

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra výkonové elektroniky a strojů

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Vyhodnocení výskytu událostí na napětí v distribuční
soustavě**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jakub DLOUHÝ**
Osobní číslo: **E18B0051P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Téma práce: **Vyhodnocení výskytu událostí na napětí v distribuční soustavě**
Zadávací katedra: **Katedra výkonové elektroniky a strojů**

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, více se zaměřte na tzv. události na napětí.
3. Proveďte vyhodnocení dlouhodobého sledování událostí napětí na zadané napěťové hladině pro jednotlivé roky a místa měření.
4. Vyhodnoňte výskyt tzv. závažných poklesů napětí během celého monitorovacího období v jednotlivých místech a zásobovacích oblastech.

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., Martinec, 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

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2021**



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



Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na vyhodnocení napěťových událostí v distribuční soustavě. V první části jsou rozebrány pojmy jako kvalita napětí, kvalita dodávek elektrické energie a nepřetržitost dodávky elektrické energie. Podrobněji jsou zde rozebrány tzv. události na napětí. V druhé části je provedeno vyhodnocení dlouhodobého sledování událostí na napětí v sítích VN a NN, a to z hlediska nastínění trendů, použití časové agregace a porovnání vyhodnocení závažných poklesů se zahraničím. Po novelizaci legislativy by právě závažné poklesy mohly být spolu s krátkodobými přerušeními nově kontrolovány Energetickým regulačním úřadem.

Klíčová slova

Distribuční soustava, kvalita dodávek elektrické energie, události na napětí, časová agregace, závažné poklesy napětí

Abstract

This bachelor thesis focuses on evaluation of voltage events in distribution system. Firstly, the terms voltage quality, quality of supply and continuity of supply are described. Voltage events are detailed specified. In the second part these events are evaluated from the point of view trend of their occurrence, time aggregation and reporting major dips according to various responsibility curves used in abroad. After amendment of legislation the major dips and the short-term interruptions could be under regulation by Energy Regulatory Office as long-term interruptions.

Key words

Distribution system, power quality of supply, voltage events, time aggregation, major voltage dips

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 23.5.2021

Jakub Dlouhý

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za uvedení do problematiky, vstřícný přístup, cenné připomínky a celkové vedení práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu po celou dobu studia.

Obsah

Seznam zkratk	3
Úvod	3
1 Kvalita elektrické energie	4
2 Kvalita dodávek elektrické energie	5
2.1 Přerušeni napětí	5
2.1.1 Krátkodobá přerušeni	5
2.1.2 Dlouhodobá přerušeni	5
2.1.3 Příčiny	6
2.1.4 Negativní vlivy	6
2.2 Ukazatele nepřetržitosti dodávek el. energie	7
3 Kvalita napětí	10
3.1 Charakteristiky napětí typu průběžné jevy (Disturbances)	11
3.1.1 Změny frekvence.....	11
3.1.2 Odchyly napájecího napětí	12
3.1.3 Rychlé změny napětí a kolísání napětí.....	12
3.1.4 Nesymetrie napájecího napětí.....	12
3.1.5 Harmonická napětí	12
3.1.6 Meziharmonická napětí.....	13
3.1.7 Signály posílané po síti	13
3.2 Charakteristiky napětí typu události na napětí (Events)	13
3.2.1 Poklesy napětí.....	14
3.2.2 Dočasná zvýšení napětí	17
4 Vyhodnocování událostí na napětí	18
4.1 Poklesy.....	18
4.2 Zvýšení napětí.....	20
5 Praktická část	21
5.1 Vstupní data a jejich zpracování.....	21
5.1.1 Postup zpracování dat	22
5.2 Rozvodny VN	23
5.2.1 Poklesy.....	23
5.2.2 Zvýšení napětí.....	31
5.3 Transformační stanice 22/0,4kV.....	32
5.3.1 Přerušeni.....	32
5.3.2 Poklesy.....	34
5.3.3 Zvýšení napětí.....	37

5.4	Časová agregace	39
5.4.1	Rozvodny VN.....	39
5.4.2	Transformační stanice 22/0,4kV.....	43
Závěr	44
Seznam literatury a informačních zdrojů	46
Seznam obrázků	48
Seznam tabulek	49

Seznam zkratk

ČSN	Česká technická norma
DOÚ	Dálkově ovládaný úsečník
DVR	Dynamický regulátor napětí
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EN	Evropská norma
ERÚ	Energetický regulační úřad
HDO	Hromadné dálkové ovládání
NN	Nízké napětí
OZ	Opětovné zapnutí
PPDS	Pravidla provozování distribučních soustav
PQ	Kvalita elektrické energie
RMS	Efektivní hodnota
THD	Činitel celkového harmonického zkreslení
U_c	Dohodnuté napájecí napětí
U_n	Jmenovité napětí
UPS	Zdroj nepřerušovaného napětí
VN	Vysoké napětí

Úvod

Tato bakalářská práce je zaměřena na výskyt událostí na napětí, které jsou nedílnou součástí provozování elektrizační soustavy. Je nutné je sledovat z důvodu jejich negativního vlivu na chod soustavy včetně koncového odběratele, a to co se týče zdraví osob tak i poškození spotřebičů připojených do soustavy. Tyto události jsou součástí tzv. kvality elektrické energie a kvality dodávek elektrické energie, kterou je snaha stále vylepšovat k větší spokojenosti zákazníka. Z tohoto důvodu nastavuje ERÚ ukazatele hodnotící přerušení dodávek energie a kontroluje jejich dodržování. Proto je nutné události na napětí sledovat a následně vyhodnocovat. Pro další navýšení kvality elektrické energie je logickým krokem omezení těchto událostí, co se týče jejich působení na zákazníka, neboť jejich vzniku často zamezit nelze. Vzhledem k malému počtu těchto událostí je nutné brát jako monitorovací období alespoň jeden rok, pro stanovení trendu pak několik let za sebou. Události na napětí jsou v této práci sledovány v distribuční soustavě. Tu u nás provozují tři hlavní společnosti: ČEZ distribuce a.s., PREdistribuce a.s. a E.ON distribuce a.s. Data, která jsou dále používána jsou od společnosti E.ON distribuce a.s., která je provozovatelem distribuční soustavy v jižních Čechách a na jižní Moravě. Společnost E.ON distribuce a.s. se od 1. ledna 2021 přejmenovala na EG.D.

Pro vypracování bakalářské práce jsem si stanovil tyto dílčí cíle – v první části popsat problematiku událostí na napětí a metody jejich vyhodnocování, ve druhé části pak provést vyhodnocení dlouhodobého sledování událostí na napětí v transformačních stanicích 22/0,4kV a na rozvodnách VN, jejichž data jsem dostal roztríděná do třídících tabulek podle přílohy č. 3 PPDS. Některá data byla i ve formě detailního výpisu z PQ analyzátoru sítě. Dále vyhodnotit četnost výskytu poklesů a zvýšení napětí v rozvodnách VN a vyhodnotit tzv. závažné poklesy pomocí indikativní křivky odpovědnosti. Tyto výsledky pak porovnat s výsledky použití jiných křivek odpovědnosti používaných v zahraničí. Nakonec vyhodnotit dlouhodobá a krátkodobá přerušení, poklesy a zvýšení napětí ve stanicích 22/0,4kV. Dílčí výsledky jsou průběžně komentovány a shrnuty v závěru práce.

1 Kvalita elektrické energie

Kvalita elektrické energie (power quality) je soubor parametrů určujících vlastnosti elektrické energie dodávané odběratelům za normálních podmínek, a to z hlediska spolehlivosti dodávky a kvality napětí.

Různé parametry elektrické energie se projevují na chodu elektrizační soustavy a na správné funkci zařízení u odběratelů.

K ovlivnění kvality elektrické energie dochází mimo jiné proto, že síť není absolutně tvrdá. Míru kvality napětí ovlivňuje vlastní síť svojí impedancí. Ta je spolu s proudem za normálních podmínek ovlivněna změnou zátěže u odběratele, dynamikou dodávek elektrické energie nebo provozem samotné sítě. Při poruchových stavech je pak kvalita elektrické energie ovlivněna např. poklesy nebo přerušováními napětí. Provozovatel distribuční soustavy se snaží kvalitu elektrické energie co nejvíce zvyšovat např. modernizací sítě nebo omezením zpětného vlivu odběratele na síť. Pokud by byl tento zpětný vliv příliš vysoký, distributor nemůže žadatele o připojení k síti připojit, protože nesplní připojovací podmínky stanovené Pravidly pro provozování distribučních soustav, které vydává ERÚ. V [12] je řešena podle normy ČSN EN 61000-3-2/3 elektromagnetická kompatibilita (EMC) a mezní hodnoty výkonů elektrických zařízení. Hlavní mezní hodnotou je odebíraný proud zařízením. Pokud je menší než 16A, zařízení splňuje EMC a výkon více zařízení je nižší než mezní výkon pro jednotlivé typy zařízení, je možné zařízení připojit k distribuční soustavě bez dotazu na provozovatele distribuční soustavy. Při nedodržení alespoň jednoho kritéria, nesmí odběratel zařízení připojit bez souhlasu provozovatele distribuční soustavy.

2 Kvalita dodávek elektrické energie

V současnosti je elektrická energie brána jako obchodní produkt, který je nabízen zákazníkovi a je posuzován podle své kvality a doprovodných služeb. Kvalitu dodávek elektrické energie (quality of supply) tedy můžeme hodnotit podle následujících kritérií:

- nepřetržitost dodávky,
- kvalita napětí,
- kvalita technických a komerčních služeb.

Nepřetržitost dodávky je kritérium zaměřující se na přerušení napájení. Četnost a délka těchto přerušení je dána typem sítě, kterou distributor provozuje.

2.1 Přerušení napětí

Přerušení napětí je stav, kdy je napětí v předávacím místě nižší než 5% U_n ve všech třech fázích. Je možné je rozdělit podle doby trvání na krátkodobá přerušení a dlouhodobá přerušení.

2.1.1 Krátkodobá přerušení

Krátkodobá přerušení napětí trvají méně než 3 minuty a řadí se do kritéria kvality vlny napětí. Dříve se jejich výskyt tolik nesledoval, ale s novelizací vyhlášky č. 540/2005 Sb. bude nutné tato přerušení hlásit ERÚ, který pro ně vydá ukazatele a stejně jako v případě dlouhodobých přerušení bude nedodržování těchto ukazatelů penalizovat, nebo, v případě nadstandartního splňování limitů, bonifikovat. Roční výskyt krátkodobých přerušení napájecího napětí je za normálních provozních podmínek v rozsahu desítek až stovek. Přibližně 70% krátkodobých přerušení napájecího napětí bývá obvykle kratší než 1 sekunda. [5]

2.1.2 Dlouhodobá přerušení

Dlouhodobá přerušení trvají déle než 3 minuty a řadí se k nepřetržitosti dodávky. Jejich příčinou může být vážnější porucha na vedení nebo třeba porucha transformátoru v paprskové síti. V případě dlouhodobých přerušení musí distributor zaznamenat údaje o poruchách – záznam o vzniku, trvání, příčině (nemusí být vždy jasná). ERÚ vydává ohledně těchto přerušení limitní hodnoty. Pokud je distributor překročí, je od ERÚ penalizován, ale pokud je výrazně

pod limitem, může dostat i bonus. K zaznamenání hodnot těchto přerušení a jejich vyhodnocení nám slouží ukazatele nepřetržitosti dodávek el. energie. Za normálních provozních podmínek může být roční výskyt dlouhodobých přerušení napětí menší než 10, avšak v závislosti na konkrétní oblasti může dosahovat až 50. [5]

2.1.3 Příčiny

Přerušení mohou být plánovaná kvůli opravám, revizím nebo připojení dalších zákazníků do distribuční soustavy. Již připojení odběratelé jsou o přerušení předem informováni. V případě neplánovaných přerušení mluvíme o přerušení poruchovém, které je důsledkem trvalých nebo přechodných poruch. V distribuční soustavě se ním můžeme setkat například na venkovních vedeních VN při překlenutí vodičů spadlou větví ze stromu. Vznikne tak zkrat a automatika vedení vypne. Zareaguje systém OZ a pokusí se vedení znovu zapnout. Protože větev už mezi vodiči propadla nebo například vlivem el. oblouku shořela, je OZ úspěšné a dojde k obnovení dodávky el. energie. V takovém případě se jedná o krátkodobé přerušení. Pokud by však nastal jiný typ poruchy, na který by systém OZ nedokázal zareagovat, bude se pravděpodobně jednat o dlouhodobé přerušení. Mezi další příčiny poruchových přerušení patří např. poškození vodičů, úder blesku nebo chybné vypnutí vedení ochranou.

2.1.4 Negativní vlivy

Přerušení napětí má největší vliv na zákazníka, který je připojen na konci paprskového rozvodu. Dojde u něj kvůli tomu k totálnímu přerušení dodávek energie a musí vyčkat, dokud distributor vedení neopraví. S takovými případy se lze typicky setkat na venkově u sítí NN. Sítě VN jsou sice provozovány paprskově, ale vystavěny jsou jako okružní systém. Díky tomu je zde při poruše nižší pravděpodobnost úplného přerušení napětí, protože po poruše je možné postižený úsek pomocí DOÚ odpojit a zbytek sítě napájet z jiného zdroje. Přerušení napětí má velký vliv na průmysl, ale například i zdravotnictví nebo bankovníctví. Proto jsou podle ČSN 34 16 10 zavedeny tři stupně tzv. zabezpečení dodávek el. energie.

První stupeň je zaveden tam, kde by při ztrátě dodávek el. energie mohlo dojít k újmě na zdraví člověka. Takovými místy jsou například nemocnice nebo důlní provozy. Proto musí mít objekty v prvním stupni alespoň dva zdroje el. energie, z nichž jeden musí být zcela nezávislý na ostatních.

Druhý stupeň se zavádí tam, kde by mohlo dojít k velkým finančním ztrátám. Většinou se jedná o banky a velké průmyslové závody. Tyto objekty musí mít dva zdroje el. energie, ale již zde není požadavek na jejich nezávislost. Může tedy jít např. o napájení ze dvou stran z jedné rozvodny.

Třetí stupeň platí pro ta místa, kde dojde pouze k malým finančním ztrátám. Do tohoto stupně se typicky řadí domácnosti. Zde stačí napájení pouze z jednoho zdroje. Ve větších městech se však téměř všude setkáme se zálohováním v podobě oboustranného napájení.

2.2 Ukazatele nepřetržitosti dodávek el. energie

Ukazatele nepřetržitosti dodávek el. energie nám udávají, počty a čas výpadků el. energie průměrně u jednoho zákazníka. Rozdělují se podle toho, zda se týkají dlouhodobých nebo krátkodobých přerušení.

SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) – udává četnost přerušení dodávky za rok u jednoho zákazníka (průměrně)

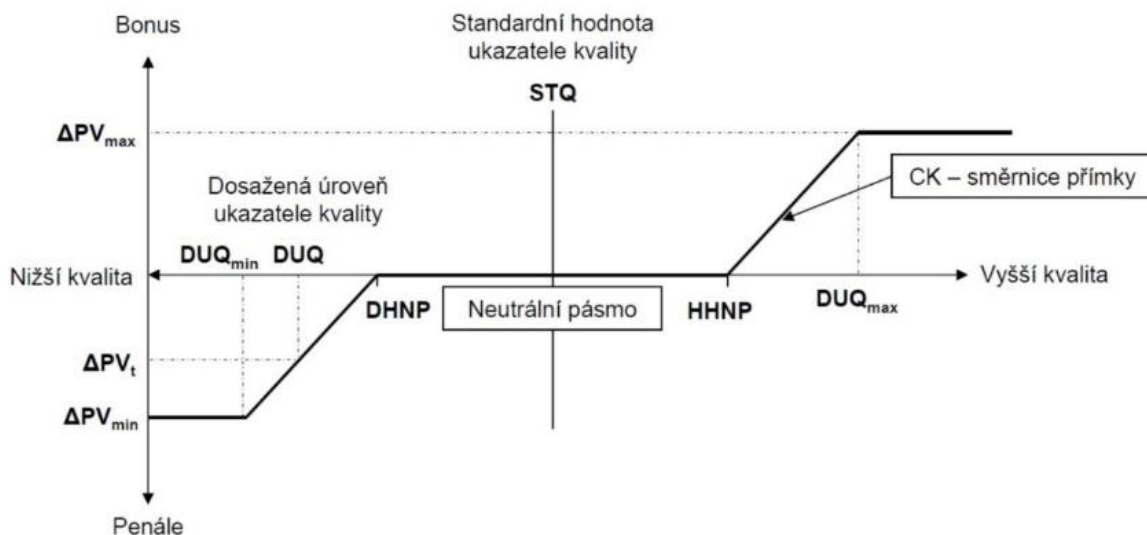
SAIDI (System Average Interruption Duration Index) – udává, kolik minut trvalo přerušení za rok u jednoho zákazníka (průměrně)

CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) – udává průměrnou dobu trvání jednoho přerušení u jednoho zákazníka ($CAIDI=SAIDI/SAIFI$)

Tyto ukazatele zahrnují každé přerušení distribuce elektřiny zákazníkovi s dobou trvání delší než 3 minuty, bez ohledu na to, zda příčina vzniku byla v zařízení provozovatele distribuční nebo přenosové soustavy nebo v zařízení jiného provozovatele. Za přerušení se však nepovažuje přerušení dodávky u zákazníka, jehož příčinou je vlastní odběrné zařízení zákazníka nebo jeho vlastní elektrická přípojka a není při tom omezen žádný z dalších zákazníků. [2]

MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index) – udává průměrný počet krátkodobých přerušení. V ČR se zatím nepoužívá, ale je v návrhu novelizace vyhlášky č. 540/2005 Sb.

