



Fakulta elektrotechnická
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh venkovské distribuční sítě NN

Autor práce: Jiří Petrášek

Vedoucí práce: doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.

Plzeň 2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2019/2020

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

Jméno a příjmení: **Jiří PETRÁŠEK**
Osobní číslo: **E16B0044P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Téma práce: **Návrh venkovské distribuční sítě NN**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Zásady pro vypracování

1. Uveďte postupy a hlediska uplatňující se při návrhu či rekonstrukci sítí nízkého napětí. Shrňte trendy a zásady aplikované v praxi.
2. Popište stávající stav sítě NN v dané lokalitě (fyzický stav prvků sítě, zatížení sítě, kvalita napětí), posuďte budoucí rozvoj zásobované oblasti a navrhňte nápravná opatření.
3. Provedte návrh rekonstrukce či rozšíření sítě s ohledem na budoucí rozvoj dané lokality.
4. Posuďte při návrhu úroveň kvality napětí v dané síti z hlediska odchylek napětí.

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

Seznam doporučené literatury:

1. Kříž, Michal: Dimenzování a jištění elektrických zařízení – tabulky a příklady, 4. aktualizované vydání, IN-EL, 2015.
2. ČSN 332000-5-523: Elektrická zařízení, část 5 Výběr a stavba el. zařízení – Dovolené proudy.
3. Příručka elektrotechnika – Jisticí přístroje I a II, firemní materiály OEZ, 2012.
4. PNE 33 0000- 1 Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě, 2017.

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 Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 4. října 2019

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá distribuční sítí nízkého napětí v obci Velký Bor.

V teoretické části se práce věnuje popisu stávajícího stavu sítě, technickým parametrům a využívaným trendům při budování či rekonstrukci distribučních sítí. Praktická část práce se zabývá měřením parametrů na síti a následným vyhodnocením stavu sítě.

Výsledkem této práce je posouzení naměřených parametrů na síti a následné navržnutí nápravných opatření s přihlédnutím na budoucí rozvoj obce.

Klíčová slova

distribuční síť, nízké napětí, kvalita napětí, měření na síti, návrh sítě, rekonstrukce sítě

Abstract

Petrášek, Jiří. *Design of rural LV distribution grid [Návrh venkovské distribuční sítě NN]*. Pilsen, 2020. Bachelor thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Electromechanics and Power Electronics. Supervisor: Miloslava Tesařová

The thesis deals with the low voltage distribution grid in the village Velký Bor.

In the theoretical part, the current state of the grid, technical parameters and trends used in the construction or reconstruction of distribution grid are described. The practical part of the work deals with voltage quality measurement in the grid and its evaluation.

Finally, the state of the grid is assessed and the remedial measures are proposed.

Keywords

distribution grid, low voltage, voltage quality, measuring the grid, design of the grid, reconstruction of the grid

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

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

V Plzni dne 19. června 2020

Jiří Petrášek

.....

Podpis

Obsah

Seznam obrázků	vii
Seznam tabulek	viii
Seznam symbolů a zkratk	ix
1 Úvod	1
2 Popis stávajícího stavu sítě	2
2.1 Geografická poloha	2
2.2 Trafostanice, umístění, napájení	3
2.2.1 TS Obec	4
2.2.2 TS ZD	4
2.3 Jednotlivé vývody TS Obec	4
2.3.1 Větev směr č.p. 51	4
2.3.2 Vývod směr pilíř SR5	4
2.3.3 Pilíř SR5	5
2.3.4 Větev směr Strunkovice nad Blanicí	5
2.3.5 Větev směr Netolice	5
2.4 Jednotlivé vývody TS ZD	5
2.4.1 Vývod směr pilíř u bytovek	5
2.4.2 Vývod směr podnikání Muška	5
2.4.3 Větev směr kravín	6
2.4.4 Větev směr Bavorov	6
2.5 Samoty, popis, umístění	6
2.6 Podnikání, vyšší odběry	7
2.7 Typy použitých vodičů	7
2.7.1 Zemní vodiče	7
2.7.2 Vzdušné venkovní vodiče	8
2.7.3 Závěsné kabely	8
2.7.4 Tabulkový souhrn použitých vodičů v obci	9
2.8 Jistí prvky v obci	10
2.8.1 Pojistka	10

2.8.2	Jistič	10
2.9	Aktuální stav sítě	12
3	Základní parametry distribučních soustav nízkého napětí	13
3.1	Kvalita napětí	13
3.2	Velikost napětí v přípojném místě	14
3.2.1	Úbytky napětí	14
3.3	Kolísání napětí (flickr - blikání)	14
3.3.1	Intenzita flickru	15
3.4	Nesymetrie fází	15
3.5	SAIDI a SAIFI	15
3.6	Účinník a kmitočet v síti	15
3.7	Zkratová impedance (vztažná)	16
3.7.1	Impedance poruchové smyčky	16
3.8	Součinitel náročnosti	17
3.9	Trendy využívané při budování/rekonstrukci distribučních soustav	17
3.9.1	Volba typu a výkonu distribuční trafostanice	18
3.9.2	Výkonové dimenzování	19
3.9.3	Volba průřezu vedení NN	19
3.9.4	Maximální délka vývodu	19
3.9.5	Souhrn rozdílů v novodobých trendech x historické řešení sítí	20
4	Postup měření	21
4.1	Osazování důležitých míst přístroji pro měření	21
4.1.1	Osazování TS Obec	21
4.1.2	Osazování pilíře SR5	22
4.1.3	Osazování čp.22 Obora	23
4.1.4	Osazování TS ZD	24
4.1.5	Osazování 27/5 Jiráň	25
4.2	Postup vyhodnocování důležitých hodnot měření	26
4.2.1	Hodnoty při maximálním proudovém zatížení trafostanice	27
4.2.2	Hodnoty nejnižšího napětí v nejvzdálenějším bodě	27
4.3	TS Obec při maximálním proudovém zatížení	27
4.4	TS ZD při maximálním proudovém zatížení	29
4.5	Čp. 22 Obora (jižní samoty) s maximálním úbytkem napětí	32
4.6	Parcela 27/5 Jiráň (severní skupina samot) s maximálním úbytkem napětí	32
4.7	Namodelovaný případ pro TS Řídký	33
5	Rozbor parametrů a metod pro zjišťování kvality napětí	35
5.1	Jednotlivé metody	35
5.2	Rozdíly ve výsledcích jednotlivých metod	36

5.3	Oficiální posouzení kvality napětí v koncových bodech	37
5.3.1	Čp. 22 Obora	37
5.3.2	Parcela 27/5 Jiráň směr Bavorov	37
5.4	Posouzení kvality napětí vlastními slovy	38
5.5	Budoucí rozvoj obce Velký Bor	38
5.6	Navrhovaná nápravná řešení	38
5.6.1	Osazení dalšího transformátoru	38
5.6.2	Výměna průřezů vodičů	39
5.6.3	Zavěšení vodiče pod stávající vedení	40
5.6.4	Nápravné opatření na trafostanici TS Obec	40
5.6.5	Případ pro budování solární elektrárny	40
6	Závěr	42
	Reference, použitá literatura	44

Seznam obrázků

2.1	Geografická poloha obce Velký Bor.	2
2.2	Přiblížení mapy s popisem důležitých míst.	3
2.3	Příklad kabelu AYKY.	7
2.4	Struktura AlFe lan.	8
2.5	Struktura kabelu AYKYz 4x16 s popisem.	8
2.6	Vypínací charakteristika jednotlivých typů jističů.	11
4.1	Osazené měření v TS Obec.	22
4.2	Osazené měření v Pilíři SR5.	23
4.3	Osazené měření u čp. 22 Obora.	24
4.4	Osazené měření TS ZD.	25
4.5	Osazené měření u čp. 27/5 Jiráň.	26
4.6	Průběh proudu v TS Obec po dobu měření.	28
4.7	Průběh napětí v TS Obec po dobu měření.	28
4.8	Napěťové poměry na Č.P. 22 při maximálním proudovém zatížení TS Obec.	29
4.9	Průběh proudu v TS ZD po dobu měření.	30
4.10	Průběh napětí na TS ZD po dobu měření.	31
4.11	Napěťové poměry na parcele 27/5 při maximálním proudovém zatížení TS ZD.	31
4.12	Průběh napětí na Č.P. 22 po dobu měření.	32
4.13	Průběh napětí na parcele 27/5 po dobu měření.	33
5.1	Závěsný izolovaný vodič AES.	40

Seznam tabulek

2.1	Celkový počet všech použitých vodičů v obci.	9
2.2	Souhrn všech použitých venkovních vzdušných vodičů	9
2.3	Souhrn všech použitých kabelových zemních vodičů.	9
3.1	Životnost jednotlivých prvků v síti.	18
3.2	Řešení jednotlivých parametrů při návrhu či rekonstrukci.	19
4.1	Rozdíl napětí na čp.22 při modelovém napájení z bližší trafostanice.	34
5.1	Naměřené hodnoty při maximálním proudovém zatížení TS.	36
5.2	Naměřené a vypočtené hodnoty pro minimální napětí.	37

Seznam symbolů a zkratek

TS	trafostanice
NN	nízké napětí
Un	nominální napětí[V]
I	proud [A]
km	kilometr
čp	číslo popisné
mm	milimetr
VN	Vysoké napětí
β	koeficient soudobosti
U	napětí [V]

Kapitola 1

Úvod

Tato práce se zabývá distribuční sítí nízkého napětí v obci Velký Bor, posouzení jejího stávajícího fyzického stavu s přihlédnutím na budoucí rozvoj dané obce, obecné využívané trendy v konstrukčním řešení sítí nízkého napětí z hlediska rozdílu minulosti a současnosti.

Hlavní kritérium práce řeší elektrické parametry sítě, kvalitu dodávky napětí do koncových bodů rozvodné soustavy, impedanci poruchové smyčky v těchto koncových bodech a případně návrh nápravných opatření při řešení budoucího rozvoje obce. Posledním bodem je pak porovnání jednotlivých způsobů vyhodnocování kvality napětí a jejich posouzení z hlediska nejpřesnějšího určení výsledných hodnot.

V prvním bodě práce tedy přesně popisují stávající stav sítě Velký Bor, její geografickou polohu, napájení obce z přenosové sítě vysokého napětí, jednotlivé trafostanice a jejich vývody, použité vodiče pro rozvod po obci, jistící prvky použité v obci.

V druhém bodě shrnuji základní parametry distribučních soustav nízkého napětí a jejich význam a použití v praxi. Dále pak trendy využívané při návrhu popř. rekonstrukci těchto distribučních sítí.

Třetí bod se zabývá vlastním měřením, které bylo provedeno v trafostanicích a koncových bodech, hlavní náplní měření bylo vyhodnocení úbytků napětí a poté posouzení kvality napětí. Zde popisují postup měření a následné vyhodnocení jednotlivých prvků tohoto měření. Také zde zahrnuji hodnoty v těch samých místech namodelované počítačovým programem a okrajově přidávám i vlastní počítání jednotlivých úbytků.

Výsledkem čtvrtého bodu by mělo být posouzení jednotlivých metod pro zjištění kvality napětí a rozdíly mezi jednotlivými metodami plus odůvodnění odchylek při těchto použitých metodách. Dále pak typový návrh rozšíření sítě a následné řešení tohoto problému s přihlédnutím do předchozích hodnot.

Měření kvality napětí bylo u této obce provedeno hlavně z důvodu velmi dlouhých vývodů na samoty. Zde je problematické dodržet požadovanou kvalitu dodávané energie a posuzování naměřených hodnot je proto zajímavé.

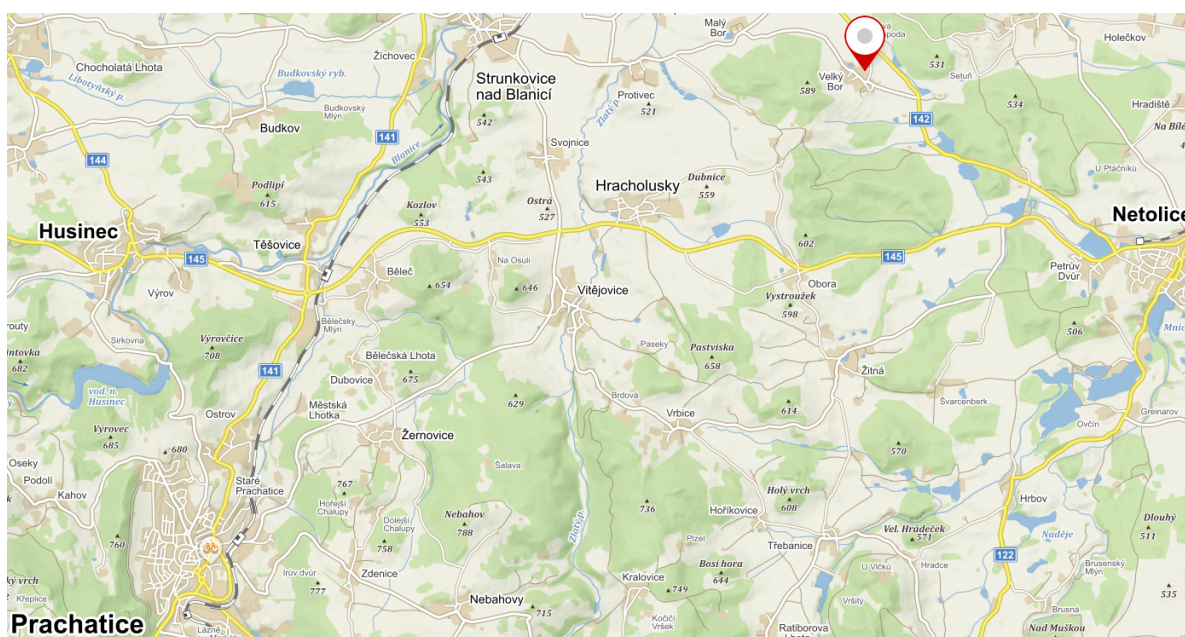
Kapitola 2

Popis stávajícího stavu sítě

2.1 Geografická poloha

Obec Velký Bor spadá pod městys Strunkovice nad Blanicí. Samotná obec se potom nachází v okrese Prachatice, přibližně 20 km severovýchodním směrem od města Prachatice. V obci využívá trvalé bydliště přibližně 100 obyvatelů, nepatrnou část pak tvoří rekreační pozemky, které nejsou obývány celoročně.

Velký Bor by se dal pro přehlednost rozdělit na dvě základní části. První je jádro obce, kde je hustota zastavení největší. Druhou částí jsou pak 2 skupiny samot, značně vzdáleny od obce, kde je první skupina samot orientovaná severně od obce se vzdáleností přibližně 2 km od samotné vsi. Druhou skupinu nalezneme jižně od obce se vzdáleností 1,5 km. Samoty jsou z hlediska kvality napětí jedny z nejproblematičtějších míst, jelikož se vzrůstající se vzdáleností k odběrnému místu roste i úbytek napětí na dané větvi.



Obrázek 2.1: Geografická poloha obce Velký Bor. Červným bodem je vyznačena obec.

[Převzato z [2]]

Za zmínku také stojí několik míst s větším odběrem, než činí samotná bytová jednotka. Jedná se o podnikání - jmenovitě o zemědělské podniky a také pilu. Více se u jednotlivých míst detailněji rozepíšu u popisu dílčích větví.



Obrázek 2.2: Přiblížení mapy s popisem důležitých míst. |Převzato z [2]|

2.2 Trafostanice, umístění, napájení

Celou obec Velký Bor napájí 2 trafostanice 22/0,4 kV s typovým výkonem 160 kVA a jsou osazeny hlavními jističi 250 A každá. Přívod na primární vinutí trafostanic je řešen přenosovým vedením 22 kV z rozvodny Těšovice. Obec Těšovice je od obce Velký Bor vzdálená cca 15 km.

Pro jednodušší rozdělení se dá říci, že každá z trafostanic zásobuje přibližně půl obce, jedná se ale o rozloze celé vesnice nikoliv o hustotě napájecích míst. Vždy ve výpočtech i v mapách tedy budu vycházet buď to z trafostanice TS Obec, nebo TS ZD a pokračovat na nejbližší měřený bod.

