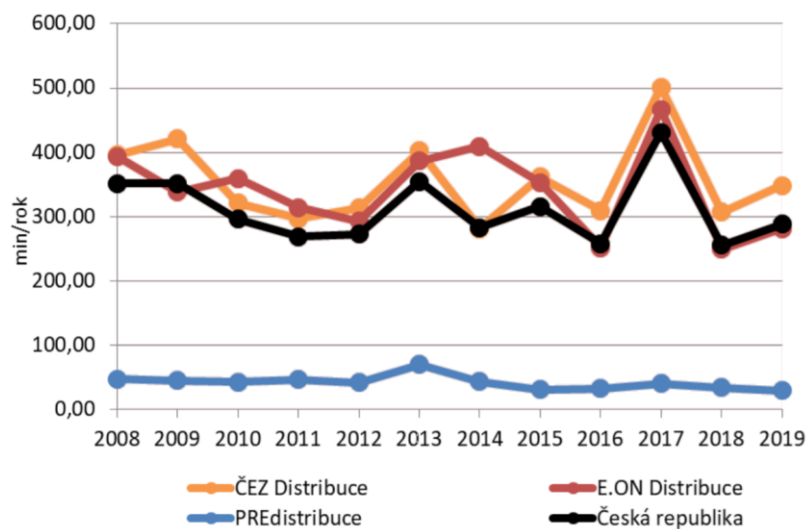
### 3.2 Vývoj ukazatelů nepřetržitosti

Příklad vývoje ukazatelů nepřetržitosti je uveden na *obrázcích 3.1 a 3.2*. Jedná se hodnoty systémových ukazatelů. Mezi hlavní vlivy ovlivňující ukazatele nepřetržitosti patří například podíl kabelových vedení, způsob zapojení sítí nebo hustota odběru. Z důvodu rozdílnosti sítí jednotlivých provozovatelů distribučních soustav tedy nelze přímo ukazatele porovnávat mezi sebou. Důležitější je spíše časový vývoj z hlediska jednotlivých společností. [14]





Obrázek 3.1 Vývoj ukazatele SAIFI [14]



Obrázek 3.2 Vývoj ukazatele SAIDI [14]

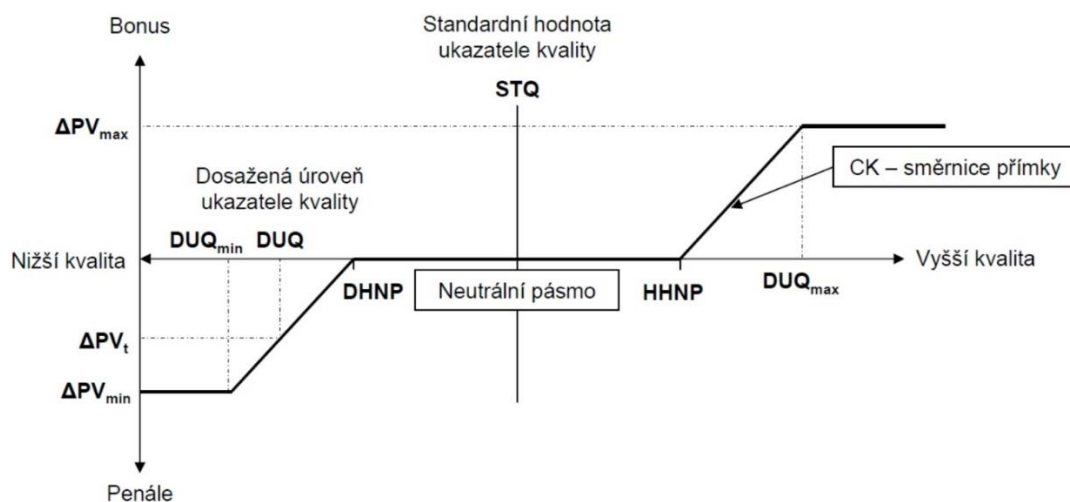
Z obrázků je vidět, že průměrná četnost přerušení se u zákazníka za rok pohybuje v řádu jednotek nebo nižší. Průměrná celková doba přerušení pak v řádu jednotek hodin.

### 3.3 Regulace kvality

Jelikož má energetika charakter přirozeného monopolu, je pro dosažení určité kvality služeb a cen nutná centrální regulace, kterou provádí Energetický regulační úřad, jak již bylo naznačeno. Pro cenovou regulaci se v České republice využívá mechanismus regulace metodou výnosových limitů. Zde je zavedena i komponenta kvality (Q komponenta), která reprezentuje vazbu mezi vynaloženými investičními prostředky a přímým ovlivněním kvality dodávky elektrické energie. [9]

Ukazatelů nepřetržitosti dodávky zahrnutých v tzv. Q komponentě se týká motivační regulace kvality dodávek elektrické energie. Jedná se o nastavení žádané úrovně kvality služeb ve vztahu k jejich ceně. Schéma motivační regulace kvality je na *obrázku 3.3*. Ukazatele nepřetržitosti (SAIDI, SAIFI) jsou celosystémové, bez zahrnutí událostí, na které provozovatel soustavy nemá vliv. [9] Jedná se o tyto kategorie přerušení:

- poruchové, způsobené poruchou, která má původ v zařízení nebo provozu distribuční soustavy za nepříznivých povětrnostních podmínek
- poruchové, způsobené v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby
- přerušeni vynucená, mimořádná a v důsledku události mimo soustavu provozovatele a u výrobce



Obrázek 3.3 Schéma motivační regulace kvality [9]

kde	$\Delta PV_t$	finanční vyjádření penále nebo bonusu za dosaženou kvalitu služeb
	t	pořadové číslo regulovaného roku
	DUQ	hodnota dosažené úrovně ukazatele kvality pro hodnocení kvality služeb pro příslušný rok regulačního období
	CK	jednotková cena kvality
	$\Delta PV_{max}$	maximální hodnota bonusu za dosaženou kvalitu služeb
	$\Delta PV_{min}$	maximální hodnota penále za dosaženou kvalitu služeb
	DHNP	dolní hranice neutrálního pásma
	HHNP	horní hranice neutrálního pásma
	STQ	hodnota požadované úrovně ukazatele kvality

$DUQ_{\max}$  hodnota ukazatele kvality, od níž je uplatňována maximální hodnota bonusu za dosaženou kvalitu služeb

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

Cíl motivační regulace kvality spočívá v ovlivnění kvality v celém systému, a ve snižování počtů a dob trvání přerušení dodávky. Požadovaná úroveň ukazatele kvality je stanovená pro každého distributora zvlášť, z jeho vývoje.

## 4 Vyhodnocení závažných poklesů napětí

Jak již bylo řečeno, pokles napájecího napětí je snížení efektivní hodnoty napětí pod prahovou hodnotu. Vyhodnocováním napěťových poklesů (i napěťových událostí obecně) získáváme z dlouhodobého hlediska přehled o jejich výskytu a četnosti, jedny z mnoha důležitých parametrů pro stanovení jejich směrných hodnot a zahrnutí do regulace kvality dodávek elektrické energie. Další důležité aspekty pro toto zavedení jsou například stanovení metod pro posuzování vícenásobných poklesů, to však není předmětem této kapitoly. Předmětem následujících kapitol je zohlednění závažnosti jevu, vyhodnocení závažných poklesů napětí.

### 4.1 Popis vyhodnocovaných dat a cíl analýzy

V následujících kapitolách jsou vyhodnoceny záznamy poklesů napětí z rozvoden 110 kV, za období 2012 až 2017, a trafostanic 110/22 kV, za období 2010 až 2017, společnosti E. ON Distribuce, a.s.

Vyhodnocovaných rozvoden 110 kV je celkem 15, konkrétně: Brno Husovice (V528), Boskovice (V525), Bystřice (V5538), Žďár (V5536), Řípov (V5525), Hustopeče (V529), Břeclav (V5568), Kunovice (V5540), Prostějov (V5577), Brno Líšeň (V5559), Uherský brod (V543), Počátky (V1393), Pacov (V1357), Škoda Sběrna A, Škoda Sběrna B.

V případě trafostanic 110/22 kV se jedná o 46 měřících míst, konkrétně: Bechyně T101 a T102, Domoralice T101 a T102, Křtěnov T101 a T102, Mydlovary T101 a T102, Planá T103 a T104, Mladé T101 a T102, Západ T101 a T102, Tábor T101 a T102, Veselí T101 a T102, Humpolec T101 a T102, Lipnice T101 a T102, Mirovice T101 a T102, Pelhřimov T101 a T102, Prachatice T101 a T102, Strakonice T101 a T102, Vimperk T101 a T102, Větrní T101 a T102, ČB Sever T101 a T102, Písek T101 a T102, J. Hradec T101 a T102, Škoda T104 a T105, Lipno T23 a T24, Počátky T101 a T102. Sledovány byly poklesy napětí na výstupní straně jednotlivých transformátorů.