Ukazatele se mohou vztahovat na jednotlivé napěťové hladiny – hladinové ukazatele, nebo mohou být brány pro všechny napěťové úrovně dohromady – systémové ukazatele. Právě tyto systémové ukazatele vyhodnocuje ERÚ. Ten také každý rok stanovuje hodnotu ukazatelů SAIDI a SAIFI a udává následující pásma:



Obr. 2.1 Schéma motivační regulace kvality,

kde

ΔPV_t – finanční vyjádření za dosaženou kvalitu služeb

t – pořadové číslo roku regulace

ΔPV_{max} – maximální hodnota bonusu za dosaženou kvalitu služeb

ΔPV_{min} – maximální hodnota penále za dosaženou kvalitu služeb

CK – jednotková cena kvality

$DHNP$ – dolní hranice neutrálního pásma

$HHNP$ – horní hranice neutrálního pásma

STQ – hodnota požadované úrovně ukazatele kvality

DUQ – hodnota dosažené úrovně ukazatele kvality pro hodnocení kvality služeb za příslušný rok regulačního období

DUQ_{max} – hodnota ukazatele kvality, od níž je uplatňován maximální bonus za dosaženou kvalitu služeb

DUQ_{min} – hodnota ukazatele kvality, od níž je uplatňováno maximální penále za dosaženou kvalitu služeb. [3]

Pokud se distributor pohybuje v neutrálním pásmu, neplatí sankce ani nedostává bonus. Každý rok je požadavek od ERÚ přísnější, protože je dána cílová hodnota ukazatele kvality, ke které

by se měli distributoři postupně dostat. Zároveň jsou však hodnoty ukazatele kvality udávány pro každého distributora jinak, a to z důvodu rozdílnosti sítě, kterou spravují. Například PRE distribuce spravuje většinou jen kabelovou síť, kde se neprojevují atmosférické výboje. Pokud by platily pro všechny distributory stejné podmínky, byla by z těchto důvodů právě PRE distribuce hodnocena nejlépe. Do ukazatelů kvality napětí se započítávají jen taková přerušení, proti kterým má distributor možnost zasáhnout, tzn. plánovaná přerušení a neplánovaná přerušení, která mají původ v zařízeních provozovatele soustavy. Bude tedy snaha o omezení hlavně plánovaných přerušení, protože ty může distributor nejlépe ovlivnit a nejsnadněji na ně reagovat. U společnosti E.ON distribuce se v roce 2019 jednalo cca o jednu čtvrtinu všech přerušení, co se týče četnosti (SAIFI), a o více než jednu polovinu času těchto přerušení (SAIDI) [8]. Další možnosti vylepšení ukazatelů SAIDI a SAIFI je výměna izolátorů na vedeních VN, vyšší podíl kabelizace nebo využití distribuční automatizace – instalace recloserů, DOÚ, indikátorů poruch a smart rozvaděčů VN.

Kvalita napětí je popsána v samostatné kapitole níže. Napětí lze chápat jako parametr produktu (elektrické energie), a proto má také svoji kvalitu.

Kvalita technických a komerčních služeb je brána z pohledu distributora směrem k odběratelům. Může se do ní promítnout mnoho aspektů, které udělají zákazníka spokojenějším, jako například rychlost vyřízení připojení k síti, doba vyřízení výpadku elektrické energie, vyřešení reklamace nebo například hustota sítě kamenných poboček.

3 Kvalita napětí

Kvalita napětí (voltage quality) je dána normou ČSN EN 50 160, která určuje jednotlivé parametry napětí. Jedná se o parametry týkající se:

- Kmitočtu napětí
- Velikosti napětí
- Tvaru vlny napětí
- Symetrie napětí

Typická narušení kvality napětí jsou:

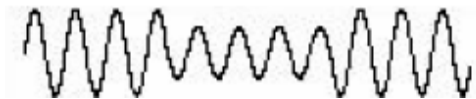
- Změny frekvence – v distribuční soustavě neovlivníme



- Přerušování napětí



- Poklesy napětí



- Zvýšení napětí



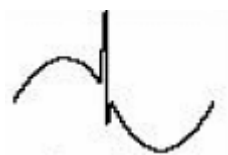
- Kolísání napětí (flicker)



- Harmonické zkreslení



- Impulzní rušení



- Elektrický šum



[7]

Tato narušení jsou specifikována pomocí charakteristik napětí. Ty se dělí podle normy [1] na charakteristiky typu *Disturbances* a *Events*.

3.1 Charakteristiky napětí typu průběžné jevy (*Disturbances*)

Jedná se o charakteristiky, jejichž hodnoty mohou být jednoznačně určeny a můžeme je predikovat. Určují nám určité rušení v síti. Norma ČSN EN 50 160 udává jejich přesné hodnoty obvykle jako 95% percentil, tzn. 95% měřených hodnot musí být pod udanou hranicí. Vyhodnocovacím obdobím musí být alespoň jeden týden. Mezi tyto charakteristiky patří:

- Změny frekvence
- Odchytky napájecího napětí
- Rychlé změny napětí a kolísání napětí
- Nesymetrie napájecího napětí
- Harmonická napětí
- Meziharmonická napětí
- Signály posílané po síti

3.1.1 Změny frekvence

Kmitočet napětí je řízen v přenosové soustavě, kterou u nás provozuje firma ČEPS, a.s.

Povolené odchytky frekvence v soustavě jsou (dle [1]):

- pro systémy se synchronním připojením k propojenému systému:
 - $50\text{Hz} \pm 1\%$ (tj. 49,5 Hz...50,5 Hz) během 99,5% roku;
 - $50\text{Hz} + 4\%/-6\%$ (tj. 47 Hz...52 Hz) po 100% času;
- pro systémy bez synchronního připojení k propojenému systému (tzv. ostrovní napájecí systémy)
 - $50\text{Hz} \pm 2\%$ (tj. 49 Hz ...51Hz) během 99,5% roku

- 50Hz + 4%/-6% (tj. 42,5 Hz...57,5 Hz) po 100% času

3.1.2 Odchytky napájecího napětí

Odchytky napětí je změna napájecího napětí od normou stanovené hodnoty U_c . Podle normy [5] se v distribuční soustavě za normálních provozních podmínek musí 95% průměrných efektivních hodnot během každého týdne v měřicích intervalech 10 minut pohybovat v rozsahu $\pm 10\% U_c$. Toto rozmezí je stanoveno pro síť NN. Měří se na základě tzv. deseti minutové RMS hodnoty, tj. průměrné efektivní hodnoty napětí v intervalu deset minut.

3.1.3 Rychlé změny napětí a kolísání napětí

Rychlé změny napětí jsou dány především spínáním spotřebičů odběrateli elektrické energii, kteří jsou do soustavy připojeni. Za normálních provozních podmínek nepřekračují obvykle rychlé změny napětí $4\% U_c$. Za jistých okolností se však několikrát denně mohou vyskytnout rychlé změny napětí až do $6\% U_c$. [5] S rychlými změnami napětí souvisí také tzv. flickr. Jde o stav rychlé změny výkonu způsobující rychlé změny napětí, který se viditelně projeví poblikávající žárovkou (z angl. *Flicker* = blikat, mihotat). Norma [1] v této problematice zavádí *Míru vjemu dlouhodobého flickru*, jejíž hodnota nesmí být po 95% času větší než 1. Hodnota je to však velmi subjektivní, protože každá osoba vnímá flickr jinak a jinak ho snáší. Záleží rovněž i na době trvání flickru.

3.1.4 Nesymetrie napájecího napětí

Nesymetrie v třífázové soustavě je způsobena nerovnoměrným zatížením fází. Může se jednat o nesymetrii amplitudovou, fázovou nebo jejich kombinaci. V distribučních soustavách nízkého napětí jsou jednofázové spotřebiče téměř vždy připojovány mezi fází a střední vodič, avšak ne vždy rovnoměrně do všech tří fází. [6] V libovolném týdenním období a za normálních provozních podmínek musí být podle normy [1] 95% desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 až 2% sousledné složky. Zpětná složka je rozhodující pro možné rušení spotřebičů připojených do sítě.

3.1.5 Harmonická napětí

Jde o napětí s n -násobnou frekvencí oproti jmenovité frekvenci 50Hz. Většinou platí, že čím nižší harmonická, tím vyšší je její amplituda. V síti mohou být zařízení, která jsou zdrojem

vyšších harmonických. Ty pak vytvářejí harmonické úbytky na impedanci sítě a tím zkreslují sinusový průběh napětí. Na vyšší harmonické jsou také citlivé některé měřicí přístroje, které potřebují přesnou hodnotu napětí. V libovolném týdenním období a za normálních provozních podmínek musí být podle normy [1] 95% desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě uvedené v normě. U jednotlivých harmonických může rezonance způsobovat napětí vyšší.

Krom toho musí být celkový činitel harmonického zkreslení THD napájecího napětí (zahrnující všechny harmonické až do řádu 40) menší nebo roven 8%. Omezení do harmonické řádu 40 je dohodnuté. Činitel THD se spočítá podle vzorce:

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} (u_n)^2}, \quad (3.1.)$$

kde u_n je napětí n -té harmonické.

3.1.6 Meziharmonická napětí

Meziharmonická napětí vznikají např. vlivem polovodičových měničů. Vzhledem k jejich vzestupu až v poslední době se data o těchto napětích stále ještě sbírají a žádné ani indikativní hodnoty nejsou dány. V určitých případech mohou meziharmonické i nízkých úrovní způsobovat flickr nebo rušení v systémech HDO. [1]

3.1.7 Signály posílané po síti

Distribuční síť je možné použít také pro přenos signálů. Tyto signály mívají zpravidla násobně vyšší kmitočet, než je jmenovitý kmitočet soustavy. Mezi typické signály patří signál HDO, který je podle normy [1] v rozsahu od 110Hz do 3000Hz.

3.2 Charakteristiky napětí typu události na napětí (Events)

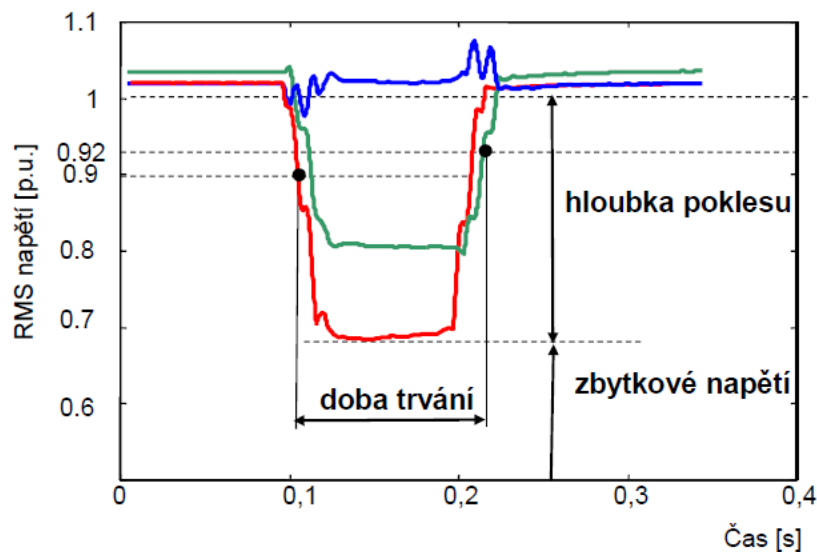
Události na napětí jsou náhlé a závažné odchylky od požadovaného tvaru vlny. Jsou obvykle způsobeny neočekávatelnými událostmi, např. poruchami nebo také vnějšími vlivy, např. počasím nebo cizím zaviněním. [1] Norma 50 160 pro ně neudává žádné limitní hodnoty,

udává pouze indikativní hodnoty např. o době trvání přerušení. Indikativní hodnoty o četnosti přerušení udává norma PNE 33 3430-7. Mezi události na napětí se řadí:

- Poklesy napětí
- Krátkodobá přerušení
- Dočasná zvýšení napětí

3.2.1 Poklesy napětí

Poklesy napětí jsou velmi nepředvídatelné události, které jsou proměnlivé podle místa i času. Rozložení poklesů během roku může být navíc velmi nepravidelné. [1] Při narušení kvality napětí mluvíme o krátkodobých poklesech napětí. Zaznamenáme je, když napájecí napětí klesne pod hodnotu 90% U_n . U třífázového systému začíná pokles tehdy, kdy alespoň jedna fáze klesne pod prahovou úroveň 90% U_n a končí, když jsou napětí ve všech třech fázích vyšší než 90% U_n . Situaci názorně zobrazuje následující graf:



Obr. 3.1 Třífázový pokles napětí [4]

Různými barvami jsou zde označena různá napětí. Nelze však říci, zda jsou fázová nebo sdružená, a proto nelze podle tohoto grafu přesně stanovit typ poruchy. Je však patrné, že se jedná o nesymetrickou poruchu, protože jedno z napětí zůstalo na své původní hodnotě a pokles je zaznamenán u ostatních dvou. Porucha je označena parametry *doba trvání* a *zbytkové napětí*.

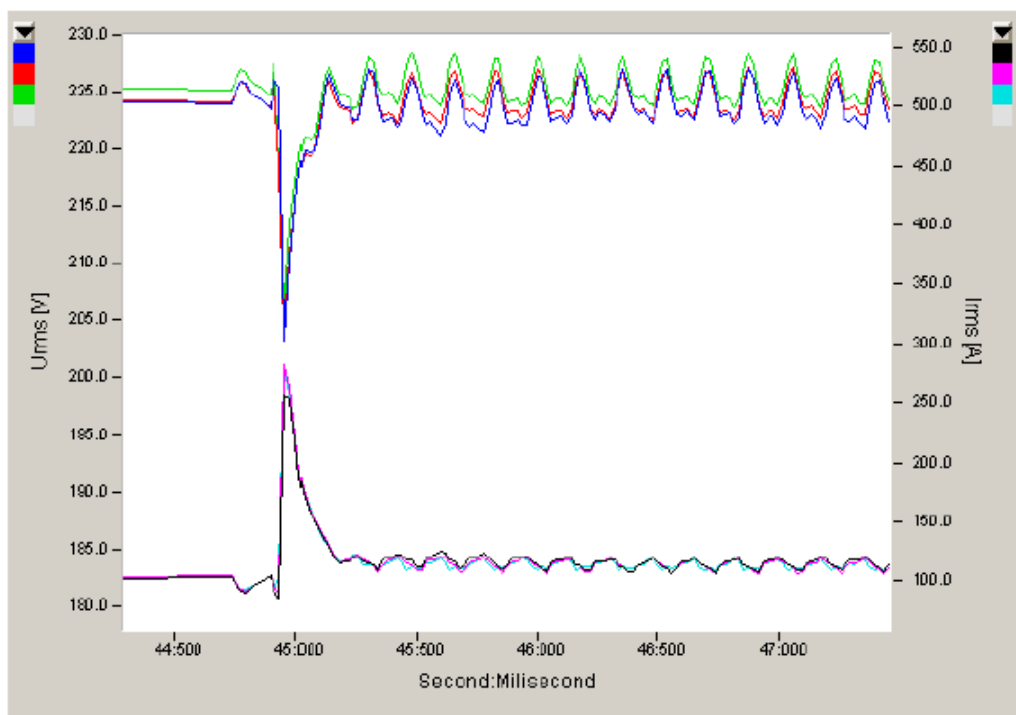
Parametry popisující pokles napětí

Zbytkové napětí zajímá uživatele, aby věděl, na jakou hodnotu mu napětí pokleslo a s čím tedy může pracovat. Vždy se bere hodnota napětí, které pokleslo nejvíce a je udávána jako poměrná nebo procentní hodnota U_n .

Doba trvání souvisí s typem události, kterou daný pokles způsobil. Její doba je od 10ms do několika minut, obvykle však do 1s podle reakční doby ochran. Z výše uvedeného grafu je vidět, že končí až při přechodu poslední fáze přes hodnotu 92% U_n a ne 90% U_n , jak je uvedeno v teorii. Je to kvůli možným přechodným dějům při obnovování napětí, které by způsobily vlastně chybu měření, protože bychom naměřili několik poklesů za sebou, i když ve skutečnosti se bude jednat pouze o jednu událost.

Příčiny poklesů napětí

Většina poklesů napětí je způsobena zkratovými poruchami. Podle toho vypadá i průběh a trvání poklesu. Dochází ke skokové změně napětí na začátku i na konci poklesu a událost trvá většinou do 1 sekundy. Zbytkové napětí pak záleží na vzdálenosti od místa zkratu. Zkrat však způsobí potíže i v odbočkách větve, kde se porucha stala. Dojde v nich totiž také k poklesu napětí a až po odpojení poruchy pomocí OZ se vrátí zpět na původní hodnotu. Z tohoto důvodu zaznamenáváme více poklesů než přerušení. Při neúspěšném OZ se na odbočkách objeví dva za sebou jdoucí poklesy napětí. Pokles napětí může být také vyvolán změnou zatížení v síti. Nejvíce takové změny pocítíme v sítích s malým zkratovým výkonem. Typickým příkladem je rozběh asynchronního motoru přímým připojením k síti, viz obr. 3.2. Při takovém připojení začne motor ze sítě odebírat 6-8 násobek jmenovitého proudu a dojde tím k prudkému poklesu napětí. Jak se motor pozvolna rozbíhá, dochází k obnovování původní hodnoty napětí. To může trvat i několik sekund.



Obr. 3.2 Záznam změny napětí po připojení asynchronního motoru k síti odběratelem (nahore průběh napětí v síti, dole průběh proudu motoru) [4]

Změna úhlu napětí

Kromě poklesů napětí dochází i ke skokové změně úhlu napětí. Ta způsobuje problémy v průmyslových provozech a ve výkonové elektronice z důvodu změny řídicího úhlu při spínání polovodičů. To může mít za následek změnu hodnoty napětí na výstupu polovodičových měničů nebo při velké změně dokonce jejich odstavení z provozu. Nestihne se totiž obnovit blokovácí schopnost spínacích prvků a může dojít k inverterovému zkratu.