2.2.1 TS Obec

Tato trafostanice se nachází v centru celé vesnice, pokrývá tedy většinu samotné vsi, kde je hustota přípojných míst největší. Samotná trafostanice je typizovaná na venkovním betonovém stožáru. Skládá se ze samotného transformátoru, který je chlazen olejově a proudění vzduchu je přirozené (ONAN). Z rozvodné skříňe, kde je přítomen hlavní jistič a jednotlivé vývody nízkého napětí. Tato trafostanice byla postavena jako posílení pro obec při rekonstrukci v roce 1997. Z této TS budu uvažovat dva základní směry rozvodu, první z větví jde k dvěma bytovkám, kde se nalézá 9 bytových jednotek a druhá hlavní větev jde na pilíř SR5, ze kterého je zajištěn další rozvod v obci. Samostatné větve budu detailněji rozepisovat ve vlastním bodě.

2.2.2 TS ZD

Druhá jmenovaná trafostanice se nachází v severní až severovýchodní části obce a zajišťuje dodávku již zmíněných činností podnikání, typově je shodná s TS Obec. Do roku 1997 byla tato TS v obci jediná, poté posílená o TS Obec. V roce 2017 proběhla celková rekonstrukce trafostanice z důvodu životnosti, životnost jedné TS se odhaduje na cca 40 let provozu. Hlavní vývod, který budu u TS ZD uvažovat, je do severní části obce a potom dále na severní skupinu samot.

2.3 Jednotlivé vývody TS Obec

2.3.1 Větev směr č.p. 51

Ze samotné trafostanice tedy pokračuje kabel AYKY 3x185+95 cca 55 metrů k odběrnému místu č.p. 51, odtud pak o tom samém průřezu dochází za dalších 150 metrů k pilíři který je situován u první z bytovek. K bytovkám je potom veden kabel AYKY 3x50 (k první bytovce 20 metrů, od první ke druhé potom 40 metrů) který se vrací zpátky do pilíře u bytovek (60 metrů). Tato metoda kruhování se využívá z důvodu možnosti napájení alespoň části odběrných míst, v případě paprsku by v případě poruchy nebyla možnost jakkoli dodávat elektrickou energii k již zmíněným místům. Na této větvi nebylo provedeno měření z toho důvodu, že se jedná o velmi krátkou větev a předpokládám, že kvalita napětí a jiné parametry jako je flickr tu budou vždy splněny.

2.3.2 Vývod směr pilíř SR5

Druhý hlavní vývod z trafostanice je tedy veden dvěma paralelními zemními kabely AYKY z nichž má každý průřez 3x240+120 a je dlouhý 40 metrů a veden k pilíři SR5. U těchto paralelních kabelů budu při samotných výpočtech i modelování vycházet z tvrzení, že v obou teče stejný proud.

2.3.3 Pilíř SR5

Samotným číslem 5 u tohoto pilíře se označuje počet (odboček). Jedná se tedy o přívod dvou paralelních kabelů od trafostanice (2 přívody), poté je jeden vývod z pilíře veden větví do obce s označením směr Strunkovice nad Blanicí, druhý vývod je pak veden přes obec až na jižní stranu samot s označením směr Netolice. Třetí vývod zahrnuje veřejné osvětlení obce. Na tomto pilíři bylo provedeno měření přístrojem.

2.3.4 Větev směr Strunkovice nad Blanicí

Vzhledem k teoretickým předpokladům a rozložení sítě by na konci tohoto vedení neměl vznikat žádný razantnější pokles napětí a proto na konci této větve neproběhlo měření přístroji. Za zmínku tedy stojí alespoň použité vodiče. Od pilíře SR5 se vedení v této větvi mění na vzdušné a pro celou hlavní větev je použitý vodič AlFe 4x70/11, pro odbočky od tohoto hlavního vzdušného vedení k dalším napájecím místům jsou pak použita závěsné vodiče AYKYz 4x16.

2.3.5 Větev směr Netolice

Tato část vedení zásobuje jižní část obce a dále i jižní část samot. U jednoho z těchto přípojných míst na jižních samotách bylo provedeno měření, touto konkrétní větví se tedy budu zabývat více hlavně ve třetím bodě práce. Skoro celá větev je konstrukčně řešena přes vzdušné venkovní vedení a je použit vodič AlFe 4x70/11, zbytek přípojných míst je pak řešen stejně jako u větve směrem Strunkovice nad Blanicí přes závěsné vodiče AYKYz 4x16 popřípadě AYKYz 4x35. Na této větvi se mimo jiné nachází i pila, která je osazena jističem 32A typ C. Tyto typy jističů (hlavně C a D) se používají hlavně pro jištění motorů, z důvodu velkého proudového zatížení při rozběhu.

2.4 Jednotlivé vývody TS ZD

2.4.1 Vývod směr pilíř u bytovek

Jedná se o 225 metrů dlouhý zemní kabel AYKY 3x185+95, kde po cestě nejsou kromě samotného pilíře žádná jiná přípojná místa. Tento kabel sloužil pro napájení bytovek do rekonstrukce, kdy byla obec posílena o druhou trafostanici TS Obec. Nyní je tento kabel využíván naprázdno a dodávka elektrické energie je vedena od druhé trafostanice. Na této větvi by tedy bylo zbytečné měřit.

2.4.2 Vývod směr podnikání Muška

Jedná se o nejnovější vývod v celé obci, vyhotovený kvůli novému podnikání. Výkop a položení kabelu bylo provedeno v roce 2020 a na jeho konci jsou dvě přípojná místa s

typovými jističi 80A a 20A. V této době nejsou zatím tyto přípojná místa provozovaná, ale v průběhu několika dalších měsíců předpokládám klasický provoz obou přípojek. 80A jistič je největší, co lze v celé obci najít a lze předpokládat, že při provozu bude mít tato přípojka největší odběr. Samotný zemní kabel je novější typ NAYY 4x150 a byl předem vypočítán jako vyhovující pro takto vysoký odběr.

2.4.3 Větev směr kravín

Nejkratší větev ze všech vývodů TS ZD dlouhá cca jen 200 metrů. Na jejím konci lze nalézt dvě přípojná místa osazena jističi 40A každé. Od těchto dvou přípojek kabel AYKY 3x120+70 pokračuje a je též zakruhován do větve směr Bavorov, o které píše hned po této větvi. Důvod je stejný, jako zakruhování u bytovek, možnost napájení alespoň jednoho odběrného místa v případě, že by na druhém vznikla porucha.

2.4.4 Větev směr Bavorov

Jedná se o nejdelší větev z trafostanice TS ZD a má ze všech vývodů již zmíněné trafostanice nejvíce přípojných míst po cestě. Zásobuje severní část obce a pokračuje dále směrem k severním samotám. V tomto případě vedení na samotu je ale znatelně více přípojných míst, než v případě u jižních samot. S již zmíněnou celkovou délkou do nejzazšího bodu okolo 2 kilometrů se jedná o nejdelší rozvod z celé obce. Konstrukčně je vedení řešené vzdušnými vodiči AlFe 4x70/11 s výjimkou hrstky přípojek, které jsou provedeny přes závěsné vodiče AYKYz 4x16. Na konci této větve bylo provedeno měření přístroji, a to hlavně z důvodu předpokládaného vysokého úbytku napětí s rostoucí vzdáleností od trafostanice.

2.5 Samoty, popis, umístění

V severním uskupení samot bylo provedeno měření přípojce s označením parcela 27/5, nejedná se zde o nejzazší bod od trafostanice TS ZD, byl vybrán hlavně kvůli snadnému přístupu a umístění měřicího přístroje. Jedná se o rodinné domy nebo chalupy využívané pouze k rekreačním účelům. Jižní skupina má o poznání méně přípojných míst, než v případě severní skupiny samot. Měření zde bylo provedeno na přípojce s označením SV2 u čp. 22 Obora. Pro tuto skupinu samot byl namodelovaný stav, kdy je energie k tomuto přípojnému bodu vedena z trafostanice ze sousední vesnice, která je znatelně blíže, než je to v případě vedení z TS Obec. Blíže se tímto problémem budu zabírat ve třetím bodě práce a porovnávat, jak se změnila kvalita napětí v přípojném bodě.

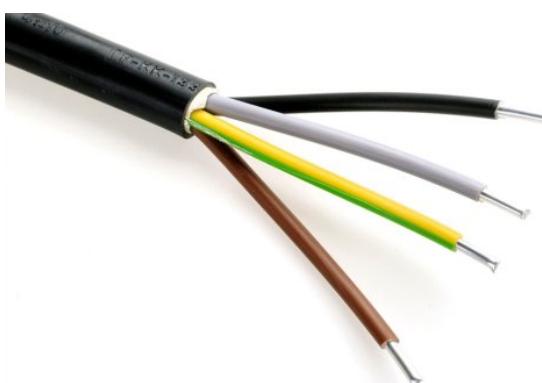
2.6 Podnikání, vyšší odběry

V obci Velký Bor lze nalézt celkem čtyři místa, která stojí za zmínku z hlediska vyššího odběru elektrické energie. Jedná se o dvě přípojky kravín, pila a v poslední řadě pak podnikání – Muška. Přípojky kravín jsou osazeny jističi 40A, pila 32A (typ jističe C), největší předpokládaný odběr odvozený od velikosti jističe je pak podnikání – Muška s typovým jističem na přípojce 80A. U všech těchto míst předpokládám rozběhy trojfázových motorů, což má za následek proudové zatížení v síti. U samotné pily je samotné rozbíhání trojfázového motoru zřejmé. U kravína se pak jedná o různé přístroje na dojení dobytka, které jsou taktéž poháněny přes 3f motory. Podnikání – Muška zatím neodebírá žádnou elektrickou energii, ale v budoucích měsících předpokládám připojení a pohánění podobných strojů, jako v případě kravína.

2.7 Typy použitých vodičů

2.7.1 Zemní vodiče

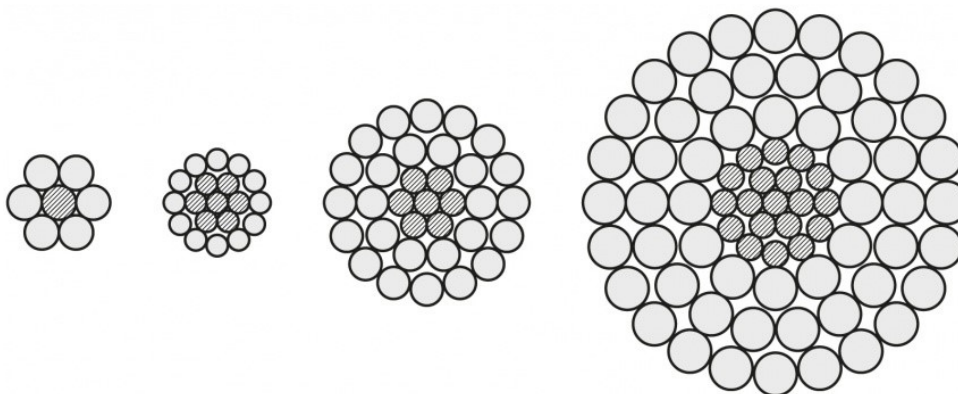
Jedná se o kabely položené v zemi popřípadě do kabelových kanálů. Nejčastějšími zástupci jsou vodiče AYKY, CYKY, nebo novější kabely ANYY. Všechny tyto vodiče se skládají ze 4 žil, rozumí se tím 3 fáze klasicky označené (hnědá, černá, šedá), střední vodič (zelenožlutá). Jako izolaci využívají tyto vodiče PVC. Označení AYKY reprezentuje hliník jako použitý materiál, CYKY měď. AYKY a CYKY vodiče mají u svého označení např. 3x120+70. První číslo reprezentuje průřez jednotlivých fází, číslo za znamínkem plus potom průřez středního vodiče, který je v případech těchto kabelů menší. V případě kabelů ANYY má střední vodič stejný průřez jako samotné fázové vodiče (proto má označení pouze např. 4x150). Mezi jednotlivými žilami kabelu a pláštěm je vyplňovaná guma. Jako mechanická ochrana je kabel NAYY potažen pláštěm z PVC. Kabel je z hlediska požární odolnosti definovaný jako samozhášivý (ČSN EN 60332-1-2) a je ÚV odolný. To znamená, že v případě vzniku oblouku vysoká teplota nepropálí izolaci kabelu a oblouk se zadusí. Kabely AYKY a CYKY tuto ochranu nemají. [5]



Obrázek 2.3: Příklad kabelu AYKY s barevným provedením jednotlivých žil.

2.7.2 Vzdušné venkovní vodiče

Při konstrukčním řešení venkovních vzdušných vodičů se v drtivé většině využívají kombinovaná AlFe lana. Tyto vodiče se skládají ze dvou materiálů, z nichž má jeden dobré mechanické vlastnosti a druhý zase dobré elektrické vlastnosti. Ocelovému lanu se také říká jádro, hliníkovému obalu potom plášť. Ocelová část má za úkol dostatečnou mechanickou pevnost, nosnost celku a také brání v natahování hliníkové části vodiče. Hliníková část zprostředkovává samotný průchod elektrického proudu. Nevýhodou těchto venkovních vodičů mohou být okolní vlivy počasí nebo spadlé větve. [3]



Obrázek 2.4: Struktura AlFe lan při různých průřezech. [Převzato z [3]]

2.7.3 Závěsné kabely

V obci je možnost se setkat i s vodiči AYKYz, které jsou vedeny k jistým přípojným bodům, tyto kabely mají stejnou charakteristiku jako výše popsané AYKY, jedinou změnou se rozumí ocelové lano nad samotnými žilami kabelu. Toto lano slouží pro samotné zavěšení, má velmi dobré mechanické vlastnosti a drží celou váhu kabelu, má taktéž vlastní izolaci oddělenou od hlavního jádra kabelu. [5]



Obrázek 2.5: Struktura kabelu AYKYz 4x16. **1)**Al jádro (RE), **2)**Izolace (PVC), žíly jsou stočené do duše kabelu, **3)**Obal (výplňová guma), **4)**Lano (stočené pozinkované ocelové dráty, **5)**Plášť (PVC čený, odolný proti UV záření).

2.7.4 Tabulkový souhrn použitých vodičů v obci

Tabulka 2.1: Celkový počet všech použitých vodičů v obci Velký Bor.

Soupiska linek	Počet [-]	Délka [m]
Celkově	134	6507,68

Tabulka 2.2: Souhrn všech použitých venkovních vzdušných vodičů.

Venkovní vedení	Počet [-]	Délka [m]
Celkem	67	4741,31
NNK_AYKYz_4x16	23	426,54
NNK_AYKYz_4x25	6	128,27
NNK_AYKYz_4x35	3	73,66
NNV_AlFe_4x16	2	66,53
NNV_AlFe_4x35	6	1069,02
NNV_AlFe_4x42/7	5	171,28
NNV_AlFe_4x70	5	1322,58
NNV_AlFe_4x70/11-1	17	1483,43

Tabulka 2.3: Souhrn všech použitých kabelových zemních vodičů.

Kabelové vedení	Počet [-]	Délka [m]
Celkem	67	1766,36
NNK_1-NAYY-J_4x150	4	526,11
NNK_1-NAYY-J_4x240	1	2,93
NNK_1-NAYY-J_4x25	4	63,32
NNK_1-NAYY-J_4x50	1	73,45
NNK_AYKY_3x120+70	5	297,73
NNK_AYKY_3x185+95	3	423,29
NNK_AYKY_3x240+120	2	91,73
NNK_AYKY_4x16	37	118,78
NNK_AYKY_4x25	3	8,09
NNK_AYKY_4x35	3	33,55
NNK_AYKY_4x50	3	121,48
NNK_AYKY_4x70	1	5,91

2.8 Jistí prvky v obci

2.8.1 Pojistka

Jedná se o jednoduchou a nenáročnou součástku. U principu pojistky je využito jevu, kdy proud procházející vodičem způsobuje jeho ohřev. Samotná pojistka je chápána jako nejslabší článek z celého chráněného obvodu. Při zvýšeném proudu a již zmíněném ohřívání dojde k přetavení tohoto slabého bodu a tím přerušení obvodu – to znamená ochránění důležitých částí obvodu. Čím je proud větší, tím je čas, za který se vodič ohřeje kratší. Při velkém nadproudu se vodič v pojistce přetaví v řádu tisícin vteřiny a dojde tomu tak v čase, než ještě stihne uvažovaný proud dojít svého maxima.