Z výpisu vyhodnocovaných dat, charakterizovaného začátkem a koncem události a procentuální hodnotou napětí mezi fázemi, byly vybrány poklesy napětí a dále byla provedena polyfázová agregace, tedy nahrazení jednou dobou trvání a jedním, tím nejnižším, zbytkovým napětím (viz *obrázek 2.4*). Dále byly poklesy přepsány do třídící tabulky, rozdělené podle zbytkového napětí a doby trvání, pro každé měřící místo a každý rok.

Hlavním cílem analýzy takto upravených dat je zjistit zastoupení závažných poklesů napětí vzhledem k jejich celkovému počtu. Dále pak bližší rozbor vyskytujících se závažných poklesů.

Závažné poklesy jsou odvozeny od křivek odpovědnosti, které rozdělují závislost napětí na době trvání události na dvě oblasti. V oblasti nad křivkou je tolerované chování sítě, kde by zařízení odběratele mělo být vůči chování sítě odolné a pakliže to tak není, je na odběrateli zajistit případné opatření. Závažné poklesy tedy spadají do druhé vymezené oblasti pod křivkou. Předpokládá se, že zařízení na tyto poklesy nepříznivě zareaguje, například se zastaví výroba vlivem výpadku řídicí jednotky citlivé na pokles napětí.

Křivky odpovědnosti mohou mít různý tvar a jsou odvozeny od křivek odolnosti zařízení. Křivky odolnosti zařízení charakterizují schopnost zařízení odolávat rušivým vlivům, v tomto případě poklesům. Vymezují tak oblast, kde zařízení může plnohodnotně pracovat. Podle normy ČSN EN 61000-4-11 a 34, týkající se elektromagnetické kompatibility, konkrétně krátkodobých poklesů, krátkých přerušení a pomalých změn napětí, rozlišujeme křivky odolnosti pro různé třídy zařízení.

Při stanovení oblasti závažných poklesů napětí obvykle křivky odpovědnosti vycházejí z křivek odolnosti zařízení pro třídu 3. Následné stanovení oblasti závažných poklesů je vidět v *tabulce 4.1*.

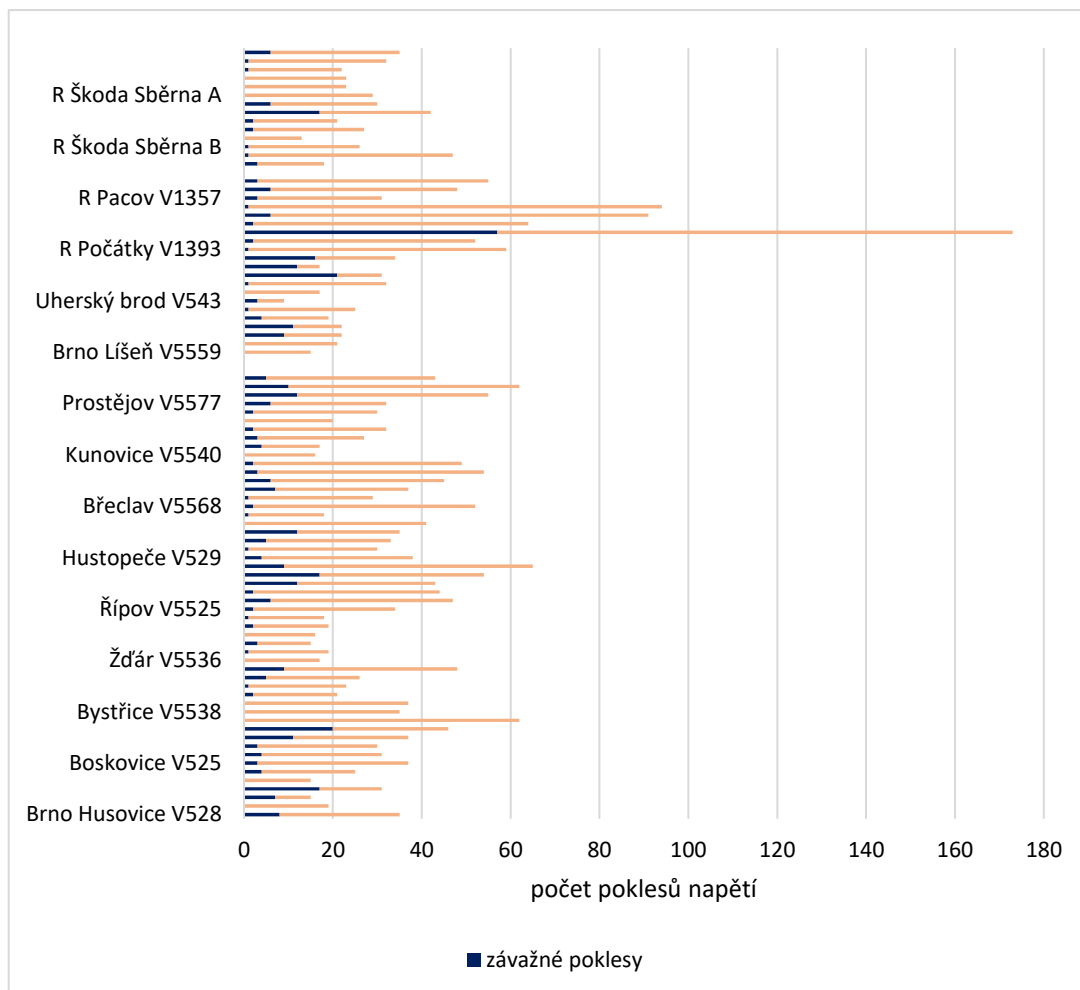
Tabulka 4.1 Ilustrační tabulka s vyznačením závažných poklesů (zeleně)

Zbytkové napětí $u$ [%]	Doba trvání $t$ [s]								
	$0,01 \leq t \leq 0,1$	$0,1 \leq t \leq 0,2$	$0,2 < t \leq 0,5$	$0,5 < t \leq 1$	$1 < t \leq 3$	$3 < t \leq 5$	$5 < t \leq 60$	$60 < t \leq 180$	$t > 180$
$90 > u \geq 85$	N <sub>11</sub>	N <sub>21</sub>	N <sub>31</sub>	N <sub>41</sub>	N <sub>51</sub>	N <sub>61</sub>	N <sub>71</sub>	N <sub>81</sub>	N <sub>91</sub>
$85 > u \geq 80$	N <sub>12</sub>	N <sub>22</sub>	N <sub>32</sub>	N <sub>42</sub>	N <sub>52</sub>	N <sub>62</sub>	N <sub>72</sub>	N <sub>82</sub>	N <sub>92</sub>
$80 > u \geq 70$	N <sub>13</sub>	N <sub>23</sub>	N <sub>33</sub>	N <sub>43</sub>	N <sub>53</sub>	N <sub>63</sub>	N <sub>73</sub>	N <sub>83</sub>	N <sub>93</sub>
$70 > u \geq 40$	N <sub>14</sub>	N <sub>24</sub>	N <sub>34</sub>	N <sub>44</sub>	N <sub>54</sub>	N <sub>64</sub>	N <sub>74</sub>	N <sub>84</sub>	N <sub>94</sub>
$40 > u \geq 5$	N <sub>15</sub>	N <sub>25</sub>	N <sub>35</sub>	N <sub>45</sub>	N <sub>55</sub>	N <sub>65</sub>	N <sub>75</sub>	N <sub>85</sub>	N <sub>95</sub>
$5 > u$	N <sub>16</sub>	N <sub>26</sub>	N <sub>36</sub>	N <sub>46</sub>	N <sub>56</sub>	N <sub>66</sub>	N <sub>76</sub>	N <sub>86</sub>	N <sub>96</sub>

Po stanovení této oblasti se následně sumarizovaly závažné poklesy a poklesy celkově, pro všechny měřicí místa za jednotlivé roky, aby bylo možné jejich porovnání a analýza.

## 4.2 Rozvodny 110 kV

V této kapitole jsou vyhodnoceny závažné poklesy napětí ve sledovaných rozvodnách 110 kV. Na *obrázku 4.1* je vidět přehled rozveden s vyznačením závažných poklesů z celkového počtu poklesů za každý rok.



Obrázek 4.1 Vyznačení závažných poklesů ve sledovaných rozvodnách 110 kV

Z obrázku je patrné, že závažné poklesy tvoří malou část z celkového počtu poklesů. Nejvyšší počet poklesů byl zaznamenán na rozvodně Počátky (V1393) v roce 2014 a to 173, z toho 57 závažných poklesů. Nejnižší počet poklesů byl pak v roce 2012 v rozvodně Uherský brod (V543) a to 9, z toho však 3 závažné poklesy. Situace, kdy ze zaznamenaných poklesů v rozvodnách za jednotlivé roky žádný nebyl závažný, nastala celkem v 17 případech. Souhrnné údaje za sledované období jsou v *tabulce 4.2*.

Tabulka 4.2 Souhrnné údaje za období 2012 až 2017 ze sledovaných rozvodů 110 kV

	Poklesy	Závažné poklesy
Celkový zaznamenaný počet ze všech rozvodů	3068	436
Průměr na jednu rozvodnu za rok	35,4	5
Směrodatná odchylka	22	7,5
95% percentil	63,4	17

V průměru 14 % všech poklesů patří mezi závažné poklesy. V 95 % případech nepřesáhl podíl závažných poklesů 47 % z celkového počtu zaznamenaných poklesů v daném místě a roku.