Negativní vliv poklesů napětí

Tyto poruchy se velmi těžko predikují a pro jejich vypovídající sledování je nutné provádět dlouhodobá měření třeba i několik let. Jak již bylo uvedeno, poklesy napětí mají velmi negativní vliv na průmyslové provozy tzn. výrobní linky, počítačem řízené pohony aj. Mohou být ale také nebezpečné pro elektronické přístroje. Máme však řadu možností, jak se před poklesy bránit a krátkodobou poruchu překlenout. Patří mezi ně UPS, rychlé přepnutí na záložní zdroj, linkové kondicionéry nebo DVR.

3.2.2 Dočasná zvýšení napětí

Zvýšení napětí je děj, kdy se efektivní hodnota napětí v distribuční soustavě zvýší nad 110% U_n alespoň v jedné fázi. Nejsou však tak časté jako poklesy napětí. V měřeních událostí na napětí zaznamenáváme tzv. Swells. To jsou malá krátkodobá zvýšení napětí. Jejich hodnoty se pohybují od 110% U_n do 120% U_n a délka jejich trvání se dělí stejně jako u poklesů napětí tedy podle tabulky v normě ČSN EN 50 160. Do těchto záznamů naopak nepatří přepětí, tzn vysoký a velmi rychlý nárůst napětí.

Příčiny zvýšení napětí

Příčinou zvýšení napětí mohou být spínací procesy. Vlivem spínání v elektrizační soustavě může nastat zvýšení napětí a to např. z důvodu vypnutí velké zátěže, špatného přepnutí odboček na transformátoru nebo vlivem zemního spojení. Atmosférickým vlivem je přímý nebo nepřímý úder blesku do vedení, který však způsobí přepětí, které se do těchto událostí nezapočítává.

Negativní vliv zvýšení napětí

Z důvodu menších zvýšení napětí je možné pozorovat zvýšenou poruchovost žárovek. Větší zvýšení napětí pak mohou poškodit hlavně elektronická zařízení a tím pádem i větší závodní linky apod. Můžeme se proti nim bránit např. pomocí omezovačů napětí nebo použitím DVR. Proti atmosférickým výbojům se na vyšší hladiny napětí instalují zemnicí lana, která s vedením svírají úhel 30°, kterýžto zaručí, že blesk vedení nezasáhne.

4 Vyhodnocování událostí na napětí

4.1 Poklesy

Vyhodnocování poklesů se provádí podle tabulek přílohy č.3 PPDS [9], které jsou rozšířením tabulek normy [1]. Je to z historického důvodu, kdy se zaznamenávaly události v menších časových i napěťových intervalech a nebyl důvod tyto podrobnější informace dále nevyužívat.

Tab. 4.1 Vyhodnocení poklesů napětí podle [1]

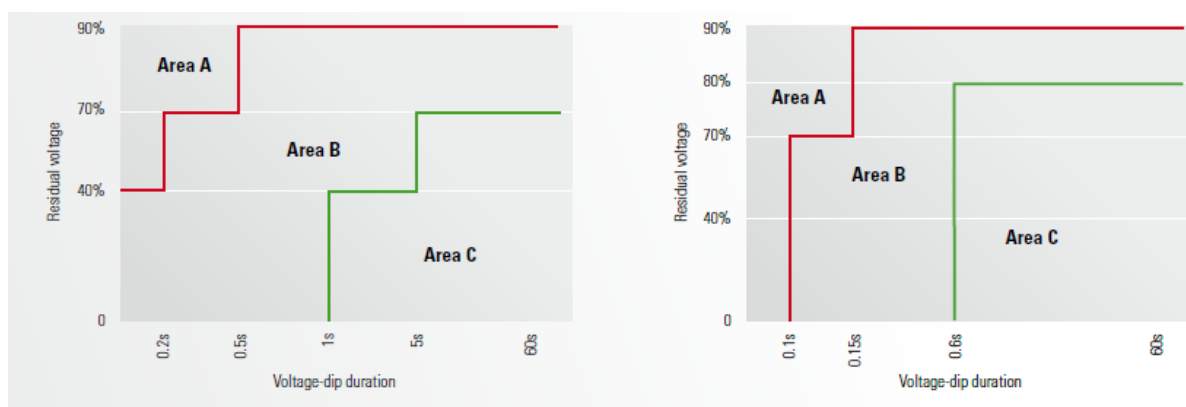
Zbytkové napětí u %	Doba trvání t ms				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1\,000$	$1\,000 < t \leq 5\,000$	$5\,000 < t \leq 60\,000$
$90 > u \geq 80$	CELL A1	CELL A2	CELL A3	CELL A4	CELL A5
$80 > u \geq 70$	CELL B1	CELL B2	CELL B3	CELL B4	CELL B5
$70 > u \geq 40$	CELL C1	CELL C2	CELL C3	CELL C4	CELL C5
$40 > u \geq 5$	CELL D1	CELL D2	CELL D3	CELL D4	CELL D5
$5 > u$	CELL X1	CELL X2	CELL X3	CELL X4	CELL X5

Tab. 4.2 Vyhodnocování poklesů napětí podle [9]

Zbytkové napětí u [%]	Doba trvání t [ms]							
	$10 \leq t \leq 100$	$100 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1\,000$	$1\,000 < t \leq 3\,000$	$3\,000 < t \leq 5\,000$	$5\,000 < t \leq 60\,000$	$60\,000 < t \leq 180\,000$
$90 > u \geq 85$	CELL A1*	CELL A1**	CELL A2*	CELL A3*	CELL A4*	CELL A4**	CELL A5*	CELL A6*
$85 > u \geq 80$	CELL A1***	CELL A1****	CELL A2**	CELL A3**	CELL A4***	CELL A4****	CELL A5**	CELL A6**
$80 > u \geq 70$	CELL B1*	CELL B1**	CELL B2	CELL B3	CELL B4*	CELL B4**	CELL B5	CELL B6
$70 > u \geq 40$	CELL C1*	CELL C1**	CELL C2	CELL C3	CELL C4*	CELL C4**	CELL C5	CELL C6
$40 > u \geq 5$	CELL D1*	CELL D1**	CELL D2	CELL D3	CELL D4*	CELL D4**	CELL D5	CELL D6
$5 > u$	CELL X1*	CELL X1**	CELL X2	CELL X3	CELL X4*	CELL X4**	CELL X5	CELL X6

Z porovnání obou tabulek je vidět, že tabulka z přílohy PPDS je podrobnější, protože rozděluje napěťové i časové úseky na menší části. Rozdělené buňky jsou v tab. 4.2 vybarveny fialově. Zelený sloupec je rozšíření o celý úsek oproti normě [1]. Po takovémto roztrídění hodnot je pak možné lépe pozorovat, jak závažné jsou poklesy napětí a podle toho i určit možnosti případného snížení těchto poklesů. Podle tabulky se určují také tzv. závažné poklesy (major dips), které mají buď nízkou hodnotu zbytkového napětí nebo dlouhý čas trvání a tím se stávají pro odběratele nepříjemnější. V předchozí tabulce jsou takové poklesy pod červenou čarou, tzv. indikativní křivkou odpovědnosti, kterou uvádí [13]. Z myšlenky této křivky vychází hodnocení závažných poklesů v jiných státech. Poklesy, které se nacházejí nad křivkou jsou méně závažné a zařízení odběratele by proti takovým poklesům měla být odolná. Zásah regulátora sítě tak není nutný. [4] Křivky odpovědnosti se mohou lišit podle zemí, ve kterých se používají. Situace ve Francii je znázorněna v tab. 4.2 světle modrou barvou. Je jasné vidět, že hodnocení závažných poklesů je zde benevolentnější než v případě indikativní křivky odpovědnosti.

Rozdílný přístup stanovily země jako Itálie nebo Švédsko, kde jsou již závažné poklesy posuzovány regulačním úřadem. Případ Švédského rozdělení je uveden na následujícím obrázku 4.1



Obr. 4.1 Křivky odpovědnosti používané ve Švédsku pro hladiny napětí do 45kV a nad 45kV

Tabulka je zde rozdělená na tři oblasti. Oblast A zahrnuje normální chování sítě a provozovatel se poklesy v této oblasti nemusí nijak zabývat. V oblasti B nejsou kritéria hodnocení pevně stanovena, ale provozovatel sítě musí v této oblasti, s vynaložením přiměřených nákladů, poklesy omezovat. V oblasti C jsou už stanoveny limity regulačním úřadem a provozovatel sítě je odpovědný za jejich snižování.

4.2 Zvýšení napětí

Pro zvýšení napětí stanoví norma [1] třídící tabulku, která je však stejně jako tabulka poklesů napětí rozšířena v příloze č. 3 PPDS [9]. Jelikož zvýšení napětí nejsou tak častou událostí jako poklesy napětí, nevěnuje se jim zatím zvýšená pozornost.

Tab. 4.3 Vyhodnocení zvýšení napětí podle [1]

Přechodné zvýšení napětí u %	Doba trvání t ms		
	$10 \leq t \leq 500$	$500 < t \leq 5\,000$	$5\,000 < t \leq 60\,000$
$u \geq 120$	CELL S1	CELL S2	CELL S3
$120 > u > 110$	CELL T1	CELL T2	CELL T3

Tab. 4.4 Vyhodnocení zvýšení napětí podle [9]

Přepětí/trvání [%] Trvání (t)	$10 \text{ ms} \leq t < 100 \text{ ms}$	$100 \text{ ms} \leq t < 200 \text{ ms}$	$200 \text{ ms} \leq t < 500 \text{ ms}$	$500 \text{ ms} \leq t < 1 \text{ s}$	$1 \text{ s} \leq t < 3 \text{ s}$	$3 \text{ s} \leq t < 5 \text{ s}$	$5 \text{ s} \leq t < 1 \text{ min}$	$1 \text{ min} \leq t < 3 \text{ min}$
$110 < d \leq 115$	N_{11}	N_{21}	N_{31}	N_{41}	N_{51}	N_{61}	N_{71}	N_{81}
$115 < d \leq 120$	N_{12}	N_{22}	N_{32}	N_{42}	N_{52}	N_{62}	N_{72}	N_{82}
$120 < d$	N_{13}	N_{23}	N_{33}	N_{43}	N_{53}	N_{63}	N_{73}	N_{83}

5 Praktická část

Účelem zpracování je snaha o zjištění trendu událostí a analýza jejich doby trvání a závažnosti. Jak již bylo řečeno, pro relevantní výsledky je nutné provádět měření několik let. Měření napětíových událostí se provádí na transformačních stanicích 22/0,4kV, zmíněných v této práci, většinou od roku 2006, na rozvodnách VN pak z velké části od roku 2010. Přestože se ERÚ doposud zabýval pouze dlouhodobými přerušeními (ukazatele SAIDI, SAIFI), s novelizací vyhlášky 540/2005 Sb. by mohl hodnotit i krátkodobá přerušení (ukazatel MAIFI), později i závažné poklesy či zvýšení napětí, jak je tomu v některých jiných Evropských zemích. Naměřená a vyhodnocená data mohou být tedy provozovateli distribuční soustavy již teď užitečná, aby podle nich mohl začít případně dělat nápravná opatření. Problémem ovšem bude, kdo za případně hodnocené poklesy ponese zodpovědnost. Jak již bylo zmíněno, pokles napětí může způsobit provozovatel sítě chybnou manipulací, ale i odběratel např. připojením asynchronního motoru na síť.

5.1 Vstupní data a jejich zpracování

K dispozici jsem dostal data o událostech na napětí z transformačních stanic 22/0,4kV, kterými jsou: „DTS Hulín ZDŠ“, „DTS Hulín Sušilova“, „DTS Březolupy“, „DTS Chvalkovice“, „DTS Slavičín nák. střed.“, „DTS Zlín OBS“, „DTS Moravský Krumlov Šance“ a „DTS Rouchovany“. Měření probíhalo od roku 2006, avšak na posledních dvou zmiňovaných bylo ukončeno již v roce 2016. U ostatních stanic jsou k dispozici data až do roku 2020.

Dále jsem dostal data o událostech na napětí z rozvodů VN: „Bechyně T101“, „Bechyně T102“, „Domoradice T101“, „Domoradice T102“, „Křtěnov T101“, „Křtěnov T102“, „Mydlovary T101“, „Mydlovary T102“, „Planá T103“, „Planá T104“, „Mladé T101“, „Mladé T102“, „Západ T101“, „Západ T102“, „Tábor T101“, „Tábor T102“, „Veselí T101“, „Veselí T102“, „Humpolec T101“, „Humpolec T102“, „Lipnice T101“, „Lipnice T102“, „Mirovice T101“, „Mirovice T102“, „Pelhřimov T101“, „Pelhřimov T102“, „Prachatice T101“, „Prachatice T102“, „Strakonice T101“, „Strakonice T102“, „Vimperk T101“, „Vimperk T102“, „Větrní T101“, „Větrní T102“, „ČB Sever T101“, „ČB Sever T102“, „Písek T101“, „Písek T102“, „J. Hradec T101“, „J. Hradec T102“, „Škoda T104“, „Škoda T105“, „Lipno T23“, „Lipno T24“, „Počátky T101“ a „Počátky T102“.

K dispozici jsem měl data z let 2010 – 2019. Na některých rozvodnách však došlo během let k výpadkům měření.

Zaznamenané události byly již rozříděny do tabulek podle PPDS. U rozvodu „Strakonice T101“, „Strakonice T102“ a transformační stanice „DTS Březolupy“ jsem navíc obdržel podrobný výpis událostí, na kterých bude v další části demonstrována časová agregace. Systém zpracování byl dán z předchozích let, a tudíž jsem v nastaveném postupu pokračoval.

5.1.1 Postup zpracování dat

V měřicích místech jsou nainstalovány PQ analyzátory sítě, které zaznamenávají napěťové události. Jednou ročně se záznamy stáhnou a konvertují se do programu Excel, jak je vidět v následující tabulce 5.1. Záznam tedy obsahuje data o začátku, konci, délce trvání a změně napětí v jednotlivých fázích každé události.

Tab. 5.1 Záznam o událostech na napětí z rozvodny VN „Strakonice T101“, rok 2011

2011	Začátek	Konec	Délka	L1 [%]	L2 [%]	L3 [%]
	st 12.01.2011 07:13:06,954	st 12.01.2011 13:27:50,944	14 min 44,00 s	0	0	0
	st 12.01.2011 13:27:50,964	st 12.01.2011 13:27:51,394	0,43 sec v		83,4	76,3
	út 08.02.2011 21:22:39,557	út 08.02.2011 21:22:39,637	0,08 sec v	88		
	út 08.02.2011 21:24:06,657	út 08.02.2011 21:24:06,747	0,09 sec v	88,1		
	út 08.02.2011 21:32:00,647	út 08.02.2011 21:32:00,717	0,07 sec v	87,8		
	pá 03.06.2011 17:56:58,412	pá 03.06.2011 17:56:58,472	0,06 sec v	86,7	87,6	
	pá 03.06.2011 18:35:13,981	pá 03.06.2011 18:35:14,051	0,07 sec v	86,5		85,3
	so 09.07.2011 23:56:25,771	so 09.07.2011 23:56:25,841	0,07 sec v		84,1	85,4
	ne 10.07.2011 00:15:05,463	ne 10.07.2011 00:15:05,543	0,08 sec v	85,3		84,6
	ne 10.07.2011 22:47:12,146	ne 10.07.2011 22:47:12,216	0,07 sec v	83,2	85,8	
	ne 24.07.2011 13:51:34,680	ne 24.07.2011 13:51:34,760	0,08 sec v		75	76,7
	st 27.07.2011 05:43:57,986	st 27.07.2011 05:43:58,066	0,08 sec v	83,5		82,1
	pá 29.07.2011 06:06:11,845	pá 29.07.2011 06:06:11,905	0,06 sec v	89,5		87,4
	ne 31.07.2011 05:22:44,031	ne 31.07.2011 05:22:44,071	0,04 sec v	87,1		84,5
	po 08.08.2011 05:45:29,318	po 08.08.2011 05:45:29,378	0,06 sec v		73,9	77,4
	út 09.08.2011 05:59:29,189	út 09.08.2011 05:59:29,249	0,06 sec v	86,9		85,8
	po 22.08.2011 14:06:56,850	po 22.08.2011 14:06:56,910	0,06 sec v		85,5	83,8
	ne 28.08.2011 06:22:42,498	ne 28.08.2011 06:22:42,568	0,07 sec v	74,7	72,3	
	po 05.09.2011 17:04:05,475	po 05.09.2011 17:04:05,555	0,08 sec v		85,3	
	út 06.09.2011 06:17:38,335	út 06.09.2011 06:17:38,405	0,07 sec v		85,7	85,4
	st 21.09.2011 08:24:03,377	st 21.09.2011 08:24:03,447	0,07 sec v	77,3	77,6	
	po 26.09.2011 06:43:05,908	po 26.09.2011 06:43:05,978	0,07 sec v		65,3	67,8
	po 26.09.2011 06:56:10,356	po 26.09.2011 06:56:10,426	0,07 sec v	76,6	76,2	
	pá 30.09.2011 07:00:36,497	pá 30.09.2011 07:00:36,567	0,07 sec v		88,1	87,3
	so 08.10.2011 07:01:55,830	so 08.10.2011 07:01:55,900	0,07 sec v	81,8	84,9	
	po 17.10.2011 07:22:50,471	po 17.10.2011 14:19:09,214	56 min 18,75 s	0	0	0
	út 18.10.2011 07:33:04,623	út 18.10.2011 14:10:28,221	37 min 23,61 s	0	0	0
	út 18.10.2011 14:10:28,241	út 18.10.2011 14:10:28,621	0,38 sec v	80,1	79,7	
	st 02.11.2011 07:23:26,290	st 02.11.2011 07:23:26,310	0,02 sec v	89,1	89	89,5

Hodnoty se poté seřadí do třídících tabulek, které stanoví norma [1] nebo příloha PPDS [9] (viz výše). Určí se také počet závažných poklesů.