Samotná pojistka malé proudy do velikosti jmenovitého proudu pojistkové vložky nevypíná a ani nesmí vypnout. Dle normy po určitou dobu podle jmenovitého proudu (1 hodina, 63 A) kdy nastane nárůst jmenovitého proudu 1,3 až 1,5 násobek podle druhu a velikosti pojistky za tuto dobu vypnout nesmí. Je nežádoucí, aby pojistka reagovala při malých krátkodobých přetíženích. Pojistka potom reaguje správně při nárůstech proudu od 1,6 – 2,1 násobku jmenovitého proudu pojistky.

Jako výhody pojistek lze uvažovat např. jednoduchost a spolehlivost funkce pojistky, malé vlastní ztráty v celém obvodu a velmi malé oteplení, odolnost proti stárnutí i po letech nepoužívání (samotný tavný prvek způsobující jistící vypínání nestárne). Nevýhodou je pak nutnost vyměnit pojistkovou vložku při každém správném zapůsobení pojistky a to za stejnou vložku nebo s podobnou ampérosekundovou charakteristikou. V obci Velký Bor se lze setkat hlavně s nožovými pojistkami pro různé jmenovité proudy. Tyto nožové pojistky mají výhodu snadné manipulace. [1]

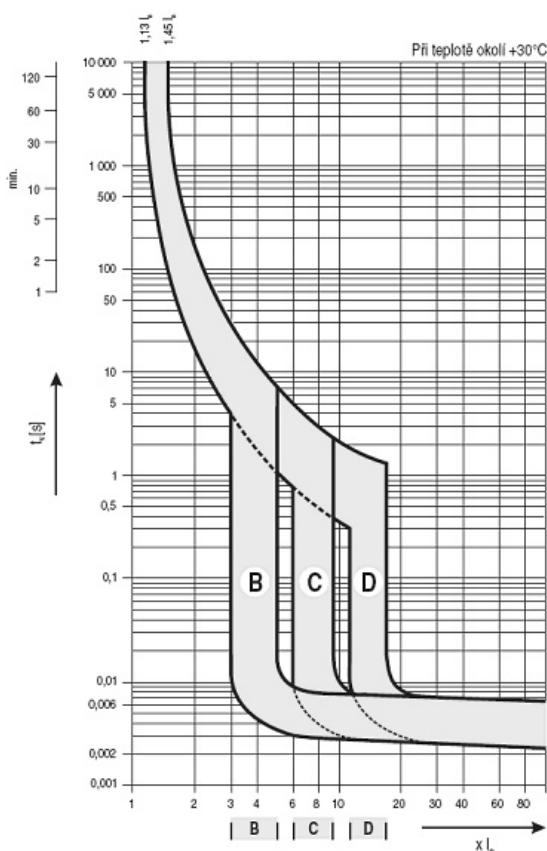
2.8.2 Jistič

Jistící prvek vyvinutý jako náhrada pojistky, který samotnou pojistku v mnoha ohledech předbílá. Oproti pojistce je jistič vybaven dvěma spouštěči. Jedná se o nadproudou spoušť a potom zkratovou. Nadproudá spoušť je konstrukčně udělána jako bimetalový pásek. Bimetal znázorňuje dva kovy o jiné tepelné roztažnosti. Při průchodu malého násobku proudu (podobně jako u pojistky např. 1,3 násobek jmenovitého proudu jističe) se tento bimetalový pásek zahřívá a ohýbá. Z toho plyne, že tato nadproudá nebo také někdy označovaná tepelná spoušť reaguje se značným časovým zpožděním. Což je žádoucí stejně jako u pojistky nechceme, aby krátkodobé navýšení proudu o malou hodnotu nezajistilo celkové vypnutí požadovaného chráněného okruhu. Druhou spouští se pak rozumí zkratová, to je z pravidla elektromagnet reagující ihned při dosažení jisté hodnoty násobku proudu (obecně větší než při reagujícím bimetalu, v tomto případě uvažujeme opět např. dvojnásobek jmenovitého proudu jističe).

Hlavní výhoda jističe oproti pojistkám je možnost opětovného zapnutí při reagování jističe na nadproudí. Není zde třeba řešit výměnu jistícího prvku, nedochází k porušení

žádné části jističe. Je tedy možnost jistič okamžitě zapnout a vrátit ho tak do pracovní polohy. Složitější jističe mohou být vybaveny více spouští pro malé násobky proudu, také podpětovou spouští a dálkovým ovládáním. Hlavní nevýhoda jističů oproti pojistkám je jejich vyšší cena. V obci Velký Bor stojí za zmínku jistič 32 A typový C. Z pravidla se jističe C a D označují jako motorové. Takové jističe jsou dimenzovány tak, aby nereagovaly při krátkodobém navýšení proudu. Krátkodobé navýšení proudu je způsobeno rozbíháním asynchronního motoru, kdy v čase kdy se motor rozbíhá, chápeme jeho stav jako nakrátko a proud v tomto čase může dosahovat např. pětinásobku proudu jmenovitého. V tomto případě by jistič s typovou ampérosekundovou charakteristikou B reagoval, protože není dimenzován na vysoké krátkodobé zatížení, což by bylo nežádoucí, jelikož by se motor neroztočil. [1]

Na obr. 2.6 si lze povšimnout jednotlivých ampérosekundových charakteristik. Na ose y je znázorněn čas vypnutí v sekundách. Na ose x pak násobky jmenovitého proudu. Jde lze vidět, že jistič s charakteristikou typu B reaguje přibližně při 3 násobku jmenovitého proudu. Jistič typu C při přibližně 7 násobku proudu jmenovitého. Jističe typu D jsou dimenzovány tak, aby nereagovaly ani na to největší krátkodobé navýšení a jistič D by reagoval přibližně při 15 až 20 násobku I_n . Předpokládané jističe typu D jsou navrhovány a dimenzovány na ty největší točivé stroje, kde je předpokládán velký nárůst proudu při roztáčení motoru.



Obrázek 2.6: Vypínací charakteristika jednotlivých typů jističů. [Převzato z [1]]

2.9 Aktuální stav sítě

Rekonstrukce sítě proběhla v roce 1997, výhledově se pak počítá ekonomické a fyzické hledisko při posouzení aktuálního stavu distribuční sítě. Ekonomické hledisko se stanovuje na dobu 30 let. Po tuto dobu je odepisována určitá část zisku z obce (zákazník totiž platí nejen za samotné kWh, je v tom započítaná i poplatek za přenos). Tento poplatek za přenos distributor sítě nízkého napětí v obci tzv. odepíše ze zisku. Tyto poplatky poté putují na budoucí rekonstrukci obce, která je plánovaná z ekonomického hlediska po 30 letech. V případě, že je po uvažovaných 30 letech odepsaná celá hodnota rekonstrukce obce a obec z hlediska technických parametrů nepotřebuje žádnou rekonstrukci, v této uvažované obci s objeví zisk (už se nemusí odepisovat určitá hodnota na rekonstrukci obce a poplatek za přenos elektrické energie je tedy výdělkem). V případě, že by uvažovaná obec po těchto 30 letech potřebovala rekonstrukci, použily by se peníze na to určené a nashromážděné po dobu ekonomického odepisování.

Z technického hlediska je tedy i v zájmu distributora sítě nízkého napětí vybudovat z hlediska životnosti či rekonstrukcí obec s maximální životností. Nicméně dřív nebo později se musí přistoupit k rekonstrukci a revitalizaci obce. V obci Velký Bor byla tato rekonstrukce provedena v roce 1997, kdy byla přidána trafostanice TS Obec. V roce 1997 byla také provedeno posílení vodičů za silnější vzdušné s většími průřezy. Trafostanice TS ZD byla v obci původní a v roce 2017 na ní byla provedena rekonstrukce (úplně nová rozvodná skříň, transformátor a stožár). Pokud se výhledově počítá s životností transformátorů 40 let (viz tab. 3.1) je tato TS jedním z nejnovějších prvků v obci. Nejnovější budovaný vývod vychází z trafostanice TS ZD směrem na podnikání Muška. Tento kabel byl vykopán a položen začátkem roku 2020 a u kabelů se též uvažuje předpokládaná životnost 40 let (viz tab. 3.1). Pokud byla rekonstrukce sítě provedena 1997, stávající stav starý 23 let a předpokládá se, že i po vypršení ekonomické životnosti a odepsání všech peněz pro budoucí rekonstrukci v roce 2027 bude síť nadále v velmi dobrém stavu a předpokládá se její zisk po roce 2027. Pak už záleží na posouzení stavu jednotlivých fyzických částí obce. V každém případě i pokud bude síť v roce 2027 vyhovující, dřív nebo později se stejně bude muset přikročit k rekonstrukci. Na rekonstrukci se použijí finance odepisované po dobu 30 let.

Kapitola 3

Základní parametry distribučních soustav nízkého napětí

3.1 Kvalita napětí

Jako kvalitu napětí se považuje celá škála parametrů zkoumaná v daném bodě elektrizační soustavy. Kvalita napětí je jeden z nejzákladnějších parametrů pro energetické distribuční sítě a pro kvalitu dodávané energie do místa odběru. Jak budu psát ve čtvrtém vyhodnocovacím bodě mé práce, jeden z parametrů měřené kvality napětí nebyl splněn. Mezi základní parametry pro hledisko kvality napětí patří: Kmitočet sítě, velikost napájecího napětí a jeho odchylky, rychlé změny napětí (jejich velikost a pojem flickr), krátkodobé poklesy napájecího napětí, nesymetrie jednotlivých fází, harmonická a mezipharmonická napětí, krátkodobá a dlouhodobá přerušení v napájecím bodě elektrizační soustavy, vjem přepětí.

V této práci bych se chtěl zaměřovat hlavně na parametry jako je úbytek napětí v napájecím bodě, flickr a nesymetrie fází. Nutno ale podotknout, že přístroje, se kterými bylo pracováno a ze kterých vyhodnocuji tyto hodnoty (tzv. PQ metry) umí zjistit všechny tyto výše zmíněné parametry kvality napětí a posoudit tak kvalitu dodávané energie v mnohem širším měřítku.

V zájmu odběratele i distributora elektrické energie je pak schopnost udržitelnosti kvality napětí i s přibývajícím využitím nelineárních spotřebičů či rozrůstáním obce. První priorita distributora elektrické energie by vždy měla být ochrana lidského života a tím vytvoření bezpečné elektrorozvodné distribuční sítě, potom tedy vytvoření kvalitní nekolísavé dodávky elektrické energie a v neposlední řadě i splnění parametrů popsaných výše. [4]

3.2 Velikost napětí v přípojném místě

Jeden z nejdůležitějších parametrů pro distribuční sítě nízkého napětí. Podle normy ČSN EM 50 160 se posuzují dvě základní meze pro úbytky napětí. První mez uvažuje jev, kdy měřené napětí nesmí v celém časovém rozsahu (alespoň 1 týden) překročit hodnotu 253 V (což je horní hranice 110% U_n) a zároveň nesmí měřené napětí v tomto časovém úseku nikdy klesnout pod hodnotu 85% U_n . Druhá mez říká, že v 95% časového úseku nesmí měřené napětí klesnout na 90% U_n . V případě uvažovaného měřeného týdne je 5% z časového úseku 8 hodin. Po dobu těchto 8 hodin může z hlediska této meze napětí klesat i pod hodnotu 207 V. Podpětí může do jisté míry způsobovat jistou špatnou funkčnost spotřebičů, které jsou dimenzovány na jmenovité napětí v síti. Ten samý případ platí i pro přepětí (tedy hodnoty větší než 253 V). Přepětí může mít za následek oteplování izolace spotřebičů. Nutno podotknout, že i izolace ve všech domovních rozvodech a izolace u spotřebičů je dimenzována na jmenovité napětí a proudy. [4]

3.2.1 Úbytky napětí

Z teoretických předpokladů, vycházím ze vztahu, kdy odpor vodiče roste s přibývajícím délkou a klesá s přibývajícím průřezem, také závisí na měrném odporu materiálu. Z klasického Ohmova zákona potom vyplývá, že čím větší odpor a proud danou větví, tím větší úbytek napětí bude na této větvi nalezen. Největší předpokládaný úbytek je vždy situován a měřen na konec větve. Pro toto tvrzení jsem vycházel hlavně z délky vedení na samoty (jak již bylo zmíněno cca 2 kilometry pro severní skupinu samot, 1,5 kilometru pak pro jižní skupinu). Tento úbytek v přípojném místě na konci vedení poté budu srovnávat s napětím v trafostanici. Samozřejmě by hodnota napětí v měřeném místě na konci sítě neměla přesahovat již zmíněnou toleranci od jmenovitého napětí.

3.3 Kolísání napětí (flikr - blikání)

Tento jev vzniká u světelných zdrojů, jedná se o kolísání jasů či intenzity světelného zdroje v důsledku kolísání napětí. Tento jev je zrakově vnímatelný a ve větší intenzitě může být rušivý či zdraví nebezpečný (v případě postižené osoby trpící např. epilepsií). Flikr tedy lze vnímat jako rušivý až od nějaké určité mezní nastavené hodnoty. Pro tento účel je zaveden parametr intenzita flikru. Tyto rušivé účinky mohou být způsobeny kromě kolísání napětí také hodnotou vyšších harmonických složek, nebo špatnou instalací světelného zdroje. Pro příklad novější LED zářivky nejsou tolik náchylné na kolísání napětí a tím zamezují blikání světelného zdroje. [4]

3.3.1 Intenzita flikru

Stanovuje se metodou měření flikru a rozděluje se na krátkodobý a dlouhodobý vjem. Krátkodobá míra vjemu flikru, měřená v časovém okně 10 minut. Dlouhodobá míra vjemu flikru se potom počítá ze sledu dvanácti hodnot krátkodobého vjemu pro dvouhodinový trvající interval. V pozdějších fázích práce budou hodnoty flikru ukázány při výsledcích měření a budou vyhodnoceny jako nevyhovující. [4]

3.4 Nesymetrie fází

Distributor se vždy snaží provozovat síť tak, aby byly všechny 3 fáze přibližně stejně zatížené (pokud toho lze docílit). V městech, kde je hustota přípojních míst velmi vysoká, lze tohoto účinku dosáhnout velice snadno a zatížení jednotlivých fází bude podobné. Problém vzniká na vesnicích jako je obec Velký Bor, kde je hustota přípojních míst velmi malá a souměrnému zatížení jednotlivých fází se dosahuje velmi těžko. V centru vsi lze dosáhnout alespoň částečného souměrného zatížení v rámci možností. Největší problém vzniká na samotách, kde je přípojních míst nejméně a dojde k jevu, kdy je maximálně zatížena pouze jedna fáze, ostatní dvě fáze jsou potom provozovány jen s minimálním zatížením. Nesymetričnost budu detailněji zkoumat v rozdílech naměřených hodnotách a namodelovaných programem BIZON. Nesymetričnost také negativně působí na trojfázové stroje, k příkladu jak už jsem popisoval jednu extrémně zatíženou fázi a druhé jen s minimálním zatížením. Takže pokud by se měl uvést do provozu trojfázový motor, fáze s citelně menším napětím než zbylé dvě by potom musela vyprodukovat větší proud než u zbylých dvou fází a docházelo by k nadměrnému oteplování části motoru.