Tabulka 4.3 udává celkový počet poklesů za sledované období ze všech rozvodů, rozdělených podle doby trvání a zbytkového napětí. Můžeme tedy blíže analyzovat jednotlivé závažné poklesy.

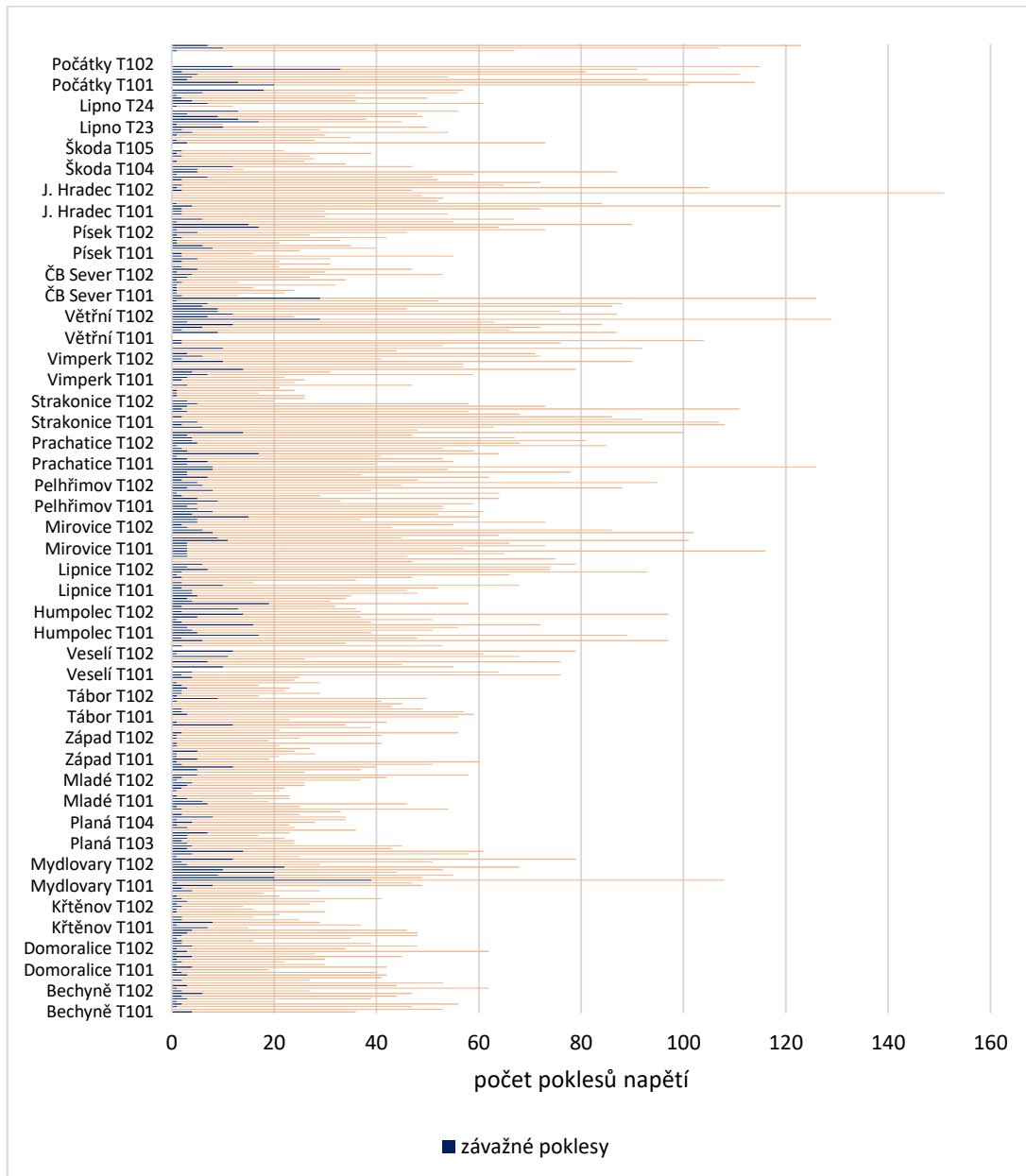
Tabulka 4.3 Poklesy ve sledovaných rozvodnách za období 2012 až 2017

Zbytkové napětí $u$ [%]	Doba trvání $t$ [s]								
	$0,01 \leq t \leq 0,1$	$0,1 \leq t \leq 0,2$	$0,2 < t \leq 0,5$	$0,5 < t \leq 1$	$1 < t \leq 3$	$3 < t \leq 5$	$5 < t \leq 60$	$60 < t \leq 180$	$t > 180$
$90 > u \geq 85$	696	105	32	35	1	0	0	0	0
$85 > u \geq 80$	434	127	19	2	6	0	0	0	0
$80 > u \geq 70$	550	88	3	8	1	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	367	112	20	51	7	1	0	0	0
$40 > u \geq 5$	42	22	4	5	0	0	0	0	0
$5 > u$	241	16	10	2	3	0	3	2	53

Z tabulky 4.3 je vidět, že z celkových 436 závažných poklesů bylo nejvíce poklesů s dobou trvání do 0,1 sekundy a zbytkovým napětím pod 5 %. Jednalo se o 241 poklesů, tedy větší polovina. Většina závažných poklesů (96,5 %) pak byla s dobou trvání do 1 sekundy.

### 4.3 Trafostanice 110/22 kV

V této kapitole jsou vyhodnoceny závažné poklesy napětí na výstupu jednotlivých transformátorů ve sledovaných trafostanicích 110/22 kV. Na *obrázku 4.2* je vidět přehled trafostanic s vyznačením závažných poklesů z celkového počtu poklesů za každý rok.



Obrázek 4.2 Vyznačení závažných poklesů ve sledovaných trafostanicích 110/22 kV

Z obrázku je vidět, že závažné poklesy tvoří malou část z celkového počtu poklesů. Nejvyšší počet zaznamenaných poklesů byl 151 v trafostanici Jindřichův Hradec (T101) v roce 2017, žádný z těchto poklesů však nebyl závažný. Celkem ve 46 případech ze zaznamenaných poklesů v trafostanicích za jednotlivé roky žádný nebyl závažný. Souhrnné údaje za sledované období jsou v *tabulce 4.4*.



Tabulka 4.4 Souhrnné údaje za období 2010 až 2017 ze sledovaných trafostanic 110/22 kV

	Poklesy	Závažné poklesy
Celkový zaznamenaný počet ze všech trafostanic	17648	1516
Průměr na jedno měřicí místo za rok	49,7	4,3
Směrodatná odchylka	25,6	5,2
95% percentil	101,3	14

V průměru 9 % všech poklesů patří mezi závažné poklesy. V 95 % případech nepřesáhl podíl závažných poklesů 27 % z celkového počtu zaznamenaných poklesů v daném místě a roku.

Pro podrobnější analýzu závažných poklesů byla vybrána trafostanice Mydlovary (T101), neboť je zde značný podíl závažných poklesů. Tabulka 4.5 udává celkový počet poklesů za sledované období rozdělených podle doby trvání a zbytkového napětí.

Tabulka 4.5 Poklesy v trafostanici Mydlovary (T101) za období 2010 až 2017

Zbytkové napětí $u$ [%]	Doba trvání $t$ [s]								
	$0,01 \leq t \leq 0,1$	$0,1 \leq t \leq 0,2$	$0,2 < t \leq 0,5$	$0,5 < t \leq 1$	$1 < t \leq 3$	$3 < t \leq 5$	$5 < t \leq 60$	$60 < t \leq 180$	$t > 180$
$90 > u \geq 85$	81	11	3	2	0	0	0	0	0
$85 > u \geq 80$	47	6	4	1	0	0	0	0	0
$80 > u \geq 70$	67	36	6	0	0	0	0	0	0
$70 > u \geq 40$	51	29	0	1	0	0	0	0	0
$40 > u \geq 5$	61	67	0	0	0	0	0	0	0
$5 > u$	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Z tabulky je vidět, že z celkových 129 závažných poklesů bylo 128 s trváním do 0,2 sekundy a zbytkovým napětím v rozmezí 5 až 40 %. Všechny závažné poklesy pak byly s trváním do 1 sekundy, tento trend je podobný i v ostatních trafostanicích.

## 5 Vyhodnocení seskupení napět'ových událostí

Předmětem následujících kapitol je vyhodnocení shluků napět'ových událostí. Cílem těchto vyhodnocení obecně je vystihnout skutečný možný dopad událostí na zařízení zákazníka, zohlednit možnost, že shluk událostí byl vyvolán jednou příčinou a vyhnout se tak jejich duplicitnímu započítávání a tím jejich nadhodnocení. Otázkou tedy je, jak se na shluky napět'ových událostí dívat, a jak co nejlépe vystihnout jejich vliv.