Tab. 5.2 Třídící tabulka poklesů včetně určení počtu závažných poklesů (žlutá buňka) z rozvodny VN „Strakonice T101“, rok 2011

	2011	Urest[%] / t[s]	0,01<=t<0,1	0,1<=t<0,2	0,2<=t<0,5	0,5<=t<1	1<=t<3	3<=t<5	5<=t<60	60<=t<180	180<=t	Celkem
		85<=Urest<90	11									11
		80<=Urest<85	7									7
		70<=Urest<80	5		2							7
	0	40<=Urest<70	1									1
		5<=Urest<40										
		0<=Urest<5										
		Celkem	24		2							26

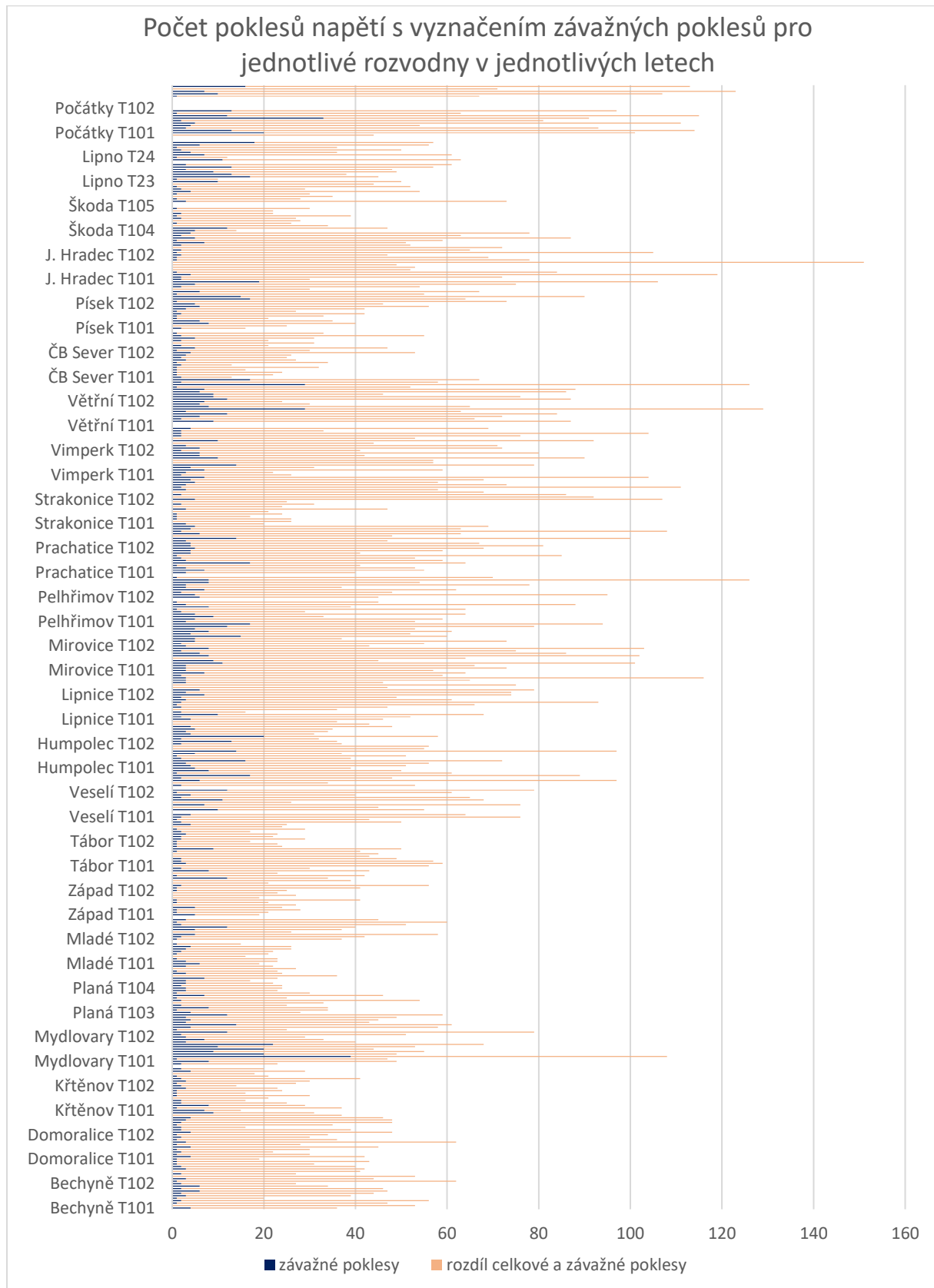
Výsledky lze pak dát do přehledných tabulek a grafů, ze kterých může distributor vyčíst potřebné závěry pro svoji další činnost v této oblasti.

5.2 Rozvodny VN

5.2.1 Poklesy

Na následujícím obr. 5.1 jsem vyhodnotil poklesy napětí na jednotlivých rozvodnách VN podle let a podle závažnosti poklesu. Použil jsem indikativní křivku odpovědnosti podle tab. 4.2.

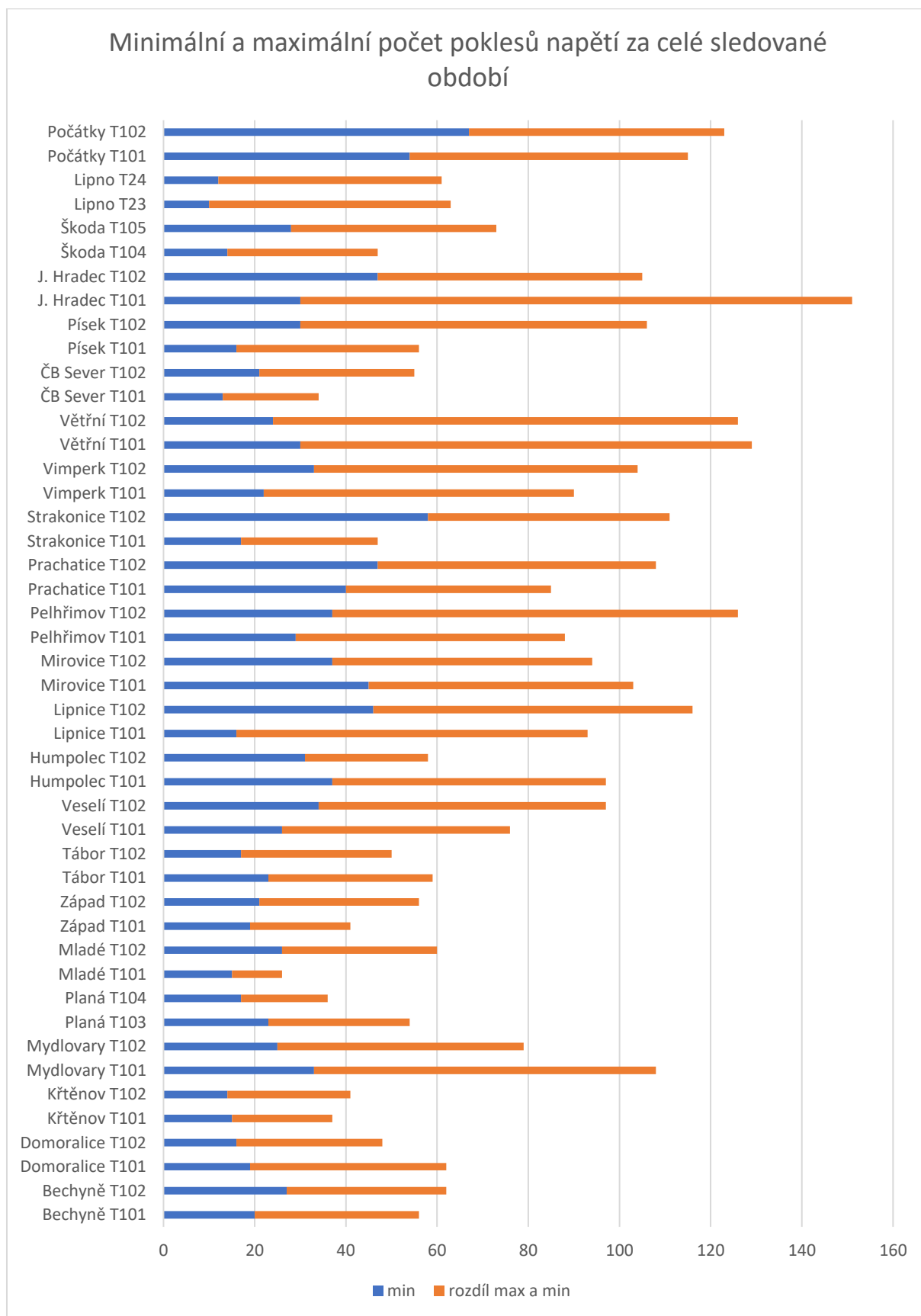
Z obr. 5.1 je možné vyčíst, že závažné poklesy tvoří ve většině případů podstatnou část všech poklesů. Nejvíce poklesů bylo zaznamenáno v roce 2017 na rozvodně „J. Hradec T101“ a to 151, avšak žádný z nich nebyl závažný. Takových případů, kdy žádný pokles nebyl závažný, se stalo ještě 58. Závažných poklesů bylo nejvíce na rozvodně „Mydlovary T101“ v roce 2012 a to 39 z celkových 108 poklesů. Větší než čtvrtinový podíl závažných poklesů nastal ve 25 případech, nejvíce na již zmiňované rozvodně „Mydlovary T101“ a to v letech 2012, 2013, 2015, kdy se jednalo téměř o polovinu všech poklesů a v roce 2017.



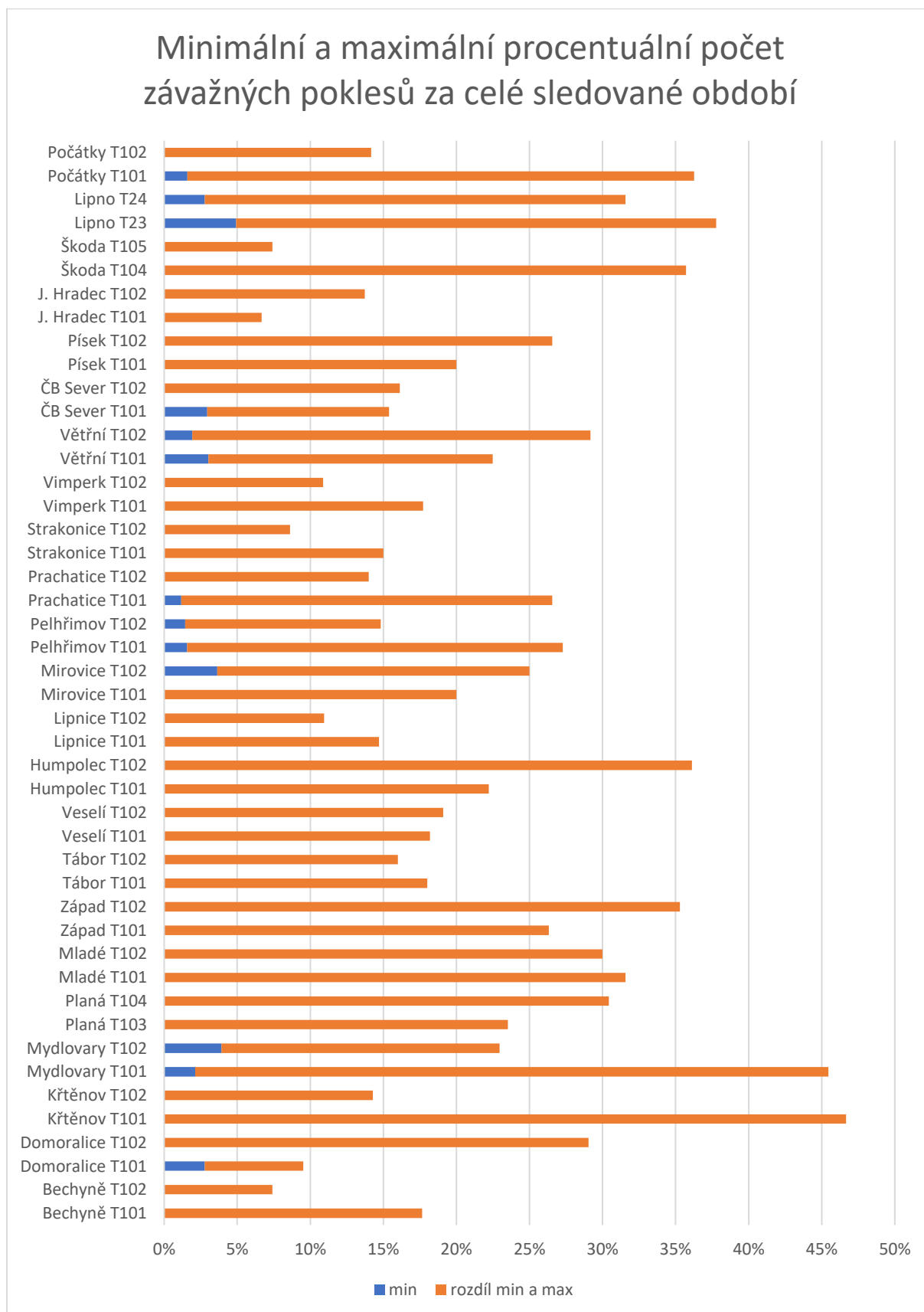
Obr. 5.1 Počet poklesů a závažných poklesů napětí na jednotlivých rozvodnách VN v jednotlivých letech při použití indikativní křivky odpovědnosti, období 2010 – 2019

V obr. 5.2 jsou zobrazeny minimální a maximální počty událostí, které se za sledované období staly během jednoho roku. Je vidět, že nejmenší rozptyl hlášených událostí na napětí je na rozvodně „Mladé T101“ a zároveň je zde nejnižší maximální počet poklesů, který se vyskytl za jeden rok. Nejnižší minimální počet poklesů byl však na rozvodně „Lipno T23“, kde byl zaznamenán i podprůměrný maximální počet poklesů. Nejvyšší maximální hodnota a také nejvyšší rozptyl byl zaznamenán na rozvodně „J. Hradec T101“, tudíž je zde situace ohledně poklesů napětí zřejmě nejhůře predikovatelná.

Obr. 5.3 ukazuje minimální a maximální procentuální počet závažných poklesů ze všech poklesů, které se staly během jednoho roku. To znamená, že např. na rozvodně „Počátky T101“ každý rok byla minimálně 2% poklesů hodnocena jako závažné poklesy. Nejvyšší podíl zde byl pak 37% závažných poklesů ze všech poklesů během jednoho roku. Je tedy vidět, že největší extrém a také největší rozptyl nastal na rozvodně „Křtěnov T101“, kde v některém z roků nepřibyl ani jeden závažný pokles a v některém z roků zde byl naopak podíl závažných poklesů vůči všem poklesům necelých 47%. Takových rozveden, kde v některém z roků nenastal žádný závažný pokles je celkem 33 ze 46 sledovaných. Nejmenší maximální podíl závažných poklesů byl zaznamenán na rozvodně „J. Hradec T101“ a to 6,67%.



Obr. 5.2 Minimální a maximální počet poklesů napětí na rozvodnách VN za celé sledované období 2010 – 2019



Obr. 5.3 Minimální a maximální procentuální počet závažných poklesů napětí na rozvodnách VN za sledované období 2010 – 2019

Celkové údaje jsou shrnuty v tabulce 5.3, podrobnější rozdělení poklesů podle tab. 4.2 jsou v tabulce 5.4.

Tab. 5.3 Souhrnné informace o poklesech napětí na rozvodnách VN za roky 2010 – 2019

Rok	Poklesy napětí										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Celkový zaznamenaný počet	1687	2272	2326	1927	2010	2275	2258	2955	2062	2161	
Průměrný počet na jedno měřicí místo	39,2	52,8	54,1	42,8	44,7	49,5	49,1	65,7	48,0	52,7	
Nejvyšší zaznamenaná hodnota	107	114	119	101	111	111	107	151	79	113	
Závažné poklesy	165	153	235	190	162	160	195	264	104	222	
Průměrný počet na jedno měřicí místo	3,8	3,6	5,3	4,2	3,6	3,5	4,2	5,9	2,4	5,4	
Nejvyšší zaznamenaná hodnota	20	13	39	20	17	20	33	29	12	19	
Za celé období 2010-2019											
Celkový zaznamenaný počet ve všech místech											21933
Průměrný počet na jedno měřicí místo za rok											49,8
Celkový zaznamenaný počet závažných poklesů ve všech místech											1850
Průměrný počet na jedno měřicí místo za rok											4,2

Tab. 5.4 Rozdělení poklesů na rozvodnách VN za roky 2010 - 2019

počty celkem 2010-2019	Urest[%] / t[s]	0,01<=t<0,1	0,1<=t<0,2	0,2<=t<0,5	0,5<=t<1	1<=t<3	3<=t<5	5<=t<60	60<=t<180	180<=t	Celkem
poklesy	85<=Urest<90	5382	571	771	134	26	0	0	0	0	6899
	80<=Urest<85	3128	501	448	112	9	0	0	0	0	4198
	70<=Urest<80	3817	724	249	207	10	0	12	0	0	5019
	40<=Urest<70	3305	1048	86	72	10	2	7	0	2	4532
	5<=Urest<40	744	445	85	25	8	4	13	1	1	1326
	0<=Urest<5	28	43	27	11	0	0	9	1	1	120
	Celkem	16419	3332	1666	561	63	6	41	2	4	22094
% 2010-2019	Urest[%] / t[s]	0,01<=t<0,1	0,1<=t<0,2	0,2<=t<0,5	0,5<=t<1	1<=t<3	3<=t<5	5<=t<60	60<=t<180	180<=t	Celkem
	85<=Urest<90	24,36	2,58	3,49	0,61	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	31,23
	80<=Urest<85	14,16	2,27	2,03	0,51	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	19,00
	70<=Urest<80	17,28	3,28	1,13	0,94	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	22,72
	40<=Urest<70	14,96	4,74	0,39	0,33	0,05	0,01	0,03	0,00	0,01	20,51
	5<=Urest<40	3,37	2,01	0,38	0,11	0,04	0,02	0,06	0,00	0,00	6,00
	0<=Urest<5	0,13	0,19	0,12	0,05	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,54
Celkem	74,31	15,08	7,54	2,54	0,29	0,03	0,19	0,01	0,02	100,0	

Největší zastoupení závažných poklesů je v časovém intervalu 10 – 100ms. Tvoří tak téměř 42% všech závažných poklesů. V dalším časovém intervalu je zastoupeno 26,4% ze závažných poklesů. Je tedy vidět, že více jak dvě třetiny závažných poklesů netrvají déle než 200ms.