3.5 SAIDI a SAIFI

SAIDI a SAIFI jsou základní ukazatele spolehlivosti dodávky elektrické energie. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) představuje průměrnou dobu trvání přerušení dodávky elektrické energie. Vypočte se jako součet doby trvání přerušení dodávky všech jednotlivých odběratelů ku celkovému počtu odběratelů. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) představuje průměrnou četnost přerušení dodávky elektrické energie. Vypočítá se jako počet všech přerušení ku celkovému počtu odběratelů. [4]

3.6 Účíník a kmitočet v síti

Kmitočet v síti je pevně stanoven na hodnotu 50 Hz a jsou na něj dimenzovány i všechny domácí spotřebiče. Frekvence je vyjádření počtu periodicky opakujících se dějů (kmitů) za jednotku času (sekunda). Účíník v síti potom reprezentuje podíl činné a jalové složky

výkonu a jeho nejčastější hodnota je 0,95 [-]. To znamená, že podíl činné složky výkonu v síti činní 95% a 5% je složka jalová. Pokud by byl účinník 1, nezbyla by žádná jalová energie pro roztočení trojfázových strojů. Klasické domovní elektroměry počítají pouze podíl činného výkonu. Jalový výkon se měří v případě tzv. velkoodběratelů, to znamená fabriky a jiná místa, kde je předpokládán souvislý chod mnoha trojfázových strojů. Tyto fabriky a jiná místa potom musí jalovou energii kompenzovat (nejčastěji kondenzátorovými bateriemi tak, aby zůstal účinník u velkoodběru na hodnotě kolem 0,95). [4]

3.7 Zkratová impedance (vztažná)

Obecně se zkratové impedance v síti nízkého napětí dělí na třífázovou zkratovou impedanci a jednofázovou zkratovou impedanci. Třífázová zkratová impedance reprezentuje impedanci sítě při třífázovém zkratu a nezahrnuje v sobě impedanci vodiče PEN, jelikož při symetrickém třífázovém zkratu je proud PEN vodičem nula. Jednofázová zkratová impedance reprezentuje impedanci sítě při jednofázovém zkratu, která v sobě zahrnuje i impedanci PEN vodiče, protože se proud přes tento PEN vodič vrací zpět ke zdroji. Vztažné impedance (jak jednofázová tak třífázová hodnota) se určují pro hodnoty spotřebičů do 16A a také pro hodnoty spotřebičů do 75A. Teoreticky tyto impedance sdělují, že pokud na ně připojíme spotřebiče s hodnotou proudu do 16A popř. s hodnotou proudu do 75 A, nebude problém s kvalitou v síti. Spotřebičům s hodnotami do 16 A odpovídá 0,28 Ω pro třífázovou zkratovou impedanci a 0,47 Ω pro jednofázovou zkratovou impedanci. U spotřebičů do 75 A potom odpovídá 0,21 Ω pro třífázovou zkratovou impedanci a 0,35 Ω pro jednofázovou zkratovou impedanci. Podle těchto hodnot zle při návrhu usoudit, že pokud budeme připojovat pouze spotřebiče do 16 A popř. spotřebiče do 75 A, zběžně by měly být všechny parametry kvality napětí v mezích a nemělo by dojít k žádnému porušení předepsaných tolerancí. Jednofázové zkratové impedanci se také říká impedance smyčky a využívá se v počítání/měření poruchových smyček. [4]

3.7.1 Impedance poruchové smyčky

V sítích TN-C je zakomponována ochrana samočinným odpojením od zdroje. To znamená, že v případě poruchy (např. proražení fáze na kostru spotřebiče) se začne uzavírat tzv. poruchová smyčka přes vodič PE spotřebiče. V této smyčce je osazen jistící prvek (pojistka nebo jistič popsáno výše), který při správném zafungování zareaguje na hodnotu nadproudu a sepne, aby ochránil v první řadě lidský život a dále další důležité prvky (v tomto případě např. spotřebič). Proud uzavíraný touto smyčkou by měl být v čase vzniku poruchy co největší, aby zareagoval jistící prvek. Pokud by byla impedance poruchové smyčky moc vysoká, omezila by proud jí tekoucí a jistící prvek by nemusel správně reagovat. Impedance by teda měla vycházet co nejmenší, lze jí zjistit buďto výpočtem nebo měřením. Největší impedance vzniká na koncích sítě, kde je předpokládána její nejvyšší

hodnota. Obecně tedy platí, že hodnota impedance poruchové smyčky krát proud zajišťující odpojení v době dané tabulkou musí být menší nebo rovno nominálnímu fázovému napětí. Proud zajišťující odpojení v době dané tabulkou se počítá z proudu nominálního vynásobeného vypínací konstantou jističe (typově jiná pro jističe typu B, C atd.). [4]

3.8 Součinitel náročnosti

Soudobostí se rozumí určité procento spotřebičů, které pracují v tom jistém čase současně. Koeficient soudobosti se označuje znamínkem β [-] a čím je tento koeficient větší, tím více spotřebičů v určitý čas pracuje současně. Soudobost se z hlediska kvality napětí bere v potaz z důvodu ospravedlnění některých výchylek napětí. Můžeme říci např. že nějaký konkrétní úbytek napětí v přípojném bodě nastal ve špičce denního diagramu a jinak by tento úbytek napětí nevznikl. V programu BIZON, ve kterém byly namodelovány mapy sítě v obci se s koeficientem soudobosti muselo různě šoupat tak, aby mapové podklady z hlediska tekoucích proudů z trafostanice vyšly podobně, jako tomu bylo v případě měření (tyto mapy je možno dohledat na konci práce). Zadávaly se tedy hodnoty soudobosti jak pro domovní jednotky (D) tak pro podnikání (C) a v programu se snažilo přiblížit skutečným naměřeným hodnotám, soudobost tu tedy jistě není podle skutečnosti. Jediný způsob jak zjistit jednotlivou soudobost za celý čas měření by bylo sledování všech přípojných míst v obci a následné vyhodnocování tohoto koeficientu, což by bylo velmi pracné a časově náročné. [4]

3.9 Trendy využívané při budování/rekonstrukci distribučních soustav

Při návrhu či rekonstrukci sítí nízkého napětí se vychází z několika základních bodů, těmi nejvíce zásadními jsou: koncept VN napájení obce, územní plán obce, konkrétní zákaznické požadavky a v neposlední řadě i stávajícího stavu obce. Nové zařízení se buduje plně v souladu s koncepcí sítí nízkého napětí 0,4 kV. Stávající zařízení určené k obnově se obnovuje dle koncepce sítí nízkého napětí 0,4 kV. V případě obnovy má každý prvek soustavy svojí předepsanou životnost, která je ale pouze orientační a v případě správné funkčnosti se může na obnovování či rekonstrukci zařízení přistoupit mnohem dříve.

Základními trendy pro distribuční vedení z hlediska rekonstrukce či oprav jsou: zvyšování podílu kabelových vedení, vyšší podíl kruhovaných sítí (pokud je to možno), zkracování vývodů NN (zahušťování trafostanice), omezení využívání T-připojení, v trafostanici rozvaděče s dálkovým ovládním, měření elektrických veličin. Nové navrhované sítě nízkého napětí by měli zajišťovat požadavky na zvyšování spolehlivosti a kvality dodávky elektřiny, mít zkruhované sítě, které umožní omezení bezproudí z hlediska poruchy či

Tabulka 3.1: Životnost jednotlivých prvků v síti.

Druh zařízení	Doba životnosti (roky)
Transformátory VN,NN	40
Technologie VN, měřicí transformátory	30
Technologie NN	30
Venkovní vedení NN	40
Kabelové vedení NN	40
Energetické stavby (budovy,kiosky)	60
Optické kabely	20
Přenosová zařízení (switch,modemy)	10
HDO	30 silová/10 řídicí část
Řídicí systémy a ochrany	15
Měření, elektroměry	15
Záložní napájení (baterie, usměrňovač	15

plánované práce. Nové sítě NN musí být také připraveny na nové technologie v oblasti smart grid (automatizované ovládací prvky, technika OZE – opětovné zapnutí, smart měření atd.). Kruhované sítě jsou budovány jako snadno přehledné a přístupné s cílem vybudování bezpečné distribuční sítě, přehlednosti z hlediska hledání poruch, možnost přepojování sítě pro snížení SAIDI, SAIFI (jak jsem se již zmiňoval, tato síť může být napájena z druhého napájecího bodu, v případě paprsku tato možnost není). [6]

3.9.1 Volba typu a výkonu distribuční trafostanice

U této volby se vychází z koncepce napájení sítě vysokého napětí v dané lokalitě. V případě, že je trafostanice připojována na nadzemní vedení vysokého napětí (22 kV) a není v budoucnu počítáno s kabelizací tohoto vedení VN, pak je trafostanice provedena jako sloupová (venkovní na betonových sloupech). U sloupových trafostanic se rozdělují jejich rozpoložení podle výkonů a umístění. Do 100 kVA se osazují sloupové TS do míst s malou hustotou odběrů (samoty). Do 400 kVA mají tyto TS maximálně 5 vývodů nízkého napětí s maximálním proudem do 400 A a osazují se v centrech s vyšší hustotou odběrů. Největší stanice jsou do 630 kVA a jsou určeny pouze pro výjimečné případy. Druhým typem trafostanic jsou tzv. kioskové. Kioskové TS se budují v zastavěném prostředí a v nějakých případech jsou budovány i s vnitřní obsluhou. Vyznačují se jedním kabelovým přívodem (svod z venkovního vedení). V tomto typu trafostanic je ponechána jedna rezerva pro přívodní kabel (záleží na rozvoji v daném místě sítě). Typové výkony trafostanic jsou podobné jako u sloupových a to do 400 kVA (s max. 5 vývody NN), do 630 kVA. Výjimku pak tvoří trafostanice do 2x630 kVA a jsou osazovány pouze ve výjimečných případech. Výkon transformátoru je vždy volen podle očekávaného zatížení v daném místě distribuční sítě. Výkon je volen tak, aby pokryl stávající zatížení a pokud

možno počítal s budoucím nárůstem (tento nárůst se aproximuje po dobu 20 let). Samotné umístění trafostanice se pak řeší z územního plánu obce a z konceptu sítě vysokého napětí. Trafostanice se umísťují v centru odběru a to i za cenu zvýšených nákladů na rozšíření sítě VN. Při konstruování nové TS se musí vzít v úvahu také již stávající TS. [6]

3.9.2 Výkonové dimenzování

Při návrhu rekonstrukce stávající sítě NN se vychází z měření skutečného zatížení jednotlivých vývodů nízkého napětí (alespoň týdenní měření pokud možno v zimních měsících). V případě, že se jedná o již zastavěnou lokalitu, kde nejsou plochy pro další stavění, uvažujeme pro dimenzování sítí s možným nárůstem zatížení minimálně 20%. Výkon transformátoru je pak volen podle stávajícího zatížení. Vychází se z uvažované hodnoty jako meziroční nárůst o 0,9 % po dobu 20 let, což je polovina doby životnosti kabelových vedení NN (viz tab. 3.2). Pro návrh či rekonstrukci sítě jsou stanoveny tyto hodnoty: [6]

Tabulka 3.2: Řešení jednotlivých parametrů při návrhu či rekonstrukci.

	Zohlednit při návrhu	Indikace k obnově nebo posílení
Ochrana automatickým odpojením od zdroje	ANO	ANO
Proudová zatížitelnost	ANO	ANO
Napěťové meze	ANO	ANO
Vztažná impedance	ANO	NE
Oprávněná stížnost na kvalitu	-	ANO
Měření prokazující zpětné vlivy bez stížnosti	-	NE (pouze příprava)

3.9.3 Volba průřezu vedení NN

Pro kabelové zemní sítě se používají následující průřezy distribučních kabelů (hliníkové jádro): 4x240 – páteřní kabel pro kmenová vedení, náhrady stávajících kabelů o průřezu 185 nebo 240, či zasmyčkování stávajícího kabelu 185 nebo 240. Případné řešení také pro dlouhé vedení z důvodu dosažení požadovaných hodnot na konci vedení. 4x150 – základní průřez, páteřní kabel. 4x95 – kmenová vedení pro odbočky. 4x50 - odbočky, přípojky. 4x25 a 4x16 – přípojky. [6]

3.9.4 Maximální délka vývodu

Délka trasy vedení nízkého napětí by neměla přesahovat cca 2 km od trafostanice. Obecně je snahou délku vedení zkracovat (a místo toho např. zahušťovat TS). Pro konkrétní návrh

sítě je vždy nutné výpočtem ověřit splnění požadavků na několik parametrů. Prvním parametrem je zajištění pro ochranu před nebezpečným dotykem neživých částí automatickým odpojením od zdroje (tyto podmínky jsou již popsány v kapitole Impedance poruchové smyčky). Druhým parametrem je zjištění nejvyšší přípustné vztažné impedance (třífázový zkrat). Třetím parametrem jsou nejvyšší přípustné úbytky napětí na zatížené síti. Posledním hlediskem je nejvyšší přípustné proudové zatížení.

Způsoby připojení odběrných míst v kabelových zemních sítích NN. Těchto způsobů připojení je několik. Těmi nejzásadnějšími a nejvyužívanějšími jsou např.: zasmyčkováním, samostatný vývod z kabelové skříně, samostatný vývod z trafostanice. Způsobů připojení odběrných míst z nadzemních vzdušných vedení NN je též několik. Pro představu jsou jimi např. zemním kabelem (nové přípojky jsou realizovány tak, aby se po rekonstrukci a přechodu na kabelové vedení NN dala tato přípojka připojit na kabelové vedení). Druhým hlavním způsobem připojení je venkovním izolovaným vodičem (jedná se o kabel AYKYz který má stejnou strukturu jako zemní kabely plus ocelové lano na zavěšení). [6]

3.9.5 Souhrn rozdílů v novodobých trendech x historické řešení sítí

Dříve se v distribučních soustavách nízkého napětí rozváděla elektrická energie z naprosté většiny venkovním vedením. V začátcích se dokonce pro vzdušné vodiče používaly dřevěné impregnované stožáry. Tyto stožáry měly z hlediska koncepce do budoucna velmi malou životnost a i přes jejich impregnaci podléhaly okolním vlivům (počasí, teplota atd.). S příchodem betonových stožárů se značně zvýšila životnost oproti dřevěným. V minulosti se také po městech řešil rozvod elektrické energie způsobem připojených konzolí přímo u domů a tak se rozváděla energie dále pomocí vzdušných vedení (hlavně v místech kde konstrukčně nemohl stát stožár). V dnešní době je trend takový, že naprostá většina distribučních sítí se konstruuje přes kabelové zemní vedení. Je to lepší řešení jak z hlediska ekonomického, tak z hlediska ekologie či estetiky. V dnešní době je také trendem zahušťování trafostanic a tím lepší plánování do budoucna s náhledem na rozvoj dané lokality. Novější sítě jsou připraveny na smart technologie. [6]

Kapitola 4

Postup měření

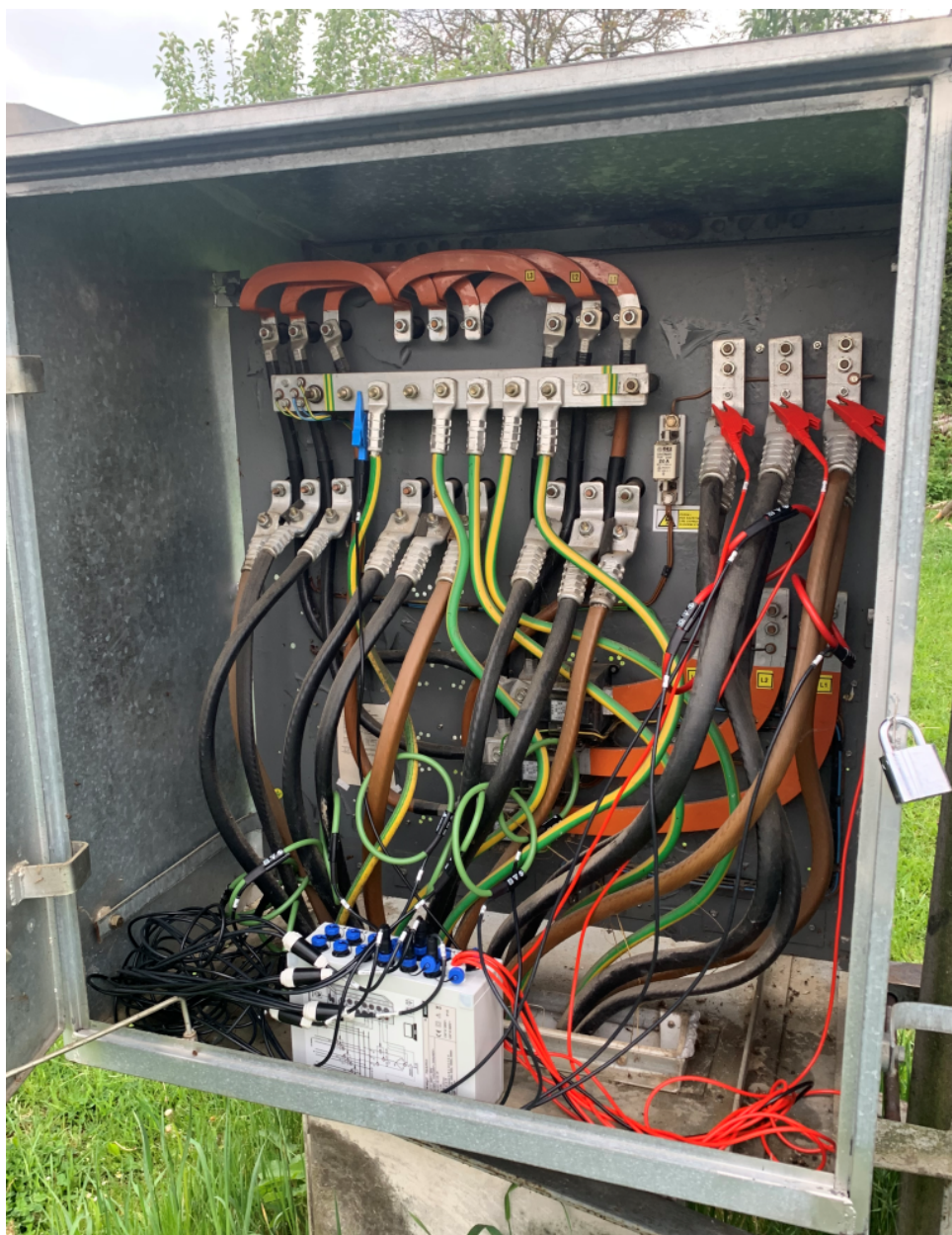
4.1 Osazování důležitých míst přístroji pro měření

Dne 14. května 2020 jsem se s panem Ing. Janem Jiříčkou a s panem Ing. Jiřím Petráškem vydal osazovat všechna důležitá místa v obci. Jedná se o místa: TS Obec, TS ZD, pilíř SR5, čp. 22 Obora (náleží pod jižní skupinu samot), parcela 27/5 Jiráň směr Bavorov (náleží pod severní skupinu samot). Obě trafostanice a pilíř byly osazeny přístroji MEG 37, obě dvě přípojky na samotách potom osazeny přístroji FLUKE 1744. Jednalo se o práci pod napětím (PPN NN) a v celé obci tedy nebyla ani na krátkou chvíli přerušena dodávka elektrické energie. Tyto přístroje mohou měřit v 10 minutových intervalech všechny uvažované hodnoty. Oba typy přístrojů naměřená data ukládají na konec tohoto 10 minutového intervalu, poté začíná interval nový. Přístroje byly na těchto místech nasazeny do 26. května. Je tedy splněna podmínka zachování měření po dobu alespoň týdne.