V záznamech lze vysledovat, že se vyskytují různé kombinace napět'ových událostí. Například dlouhá přerušení napětí jsou často doprovázena poklesy, zvýšeními a krátkými přerušeními či jejich shluky. Vyskytují se také shluky krátkých přerušení, poklesů nebo zvýšení napětí. Zatím neexistuje žádné univerzální pravidlo, jak shluky hodnotit a započítávat. Vyhodnocováním různých variant těchto pravidel, která respektují různé příčiny a možné dopady, získáme představu o počtu vykazovaných napět'ových událostí. Předmětem následujících kapitol je tedy porovnat různé možnosti těchto pravidel.

Stanovení pravidel pro vyhodnocování shluků poklesů, zvýšení a krátkých přerušení napětí je důležitou součástí pro jejich možné zahrnutí do regulace kvality dodávek elektrické energie.

V následných kapitolách jsou pravidla pro vyhodnocení realizována v jednom případě pomocí použití časové agregace a v druhém případě pomocí použití agregačních metod. Principy obou přístupů jsou detailně popsány dále.

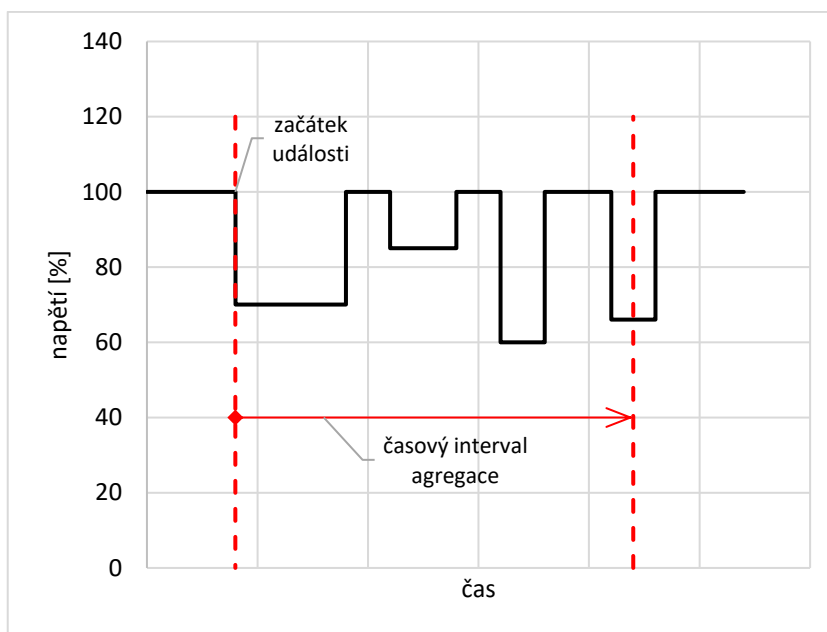
### 5.1 Použití časové agregace

V této kapitole jsou vyhodnoceny záznamy napět'ových událostí z distribuční trafostanice (DTS) Březolupy, společnosti E. ON Distribuce, a.s. Záznamy jsou z roku 2015, kdy byl zaznamenán velký počet zvýšení a poklesů napětí.

Cílem této kapitoly je porovnat počet vykazovaných událostí na napětí při použití různých časových agregací. Při použití časové agregace se po sobě jdoucí události, které se celé nebo z části nacházejí ve zvoleném agregačním intervalu, počítají jako jedna. Agregační intervaly jsou zde tedy uplatněny na napět'ové události stejného druhu. Doba trvání agregačního intervalu zohledňuje možný dopad událostí na zařízení zákazníka, nebo také respektuje shluky událostí vyvolaných jednou příčinou.

Doba trvání agregačního intervalu může být tedy různě dlouhá. Například pro vícenásobné poklesy spojené s automatikou opětného zapínání (OZ) se agregační interval pohybuje v řádu sekund až desítek sekund. Při respektování reálného dopadu na odběratele,

například znovuoobnovení výroby, se doba pohybuje v řádech minut až desítek minut. Není totiž pravděpodobné, že by napěťové události v krátké době za sebou způsobily u odběratele více než jednu škodu. Agregáčnı interval dlouhý jeden den řekne, v kolika dnech se daná napěťová událost vyskytla. Kromě volby doby trvání agregáčnıho intervalu je také důležitý okamžik, odkud se bude interval počítat. V našem případě se agregáčnı interval počítá od začátku dané napěťové události. Princip časové agregace shrnuje *obrázek 5.1*. Zvlášť jsou tedy vyhodnoceny poklesy, zvýšení a krátké přerušení napětí. Agregáčnı intervaly pro vyhodnocované události jsou v *tabulce 5.1*.



Obrázek 5.1 Ilustrativní zobrazení principu časové agregace

Na obrázku jsou čtyři po sobě jdoucí poklesy napětí. Je zde i znázorněn agregáčnı interval, který je počítán od začátku prvního poklesu. Všechny poklesy do tohoto intervalu zasahují, výsledný počet vykázaných poklesů napětí je tedy roven jedné.

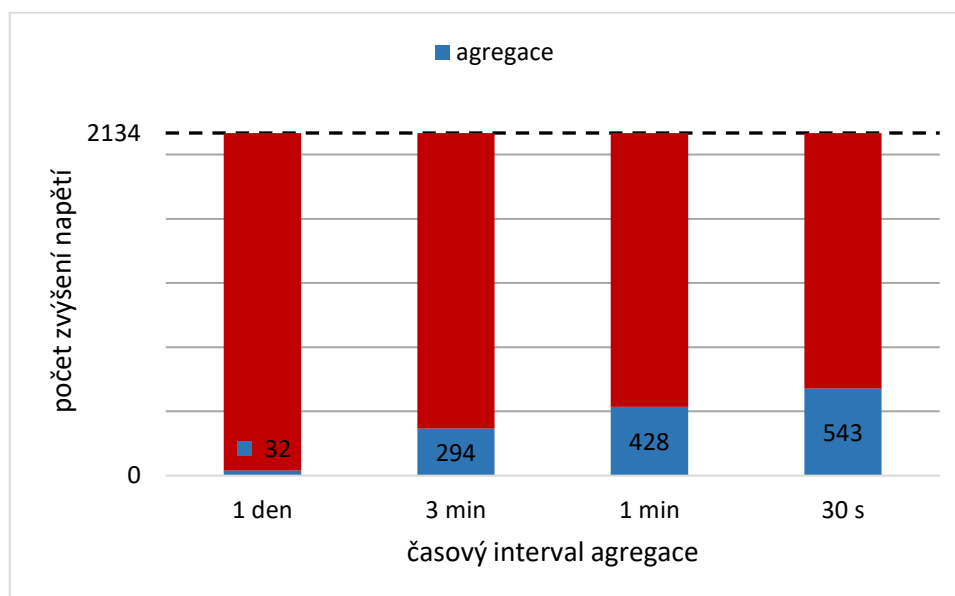
Tabulka 5.1 Časové intervaly agregace pro vyhodnocované napěťové události

agregáčnı interval	zvýšení napětí	pokles napětí	krátké přerušení napětí
30 s	●	●	●
1 min	●	●	●
3 min	●	●	●
10 min		●	●
30 min		●	●
1 hod		●	●
1 den	●	●	●

Z výpisu dat, charakterizovaného začátkem a koncem události a procentuální hodnotou napětí mezi fázemi, byly vyfiltrovány napěťové události stejného druhu. Na takto upravená data byla aplikována časová agregace, postupně pro všechny agregační intervaly, podle tabulky 5.1.

### 5.1.1 Zvýšení napětí

V distribuční trafostanici Březolupy bylo za rok 2015 zaznamenáno 2134 zvýšení napětí. Obrázek 5.2 ukazuje započítaná zvýšení napětí po použití různých agregačních intervalů vzhledem k celkovému zaznamenanému počtu.



Obrázek 5.2 Zvýšení napětí v DTS Březolupy za rok 2015 po použití časové agregace

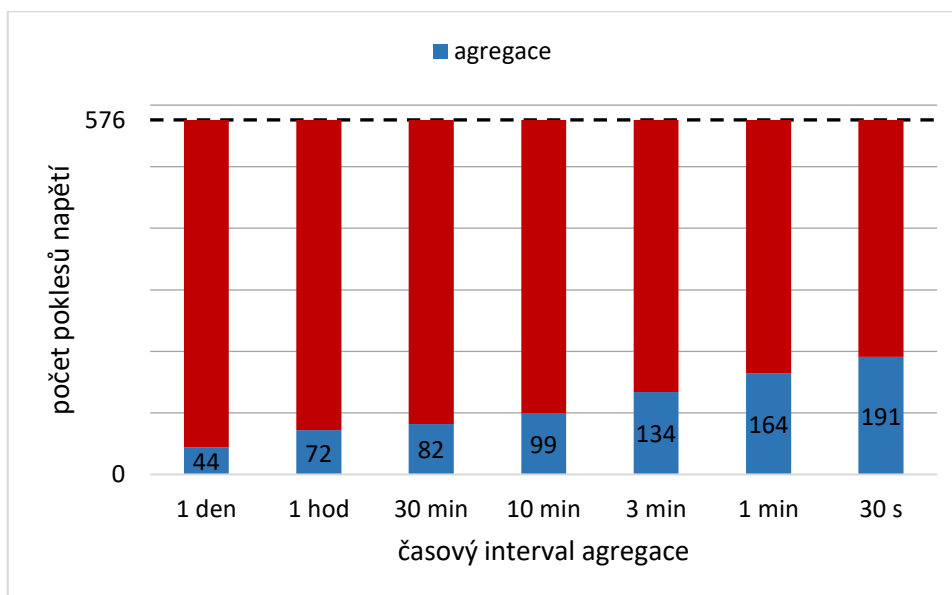
Z obrázku je vidět, že i při krátkém agregačním intervalu 30 sekund se započítala zhruba jen jedna čtvrtina zvýšení napětí. Je to dáno velmi malými časovými rozestupy mezi jednotlivými zvýšeními napětí. To také dokazuje další značné snížení vykázaných zvýšení pro agregační intervaly 1 a 3 minuty. Denní četnost zvýšení napětí je 32. Ukázka vyhodnocení je na obrázku 5.3. Jsou zde vidět malé časové rozestupy mezi jednotlivými zvýšeními napětí. Červené šipky znázorňují aplikaci agregačního intervalu 30 sekund. Je vidět, že z 21 zaznamenaných zvýšení se započítala pouze dvě.