Pokud bychom použili francouzskou křivku odpovědnosti, získané poznatky by se výrazně změnilo, viz tab. 5.5.

Tab. 5.5 Rozdělení poklesů na rozvodnách VN za roky 2010 – 2019 po použití francouzské křivky odpovědnosti

počty celkem 2010-2019	Urest[%] / t[s]	0,01<=t<0,1	0,1<=t<0,2	0,2<=t<0,5	0,5<=t<1	1<=t<3	3<=t<5	5<=t<60	60<=t<180	180<=t	Celkem
poklesy	85<=Urest<90	5382	571	771	134	26	0	0	0	0	6899
	80<=Urest<85	3128	501	448	112	9	0	0	0	0	4198
	70<=Urest<80	3817	724	249	207	10	0	12	0	0	5019
	40<=Urest<70	3305	1048	86	72	10	2	7	0	2	4532
	5<=Urest<40	744	445	85	25	8	4	13	1	1	1326
	0<=Urest<5	28	43	27	11	0	0	9	1	1	120
	Celkem	16419	3332	1666	561	63	6	41	2	4	22094
% 2010-2019	Urest[%] / t[s]	0,01<=t<0,1	0,1<=t<0,2	0,2<=t<0,5	0,5<=t<1	1<=t<3	3<=t<5	5<=t<60	60<=t<180	180<=t	Celkem
	85<=Urest<90	24,36	2,58	3,49	0,61	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	31,23
	80<=Urest<85	14,16	2,27	2,03	0,51	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	19,00
	70<=Urest<80	17,28	3,28	1,13	0,94	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	22,72
	40<=Urest<70	14,96	4,74	0,39	0,33	0,05	0,01	0,03	0,00	0,01	20,51
	5<=Urest<40	3,37	2,01	0,38	0,11	0,04	0,02	0,06	0,00	0,00	6,00
	0<=Urest<5	0,13	0,19	0,12	0,05	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,54
Celkem	74,31	15,08	7,54	2,54	0,29	0,03	0,19	0,01	0,02	100,0	

Ze všech poklesů tvoří v tuto chvíli závažné poklesy pouze 0,74%. V porovnání s předchozí křivkou odpovědnosti obsahují nyní závažné poklesy 8,81% předchozích závažných poklesů. Je tedy zřejmé, že těch nejzávažnějších poklesů není mnoho a také, že Francie má systém nastavený velmi volně. Nejvíce ze závažných poklesů je zde zastoupeno v intervalu 0,5s – 1s a to asi 66% ze zde určených závažných poklesů.

Při použití švédského typu vyšetření poklesů bude situace zcela odlišná. Jsou zde totiž vyznačeny dvě oblasti poklesů, kterými se provozovatel sítě zabývá, viz tab. 5.6.

Tab. 5.6 Rozdělení poklesů na rozvodnách VN za roky 2010 – 2019 po použití švédské křivky odpovědnosti.

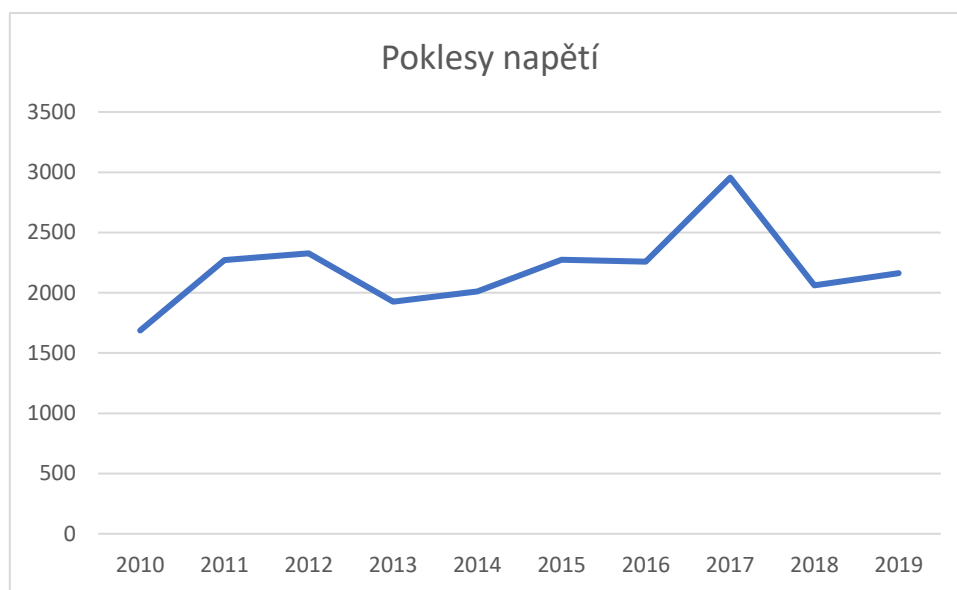
Oblast B – oranžová, oblast C – žlutá barva

počty celkem 2010-2019	Urest[%] / t[s]	0,01<=t<0,1	0,1<=t<0,2	0,2<=t<0,5	0,5<=t<1	1<=t<3	3<=t<5	5<=t<60	60<=t<180	180<=t	Celkem
poklesy	85<=Urest<90	5382	571	771	134	26	0	0	0	0	6899
	80<=Urest<85	3128	501	448	112	9	0	0	0	0	4198
	70<=Urest<80	3817	724	249	207	10	0	12	0	0	5019
	40<=Urest<70	3305	1048	86	72	10	2	7	0	2	4532
	5<=Urest<40	744	445	85	25	8	4	13	1	1	1326
0<=Urest<5	28	43	27	11	0	0	9	1	1	120	
	Celkem	16419	3332	1666	561	63	6	41	2	4	22094
% 2010-2019	Urest[%] / t[s]	0,01<=t<0,1	0,1<=t<0,2	0,2<=t<0,5	0,5<=t<1	1<=t<3	3<=t<5	5<=t<60	60<=t<180	180<=t	Celkem
poklesy	85<=Urest<90	24,36	2,58	3,49	0,61	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	31,23
	80<=Urest<85	14,16	2,27	2,03	0,51	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	19,00
	70<=Urest<80	17,28	3,28	1,13	0,94	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	22,72
	40<=Urest<70	14,96	4,74	0,39	0,33	0,05	0,01	0,03	0,00	0,01	20,51
	5<=Urest<40	3,37	2,01	0,38	0,11	0,04	0,02	0,06	0,00	0,00	6,00
0<=Urest<5	0,13	0,19	0,12	0,05	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,54	
	Celkem	74,31	15,08	7,54	2,54	0,29	0,03	0,19	0,01	0,02	100,0

Situace je velmi rozdílná od francouzského typu. Provozovatel sítě by se zde musel zabývat necelými deseti procenty všech poklesů. Není to však velká změna oproti prvně použité indikativní křivce odpovědnosti, kdy by se provozovatel zabýval 8,37% případů závažných poklesů. Poklesů v oblasti C je zde však pouze necelé 2 %. Oproti francouzské křivce jsou z oblasti C odebrány intervaly s nejvyšším podílem závažných poklesů. Pevně stanovené limity jsou tedy pro provozovatele sítě ve Švédsku ještě mírnější než ty ve Francii. Na druhou stranu by se musel švédský provozovatel sítě nějakým způsobem zajímat o dalších téměř 9% všech poklesů.

Z dlouhodobějšího hlediska se zdá, že provozovatelé sítě zatím neučinili významnější kroky k omezení ať už závažných poklesů nebo poklesů celkově. Důvod může být ten, že je k tomu nenutí ERÚ. Zároveň však nemohou poklesy nebo zvýšení ignorovat, neboť distributor nese odpovědnost za škody, které vzniknou v příčinné souvislosti s poruchou, jež vznikla na zařízení distribuční soustavy. [11] Události na napětí se navíc obecně velmi těžko predikují, a tudíž je jejich omezení složitý proces. V případě všech poklesů se trend jeví jako spíše neměnný,

viz obr. 5.4. Rok 2017 jsem při určení trendu bral jako výkyv. U závažných poklesů je vývoj nejednoznačný a pro jasnější predikci bude nutné provádět měření i nadále. Nejednoznačnost vývoje představuje následující příklad. Navzdory výpadku měření na pěti rozvodnách se počet závažných poklesů zvýšil za poslední rok více jak dvojnásobně oproti roku 2018, kdy byl zaznamenán výpadek měření pouze na třech rozvodnách. Ten byl však za dobu měření výjimečný svým nízkým počtem závažných poklesů, a tak lze rok 2019 řadit k mírně nadprůměrným rokům. Přehled celkových počtů závažných poklesů včetně přepočtu na jedno měřící místo a vývoj jejich výskytu v jednotlivých letech představuje tabulka 5.7 a obr. 5.5.



Obr. 5.4 Počet poklesů na rozvodnách VN, období 2010 – 2019

Tab. 5.7 Počet závažných poklesů na rozvodnách VN a jejich přepočtení na jedno měřící místo při použití indikativní křivky odpovědnosti, období 2010 - 2019

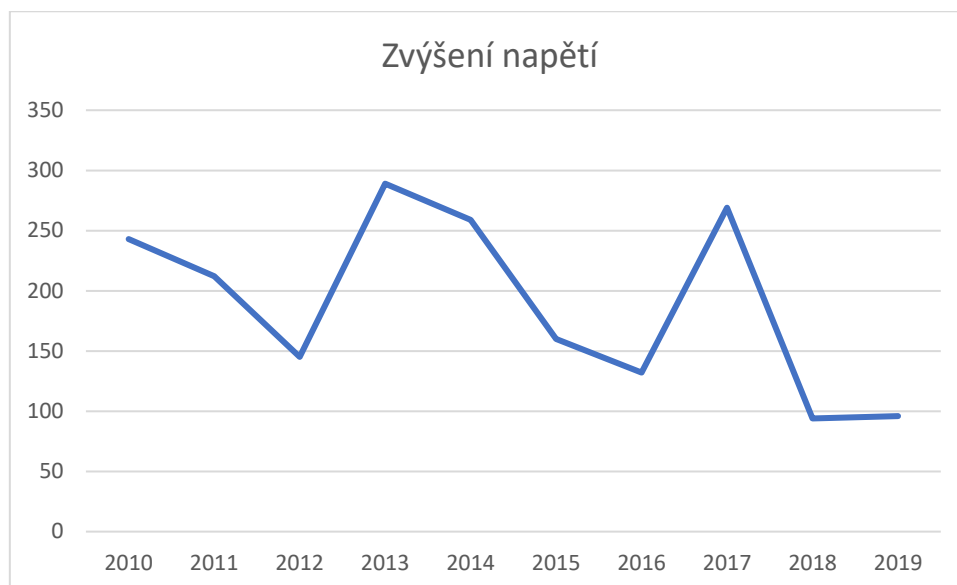
Závažné poklesy (major dips)			
	celkový počet	na 1 místo a rok	% závažných poklesů
2010	165	3,8	9,8
2011	153	3,6	6,7
2012	235	5,3	10,1
2013	190	4,2	9,9
2014	162	3,6	8,1
2015	160	3,5	7,0
2016	195	4,2	8,6
2017	264	5,9	8,9
2018	104	2,4	5,0
2019	222	5,4	10,3
celkem	1850	4,2	8,4



Obr. 5.5 Počet závažných poklesů na rozvodnách VN při použití indikativní křivky odpovědnosti, období 2010 - 2019

5.2.2 Zvýšení napětí

Co se týče zvýšení napětí, jejich počet není tak významný jako počet poklesů. Většinou se jedná o jednotky až nižší desítky případů za rok na jednom měřicím místě. I při vyhodnocování těchto dat jsem však narazil na výjimky v některých letech. Ta největší se objevila v roce 2010 v rozvodně „J. Hradec T101“, kde bylo naměřeno 172 zvýšení napětí. V ostatních rozvodnách byla tato zvýšení za stejný rok v počtu menším než 10. V horizontu měřeného období se počty zvýšení napětí vlnovitě mění, jak je vidět z obr. 5.6. Na stanovení trendu se zatím měří krátkou dobu a předpovězení relevantních hodnot v následujících letech tudíž není možné. Nízké hodnoty posledního roku mohou být zkresleny faktem, že se na pěti rozvodnách měření neuskutečnilo nebo nebylo přesné. Souhrnné informace o zvýšených napětích jsou v tabulce 5.8.



Obr. 5.6 Počet zvýšených napětí na rozvodnách VN, období 2010 - 2019

Tab. 5.8 Souhrnné informace o zvýšení napětí na rozvodnách VN za roky 2010 - 2019

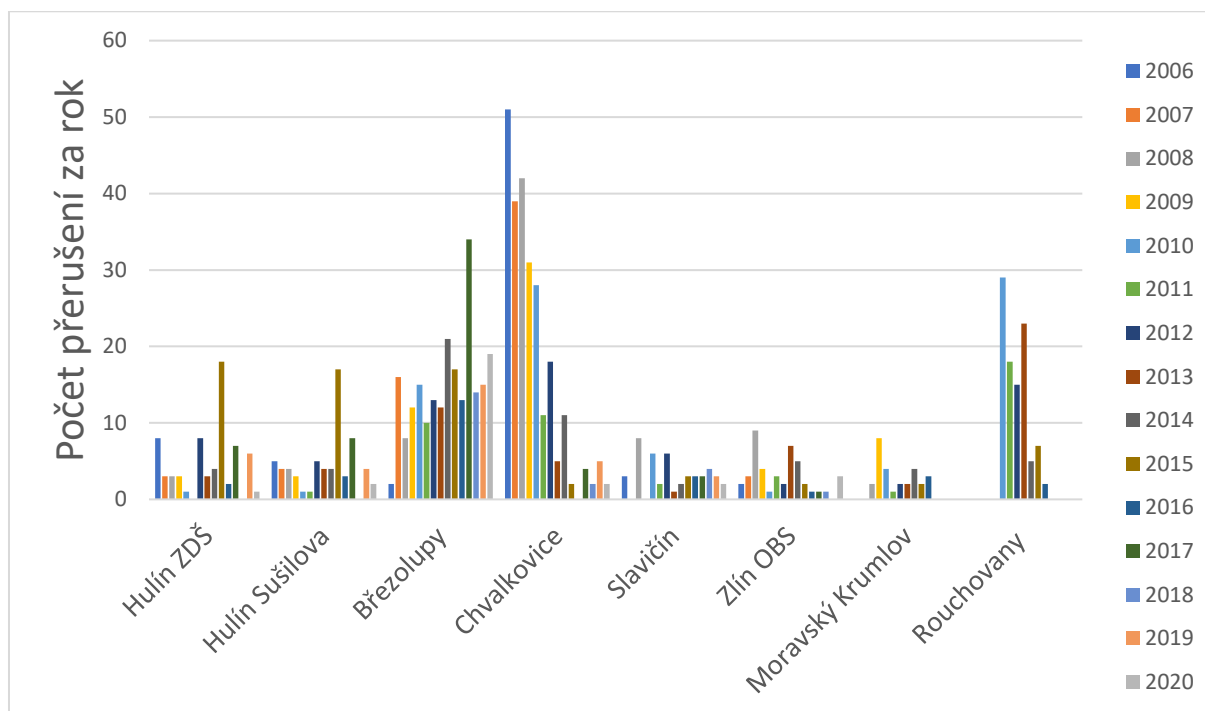
	Zvýšení napětí									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Celkový zaznamenaný počet	243	212	145	289	259	160	132	269	94	96
Průměrný počet na jedno měřicí místo	5,8	4,9	3,4	6,4	5,8	3,5	2,9	6,0	2,2	2,3
Za celé období 2010-2019										
Celkový zaznamenaný počet ve všech místech	1899									
Průměrný počet na jedno měřicí místo za rok	4,3									

5.3 Transformační stanice 22/0,4kV

Jak již bylo zmíněno, plnohodnotná data jsem dostal k dispozici ze šesti stanic, protože v dalších dvou bylo měření ukončeno v roce 2016. Přesto jsou v některých výpočtech zahrnuty. Na všech stanicích byla měřena krátkodobá a dlouhodobá přerušování, poklesy, závažné poklesy a zvýšení napětí.