4.1.1 Osazování TS Obec

Z fotky níže si lze povšimnout jednak vývodu ze strany vysokého napětí a jednotlivé vývody nízkého napětí. V případě této trafostanice se jedná o 3 vývody a všechny jsou řešeny kabelově. Jedná se o již zmíněné směry, jedno kabelové vedení pokračuje na č.p.51. Další dva kabelové vodiče jsou vedeny z trafostanice jako paralelní a pokračují do pilíře SR5. Na této trafostanici byly měřeny jak hodnoty napětí, tak i proudu na hlavním jističi (napěťové svorky jsou červené připnuty napravo). Jednotlivé vývody nízkého napětí jsou pak obepnuty proudovými převodníky AmpFlexy (zelenými smyčkami viz obr. 4.1). Tyto smyčky sledují tekoucí proudy do jednotlivých směrů. Pro mé účely měření sleduji hlavně vývod dvou paralelních vodičů jdoucích na pilíř SR5. U těchto paralelně vedoucích kabelů se předpokládá stejný proud. Tato větev je pro mé posuzování důležitá hlavně z toho důvodu, protože pokračuje na pilíř SR5 a z pilíře směrem na jižní skupinu samot, kde bylo provedeno měření. Vývod z trafostanice směrem na čp. 51 pro mé posuzování není důležitý, protože na jeho konci (bytovky) není provedeno měření a je zde předpokládaná

zaručená kvalita napětí v každém případě konfigurace sítě. Pro měření proudů pomocí proudového převodníku AmpFlexy se muselo dbát na směr tekoucího proudu, aby následné hodnoty ve vyhodnocovacím programu vyšly kladné a nikoliv záporné.

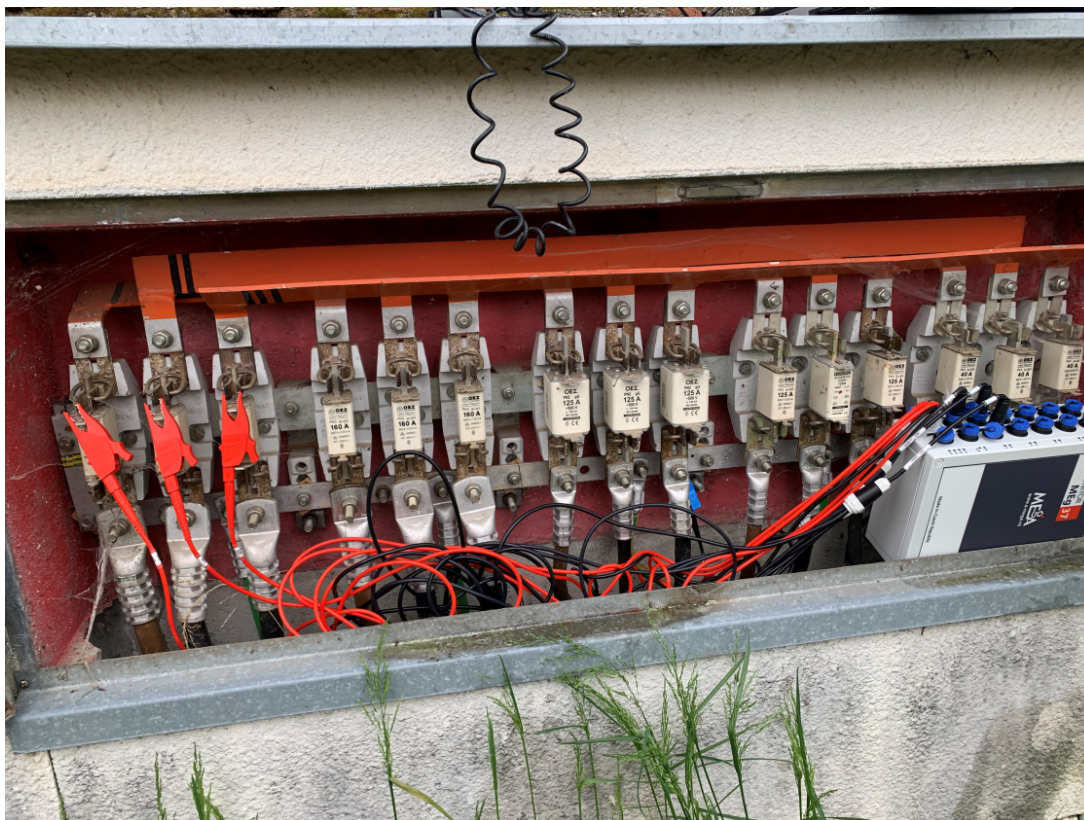


Obrázek 4.1: Osazené měření v TS Obec.

4.1.2 Osazování pilíře SR5

V tomto pilíři lze nalézt celkem 5 osazených měřených míst. Jedná se o dva přívody z trafostanice (paralelní kabely). Poté vývod směr Netolice, vývod směr Strunkovice nad Blanicí a v poslední řadě veřejné osvětlení (OZ), které je na fotce zakryto měřícím přístrojem. Na všech ostatních vývodech by mělo být vidět stejné smyčky, jako tomu bylo v případě TS Obec, je zde tedy také sledován proud vývodů na obě strany. Jelikož

směrem Strunkovice nad Blanicí nenastává žádná razantnější délka, nebylo na konci tohoto vývodu provedeno měření a stejně jako v případě u bytovek se předpokládá splnitelná kvalita dodávky elektrické energie při různých podmínkách sítě. Pro moje pozorování je nejdůležitější vývod směrem na Netolice, který pokračuje až na jižní skupinu samot. Lze si zde povšimnout také nožových pojistek.

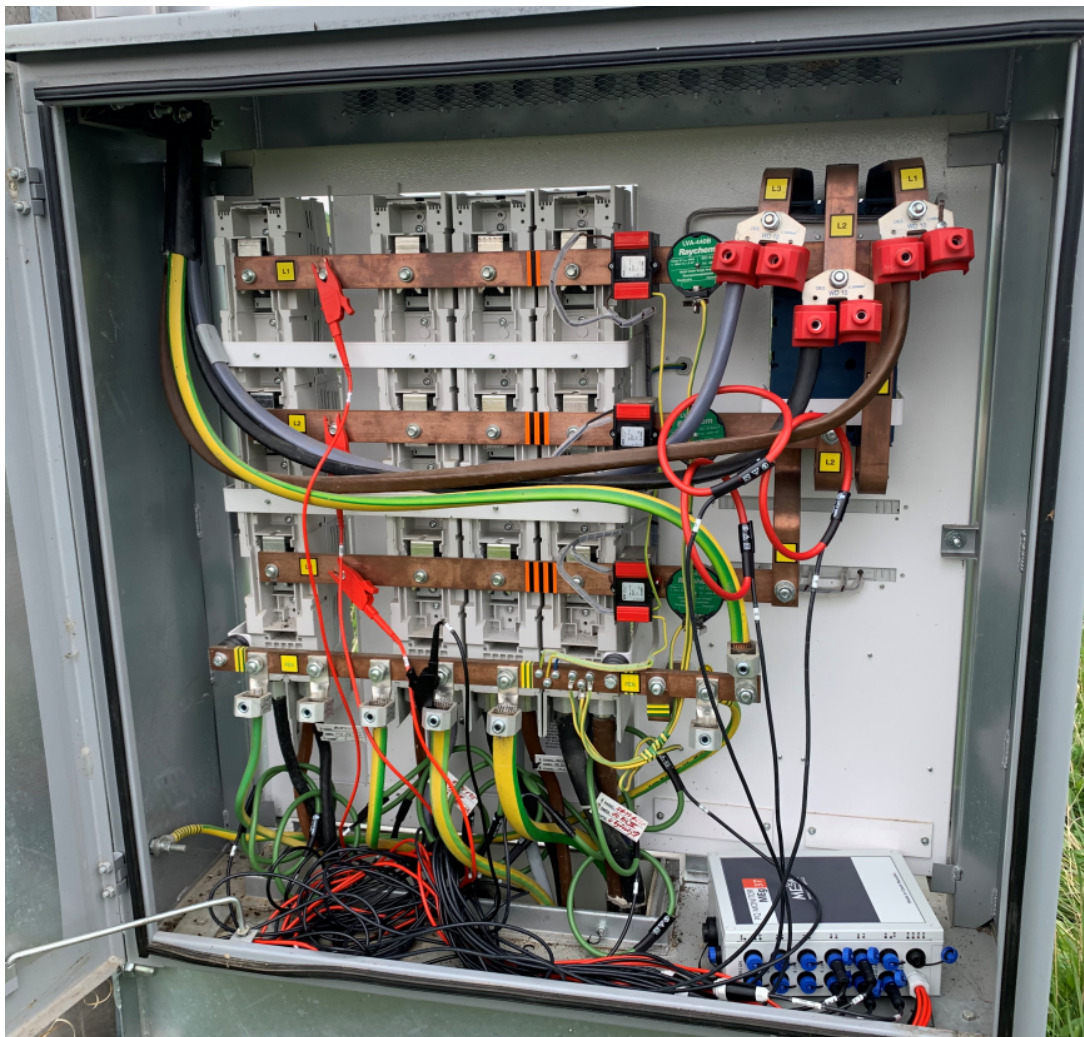


Obrázek 4.2: Osazené měření v Pilíři SR5.

4.1.3 Osazování čp.22 Obora

Jedná se o jeden z nejvzdálenějších bodů od trafostanice TS Obec a nachází se v jižní skupině samot. Měření zde bylo vybráno hlavně z důvodu snadné přístupnosti a hlavně velké vzdálenosti. Jednotlivé hodnoty naměřené v tomto místě poté budou porovnávat jednak s hodnotami naměřené v trafostanici a také porovnání s dovolenými odchylkami. V tomto bodě byla změřena i impedance poruchové smyčky. Zde bylo provedeno měření jiným přístrojem, jedná se o přístroj FLUKE 1744. Nutno dodat, že tento přístroj vyhodnocuje naměřené hodnoty v jiném programu, než bylo měření na trafostanici. Vzájemné porovnávání hodnot by ale nemělo dělat žádný problém. Pro toto přípojné místo byla namodelovaná speciální mapa, kdy je ukázána změna kvality napětí v případě napájení tohoto bodu z TS Řídký. Na trafostanici TS Řídký nebylo provedeno měření přístrojem a namodelovaná mapa uvažuje průměrné hodnoty.

Bavorov, který venkovním vedením zásobuje severní část obce a pokračuje na severní skupinu samot na parcelu 27/5 Jiráň.



Obrázek 4.4: Osazené měření TS ZD.

4.1.5 Osazování 27/5 Jiráň

Tento objekt se nachází v severní části skupiny samot a jedná se podobně jako u druhé skupiny samot o jeden z nejvzdálenějších bodů od trafostanice TS ZD. Bohužel zde nebyl zaznamenán po dobu měření žádný proud a lze proto předpokládat, že je objekt obydlován rekreačně. I přesto je zde snadno pozorovatelné kolísání napětí z důvodu sousedních přípojných míst. V tomto přípojném místě bylo nejtěžší nasazení přístroje FLUKE z důvodu nedostatku místa u elektroměru. Stejně jako u druhého příkladu zde budu porovnávat naměřené hodnoty jednak s hodnotami v trafostanici ve stejném čase a v dalším případě porovnávání z hlediska dovolených odchylek.



Obrázek 4.5: Osazené měření u čp. 27/5 Jiráň.

4.2 Postup vyhodnocování důležitých hodnot měření

Vycházím zde z faktu, že pro jednu trafostanici náleží jedno měřené místo na jejím konci. To samé platí druhou trafostanici. Hlavní parametry, které jsem z naměřených hodnot zjišťoval, jsou – Hodnoty napětí a proudu na samotách při maximálním zatížení trafostanice a potom nejmenší napětí v koncovém bodě a od nich odvíjející se hodnoty v

trafostanici.

4.2.1 Hodnoty při maximálním proudovém zatížení trafostanice

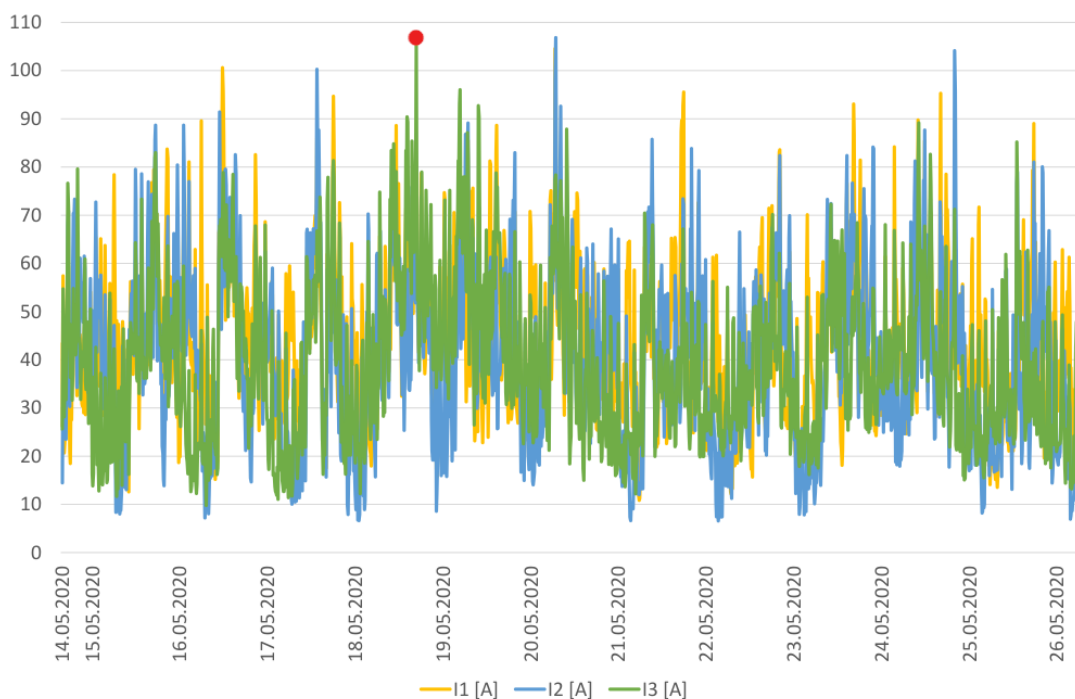
Zde byl od každé trafostanice zjištěn maximální proud v rámci celého měření od 14. do 26. května. Pro tuto hodnotu proudů v jednotlivých fázích byl pro stejné časové období (10 min) vyhodnoceno i napětí jednotlivých fází. Jedná se o hodnoty na hlavním jističi trafostanice. Pro stejný čas jsem pak vyhodnotil hodnoty proudů tekoucí vývodem směrem na požadovanou samotu. V tomto přípojném bodě bylo pro stejný pevný čas změřeno napětí, které je poté porovnáváno s napětím v trafostanici. Takto lze jednoduše stanovit úbytek napětí vzájemným porovnáním. V potaz se bere fakt, že při modelování v programu BIZON tento program bere vždy průměrnou hodnotu ze všech 3 fází a nebere v potaz nesymetričnost.