Začátek	Konec	Délka	L1 [%]	L2 [%]	L3 [%]
so 11.07.2015 09:58:48,770	so 11.07.2015 09:58:48,850	0,08 sec ^	113,7	111,4	
so 11.07.2015 09:58:49,440	so 11.07.2015 09:58:49,680	0,24 sec ^	111,7	114	
so 11.07.2015 09:58:49,720	so 11.07.2015 09:58:49,780	0,06 sec ^	115,6	113,7	
so 11.07.2015 09:58:49,810	so 11.07.2015 09:58:49,850	0,04 sec ^	110,6	111,1	
so 11.07.2015 09:58:49,890	so 11.07.2015 09:58:49,970	0,08 sec ^	126,3	111,9	
so 11.07.2015 09:58:50,160	so 11.07.2015 09:58:53,330	3,17 sec ^	133	115,8	
so 11.07.2015 09:59:03,520	so 11.07.2015 09:59:07,160	3,64 sec ^	133	116,3	
so 11.07.2015 09:59:07,210	so 11.07.2015 09:59:07,590	0,38 sec ^	112,2	112,7	
so 11.07.2015 09:59:14,680	so 11.07.2015 09:59:14,860	0,18 sec ^		110,6	
so 11.07.2015 09:59:14,930	so 11.07.2015 09:59:15,130	0,20 sec ^	110,3	112,7	
so 11.07.2015 09:59:15,210	so 11.07.2015 09:59:16,140	0,93 sec ^	110,9	112,7	
so 11.07.2015 09:59:16,290	so 11.07.2015 09:59:16,380	0,09 sec ^	110,1	113,7	
so 11.07.2015 09:59:16,480	so 11.07.2015 09:59:16,510	0,03 sec ^	116,3	110,1	
so 11.07.2015 09:59:16,540	so 11.07.2015 09:59:17,810	1,27 sec ^	133	116,9	
so 11.07.2015 09:59:17,860	so 11.07.2015 09:59:38,210	20,35 sec ^	133	117,4	
so 11.07.2015 09:59:38,350	so 11.07.2015 09:59:38,410	0,06 sec ^		110,6	
so 11.07.2015 09:59:43,480	so 11.07.2015 09:59:43,730	0,25 sec ^	107,5	110,9	
so 11.07.2015 09:59:43,780	so 11.07.2015 09:59:53,780	10,00 sec ^	133	117,9	
so 11.07.2015 09:59:54,570	so 11.07.2015 09:59:54,680	0,11 sec ^		110,3	
so 11.07.2015 09:59:54,810	so 11.07.2015 09:59:59,840	5,03 sec ^	110,1	112,2	
so 11.07.2015 09:59:59,860	so 11.07.2015 10:00:00,220	0,36 sec ^		110,6	

Obrázek 5.3 Ukázka vyhodnocení záznamu z DTS Březolupy – zvýšení napětí

### 5.1.2 Poklesy napětí

Obrázek 5.4 ukazuje započítané poklesy napětí po použití různých agregačních intervalů vzhledem k celkovému zaznamenanému počtu. Celkem bylo zaznamenáno 576 poklesů napětí.

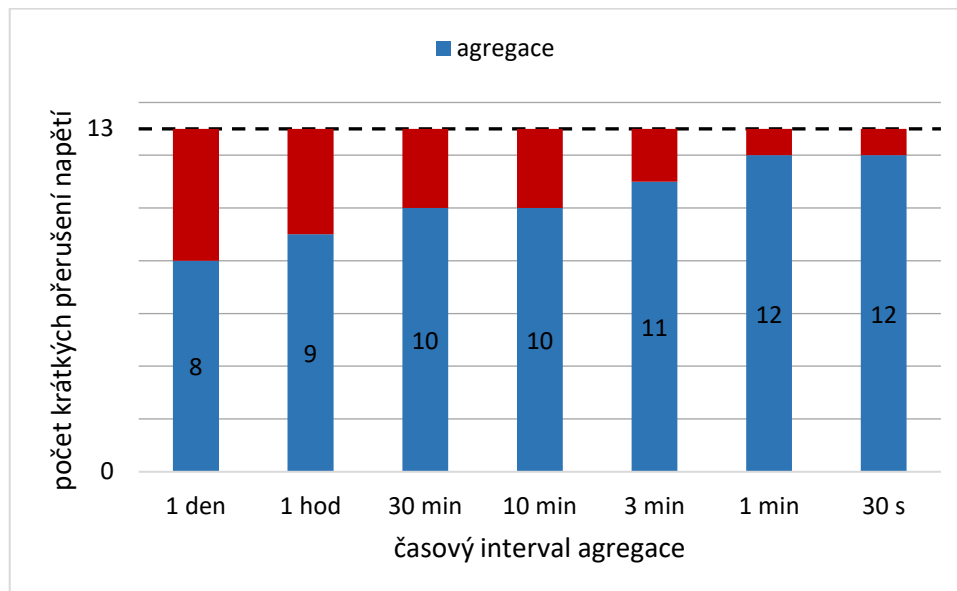


Obrázek 5.4 Poklesy napětí v DTS Březolupy za rok 2015 po použití časové agregace

Celkem ve 44 dnech došlo k poklesům napětí. Je zde vidět stejný trend jako u zvýšení napětí, a to sice velmi malé časové rozestupy mezi jednotlivými poklesy napětí, a tím i značné snížení započítaných poklesů po aplikaci časové agregace oproti všem zaznamenaným poklesům napětí.

### 5.1.3 Krátká přerušení napětí

Obrázek 5.5 ukazuje započítaná krátká přerušení napětí po použití různých agregačních intervalů vzhledem k celkovému zaznamenanému počtu. Celkem bylo zaznamenáno 13 krátkých přerušení napětí.



Obrázek 5.5 Krátká přerušení napětí v DTS Březolupy za rok 2015 po použití časové agregace

Z obrázku je patrné, že pouze dvě krátká přerušení napětí nastala s odstupem menším než 30 sekund. Krátká přerušení s odstupem do 1 hodiny od předchozího krátkého přerušení byla 4. Celkem se krátká přerušení napětí vyskytla v 8 dnech, je tedy vidět, že se v záznamu vyskytovala spíše jednotlivě, s dlouhými časovými rozestupy.