5.3.1 Přerušování

V následujícím grafu jsou vidět přerušování napětí na jednotlivých stanicích:



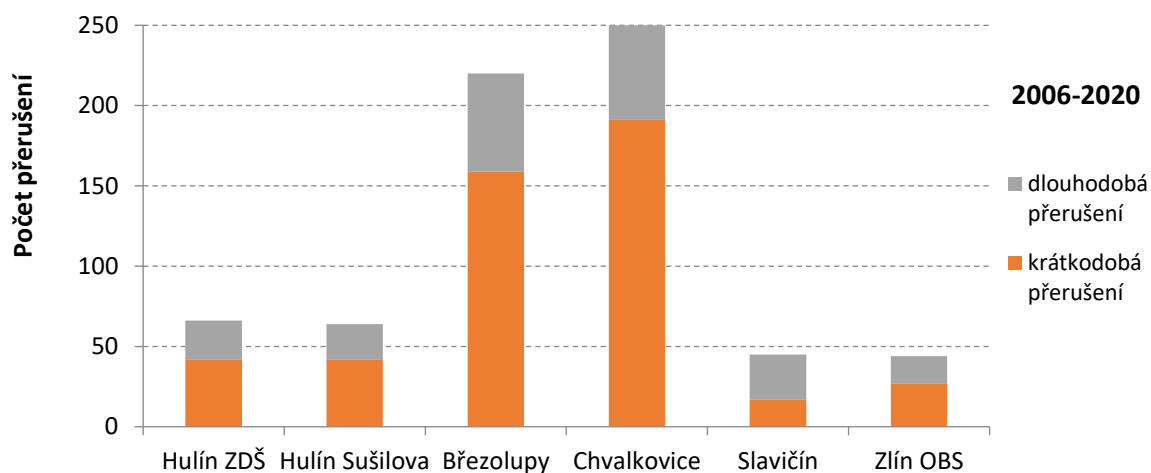
Obr. 5.7 Počet přerušení za rok pro jednotlivé transformační stanice, období 2006 – 2020

Z grafu lze vypožorovat, že počet přerušení na jednotlivých stanicích se velmi liší. Nejvyšší počet přerušení byl naměřen na stanici „DTS Chvalkovice“, kde se jednalo za celou dobu měření o 251 přerušení. Naopak nejméně jich bylo na „DTS Zlín OBS“ a to 44. Z dlouhodobého hlediska je znát jasný pokles počtu přerušení napětí. K tomu distributory nutí i ERÚ, jak bylo popsáno v kapitole 2.2. Průměrný ukazatel SAIFI za všechny roky pro tuto napěťovou hladinu vychází na 2,34. Tato hodnota je lehce nad celorepublikovým ukazatelem SAIFI pro společnost E.ON distribuce a.s., který za rok 2019 dosáhl hodnoty 1,97 [10], což je však systémový ukazatel, který v sobě zahrnuje všechny napěťové hladiny.

Dále jsem z naměřených dat určil počet krátkodobých přerušení. Ta souvisejí s ukazatelem MAIFI, který by měl po novelizaci legislativy kontrolovat ERÚ. Z následné tabulky 5.9 a obr. 5.8 je vidět, že krátkodobá přerušení jsou výrazně častější než ta dlouhodobá. Může to být dáno tím, že dlouhotrvající přerušení je schopen distributor odstranit použitím automatiky nebo manipulací se sítí. Doba potřebná pro tuto akci však není nulová, a proto se přerušení v záznamech objeví.

Tab. 5.9 Počty krátkodobých a dlouhodobých přerušení na jednotlivých stanicích, období 2006 – 2020

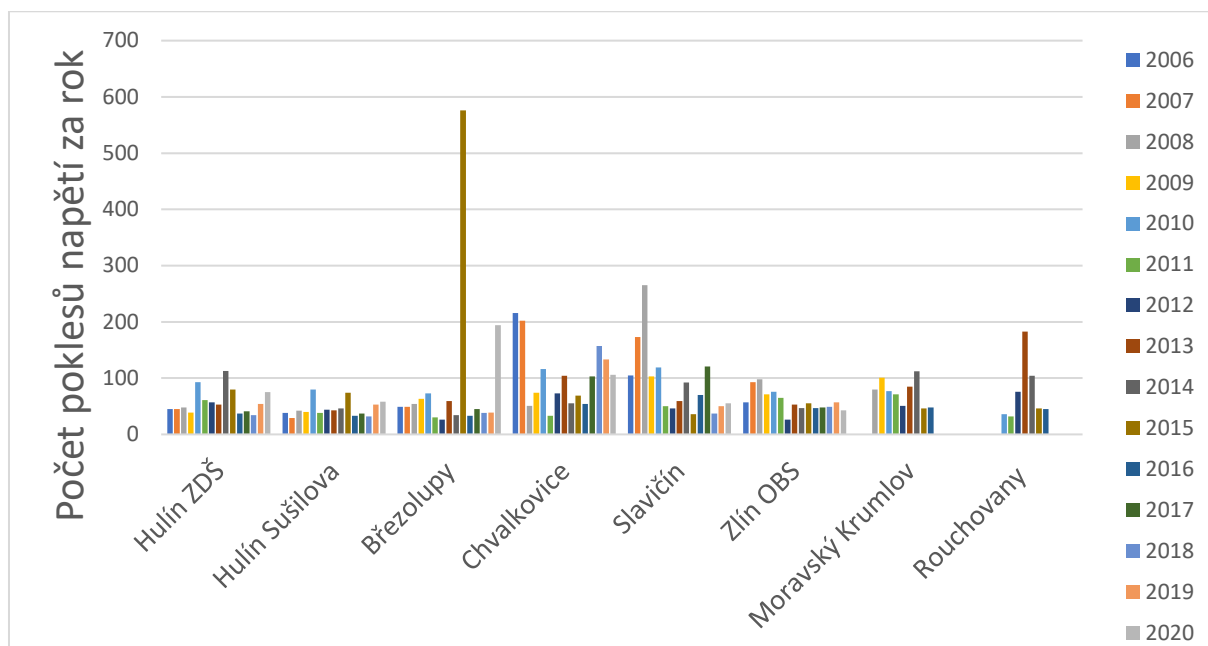
	Hulín ZDŠ	Hulín Sušilova	Březolupy	Chvalkovice	Slavičín	Zlín OBS	celkem
T < 1s	1	1	1	1	1	0	4
1 s < T ≤ 3 min	42	42	159	191	17	27	433
T > 3 min	24	22	61	59	28	17	195
	67	65	221	251	46	44	632



Obr. 5.8 Počty krátkodobých a dlouhodobých přerušení na jednotlivých stanicích, období 2006 – 2020

5.3.2 Poklesy

Poklesy napětí se na měřených transformačních stanicích vyskytovaly v průměru častěji, než jak tomu bylo u rozvodů VN a to téměř o 25 poklesů za rok na jedno měřicí místo. V obr. 5.9 můžeme pozorovat, že kromě výkyvů se počty poklesů v letech výrazně nemění.



Obr. 5.9 Počet poklesů napětí na jednotlivých transformačních stanicích, období 2006 – 2020

K největšímu výkyvu došlo v „DTS Březolupy“, kde bylo v roce 2015 naměřeno 576 poklesů napětí. Většina těchto případů byla zaznamenána v druhé polovině roku, kdy v nadřazené síti VN probíhala rekonstrukce a síť tedy byla řazena mimořádně. Přepojení a ponechání stávající odbočky na transformátoru VN/NN bylo příčinou extrémního zvýšení výskytu událostí v tomto období. Při stanovení trendu by tak byla zřejmě tato hodnota vyřazena. V ostatních případech se počty většinou pohybují pod hranicí 100 poklesů za rok. Celkové údaje jsou shrnuty v tabulce 5.10.

Tab. 5.10 Souhrnné informace o poklesech napětí na transformačních stanicích za roky 2006 – 2020

Rok	Poklesy napětí														
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Celkový zaznamenaný počet	510	591	558	390	557	277	272	371	387	890	274	395	347	386	531
Průměrný počet na jedno měřicí místo	85,0	98,5	93,0	65,0	92,8	46,2	45,3	61,8	64,5	148,3	45,7	65,8	57,8	64,3	88,5
Nejvyšší zaznamenaná hodnota	216	202	265	103	119	65	73	104	113	576	70	121	157	133	194
Závažné poklesy	26	26	2	0	0	0	7	21	21	17	12	16	13	20	10
Průměrný počet na jedno měřicí místo	4,3	4,3	0,3	0,0	0,0	0,0	1,2	3,5	3,5	2,8	2,0	2,7	2,2	3,3	1,7
Nejvyšší zaznamenaná hodnota	26	20	1	0	0	0	2	21	15	15	10	16	10	18	9
Za celé období 2010-2019															
Celkový zaznamenaný počet ve všech místech	6736														
Průměrný počet na jedno měřicí místo za rok	74,8														
Celkový zaznamenaný počet závažných poklesů ve všech místech	191														
Průměrný počet na jedno měřicí místo za rok	2,1														

Podrobnější informace o poklesech a závažných poklesech jsou pak v následující tabulce 5.11:

Tab. 5.11 Rozdělení poklesů na transformačních stanicích, 2006 – 2020

počty celkem 2006-2020	Urest[%] / t[s]	0,01<=t<0,1	0,1<=t<0,2	0,2<=t<0,5	0,5<=t<1	1<=t<3	3<=t<5	5<=t<60	60<=t<180	180<=t	Celkem
poklesy	85<=Urest<90	1688	389	216	185	83	39	76	20	18	2714
	80<=Urest<85	640	268	16	82	24	0	4	1	6	1041
	70<=Urest<80	573	419	38	115	39	0	1	2	5	1192
	40<=Urest<70	534	648	64	79	11	0	0	0	4	1340
	5<=Urest<40	50	169	16	22	50	1	24	22	37	391
	0<=Urest<5	0	5	0	0	21	0	7	8	17	58
	Celkem	2954	1645	294	453	207	35	102	48	81	5819
% 2006-2020	Urest[%] / t[s]	0,01<=t<0,1	0,1<=t<0,2	0,2<=t<0,5	0,5<=t<1	1<=t<3	3<=t<5	5<=t<60	60<=t<180	180<=t	Celkem
poklesy	85<=Urest<90	29,0	6,7	3,7	3,2	1,4	0,7	1,3	0,3	0,3	46,6
	80<=Urest<85	11,0	4,6	0,3	1,4	0,4	0,0	0,1	0,0	0,1	17,9
	70<=Urest<80	9,8	7,2	0,7	2,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,1	20,5
	40<=Urest<70	9,2	11,1	1,1	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	23,0
	5<=Urest<40	0,9	2,9	0,3	0,4	0,9	0,0	0,4	0,4	0,6	6,7
	0<=Urest<5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	0,0	0,1	0,1	0,3	1,0
	Celkem	50,8	28,3	5,1	7,8	3,6	0,6	1,8	0,8	1,4	100,0

Je vidět, že závažné poklesy jsou na stanicích zastoupeny jen minimálně. Z nich je asi 30% v časovém intervalu 0,5 – 1s. Také je patrné, že nejvíce jsou zastoupeny „nejméně závažné“ poklesy, tzn ty s nejmenším úbytkem napětí a nejkratším časovým intervalem, a to z 29%.

Rozdělení poklesů podle francouzské křivky odpovědnosti ukazuje tabulka 5.12.

Tab. 5.12 Rozdělení poklesů na transformačních stanicích po použití francouzské křivky odpovědnosti, 2006 – 2020

počty celkem 2006-2020	Urest[%] / t[s]	0,01<=t<0,1	0,1<=t<0,2	0,2<=t<0,5	0,5<=t<1	1<=t<3	3<=t<5	5<=t<60	60<=t<180	180<=t	Celkem
poklesy	85<=Urest<90	1688	389	216	185	83	39	76	20	18	2714
	80<=Urest<85	640	268	16	82	24	0	4	1	6	1041
	70<=Urest<80	573	419	38	115	39	0	1	2	5	1192
	40<=Urest<70	534	648	64	79	11	0	0	0	4	1340
	5<=Urest<40	50	169	16	22	50	1	24	22	37	391
	0<=Urest<5	0	5	0	0	21	0	7	8	17	58
	Celkem	2954	1645	294	453	207	35	102	48	81	5819
% 2006-2020	Urest[%] / t[s]	0,01<=t<0,1	0,1<=t<0,2	0,2<=t<0,5	0,5<=t<1	1<=t<3	3<=t<5	5<=t<60	60<=t<180	180<=t	Celkem
poklesy	85<=Urest<90	29,0	6,7	3,7	3,2	1,4	0,7	1,3	0,3	0,3	46,6
	80<=Urest<85	11,0	4,6	0,3	1,4	0,4	0,0	0,1	0,0	0,1	17,9
	70<=Urest<80	9,8	7,2	0,7	2,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,1	20,5
	40<=Urest<70	9,2	11,1	1,1	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	23,0
	5<=Urest<40	0,9	2,9	0,3	0,4	0,9	0,0	0,4	0,4	0,6	6,7
	0<=Urest<5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	0,0	0,1	0,1	0,3	1,0
	Celkem	50,8	28,3	5,1	7,8	3,6	0,6	1,8	0,8	1,4	100,0

Obdobně jako u vyhodnocení rozveden VN je i zde podíl závažných poklesů pro francouzskou metodu malý a to konkrétně 4,2%. Velký rozdíl oproti vyšší hladině napětí nastává v zastoupení závažných poklesů francouzské varianty vůči indikativní křivce odpovědnosti. Pro tuto variantu je zde 34,7% závažných poklesů z původních závažných poklesů určených indikativní křivkou odpovědnosti. Přes 40% závažných poklesů je zastoupeno v časovém intervalu 0,5 – 1s.

Další porovnání je možné udělat s křivkou odpovědnosti švédského typu, jak ji zobrazuje tabulka 5.13.

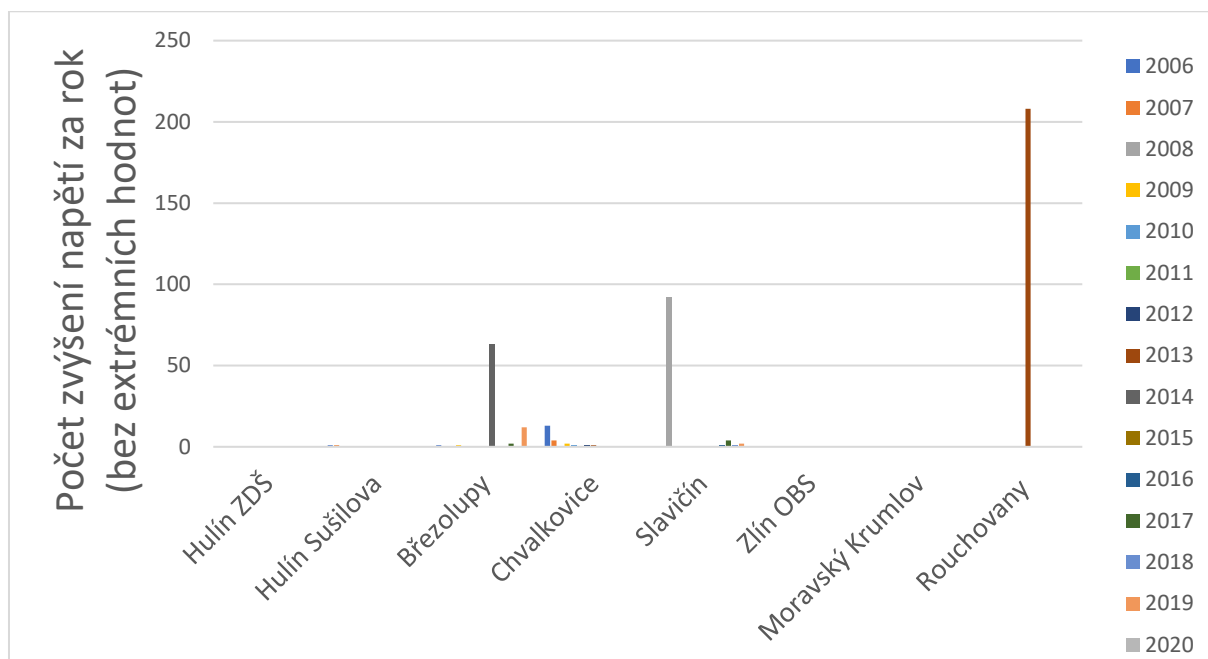
Tab. 5.13 Rozdělení poklesů na transformačních stanicích po použití švédské křivky odpovědnosti. Oblast B – oranžová, oblast C – žlutá barva, 2006 – 2020

počty celkem 2006-2020	Urest[%] / t[s]	0,01<=t<0,1	0,1<=t<0,2	0,2<=t<0,5	0,5<=t<1	1<=t<3	3<=t<5	5<=t<60	60<=t<180	180<=t	Celkem
poklesy	85<=Urest<90	1688	389	216	185	83	39	76	20	18	2714
	80<=Urest<85	640	268	16	82	24	0	4	1	6	1041
	70<=Urest<80	573	419	38	115	39	0	1	2	5	1192
	40<=Urest<70	534	648	64	79	11	0	0	0	4	1340
	5<=Urest<40	50	169	16	22	50	1	24	22	37	391
	0<=Urest<5	0	5	0	0	21	0	7	8	17	58
	Celkem	2954	1645	294	453	207	35	102	48	81	5819
% 2006-2020	Urest[%] / t[s]	0,01<=t<0,1	0,1<=t<0,2	0,2<=t<0,5	0,5<=t<1	1<=t<3	3<=t<5	5<=t<60	60<=t<180	180<=t	Celkem
poklesy	85<=Urest<90	29,0	6,7	3,7	3,2	1,4	0,7	1,3	0,3	0,3	46,6
	80<=Urest<85	11,0	4,6	0,3	1,4	0,4	0,0	0,1	0,0	0,1	17,9
	70<=Urest<80	9,8	7,2	0,7	2,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,1	20,5
	40<=Urest<70	9,2	11,1	1,1	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	23,0
	5<=Urest<40	0,9	2,9	0,3	0,4	0,9	0,0	0,4	0,4	0,6	6,7
	0<=Urest<5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	0,0	0,1	0,1	0,3	1,0
	Celkem	50,8	28,3	5,1	7,8	3,6	0,6	1,8	0,8	1,4	100,0

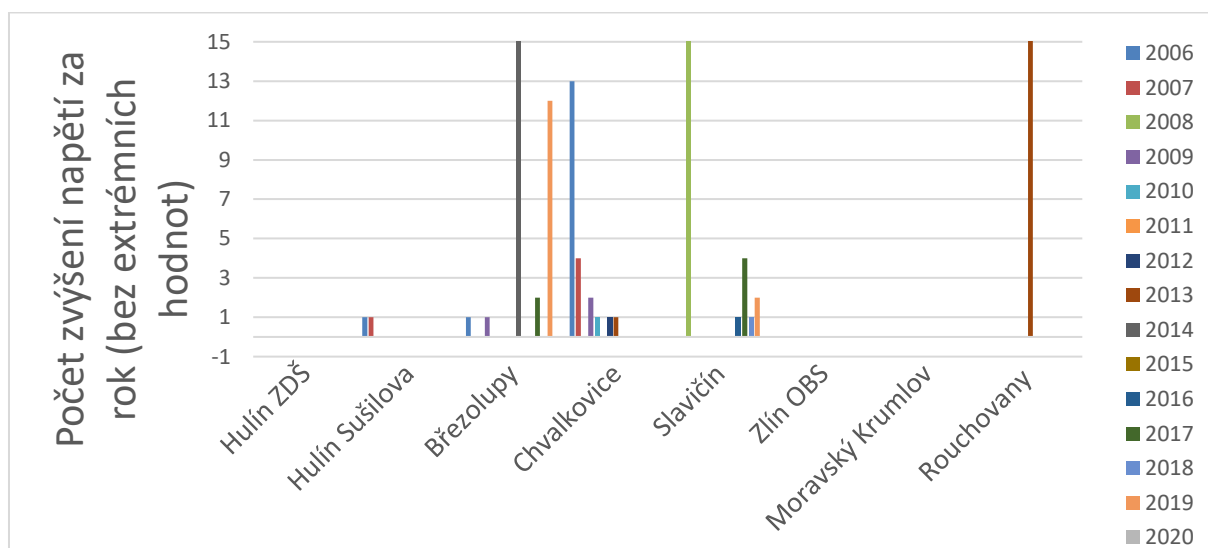
V tomto případě je závažných poklesů v oblasti C 2,3%. Nejvyšší zastoupení zde má opět nejnižší časový interval, a to více než polovinu ze závažných poklesů oblasti C. Obě vyznačené oblasti představují přes jednu pětinu všech poklesů, a tudíž tvoří nemalý podíl, o který by se musel provozovatel sítě v tomto případě zajímat.