4.2.2 Hodnoty nejnižšího napětí v nejdálším bodě

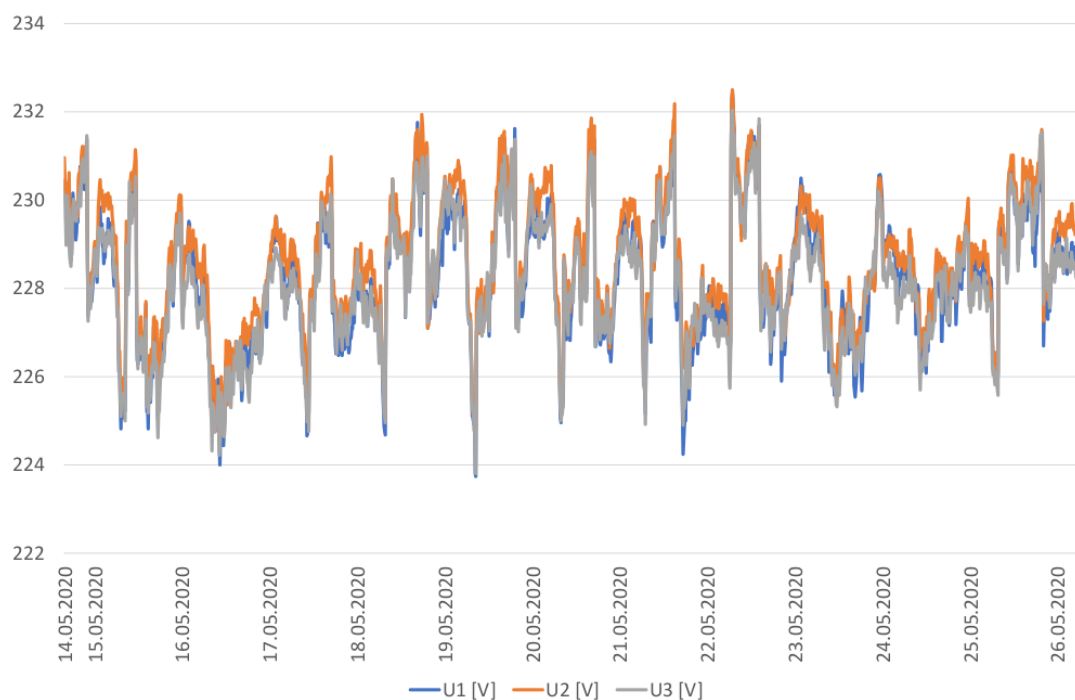
Tato metoda se dá chápat jako obrácený postup k prvnímu bodu. Vychází se zde u přípojném místě u samot. Kde se v konkrétním čase (10 min) zjistila hodnota maximálního poklesu napětí (vychází se zde opět z celého měřeného úseku 14. až 26. května). Pro toto napětí byl zjištěn proud tekoucí do tohoto odběrného místa a následně proud i napětí na hlavním jističi v trafostanici. Dalším krokem je pak opětovné porovnání hodnot mezi trafostanicí a bodem na samotách.

4.3 TS Obec při maximálním proudovém zatížení

Zde byl zjištěn největší proud na hlavním jističi trafostanice v čase 19.5 v čase 10:00 až 10:10 a proudy v jednotlivých fázích jsou: $I_1 = 104,5$ A, $I_2 = 98,3$ A, $I_3 = 77,4$ A. Pro tento čas je napětí v trafostanici 226 V ve všech 3 fázích. V grafu níže si lze všimnout jednotlivých uvažovaných hodnot. Proud v trafostanici tedy dosahoval v maximu v jedné fázi až 104,5 A. Nyní se budu zabývat vývodem na pilíř SR5, kde jsem uvažoval stejný čas 19.5 10:00-10:10. Jak jsem již zmiňoval v předchozích bodech, předpokládaný protékající proud v každém časovém období by měl být v paralelních vodičích stejný. Tento předpoklad by měl platit i pro moje časové desetiminutové pásmo maxima proudu. Bohužel jak bude ukázáno v modelu BIZON se nepodařilo proudy těmito paralelními kabely vycentrovat do takové hodnoty, aby alespoň přibližně odpovídala naměřenému originálu. Buďto se pomocí soudobosti mohly vyladit proudy tekoucí od pilíře SR5 dále směrem na Netolice nebo proudy směrem od trafostanice do pilíře SR5. Pro lepší orientaci byla dána přednost proudům tekoucím z pilíře SR5 (jejich doladění do přibližně naměřených hodnot). Svíslá čára v grafu zobrazuje časové uvažované rozmezí.



Obrázek 4.6: Průběh proudu po dobu měření. Červený bod signalizuje špičku proudu.

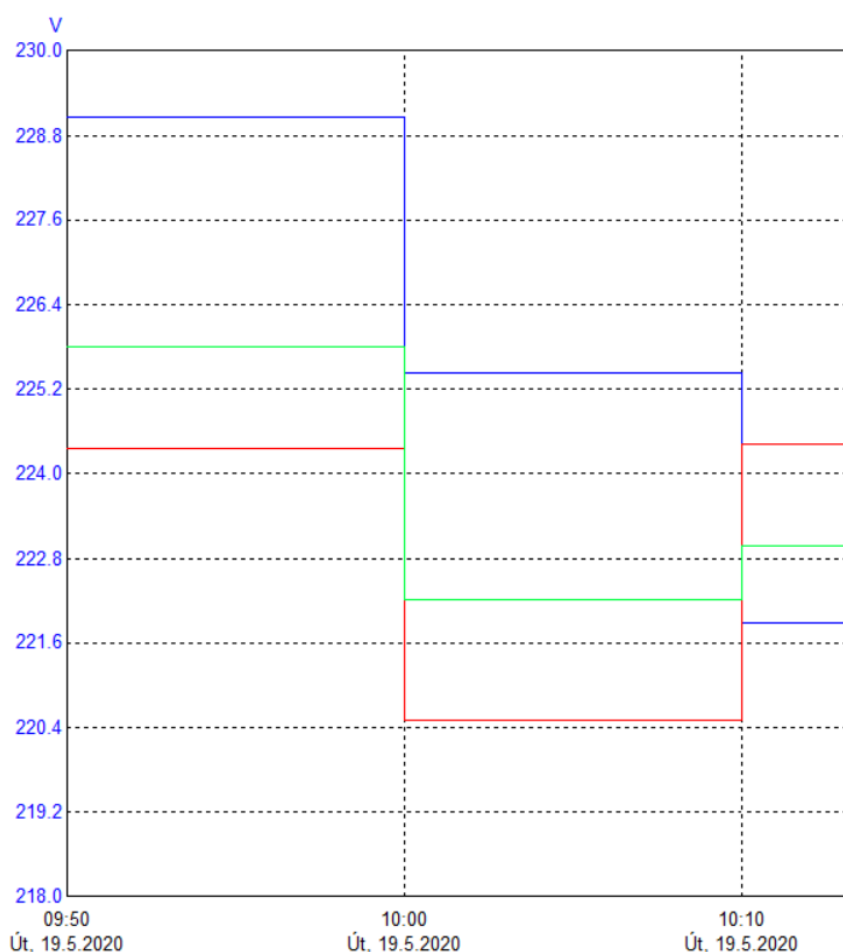


Obrázek 4.7: Průběh napětí v TS Obec po dobu měření.

Proud tekoucí do SR5 je v tomto časovém rozmezí $I_1 = 34$ A, $I_1 = 23$ A, $I_1 = 17$ A pro uvažovaný jeden zemní kabel, jak jsem psal výše K1=K2 paralelní. U grafu níže je nutno podotknout, že přístroj měřil po minutových intervalech a výsledné proudy v jednotlivých fázích jsou hodnoty zprůměrované z 10 měřených hodnot za 10 minut.

Jediné proudy ve fázích potřebné pro další posouzení jsou proudy vycházející z pilíře

SR5 směr Netolice, zde bylo ve všech 3 fázích naměřeno 26 A. U samotné jižní strany čp.22 Obora je potom naměřen proud 1-2 A. Nejdůležitější prvek je v tomto měření uvažované napětí v koncovém bodě rozvodné soustavy. Jednotlivá napětí vyšla: $I_1 = 225 \text{ V}$, $I_2 = 220,3 \text{ V}$, $I_3 = 222 \text{ V}$. Z předběžného posouzení těchto hodnot oproti hodnotám na trafostanici zde nevzniká žádný velký úbytek napětí a jedna fáze se dokonce chová jako nezatížená nebo velmi málo zatížená. Fáze nízkého napětí, v případech dlouhých venkovních vedení, mohou prokazovat indukčnost mezi fázovými vzdušnými vodiči, a takto si kompenzovat napětí na hodnotu jen o něco málo menší, než je naměřena v trafostanici. Na grafu níže lze vidět napětí v jednotlivých fázích. Z hlediska velikosti napětí na transformátoru je sice toto napětí v mezích, ale pohybuje se v poněkud malých hodnotách (ideálně by mělo být alespoň tak o 8-10 V více).

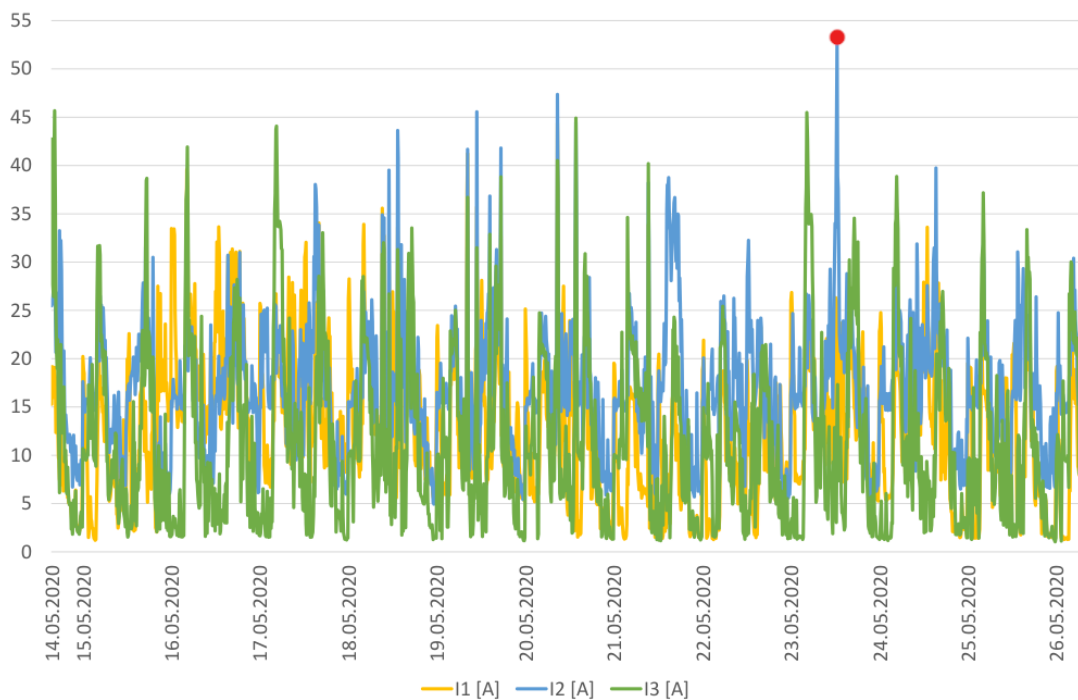


Obrázek 4.8: Napěťové poměry na Č.P. 22 při maximálním proudovém zatížení TS Obec.

4.4 TS ZD při maximálním proudovém zatížení

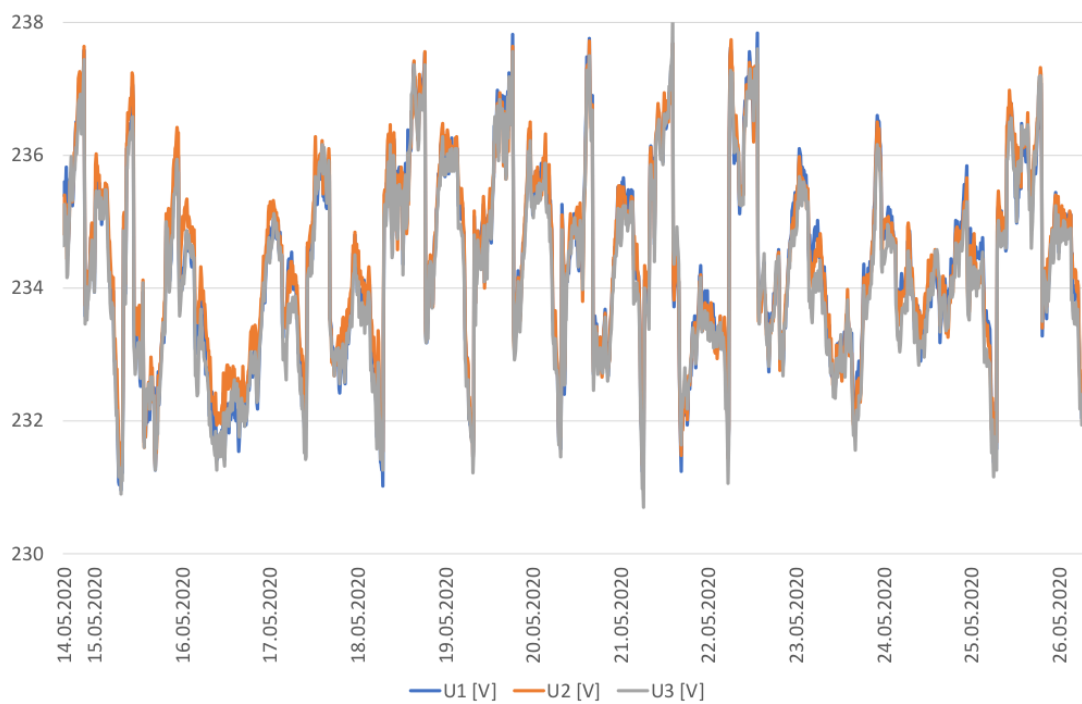
Maximální proud v celém časovém období na hlavním jističi trafostanice byl zjištěn v jednotlivých fázích jako $I_1 = 26 \text{ A}$, $I_2 = 52,7 \text{ A}$, $I_3 = 14,5 \text{ A}$. Pro tyto proudy náležící napětí ve všech 3 fázích $U = 233 \text{ V}$. Tyto proudy nedosahují tak vysokých hodnot jako

tomu bylo v případě u TS Obec, napěťová kvalita je tu o poznání lepší a pohybujeme se zde v lepších hodnotách, než tomu bylo u hlavního jističe v TS Obec, kde napětí dosahovalo nějakých 226 V. Na grafu níže si lze opět povšimnout měřeného intervalu se všemi již zmíněnými hodnotami. Jedná se o časové rozmezí ve dne 23.5 v čase 13:00 – 13:10.