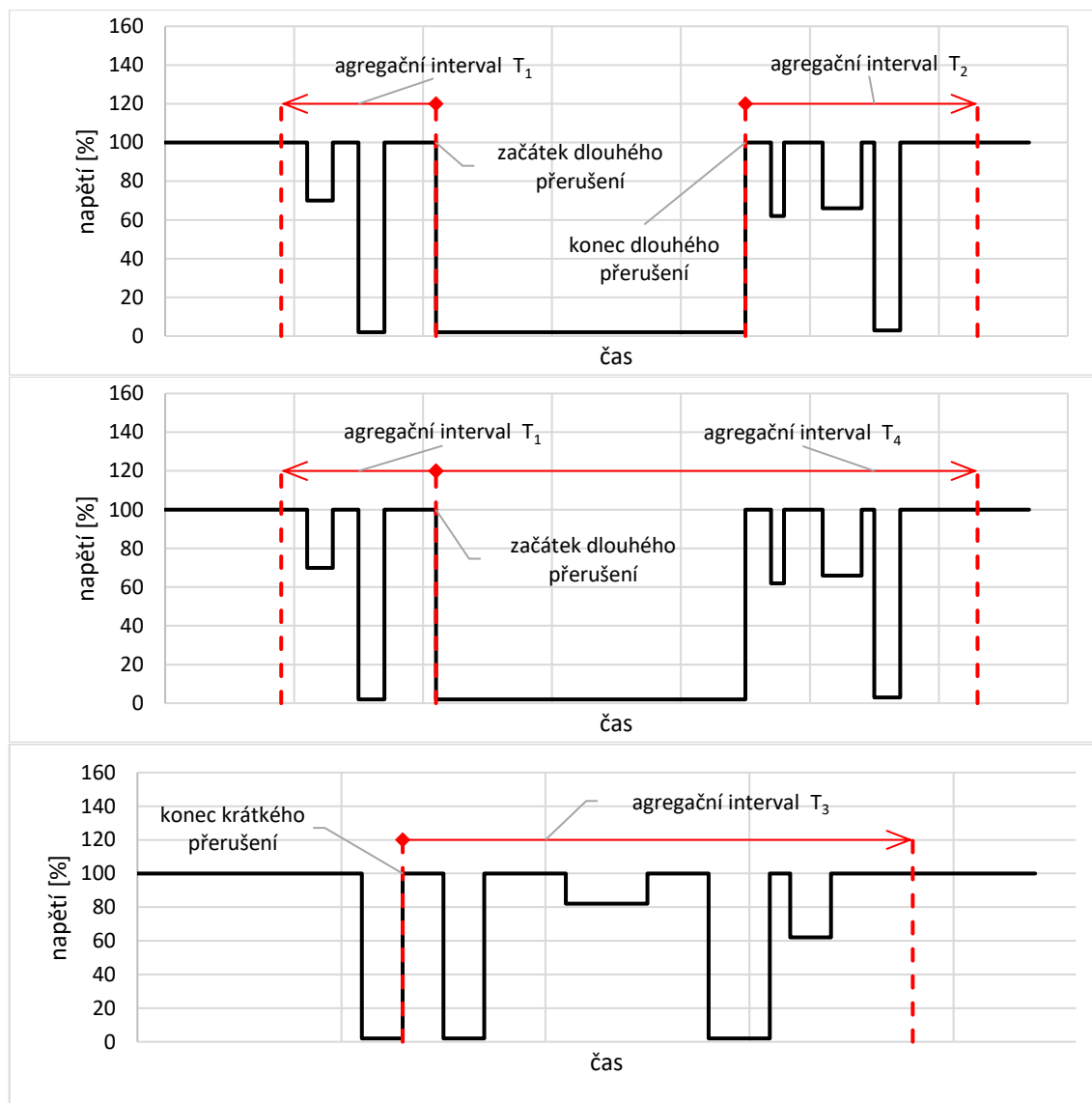
## 5.2 Použití agregačních metod

V této kapitole jsou vyhodnoceny záznamy napěťových událostí z distribuční trafostanice Chvalkovice, společnosti E. ON Distribuce, a.s. Vyhodnocované záznamy jsou z roků 2006, 2007 a 2009.

Cílem je, obdobně jako u předchozí kapitoly, porovnat počet vykazovaných událostí na napětí při použití různých agregačních metod. V tomto případě poklesů a krátkých přerušení napětí. Agregační metody jsou opět prostředek, jak vystihnou možný dopad napěťových událostí na zařízení zákazníka.

Princip vyhodnocovaných agregačních metod popisuje následující odstavec. Všechny poklesy a krátká přerušení napětí vyskytující se celá nebo z části v agregačním intervalu před dlouhým přerušením napětí nejsou započítána a stejně tak i v agregačním intervalu po dlouhém přerušení napětí. Počítá se tedy jen dlouhé přerušení napětí. Agregační interval

po dlouhém přerušení může být počítán od začátku nebo od konce dlouhého přerušení napětí. Obě tyto varianty jsou v metodách zahrnuty. Dále všechny poklesy a krátká přerušení napětí vyskytující se celé nebo z části v agregačním intervalu po konci krátkého přerušení napětí se nezapočítávají, počítá se jen jedno krátké přerušení napětí. Princip je zachycen na obrázku 5.6 a agregační intervaly pro různé metody jsou v tabulce 5.2.



Obrázek 5.6 Ilustrativní zobrazení principu použitých agregačních metod

Tabulka 5.2 Agregační intervaly pro použité metody agregace

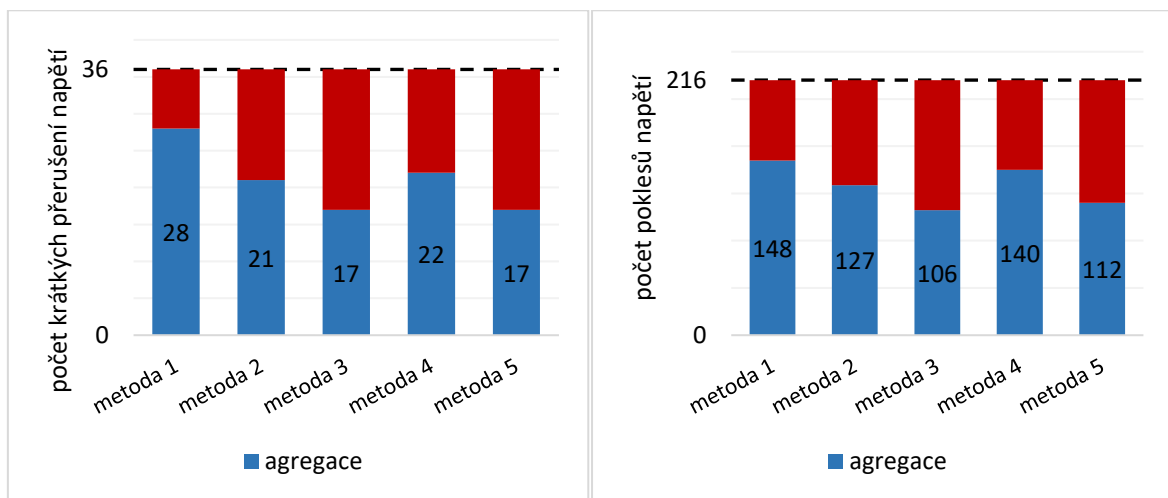
agregační interval	metoda 1	metoda 2	metoda 3	metoda 4	metoda 5
$T_1$	3 min	3 min	3 min	3 min	3 min
$T_2$	3 min	30 min	60 min		
$T_3$	3 min	30 min	60 min	30 min	60 min
$T_4$				30 min	60 min

Jak již bylo řečeno, dlouhá přerušení jsou často doprovázena poklesy nebo krátkými přerušeními napětí. Agregační interval je tedy před i po dlouhém přerušení. Agregační

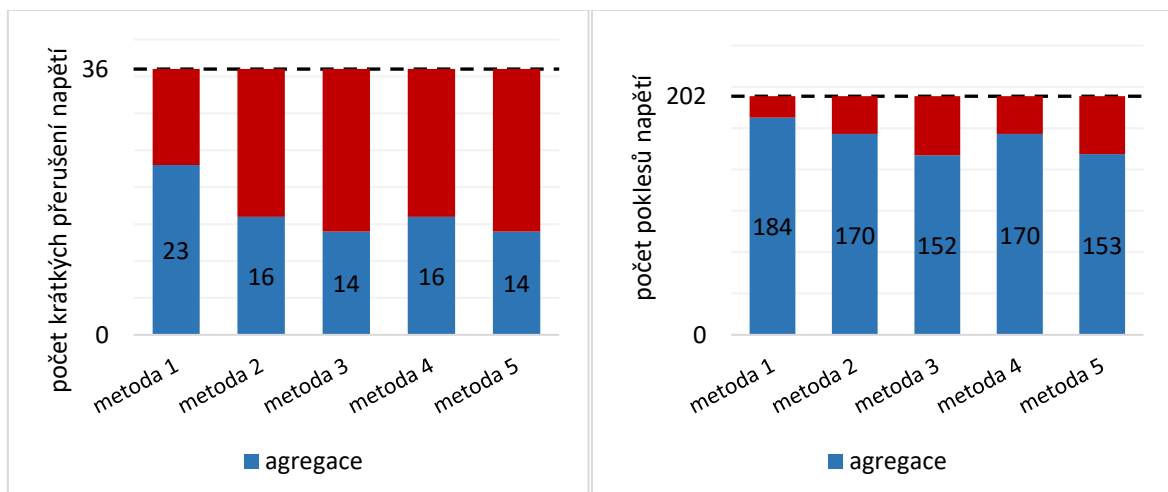
intervaly po dlouhém přerušení napětí opět zohledňují možný dopad na zákazníka, čas znovuoobnovení výroby, kdy pro nás události v agregačním intervalu nejsou důležité. Totéž platí pro agregační interval po krátkém přerušení napětí.

Na výpis dat, opět charakterizovaný začátkem a koncem události a procentuální hodnotou napětí mezi fázemi, byly postupně použity zmíněné agregační metody. Pro každou metodu byl zapsán počet vykázaných poklesů a krátkých přerušení napětí.

Na *obrázcích 5.7, 5.8 a 5.9* je vidět porovnání vykazovaných poklesů a krátkých přerušení napětí, pro zmíněné agregační metody, vzhledem k celkovému zaznamenanému počtu za jednotlivé roky. *Tabulka 5.3* pak ukazuje celkové zaznamenané počty dlouhých a krátkých přerušení a poklesů napětí.