5.3.3 Zvýšení napětí

Stejně jako u rozveden VN, i u zde zmíněných transformačních stanic jsou zvýšení napětí mnohem méně častým jevem než poklesy nebo přerušení. Některé měřené roky však došlo k obrovským výkyvům a naměřené hodnoty se místo v řádu jednotek až desítek pohybovaly řádech stovek až tisíců. V případě posledního roku měření na „DTS Březolupy“ došlo k poruše záznamníku, jenž zaznamenal za celý rok 2418 zvýšení napětí. Na stejné stanici bylo o rok dříve naměřeno pouhých 12 zvýšení napětí. Několik podobných výkyvů bylo zaznamenáno i na jiných stanicích v dřívějších letech, ale nejsou známy informace o poruše zaznamenávací jednotky. I přesto je zde uveden obr. 5.10 bez těchto extrémních hodnot.



Obr. 5.10 Počet zvýšení napětí na jednotlivých transformačních stanicích (bez extrémních hodnot)



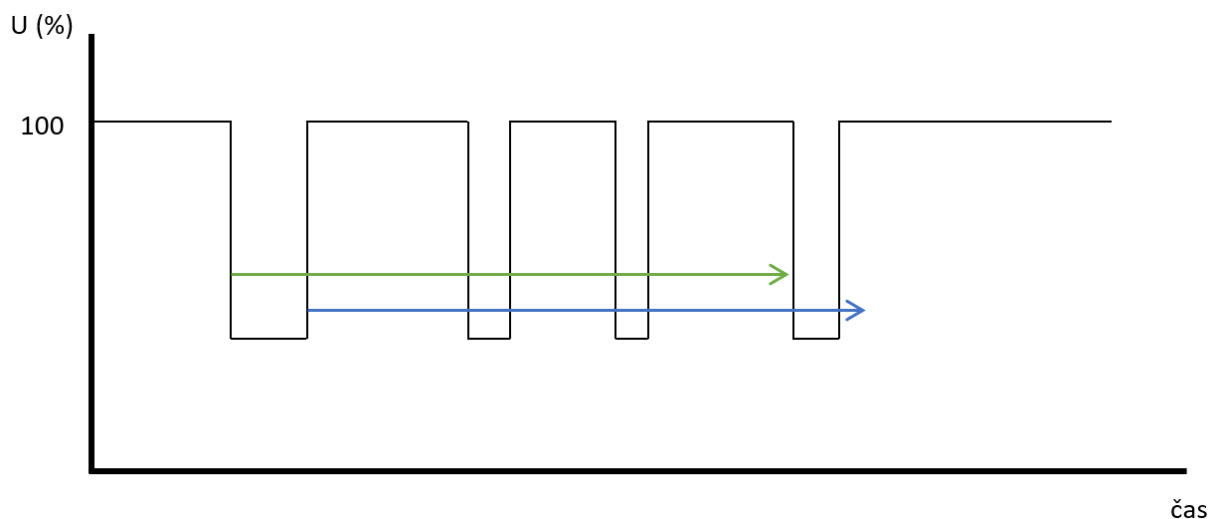
Obr. 5.11 Počet zvýšení napětí na jednotlivých transformačních stanicích (bez extrémních hodnot), detail

Z grafu je vidět, že většinou nedochází k žádným zvýšení napětí za celý rok. V případě „DTS Rouchovany“ se pravděpodobně jednalo například o špatnou manipulaci s odbočkou transformátoru, neboť je tento výkyv na rozvodně ojedinělý. Z důvodu možné nepřesnosti naměřených extrémních hodnot zde není uvedena celková informativní tabulka. Bez možnosti přesného zjištění, která data jsou chybná, by byla taková tabulka spíše zavádějící. Pokud by extrémní hodnoty opravdu byly chybné, je z měření možné říci, že zvýšení napětí není vzhledem k jejich četnosti pro distributory významný problém.

5.4 Časová agregace

Otázkou zůstává, zda (a pokud ano tak v jaké míře) se přistoupí k časové agregaci poklesů. Časová agregace je postup, při němž se poklesy jdoucí za sebou hodnotí jako jeden. Přistupuje se k tomu z důvodu jednotné příčiny poklesů nebo z důvodu stejného dopadu na zákazníka. Společnou příčinou více poklesů může být např. automatika OZ. Nejprve rychle a poté pomalé OZ způsobí více poklesů v síti, avšak příčina spuštění automatiky byla jen jedna. V takovém případě mohla být časová agregace v řádech sekund až minut. Co se týče dopadu na zákazníka, měl by interval časové agregace odpovídat času potřebnému k znovuoobnovení výroby. [4] Na domácnosti by krátkodobé poklesy neměly mít v podstatě žádný dopad.

Dosud v ČR nebylo stanoveno, jak dlouhý by agregační interval měl být. V této práci jsem použil hodnoty 10 minut a 1 hodina. Obecně by kratší agregační intervaly měly pokrýt přechodné poruchy, ty delší pak dobu nutnou pro obnovení výroby. Agregace by také mohla odstranit „nadbytečné“ záznamy o poklesech v meteorologicky nepříznivých dnech, jež mají dopad obzvláště na venkovní vedení. Další nevyjasněnou záležitostí, co se týče agregace, je začátek jejího intervalu. Není ještě jasně dáno, zda by interval začínal od konce prvního poklesu nebo od jeho začátku, jak je to znázorněno na obr. 5.12:

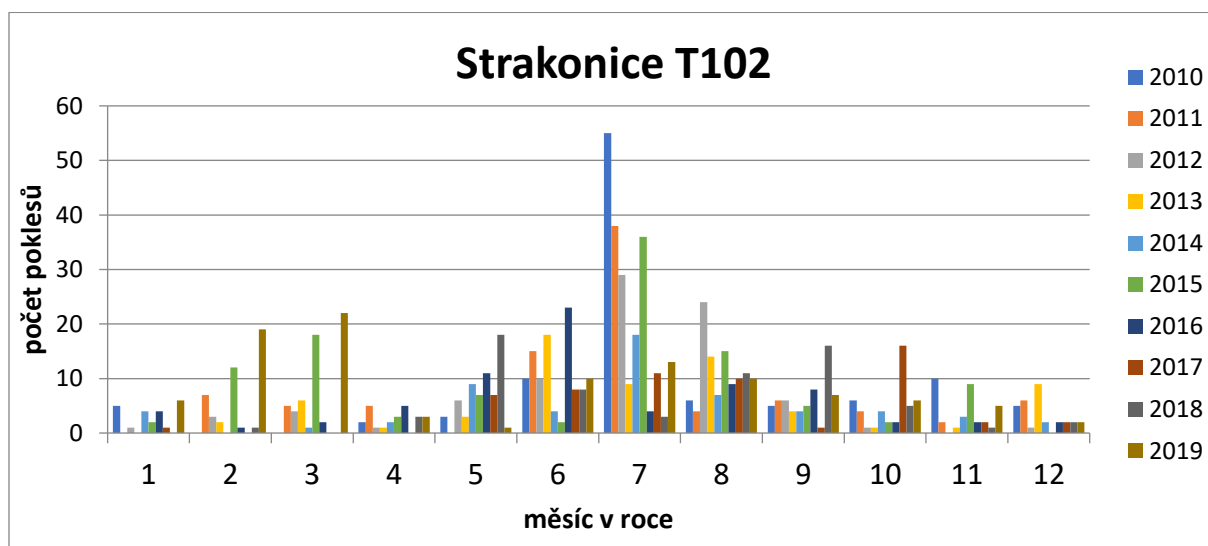


Obr. 5.12 Ilustrace rozdílných způsobů časové agregace poklesů napětí

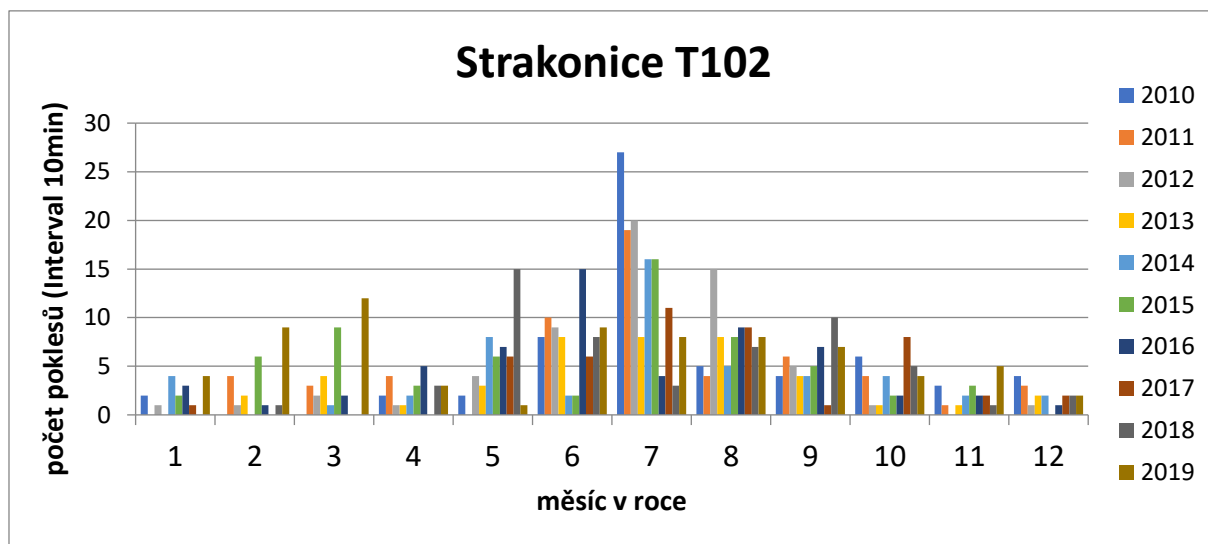
5.4.1 Rozvodny VN

Použití časové agregace je možné demonstrovat na rozvodně VN „Strakonice T102“. Postupně jsem použil desetiminutovou a pak hodinovou agregaci. Z grafů lze jasně vyčíst, že agregace

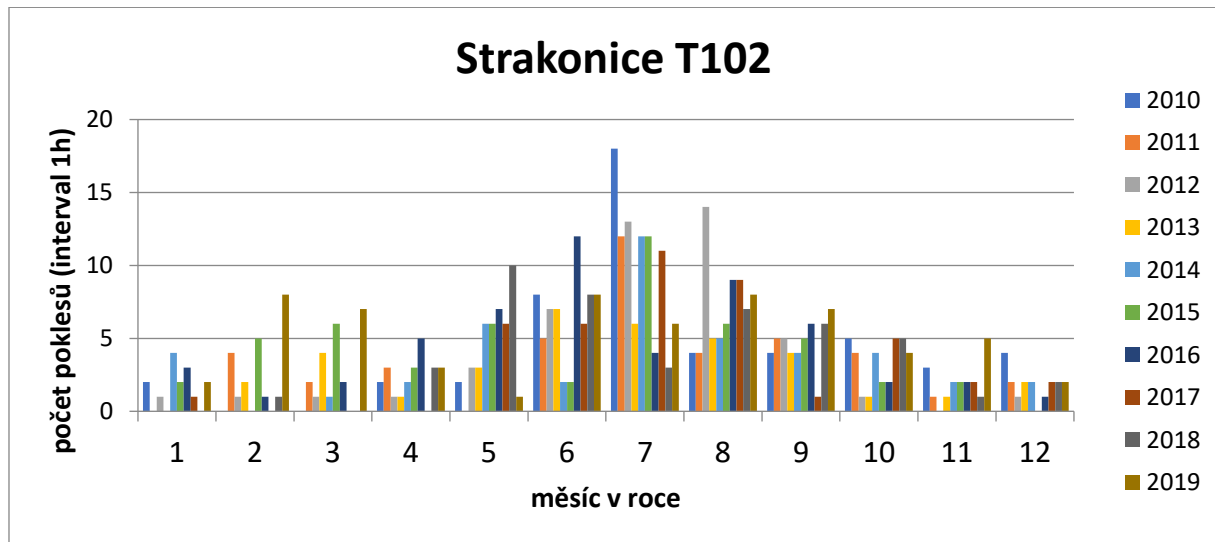
významně snižuje výkyvy poklesů v jednotlivých letech, a tak dává čitelnější přehled o počtu poklesů, které mají skutečný dopad na zákazníka.



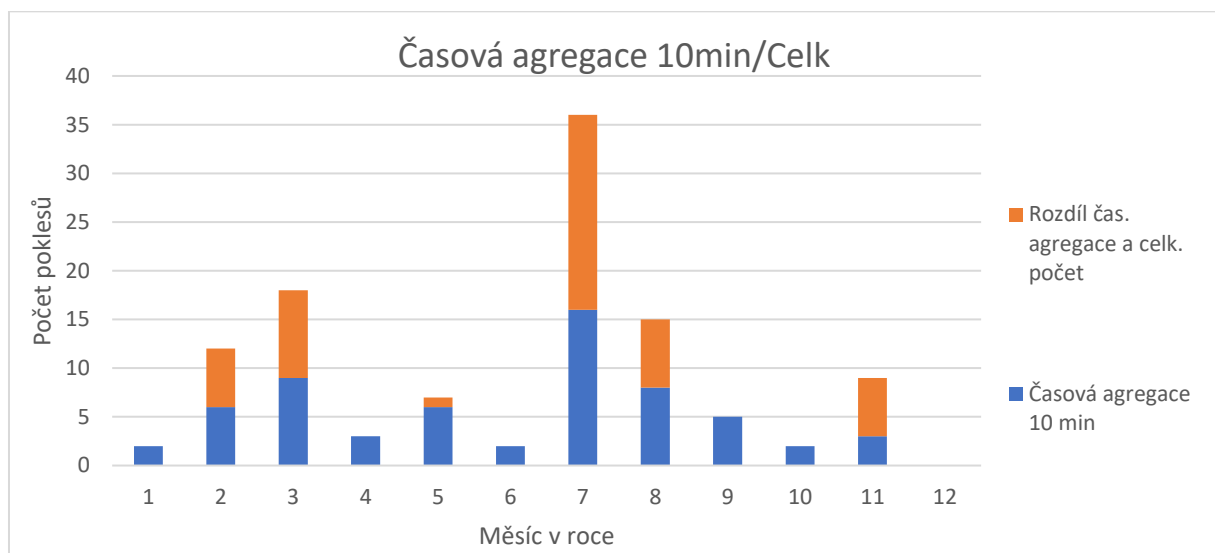
Obr. 5.13 Počet poklesů za měsíc na rozvodně VN „Strakonice T102“, 2010 – 2019



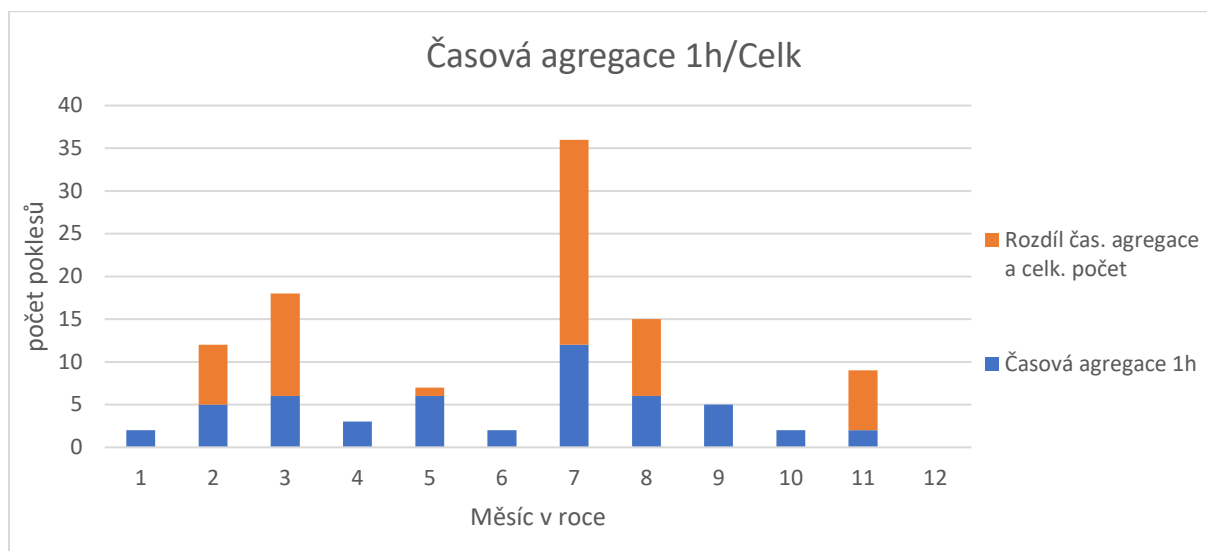
Obr. 5.14 Počet poklesů za měsíc na rozvodně VN „Strakonice T102“, 2010 – 2019, časová agregace 10 minut



Obr. 5.15 Počet poklesů za měsíc na rozvodně VN „Strakonice T102“, 2010 – 2019, časová agregace 1 hodina



Obr. 5.16 Použití časové agregace 10 min na rozvodně VN „Strakonice T102“, rok 2015



Obr. 5.17 Použití časové agregace 1h na rozvodně VN „Strakonice T102“, rok 2015

Nejmarkantnější rozdíl je na rozvodně „Strakonice T102“ vidět v roce 2015 a to konkrétně v červenci. Po použití desetiminutové časové agregace zde zbylo 16 poklesů z původních 36. Po hodinové agregaci dokonce pouze 12 poklesů, tzn. jen jedna třetina z původního počtu. Z detailního výpisu událostí lze pak zjistit, že se rozhodně nejedná o závažné poklesy, neboť zbytkové napětí se pohybuje kolem 80% U_n a délka poklesů je v řádech desítek milisekund. Použití agregace je zde proto vhodné.