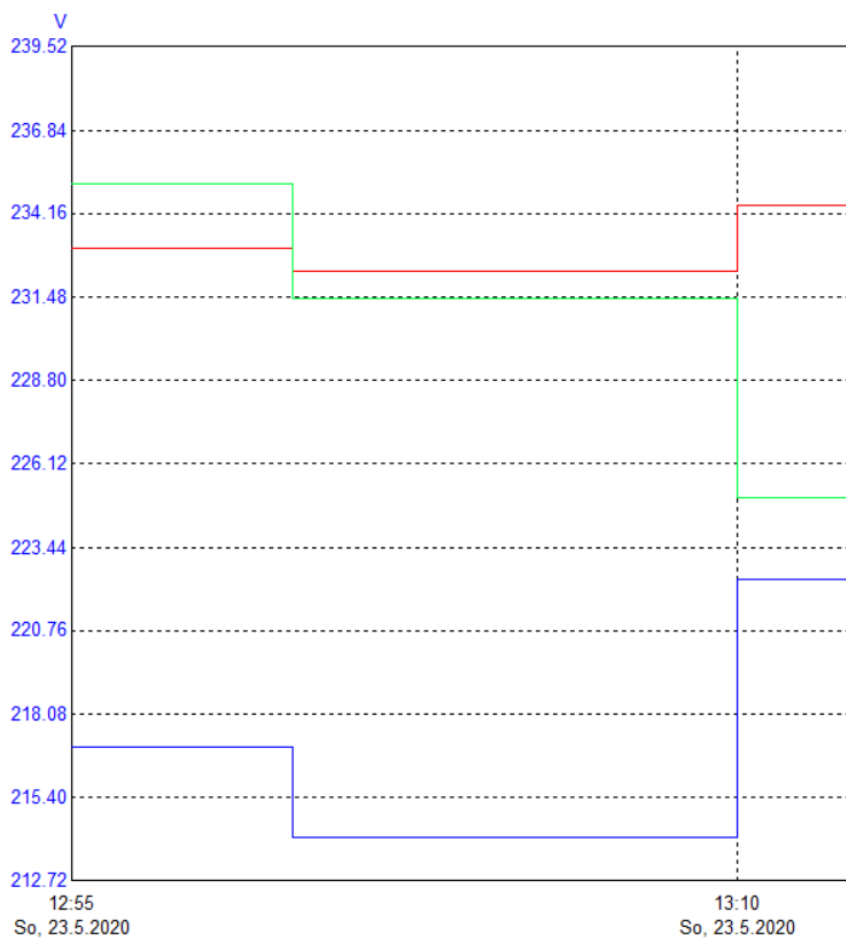


Obrázek 4.9: Průběh proudu v TS Obec po dobu měření. Červený bod signalizuje špičku proudu.

Z této trafostanice pokračují směrem venkovního vedení do spodní části obce, z tohoto vývodu byly změřeny proudy $I_1 = 16$ A, $I_2 = 43$ A, $I_3 = 12$ A. V koncovém bodě nacházejícím se v severní skupině samot bylo změřeno napětí: $U_1 = 213$ V, $U_2 = 230$ V, $U_3 = 232$ V. Zde přichází v potaz nesymetričnost jednotlivých fází, kdy je jedna fáze v místě samot extrémně zatížená a ostatní dvě jsou zatížené jen velmi málo nebo vůbec, u těchto málo nebo vůbec zatížených fází může docházet opět v případě venkovního vedení k indukovaní energie mezi jednotlivými fázemi a tím držení napětí v jen velmi malých odchylkách od napájecího napětí v trafostanici. Spodní lišta na grafu níže reprezentuje jednotlivé fáze proudu, které jsou v tomto případě nulové. Měřený objekt 27/5 Jiráň je tedy obýván pouze sezóně a nikoliv jako trvalé bydliště. Za velký úbytek napětí v jedné fázi budou s největší pravděpodobností moci okolní přípojné místa, která s předpokladem zásobuje právě tato fáze.



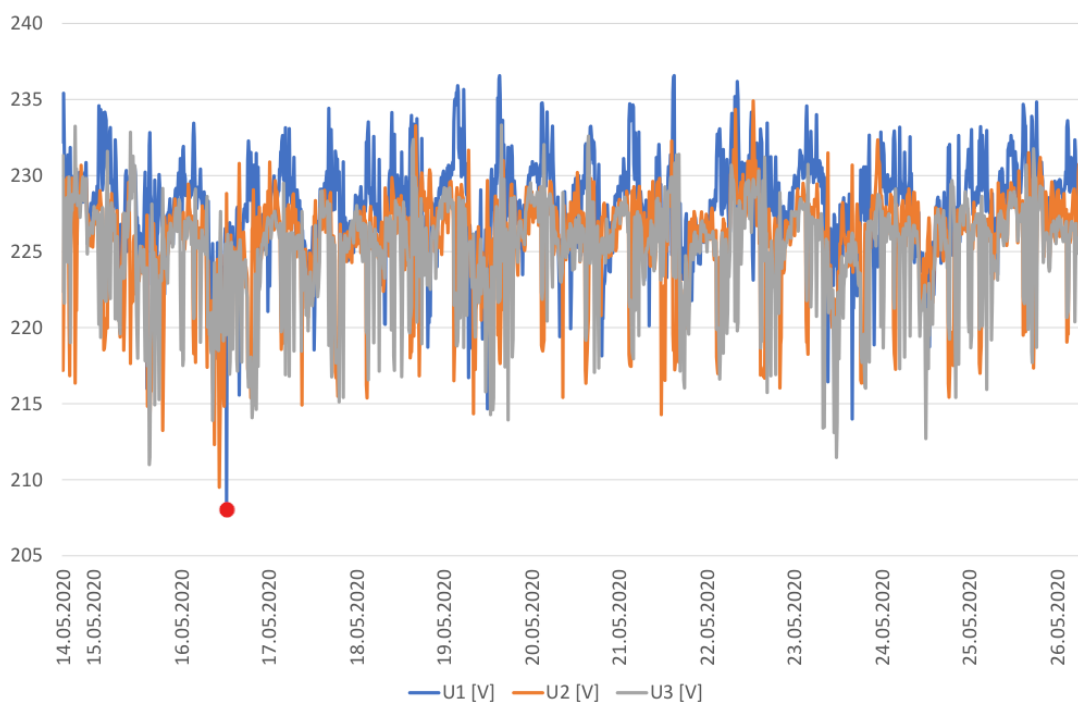
Obrázek 4.10: Průběh napětí na TS ZD po dobu měření.



Obrázek 4.11: Napěťové poměry na parcele 27/5 při maximálním proudovém zatížení TS ZD.

4.5 Čp. 22 Obora (jižní samoty) s maximálním úbytkem napětí

Volím zde stejnou metodu určování s tím rozdílem, že hledám maximální úbytek napětí a jeho časové rozmezí pro nejbližší bod v síti, v tomto případě je jedním z nejbližších míst od TS Obec právě čp. 22 Obora. Tímto největším úbytkem napětí bylo napětí ve fázi $I_1 = 208$ V. Ostatní dvě fáze se napětově drží o mnoho lépe a to $I_1 = 218$ V a $I_1 = 222$ V. Toto napětí bylo nalezeno pro datum 16.5 v čase 10:10-:10-20. Toto napětí v jedné fázi už se hraničně blíží tolerované nejnižší hodnotě 207 V. Při namodelování stejného proudu z pilíře SR5 (26A) vyšlo celkové napětí v trafostanici 224 V. Zarážející je fakt, že v tomto případě vyšlo v trafostanici nižší napětí než v případě jejího maximálního zatížení. Tímto problémem se budu blíže zabývat ve čtvrtém bodě své práce. Pro toto minimální napětí v odběrném místě bude namodelována i již zmíněná situace napájení z trafostanice TS Řídký. I tuto událost budu popisovat později ve své práci. Nejnižší napětí je označeno červenou barvou.

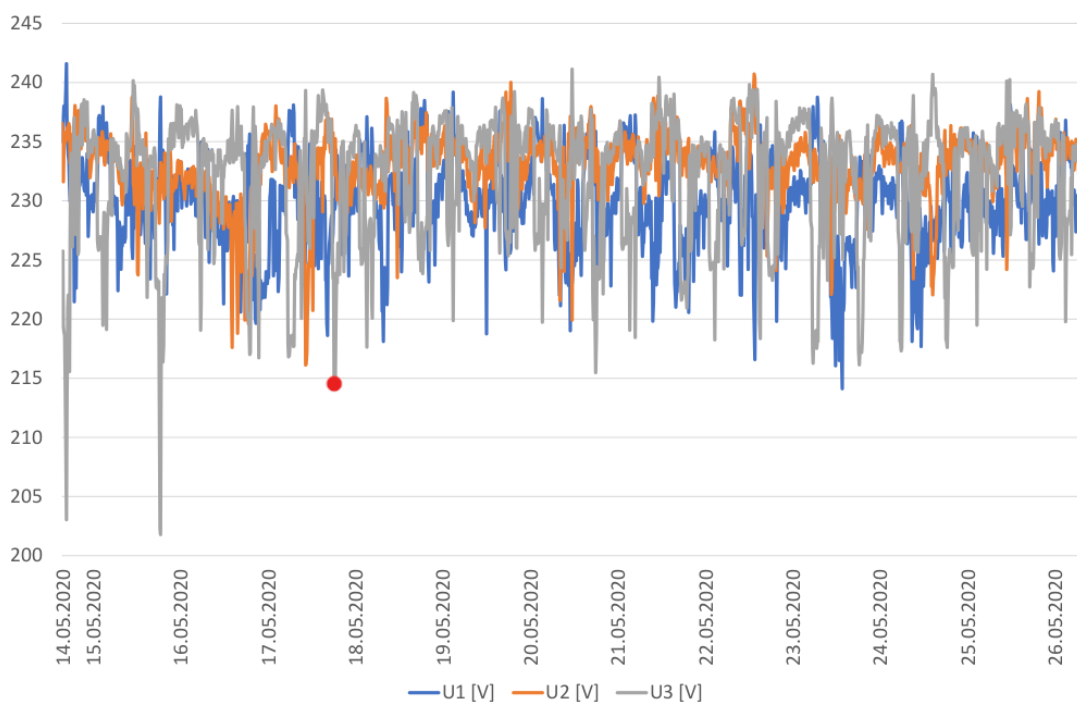


Obrázek 4.12: Průběh napětí na Č.P. 22 po dobu měření. Červený bod signalizuje nejnižší napětí.

4.6 Parcela 27/5 Jiráň (severní skupina samot) s maximálním úbytkem napětí

Stejně jako v případě u čp. 22 se zde vychází z maximálního úbytku napětí za celý měřený časový úsek. Maximální úbytek napětí zde vznikl s hodnotou $I_1 = 214$ V, přičemž ostatní

dvě fázová napětí byla $I_1 = 229 \text{ V}$, $I_1 = 232 \text{ V}$. Nastává zde opět případ kdy je zatížená jinak řečeno velký úbytek napětí vzniká pouze na jedné fázi, na ostatních fázích se toto napětí udržuje. Pokud z těchto hodnot vycházím, došel jsem ve stejném časovém úseku v trafostanici k hodnotě napětí 233 V průměrně pro všechny tři fáze. V modelovacím programu BIZON bylo obdobnou metodou zjištěno napětí na parcele 27/5 Jiráň napětí 220 V . Znovu zde upozorňuji, že program BIZON počítá pouze s jednou průměrnou hodnotou napětí vzatých z hodnot jednotlivých fázových napětí. U tohoto vývodu TS ZD šlo snadněji navolit v programu BIZON činitele soudobosti tak, aby proud tekoucí z trafostanice ať už v případě maximálního zatížení trafostanice či maximálního úbytku na konci sítě vyhovoval.



Obrázek 4.13: Průběh napětí na parcele 27/5 po dobu měření. První dva úbytky napětí se neuvažují kvůli nahodilé události ve vedení. Červeným bodem signalizována nejnižší hodnota napětí.

4.7 Namodelovaný případ pro TS Řídký

Tento případ bere v potaz čp. 22 Obora z hlediska kvality napětí. Posuzuji zde, jak se zlepší kvalita dodávaného napětí v tomto odběrném místě, pokud bychom elektrickou energii přiváděli ze strany od TS Řídký. Tato TS má typový výkon 100 kVA , stávající napájení přes TS Obec má typový výkon 160 kVA . Ale výkon trafostanic v tomto případě nehraje nijak zásadní rozdíl. Jedná se hlavně o délku k odběrnému místu. Od TS Řídký je tato vzdálenost k místu čp. 22 zřetelně menší. Pro tento model se přívod ze strany obce Velký Bor odpojila (v mapě označeno jako červené X - viz. mapa TS Řídký) a

místo toho se energie přiváděla z druhé strany. Pokud bych měl srovnávat, jak ze zlepšit napěťové poměry, tak budu porovnávat hodnoty průměrné vypočtené programem bizon pro případ vedení z TS Obec pro maximální úbytek napětí na čp. 22 (zde bylo v průměru 220 V) a v nově namodelované situaci kdy bylo napětí na čp. 22 cca 223,3 V. Napěťový poměr je zde lepší (viz přílohy - mapa).

Tabulka 4.1: Rozdíl napětí na čp.22 při modelovém napájení z bližší trafostanice.

Strana napájení	Měřené [V]
Č.p. 22 při stávajícím napájení	220
Č.p. 22 při napájení z TS řídký	223,3

Kapitola 5

Rozbor parametrů a metod pro zjišťování kvality napětí

5.1 Jednotlivé metody

Nejspolehlivější metodou pro získání celkového pohledu z hlediska kvality dodávané energie je bezpochyby samotné měření na síti. Pokud je možno, toto měření se provádí v zimních měsících, kde jsou oproti jiným měsícům započítány i např. elektrická topení u domovních jednotek a další věci. Pokud vyjde kvalita napětí jako dostačující v zimních měsících, předpokládá se bezproblémový chod i v měsících letních. Byla zde splněna podmínka osazených přístrojů po dobu alespoň týdne v rámcovém měření kvality napětí po intervalech alespoň 10 minut. Program BIZON na modelování map pak slouží spíše k náhledu do chodu distribuční sítě, popřípadě namodelování možných konstrukčních řešení sítě při rekonstrukci sítě či návrhu nové distribuční sítě. Nejvíce směrodatné při těchto návrzích či rekonstrukcích zůstávají pevně naměřené hodnoty. Z těchto hodnot se dá usoudit, zda je distribuční síť nízkého napětí z hlediska kvality dodávané energie vyhovující či nikoliv. Jako výhodu programového modelování sítí bych uvedl rychlost oproti samotnému měření na trafostanicích a v přípojných místech. Díky tomuto modelování sítí přes program lze alespoň přibližně vidět v řádu několika hodin, jak by šel navrhnout nějaký náhodně vzniklý problém na síti. V případě samotného měření s dodržáním podmínky alespoň týdne měření je tato metoda značně pomalejší. Záleží tedy na naléhavosti řešení daného problému v síti, s kterou metodou by potom bylo lepší pracovat. V dnešní době je trendem dimenzovat síť ani ne už tolik z hlediska úbytků napětí jako větší popularita třífázové zkratové (vztažné) impedance, kterou jsem popisoval výše v práci. Tato metoda posouzení kvality napětí při návrhu sítě je značně jednodušší s předpokladem pro osazené spotřebiče do určité proudové hodnoty. Orientačně by tedy třífázová zkratová impedance v případě splnění požadavků měla říkat, že je síť z hlediska kvality napětí přizpůsobena.

5.2 Rozdíly ve výsledcích jednotlivých metod

Samozřejmě se reálně měřené hodnoty a namodelované vypočítané hodnoty programem liší. Jak jsem již zmiňoval, program pro modelování sítí neuvažuje každou fázi zvlášť, neuvažuje nesymetričnost. S panem Ing. Josefem Sulkem jsme se snažili namodelovat síť v programu BIZON tak, aby její hodnoty co nejvěrněji odpovídaly reálnému měření, nebo se alespoň co nejvíce blížily. Pro příklad parcela 27/5 Jiráň směr Bavorov, kde vznikl podle měření maximální úbytek napětí 214 V. Program vypočítal hodnotu 220,29 V. Tento rozdíl není nijak zvlášť markantní, hlavně pokud se díváme na program BIZON jako na přibližné řešení a nepotřebujeme tak přesné hodnoty, jako umí poskytnout měření.

Zajímavé hodnoty z hlediska koncepčního chápání distribučních sítí nízkého napětí se stal u měření TS Obec. Při prvním výpočtu z maximálního proudového zatížení vyšlo napětí 226 V. Při druhém výpočtu z maximálního úbytku napětí toto napětí v trafostanici vyšlo pouze 224 V. Jak tedy může být toto napětí 224 V menší, než při maximálním zatížení trafostanice. Ve většině případů za tyto vlivy může síť vysokého napětí (22 kV), která ovlivňuje napětí i na straně sekundárního vinutí transformátoru, což chápeme jako stranu nízkého napětí (0,4 kV).