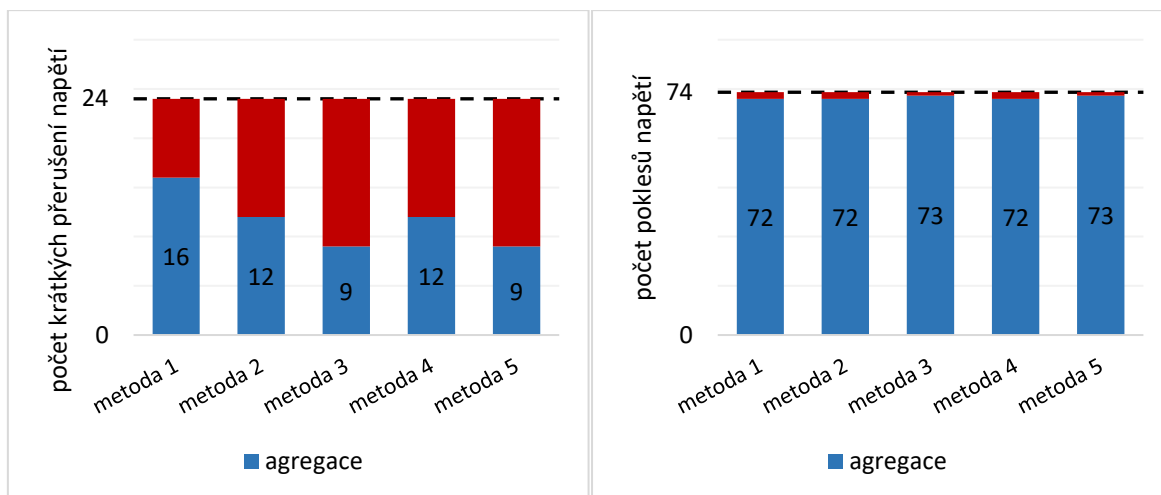


Obrázek 5.7 Porovnání vykazovaných událostí při použití agregačních metod v DTS Chvalkovice za rok 2006



Obrázek 5.8 Porovnání vykazovaných událostí při použití agregačních metod v DTS Chvalkovice za rok 2007





Obrázek 5.9 Porovnání vykazovaných událostí při použití agregačních metod v DTS Chvalkovice za rok 2009

Tabulka 5.3 Celkový zaznamenaný počet dlouhých a krátkých přerušení a poklesů napětí za jednotlivé roky

rok	dlouhá přerušení napětí	krátká přerušení napětí	poklesy napětí
2006	15	36	216
2007	3	36	202
2009	7	24	74

Z obrázků je na první pohled vidět podobnost metod 2 a 4 a dále pak metod 3 a 5, neboť vykazují podobný, někde stejný, počet poklesů a krátkých přerušení napětí. Rozdíl je pouze v začátku počítání agregačního intervalu po dlouhém přerušení napětí. Můžeme tedy říci, že tento parametr agregačních metod výsledný počet vykazovaných událostí příliš neovlivní. Agregační metody, které obsahují delší agregační intervaly, mají pochopitelně méně vykázaných krátkých přerušení a poklesů napětí.

Případ, kdy všechny metody vykazaly téměř stejný počet poklesů napětí nastal v roce 2009. Je to dáno tím, že se poklesy vyskytovaly mimo dlouhá nebo krátká přerušení napětí, a proto nemohly být z výsledku vyloučeny.

Roky 2006 a 2007 mají celkově zaznamenaný stejný počet krátkých přerušení a podobný počet poklesů napětí. Výsledky agregačních metod jsou však jiné, především u poklesů napětí. Rozdíl najdeme jak v různých časových rozestupech jednotlivých událostí, tak také v celkovém počtu zaznamenaných dlouhých přerušení napětí, která výsledný vykázaný počet událostí mohla ovlivnit. Poklesy napětí v roce 2007 se tedy opět vyskytovaly z velké části mimo dlouhá a krátká přerušení napětí.

Na obrázku 5.10 je ukázka vyhodnocení záznamu z roku 2006, s porovnáním agregačních metod u výskytu dlouhého přerušení napětí. Dlouhé přerušení (zeleně vyznačený řádek) je zde doprovázeno poklesy napětí. Šipky na pravé straně obrázku

znázorňují agregační intervaly porovnávaných metod. Poklesy v těchto intervalech se nezapočítávají. Metoda 3 a 5 jsou si zde velmi podobné, začátek započítávání agregačního intervalu po dlouhém přerušení se zde prakticky neprojevil. U metody 2 a 4 se tato odlišnost projevila více, čemuž napomáhá délka dlouhého přerušení a časový odstup poklesů napětí po dlouhém přerušení.

Začátek	Konec	Délka	L1 [%]	L2 [%]	L3 [%]
pá 14.07.2006 12:35:19,030	pá 14.07.2006 12:35:19,140	0,11 sec v	64,2	61	
pá 14.07.2006 12:35:19,770	pá 14.07.2006 12:35:19,840	0,07 sec v	56,3	58,7	
pá 14.07.2006 12:35:20,000	pá 14.07.2006 12:46:40,000	11 min 20,00 sec 0	0	0	0
pá 14.07.2006 13:02:35,960	pá 14.07.2006 13:02:36,020	0,06 sec v	68,9	68,9	
pá 14.07.2006 13:03:00,200	pá 14.07.2006 13:03:00,290	0,09 sec v		85	
pá 14.07.2006 13:03:32,630	pá 14.07.2006 13:03:32,710	0,08 sec v		81,4	
pá 14.07.2006 13:05:51,050	pá 14.07.2006 13:05:51,140	0,09 sec v	61,6	57,9	60,5
pá 14.07.2006 13:05:51,550	pá 14.07.2006 13:05:52,110	0,56 sec v	80,9	64,2	85
pá 14.07.2006 13:08:26,430	pá 14.07.2006 13:08:28,000	1,57 sec v	8,3	12,5	6,8
pá 14.07.2006 13:09:40,110	pá 14.07.2006 13:09:40,660	0,55 sec v	55,3	77,7	77,7
pá 14.07.2006 13:14:41,380	pá 14.07.2006 13:14:43,000	1,62 sec v	11,5	8,9	13
pá 14.07.2006 13:16:21,960	pá 14.07.2006 13:16:24,000	2,04 sec v	6,8	3,1	4,7
pá 14.07.2006 13:26:14,270	pá 14.07.2006 13:26:14,350	0,08 sec v	77,7	88,2	88,2
pá 14.07.2006 13:30:51,660	pá 14.07.2006 13:30:51,750	0,09 sec v	57,9	58,4	
pá 14.07.2006 13:30:51,790	pá 14.07.2006 13:30:53,000	1,21 sec v	28,2	22,4	25,6
pá 14.07.2006 13:35:19,030	pá 14.07.2006 13:35:19,140	0,11 sec v	64,2	60,5	
pá 14.07.2006 13:35:19,770	pá 14.07.2006 13:35:19,830	0,06 sec v	56,3	57,9	
pá 14.07.2006 13:35:20,150	pá 14.07.2006 13:46:40,000	11 min 19,85 sec v	8,9	8,3	3,7

- ◆ metoda 2
- ◆ metoda 4
- ◆ metoda 3
- ◆ metoda 5

Obrázek 5.10 Ukázka vyhodnocení záznamu z DTS Chvalkovice z roku 2006

Obrázek 5.11 ukazuje porovnání vyhodnocení záznamu z roku 2007, kde jsou porovnané metody u výskytu krátkého přerušení napětí (oranžově vyznačený řádek). Zde je rozdíl pouze v době trvání agregačního intervalu, opět naznačeného šipkami vpravo. Je vidět, že pro metody 2 a 4, které uvažují agregační interval 30 minut po konci krátkého přerušení napětí, se v tomto případě nezapočítaly pouze dva poklesy napětí. V případě metod 3 a 5 se v dané ukázce naopak započítalo pouze jedno krátké přerušení napětí.

Začátek	Konec	Délka	L1 [%]	L2 [%]	L3 [%]
st 23.05.2007 11:59:33,000	st 23.05.2007 11:59:35,000	2,00 sec 0	0	0	0
st 23.05.2007 12:11:15,780	st 23.05.2007 12:11:15,880	0,10 sec v	78,8		
st 23.05.2007 12:29:33,490	st 23.05.2007 12:29:33,580	0,09 sec v	81,4	81,9	81,9
st 23.05.2007 12:39:33,640	st 23.05.2007 12:39:33,740	0,10 sec v	72		87,1
st 23.05.2007 12:40:08,100	st 23.05.2007 12:40:08,210	0,11 sec v	57,4	58,4	57,9
st 23.05.2007 12:40:08,680	st 23.05.2007 12:40:09,240	0,56 sec v	66,3	64,2	65,2
st 23.05.2007 12:59:33,010	st 23.05.2007 12:59:35,000	1,99 sec 0	1,6	2,6	2,6

- ◆ metoda 2 a 4
- ◆ metoda 3 a 5

Obrázek 5.11 Ukázka vyhodnocení záznamu z DTS Chvalkovice z roku 2007

## Závěr

Smyslem této bakalářské práce bylo přiblížit problematiku vyhodnocení napěťových událostí, především s ohledem na jejich agregaci. Práce tedy nejprve teoreticky seznamuje s tématem kvality dodávky elektrické energie, a to jak z hlediska kvality napětí, tak i nepřetržitosti dodávky. S nepřetržitostí dodávky je spojena motivační regulace kvality. Zde jsou zatím zahrnuty pouze dlouhá přerušení napětí. Zahrnutí ostatních událostí na napětí do této regulace a stanovení jejich směrných hodnot je logickým krokem ve snaze navýšit kvalitu dodávek elektrické energie. Tento krok s sebou však nese jistá úskalí a komplikace. Je zapotřebí sledovat a analyzovat historická data, získat tak přehled o četnosti výskytu a spojit tyto informace do souvislostí. Dále například stanovit možnou agregaci těchto jevů, u poklesů napětí i zohlednit jejich závažnost. Cílem je vystihnout skutečný možný dopad těchto napěťových událostí na zařízení zákazníka. Důležitým aspektem, tak jako u dlouhých přerušení napětí, je také zjistit kdo je za události na napětí zodpovědný.