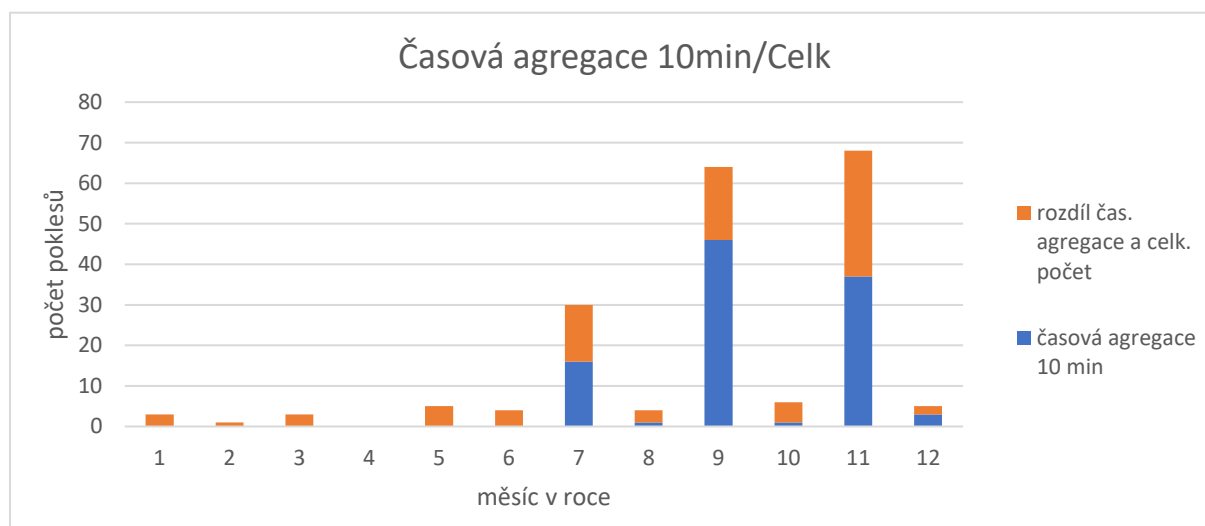
V následující tabulce jsou zaznamenány všechny napěťové události za 5. červenec 2010 na rozvodně „Strakonice T102“, kdy se časová agregace také významně projevila. Zelenou čarou jsem vyznačil poklesy, které by odstranil desetiminutový interval, oranžovou pak hodinový interval. Ze záznamu je vidět, že ve všech případech se nejedná o závažné poklesy, a tudíž je použití časové agregace na místě. Dává nám tak jasnější přehled o dění na síti a zároveň neovlivňuje výsledky měření, co se týče zákazníka a dopadu na něj.

Tab. 5.14 Záznam událostí na napětí na rozvodně „Strakonice T102“, 5. červenec 2010

	Začátek	Konec			Délka	L1 [%]	L2 [%]	L3 [%]
	po 05.07.2010 02:50:37,642	po	05.07.2010	50:37,7	0,06 sec v	83,2		
	po 05.07.2010 02:50:41,450	po	05.07.2010	50:41,5	0,08 sec v		79,7	
	po 05.07.2010 03:14:19,019	po	05.07.2010	14:19,1	0,08 sec v		82,2	
	po 05.07.2010 03:23:22,944	po	05.07.2010	23:23,0	0,08 sec v			80,9
	po 05.07.2010 03:23:24,856	po	05.07.2010	23:24,9	0,08 sec v			80,7
	po 05.07.2010 03:24:51,729	po	05.07.2010	24:51,8	0,08 sec v			80
	po 05.07.2010 03:27:16,231	po	05.07.2010	27:16,3	0,09 sec v	81,3		
	po 05.07.2010 05:23:16,714	po	05.07.2010	23:16,8	0,07 sec v	72,3		
	po 05.07.2010 08:23:56,812	po	05.07.2010	23:56,9	0,08 sec v			80,3
	po 05.07.2010 08:23:57,782	po	05.07.2010	23:57,9	0,08 sec v			80,3
	po 05.07.2010 08:25:48,813	po	05.07.2010	25:48,9	0,09 sec v			80,5
	po 05.07.2010 10:06:56,673	po	05.07.2010	06:56,7	0,07 sec v	88,6		
	po 05.07.2010 10:08:07,222	po	05.07.2010	08:07,3	0,07 sec v			79,8
	po 05.07.2010 10:08:08,653	po	05.07.2010	08:08,7	0,08 sec v			79,8
	po 05.07.2010 10:08:58,096	po	05.07.2010	08:58,2	0,08 sec v	59,6	84,4	
	po 05.07.2010 10:36:56,294	po	05.07.2010	36:56,4	0,08 sec v	89,8	75,6	89,9

5.4.2 Transformační stanice 22/0,4kV

Příklad časové agregace je uveden pro „DTS Březolupy“ z roku 2020. Provedl jsem desetiminutovou a hodinovou agregaci, avšak v tomto případě jsou prakticky shodné. V některých měsících bylo poklesů málo, a tak využití agregace nebylo potřeba, v jiných měsících již však tvořila významnou část poklesů.



Obr. 5.18 Použití časové agregace v „DTS Březolupy“, rok 2020

Nejvyšší podíl má časová agregace v měsíci září. Zde obsáhla bezmála 72% všech poklesů. Dále měla velký význam v červenci a listopadu, kde bylo díky ní možné zanedbat přes 50% poklesů napětí.

Závěr

Smyslem první části práce bylo popsat a vysvětlit jednotlivé pojmy jako kvalita napětí, kvalita elektrické energie a kvalita dodávek elektrické energie. K poslednímu z jmenovaných pojmů se vážou systémové ukazatele dodávek elektrické energie SAIDI, SAIFI, CAIDI a MAIFI. Tyto ukazatele byly popsány a následně ukazatel SAIFI i hodnocen v druhé části práce při vyhodnocování naměřených dat z transformačních stanic 22/0,4kV umístěných na jižní Moravě. Ukazatel hodnotí počet dlouhých přerušení za jeden rok na jednom měřicím místě. Dále byly stručně popsány jevy typu *Disturbances* a podrobně popsány události na napětí (*Events*). Mezi ně patří krátkodobá přerušení, zvýšení napětí a poklesy napětí. Právě krátkodobá přerušení by měla být po novelizaci legislativy hodnocena obdobně jako dlouhodobá přerušení. Dále je v diskuzi hodnocení poklesů, resp. závažných poklesů napětí. Problematika závažných poklesů a jejich hodnocení byla nastíněna v kapitolách 3.2.1 a 4.1. Důležitým faktorem pro určení závažných poklesů je stanovení tzv. křivky odpovědnosti. Ta udává, jak velký pokles napětí a jak dlouhá doba jeho trvání je potřeba k tomu, aby mohl být zařazen jako závažný. Jde tedy o určení parametrů sítě, které jsou již pro zákazníka škodlivé a významněji ho zasáhnou. Takových poklesů je však pouze kolem 5% u sledovaných rozvodů VN, nepatrně vyšší pak u sledovaných transformačních stanic.

Druhá část práce byla věnována vyhodnocení jednotlivých událostí z dostupných dat naměřených v rozvodnách VN a transformačních stanicích 22/0,4kV. Počet dlouhodobých přerušení se během let jasně snižuje. Od počátku měření je také možné sledovat pokles krátkodobých přerušení napětí a s nimi tedy i hodnotu ukazatele MAIFI. U poklesů napětí jsem použil časovou agregaci, jejímž účelem je zvýšit relevantnost získaných dat. Otázky a problematika používání časové agregace byly popsány v kapitole 5.4. Uvažuje se i o agregacích více typů napěťových událostí, avšak v této práci jim není věnována pozornost. Obecně lze říci, že na stanovení trendu, co se týká poklesů nebo zvýšení napětí, není ještě vhodná doba. Tyto události navíc zatím nejsou nikterak posuzovány z hlediska ERÚ, a proto je jen na konkrétním distributorovi, zda se bude snažit tyto události co nejvíce omezit. Jak již ale bylo v práci zmíněno, jedná se o stochastické děje, které jsou tudíž těžko předpověditelné. Není však jisté, zda se s dlouhodobějším pozorováním významně zvýší možnost události na napětí přesněji předpovídat. Postupem času se totiž bude měnit samotná síť a charakter odběrů. Nejvíce nepředvídatelně se z těchto událostí jeví zvýšení napětí. Naštěstí však nejsou ve většině

případů tak častá, aby měla největší vliv na odběratele. Hlavní obranou proti událostem na napětí může být postupná modernizace prvků elektrizační soustavy.

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] Provozovatelé distribučních soustav. Pravidla provozování distribučních soustav. 2016
- [3] Jirů, V. Vyhodnocení výskytu přerušení a událostí na napětí. Plzeň, 2020. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická
- [4] Tesařová, M., Kašpírek, M. Posouzení výskytu poklesů napětí v distribuční soustavě s ohledem na stanovení směrných hodnot, konference ČK CIRED. Tábor 2018.
- [5] PNE 33 3430-7 3. Vydání. Charakteristiky napětí elektrické energie ve veřejné distribuční síti, Procházka K., EGC-EnerGoConsult, s.r.o. Č. Budějovice, Vyskočil V., Brno, Bárta J., ÚJV Řež, a.s. divize Energoprojekt Praha, 2008
- [6] Redakce časopisu, Nesymetrie napětí v distribuční soustavě. ElektroPrůmysl.cz. [online]. [cit. 2.2.2021] ISSN 2571-0761 Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/energetika/nesymetrie-napeti-v-distribucni-soustave>
- [7] 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.
- [8] Zpráva o dosažené úrovni kvality distribuce EG.D. [online]. Dostupné z: <https://www.egd.cz/technicke-informace-o-distribucni-soustave-elekriny-archiv-zprav-o-dosazene-urovni-kvality-distribuce-a-souvisejicich-sluzeb-za-roky-2006-2019.zip>
- [9] Provozovatelé distribučních soustav. Pravidla provozování distribučních soustav. Příloha 3. Kvalita napětí v distribuční soustavě, způsoby jejího zjišťování a hodnocení. 2011.

- [10] Energetický regulační úřad. Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2019. [online]. [cit. 28.4.2021]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/elektrina/statistika-a-sledovani-kvality/zpravy-o-kvalite>
- [11] Energetický regulační úřad. [online]. [cit. 28.4.2021]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/spotrebitel/elektrina>
- [12] Provozovatelé distribučních soustav. Pravidla provozování distribučních soustav. Příloha 6. Standardy připojení zařízení k distribuční soustavě. 2020.
- [13] Council of European Energy Regulators (CEER). [online]. [cit. 12.5.2021]. Dostupné z: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/0f8a1aca-9139-9bd4-e1f5-cdbdf10c4609>

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Schéma motivační regulace kvality,	8
Obr. 3.1 Třífázový pokles napětí [4].....	14
Obr. 3.2 Záznam změny napětí po připojení asynchronního motoru k síti odběratelem (nahore průběh napětí v síti, dole průběh proudu motoru) [4].....	16
Obr. 4.1 Křivky odpovědnosti používané ve Švédsku pro hladiny napětí do 45kV a nad 45kV	19
Obr. 5.1 Počet poklesů a závažných poklesů napětí na jednotlivých rozvodnách VN při použití indikativní křivky odpovědnosti, období 2010 – 2019.....	24
Obr. 5.2 Minimální a maximální počet poklesů napětí na rozvodnách VN za celé sledované období 2010 – 2019	26
Obr. 5.3 Minimální a maximální procentuální počet závažných poklesů napětí na rozvodnách VN za sledované období 2010 – 2019.....	27
Obr. 5.4 Počet poklesů na rozvodnách VN, období 2010 – 2019.....	30
Obr. 5.5 Počet závažných poklesů na rozvodnách VN při použití indikativní křivky odpovědnosti, období 2010 - 2019	31
Obr. 5.6 Počet zvýšených napětí na rozvodnách VN, období 2010 - 2019.....	32
Obr. 5.7 Počet přerušení za rok pro jednotlivé transformační stanice, období 2006 – 2020..	33
Obr. 5.8 Počty krátkodobých a dlouhodobých přerušení na jednotlivých stanicích, období 2006 – 2020.....	34
Obr. 5.9 Počet poklesů napětí na jednotlivých transformačních stanicích, období 2006 – 2020.....	35
Obr. 5.10 Počet zvýšení napětí na jednotlivých transformačních stanicích (bez extrémních hodnot)	38
Obr. 5.11 Počet zvýšení napětí na jednotlivých transformačních stanicích (bez extrémních hodnot), detail.....	38
Obr. 5.12 Ilustrace rozdílných způsobů časové agregace poklesů napětí	39
Obr. 5.13 Počet poklesů za měsíc na rozvodně VN „Strakonice T102“, 2010 – 2019.....	40
Obr. 5.14 Počet poklesů za měsíc na rozvodně VN „Strakonice T102“, 2010 – 2019, časová agregace 10 minut.....	40
Obr. 5.15 Počet poklesů za měsíc na rozvodně VN „Strakonice T102“, 2010 – 2019, časová agregace 1 hodina.....	41
Obr. 5.16 Použití časové agregace 10 min na rozvodně VN „Strakonice T102“, rok 2015	41
Obr. 5.17 Použití časové agregace 1h na rozvodně VN „Strakonice T102“, rok 2015.....	42
Obr. 5.18 Použití časové agregace v „DTS Březolupy“, rok 2020	43

Seznam tabulek

<i>Tab. 4.1 Vyhodnocení poklesů napětí podle [1]</i>	18
<i>Tab. 4.2 Vyhodnocování poklesů napětí podle [9]</i>	18
<i>Tab. 4.3 Vyhodnocení zvýšení napětí podle [1]</i>	20
<i>Tab. 4.4 Vyhodnocení zvýšení napětí podle [9]</i>	20
<i>Tab. 5.1 Záznam o událostech na napětí z rozvodny VN „Strakonice T101“, rok 2011</i>	22
<i>Tab. 5.2 Třídící tabulka poklesů včetně určení počtu závažných poklesů (žlutá buňka) z rozvodny VN „Strakonice T101“, rok 2011</i>	23
<i>Tab. 5.3 Souhrnné informace o poklesech napětí na rozvodnách VN za roky 2010 – 2019</i>	28
<i>Tab. 5.4 Rozdělení poklesů na rozvodnách VN za roky 2010 - 2019</i>	28
<i>Tab. 5.5 Rozdělení poklesů na rozvodnách VN za roky 2010 – 2019 po použití francouzské křivky odpovědnosti</i>	28
<i>Tab. 5.6 Rozdělení poklesů na rozvodnách VN za roky 2010 – 2019 po použití švédské křivky odpovědnosti. Oblast B – oranžová, oblast C – žlutá barva</i>	29
<i>Tab. 5.7 Počet závažných poklesů na rozvodnách VN a jejich přepočítání na jedno měřící místo při použití indikativní křivky odpovědnosti, období 2010 - 2019</i>	30
<i>Tab. 5.8 Souhrnné informace o zvýšení napětí na rozvodnách VN za roky 2010 - 2019</i>	32
<i>Tab. 5.9 Počty krátkodobých a dlouhodobých přerušení na jednotlivých stanicích, období 2006 – 2020</i>	34
<i>Tab. 5.10 Souhrnné informace o poklesech napětí na transformačních stanicích za roky 2006 – 2020</i>	35
<i>Tab. 5.11 Rozdělení poklesů na transformačních stanicích, 2006 – 2020</i>	36
<i>Tab. 5.12 Rozdělení poklesů na transformačních stanicích po použití francouzské křivky odpovědnosti, 2006 – 2020</i>	36
<i>Tab. 5.13 Rozdělení poklesů na transformačních stanicích po použití švédské křivky odpovědnosti. Oblast B – oranžová, oblast C – žlutá barva, 2006 – 2020</i>	37
<i>Tab. 5.14 Záznam událostí na napětí na rozvodně „Strakonice T102“, 5. červenec 2010</i>	43