Tabulka 5.1: Naměřené hodnoty při maximálním proudovém zatížení TS.

Místo měření	I [A]	U [V]
TS Obec	$I_1=104,5$	$U_3=226$
	$I_2=98,3$	$U_2=226$
	$I_3=77,4$	$U_3=226$
Č.P. 22	$I_1=1$	$U_1=225,5$
	$I_2=1$	$U_2=220,3$
	$I_3=1$	$U_3=222$
TS ZD	$I_1=26$	$U_1=233$
	$I_2=52,7$	$U_2=233$
	$I_3=14,5$	$U_3=233$
Parcela 27/5	$I_1=0$	$U_1=213$
	$I_2=0$	$U_2=230,5$
	$I_3=0$	$U_3=232,2$

Tabulka 5.2: Naměřené a vypočtené hodnoty pro minimální napětí.

Místo měření	Měřené U [V]	Programem vypočtené U [V]
Č.P. 22	$U_1=218$ $U_2=222$ $U_3=208$	$U_{prog.}=215$
TS Obec	$U_1=225,51$ $U_2=225,42$ $U_3=225,32$	$U_{prog.}=224$
Parcela 27/5	$U_1=214$ $U_2=232$ $U_3=229$	$U_{prog.}=220,29$
TS ZD	$U_1=233,14$ $U_2=232,88$ $U_3=239,96$	$U_{prog.}=233$

5.3 Oficiální posouzení kvality napětí v koncových bodech

5.3.1 Čp. 22 Obora

V místě měření ve sledovaném období kvalita napětí nesplňovala podmínky stanovené technickou normou ČSN EN 50160 „Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě“. Byl překročen parametr flickr (Plt).

Velikost a odchylky napájecího napětí a frekvence jsou v souladu s požadavky normy ČSN EN 50160, a tím bylo potvrzeno dodržení standardu kvality napětí dle §8 vyhlášky č.540/2005 Sb., v platném znění, – „o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice“.

5.3.2 Parcela 27/5 Jiráň směr Bavorov

V místě měření ve sledovaném období kvalita napětí nesplňovala podmínky stanovené technickou normou ČSN EN 50160 „Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě“. Byl překročen parametr flickr (Plt).

Velikost a odchylky napájecího napětí a frekvence jsou v souladu s požadavky normy ČSN EN 50160, a tím bylo potvrzeno dodržení standardu kvality napětí dle §8 vyhlášky č.540/2005 Sb., v platném znění, – „o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice“.

5.4 Posouzení kvality napětí vlastními slovy

Parametr flickr je jeden z parametrů kvality napětí a nebyl dodržen ani v jednom ze dvou koncových bodů sítě, kde jeho hodnota překročila určitou mez. Z hlediska úbytků napětí byla norma a daná tolerance $\pm 10\%$ dodržena. Jedná se tedy o síť provozovatelnou, avšak do jisté míry nevyhovující z hlediska nedodržení parametru flickr. Problém s tímto parametrem má být výhledově opraven do 5 let bez přidané priority. Pokud by napětí na těchto koncových bodech kleslo pod požadovanou úroveň (90% z $U_n = 207$ V), ale není zde splněna mez pro klesání napětí pod tuto hodnotu v kontinuálním průběhu více jak 8 hodin. V případě, že by napětí klesalo nad hodnotu daného času, potom by síť byla charakterizována jako nevyhovující s prioritou řešení tohoto problému.

5.5 Budoucí rozvoj obce Velký Bor

Vzhledem k přihlídnutí k naměřeným či namodelovaným hodnotám by v případě nových parcel v centru obce neměl být problém a kvalita napětí by tu podle předpokladů měla být zajištěna. Problém nastává v místech vzdálenějších od trafostanic. V případě samot kde se hodnota napětí při měření stávajícího stavu pohybovala už tzv. na hraně, by v případě nových přípojních míst nemusel být dodržen parametr o úbytcích napětí a je dost pravděpodobné, že by se hodnota napětí vychýlila z dovolených 10% . V tomto případě by bylo na distributorovi sítě nízkého napětí zajistit kvalitní dodávku elektrické energie. Lze toho tak docílit několika způsoby. Nejjednodušší způsob je přidání další trafostanice do míst (samot), kde je kvalita napětí nesplňující. Trafostanice by vyřešila problém s délkou vedení a lze s jistotou říci, že trafostanice by na 100% vyřešila i problém s kvalitou dodávané energie. Samotná trafostanice je pak i výborný prostředek pro další budoucí rozvoj, protože pokud má životnost 40 let a nevyužije se na samotách v době její výstavby její plný potenciál, může zásobovat další odběrná místa vystavěná v průběhu dalších let či desetiletí. Dalším řešením by byl mohl být např. přechod z venkovních vzdušných vedení na kabelové o větším průřezu. Větší průřez zajistí menší odpor vodiče a tím pádem i menší úbytek napětí na požadované délce. Toto řešení by bylo ekonomicky složitější než výstavba další trafostanice, ale vzhledem k trendu dnešní doby, kdy se přechází na kabelové vedení, je tento způsob koncepčně klidně možný.

5.6 Navrhovaná nápravná řešení

5.6.1 Osazení dalšího transformátoru

Nejjednodušším a zároveň nejspolehlivějším řešením by bylo v místě s nejhorší kvalitou napětí vystavět novou trafostanici. Pokud by požadovaná kvalita napětí klesla pod určité dovolené meze na samotách, navrhoval bych osazení trafostanice s typovým výkonem do

400 kVA s vlastním výkonem transformátoru 100 kVA. Transformátor s tímto výkonem by měl být dostačující pro oblast samot, kde se nalézá méně odběrných míst a některé objekty jsou zde využívány pouze rekreačně. Od trafostanice bych navrhoval vývod nízkého napětí pomocí zemního kabelu (např. novějšího NAYY). Pokud by se výhledově do budoucna mělo plánovat s velkým podílem nových rostoucích obytných domů v těchto částech obce, nová trafostanice by byla nejlepším možným řešením i z tohoto hlediska. Pokud by zde na samotách mělo výhledově být vybudováno podnikání, navrhoval bych potom další vývod z trafostanice s dimenzovaným zemním kabelem podle předběžné velikosti daného podnikání. Pro příklad pokud by se zde mělo vybudovat podobně jako ve vsi nejnovější podnikání s ampérovou hodnotou jističe 80A. Navrhoval bych zde také kabel NAYY 4x150, stejně jako je tomu přímo v obci. V případě vybudování trafostanice se odkazuji na kapitolu trendy využívané při budování a rekonstrukci distribučních sítí nízkého napětí. Trafostanice by se zde vystavěla v takovém místě, aby byla její efektivita co nejlépe využita. Z hlediska problému jednotlivých délek by proto měla vyrůst co nejbližší přípojným místům, které by byly postiženy nedostačující kvalitou napětí a tímto vyřešit tento problém. A to i za cenu zvýšené cenové náročnosti z hlediska vedení VN na trafostanici. Samotná trafostanice by potom byla klasická sloupová, jako je tomu v obou případech v obci.

5.6.2 Výměna průřezů vodičů

Pokud bych uvažoval stejný problém a nedostačující kvalita elektrické energie by začala v průběhu dalších let vznikat hlavně na odběrných místech na samotách, navrhoval bych tedy výměnu AlFe 70/11 (tyto vodiče jsou použity k rozvodu z obce na obě skupiny samot). Jako nový vodič bych použil vzhledem k využívanému trendu kabelové zemní vedení. Toto vedení bych navrhnul s větším průřezem (klidně i 4x150 NAYY). Na širším úhlu pohledu by byl měrný odpor jednotlivých vodičů, takto se dá s předpokladem říci, že pokud bychom nahradili vodič o průřezu 70 mm za vodič o průřezu 150 mm, jednalo by se o nasazení přes dvakrát většího průřezu na tu samou uvažovanou délku vedení na samoty. Dá se tedy říci, že napěťové poměry na samotách mohl kabel o 2krát větším průřezu snížit přibližně na polovinu. Na parcele 27/5 Jiráň vznikl v reálu úbytek od trafostanice TS ZD 20 voltů v jedné z uvažovaných fází. Takto bychom mohli úbytek snížit podle předpokladu na 10 V. Samotný postup by bylo vytvoření nového vývodu u jedné ze dvou trafostanic (pokud byl předpoklad pro jižní část samot, byl tento vývod tvořen v TS Obec, pro severní skupinu samot potom v TS ZD). Následný výkop a pokládání uvažovaného kabelu (např. navržených NAYY 4x150) a natažení kabelu až k přípojným místům, kde je kvalita napětí špatná. Jednotlivé postižené odběry by se poté přepojily na nově vzniklé kabelové vedení. Zde je kladen důraz na omezení indexů SAIDI a SAIFI (viz. Kapitola SAIDI a SAIFI). Kvůli těmto indexům a zajištění spolehlivé a nepřetržité dodávky elektřiny do těchto vzdálených míst by se tedy postupovalo takto. V případě, že by se nejdříve mělo likvidovat pozůstalé vzdušné vedení AlFe 70 a až následně začít výkop a pokládání

kabelu, mohla by přípojná místa na samotách zůstat bez elektrické dodávky i v řádu několika týdnů, což je z hlediska energetické vyhlášky zcela nepřijatelné.

5.6.3 Zavěšení vodiče pod stávající vedení

V tomto případě by se jednalo o posílení vzdušných vodičů AlFe. V případě AlFe lan se uvažuje výška nad zemí v největším průhybu vodiče minimálně 6 metrů (ve všech případech léto/zima). Přibližně půl metru pod samotná AlFe lana by byl zavěšen vodič AES. Jedná se o vodič s označením AES - slaněný závěsný kabel. [5]



Obrázek 5.1: Závěsný izolovaný vodič AES. 1)Al jádro (RM), 2)Izolace (PE černý, odolný proti UV záření), žíly jsou stočené do duše.

5.6.4 Nápravné opatření na trafostanici TS Obec

Jak jsem již zmiňoval, naměřené hodnoty na trafostanici TS Obec jsou sice z hlediska celkového měření v pořádku, ale určitě nejsou úplně na plno vyhovující. Pohybujeme se zde okolo 226 V změřených pro maximální proudové zatížení trafostanice a 224 V pro maximální úbytek napětí na čp. 22. Tento problém by se dal snadno vyřešit nastavením odbočky na sekundární straně vinutí transformátoru. V praxi jedna tato odbočka reprezentuje přibližně 5,75 V (záleží také na typu transformátoru). Všechny tyto popsání sloupové transformátory v obci (TS Obec, TS ZD) mají 5 poloh pro sekundární stranu vinutí. +2,+1,0,-1,-2. Podle těchto odboček by se dalo snadno docílit zvýšení napětí na sekundární straně tak, abychom se ve výsledku pohybovali v hodnotách napětí na hlavním jističi v řádu kolem 230 V. Zde bych tedy navrhoval nastavení o jednu odbočku transformátoru a zvýšení o 4,75 V.

5.6.5 Příklad pro budování solární elektrárny

Zde uvažuji případné vybudování fotovoltaických článků v obci. Sluneční články se v této době těší velké oblíbenosti, proto je pravděpodobné, že s budoucím rozvojem sítě přijde i vybudování takových to článků. Pro představu jsem si vzal pilu umístěnou v jižnější části obce. Pokud, jak jsem již popisoval udělá pila při startu velké proudové zatížení v síti a nárazově může hodnota napětí klesnout třeba o 4 V. V případě chodu může samotná pila udělat přibližně 2-3 V pro tuto ukázkou. Sluneční elektrárna, která by byla z

průměrného svítivého dne schopna vytvořit stejnou energii, jako je energie spotřebována na pile. Vzhledem k tomu, že se jedná o zdroj, sluneční články by mohly o již zmíněném podobném výkonu jako u pily zlepšit napěťový poměr o nějaké 2-3 V případě, že uvažujeme průměrný svítivý den. Zde by se ale musel dát velký pozor na to, do jaké sítě popř. vývodu budeme uvažovanou sluneční elektrárnu připojovat. V případě, že bychom jí připojili na velmi málo zatíženou větev sítě, mohla by zde elektrárna vytvářet přepětí, což je pro síť velmi nežádoucí. V tomto případě se také jedná o nestálý zdroj energie (závislý na počasí) a je nutno s tímto předpokladem počítat při samotném budování a připojování článků na distribuční síť.

Kapitola 6

Závěr

Cílem této práce bylo posouzení kvality napětí v obci Velký Bor. Pro vyhodnocení bylo využito více rozdílných metod pro zjišťování důležitých parametrů sítě. Práce měla dokázat, zda je kvalita dodávané elektrické energie v obci vyhovující a případně podniknout nápravná opatření.

Po nastínění stávajícího stavu sítě Velký Bor proběhlo měření důležitých parametrů pro kvalitu napětí v trafostanicích a v odběrných bodech na konci sítě. Jedná se o samoty, na kterých je měření zajímavé z důvodu velké vzdálenosti a předpokládaných vysokých úbytků napětí. Měření zde probíhalo koncem měsíce května a všechna důležitá místa byla osazena po dobu 12 dní. Přístroje zaznamenávaly hodnoty napětí a proudu v intervalech 10 minut.

Z naměřených hodnot byly využity data pro dva základní body. Prvním z bodů bylo nalezení maximální proudové špičky na transformátoru a následné odečtení hodnot napětí. V tomto časovém intervalu 10 minut byl zjištěn proud tekoucí vývodem transformátoru jdoucím na uvažovanou měřenou přípojku v místě samot. V místě koncového odběru na samotě bylo odečteno napětí a proud. Druhým bodem byl pak obrácený postup, kde se vycházelo z minimální hodnoty napětí na měřeném místě samoty a následný ekvivalentní postup pro stanovený časový interval zpět na trafostanici. Tyto výpočty probíhaly pro každou trafostanici a přípojné místo na jejím konci (v obci se nacházejí 2 trafostanice a pro každou byl uvažovaný jeden měřený přípojný bod na dané straně samot). Celkem se jedná o 4 výpočty.

Naměřené hodnoty pro koncová odběrná místa byly porovnány s naměřenými hodnotami u příslušné trafostanice. V této práci bylo také provedeno srovnání reálných naměřených hodnot na těchto místech s hodnotami, jež namodeloval program, který je určený pro koncepční návrh distribučních sítí. Byla zde posouzena kvalita napětí vyplývající z naměřených hodnot.

Jedním z hlavních cílů bylo i provedení nápravných opatření s přihlédnutím na budoucí rozvoj obce a naměřené hodnoty napětí a proudu. Zde je navrženo několik možných nápravných opatření. Nejzákladnější a nejúčinnější varianta je osazení nového transformátoru do míst se špatnou kvalitou napětí (samoty). Dalšími variantami pak jsou např.

navýšení průřezu uvažovaného vodiče větví tam, kde je špatná kvalita napětí. Další variantou je zavěšení dalšího vodiče (označení AES) pod stávající venkovní vzdušné vedení. Tyto nápravná opatření jsou vytvářena výhledově do budoucna s předpokladem na určitý budoucí růst obce, kde by se s rostoucím počtem přípojných bodů mohla kvalita napětí začít vychylovat z dovolených mezí.

Reference, použitá literatura

- [1] KŘÍŽ, Michal. *Dimenzování a jištění elektrických zařízení-tabulky a příklady*. IN-EL, 2001. 192 s. ISBN 80-86230-21-X.
- [2] Seznam.cz. *Mapy.cz* [online]. Copyright © 1996–2020, Seznam.cz, a.s. [cit. 20.5.2020]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.1345511&y=49.0766825&z=17&source=addr&id=9228457>
- [3] ČERMÁK, Jiří. Vodiče venkovních elektrických vedení. In: *oenergetice.cz* [online]. 11.4.2015 [cit. 20.5.2020]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/vodice-venkovnich-elektricky-vedeni?fbclid=IwAR2ZmiuarrIkku25VbR11hW94TIqX417KGHMLExBd5CPK7XwUi0XbDD2IE>.
- [4] PNE 33 3430-0. *Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav*, 2015.
- [5] Kabelové vedení NN. E.ON distribuce a.s., 2012. Interní nepublikovaný dokument.
- [6] Koncepce sítí NN. E.ON distribuce a.s., 2014. Interní nepublikovaný dokument.