Z dílčí analýzy závažných poklesů napětí bylo vidět, že z celkového počtu poklesů představují závažné poklesy ve většině případů jen malou část. Tento trend byl stejný jak na sledovaných rozvodnách, tak trafostanicích. Podrobnější rozbor závažných poklesů ve sledovaných rozvodnách ukázal, že zhruba polovina byla s dobou trvání do 0,1 sekundy a zbytkovým napětím pod 5 %. Většina závažných poklesů napětí se pak vešla do 1 sekundy.

Hlavní analýza zabývající se agregací událostí na napětí byla vzata ze dvou pohledů. Použití časové agregace na napěťovou událost vždy stejného druhu a použití agregačních metod, které braly události komplexně. Intervaly jednotlivých agregací vždy respektovaly odlišnou skutečnost. V případě použití agregačních metod vyšlo najevo, že v případě agregačního intervalu po dlouhém přerušení napětí prakticky nezáleží na začátku počítání tohoto intervalu (od začátku nebo od konce přerušení), výsledky byly totiž velmi podobné, zejména pro delší intervaly agregace, kde délka dlouhého přerušení nehrála takovou roli. Důležité je také poznamenat, že v případě obohacení agregačních metod o další agregaci vícenásobných poklesů napětí, která se vyskytují samostatně, by se jejich vykazovaný počet značně snížil. Velká část poklesů se totiž nevyskytovala v blízkosti dlouhého ani krátkého přerušení napětí.

Z výše uvedených informací je jasné, že pro efektivní vyjádření skutečných možných dopadů událostí na napětí a tím i jejich započítání je zapotřebí vhodně zkombinovat a propojit tyto mechanismy, které toto vyjádření umožňují. Zároveň také nastavit parametry těchto mechanismů podle chtěných závěrů a s využitím širších souvislostí (způsob provozu sítě, hustota odběru, charakter území, ...) a možných vysledovaných zákonitostí z předešlých analýz.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ČSN EN 50 160 ed. 3. Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [2] Vyhláška 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice.
- [3] Provozovatelé distribučních soustav. Pravidla provozování distribučních soustav. Příloha 2. Metodika určování nepřetržitosti distribuce elektřiny a spolehlivosti prvků distribučních sítí. 2016.
- [4] Provozovatelé distribučních soustav. Pravidla provozování distribučních soustav. Příloha 3. Kvalita napětí v distribuční soustavě, způsoby jejího zjišťování a hodnocení. 2011.
- [5] TESAŘOVÁ, M., KAŠPÍREK, M. Vliv použitých agregačních pravidel na počet vykazovaných událostí na napětí, konference ČK CIRED. Tábor 2019.
- [6] TESAŘOVÁ, M., KAŠPÍREK, M. Posouzení výskytu poklesů napětí v distribuční soustavě s ohledem na stanovení směrných hodnot, konference ČK CIRED. Tábor 2018.
- [7] ŠEFRÁNEK, J. Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny za rok 2017, konference ČK CIRED. Tábor 2018
- [8] ŠULC, M. Vyhodnocení výskytu krátkodobých poklesů a zvýšení napětí v distribučních sítích. Plzeň, 2018. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická.
- [9] MENGR, M. Analýza opatření pro zlepšení ukazatelů kvality dodávky elektrické energie. Praha, 2017. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta elektrotechnická.
- [10] TŮMA, J., MARTÍNEK, Z., TESAŘOVÁ, M., CHEMIŠINEC, I. Security, quality and reliability of electrical energy. Praha: ZČU v Plzni, 2007. ISBN 978-80-239-9056-0.
- [11] Redakce časopisu. Nesymetrie napětí v distribuční soustavě. ElektroPrůmysl.cz. [online]. [cit. 27.12.2019]. ISSN 2571-0761. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/energetika/nesymetrie-napeti-v-distribucni-soustave>
- [12] Redakce časopisu. Rychlé změny napětí. ElektroPrůmysl.cz. [online]. [cit. 27.12.2019]. ISSN 2571-0761. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/energetika/rychle-zmeny-napeti>
- [13] Redakce časopisu. Napěťové jevy v dodávkách elektrické energie nízkého napětí. ElektroPrůmysl.cz. [online]. [cit. 4.1.2020]. ISSN 2571-0761. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/energetika/napetove-jevy-v-dodavkach-elektricke-energie-nizkeho-napeti>

- [14] Energetický regulační úřad. Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2019. [online]. [cit. 31.5.2020]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/elektrina/statistika-a-sledovani-kvality/zpravy-o-kvalite>
- [15] Energetický ústav Brno. Výpočet ukazatele MAIFI. 2018
- [16] SZATHMÁRY, P. Kvalita elektrické energie

## Seznam obrázků

Obrázek 2.1 Ilustrativní zobrazení krátkých a dlouhých přerušení .....	7
Obrázek 2.2 Krátkodobé přerušení napětí (upraveno z [16]) .....	8
Obrázek 2.3 Ilustrativní zobrazení poklesu napětí.....	9
Obrázek 2.4 Třífázový pokles napětí (upraveno z [6]) .....	10
Obrázek 2.5 Průběh napětí při spouštění asynchronního motoru (upraveno z [16]) .....	10
Obrázek 3.1 Vývoj ukazatele SAIFI [14] .....	17
Obrázek 3.2 Vývoj ukazatele SAIDI [14] .....	17
Obrázek 3.3 Schéma motivační regulace kvality [9].....	18
Obrázek 4.1 Vyznačení závažných poklesů ve sledovaných rozvodnách 110 kV .....	22
Obrázek 4.2 Vyznačení závažných poklesů ve sledovaných trafostanicích 110/22 kV .....	24
Obrázek 5.1 Ilustrativní zobrazení principu časové agregace .....	27
Obrázek 5.2 Zvýšení napětí v DTS Březolupy za rok 2015 po použití časové agregace .....	28
Obrázek 5.3 Ukázka vyhodnocení záznamu z DTS Březolupy – zvýšení napětí .....	29
Obrázek 5.4 Poklesy napětí v DTS Březolupy za rok 2015 po použití časové agregace.....	29
Obrázek 5.5 Krátká přerušení napětí v DTS Březolupy za rok 2015 po použití časové agregace.....	30
Obrázek 5.6 Ilustrativní zobrazení principu použitých agregačních metod.....	31
Obrázek 5.7 Porovnání vykazovaných událostí při použití agregačních metod v DTS Chvalkovice za rok 2006 .....	32
Obrázek 5.8 Porovnání vykazovaných událostí při použití agregačních metod v DTS Chvalkovice za rok 2007 .....	32
Obrázek 5.9 Porovnání vykazovaných událostí při použití agregačních metod v DTS Chvalkovice za rok 2009 .....	33
Obrázek 5.10 Ukázka vyhodnocení záznamu z DTS Chvalkovice z roku 2006 .....	34
Obrázek 5.11 Ukázka vyhodnocení záznamu z DTS Chvalkovice z roku 2007 .....	34

## Seznam tabulek

Tabulka 2.1 Vyhodnocení krátkodobých poklesů napětí [4] .....	11
Tabulka 2.2 Vyhodnocení krátkodobých zvýšení napětí [4] .....	12
Tabulka 4.1 Ilustrační tabulka s vyznačením závažných poklesů (zeleně).....	21
Tabulka 4.2 Souhrnné údaje za období 2012 až 2017 ze sledovaných rozvodů 110 kV .....	23
Tabulka 4.3 Poklesy ve sledovaných rozvodnách za období 2012 až 2017 .....	23
Tabulka 4.4 Souhrnné údaje za období 2010 až 2017 ze sledovaných trafostanic 110/22 kV .....	25
Tabulka 4.5 Poklesy v trafostanici Mydlovary (T101) za období 2010 až 2017 .....	25
Tabulka 5.1 Časové intervaly agregace pro vyhodnocované napěťové události .....	27
Tabulka 5.2 Agregační intervaly pro použité metody agregace .....	31
Tabulka 5.3 Celkový zaznamenaný počet dlouhých a krátkých přerušení a poklesů napětí za jednotlivé roky .....	33