

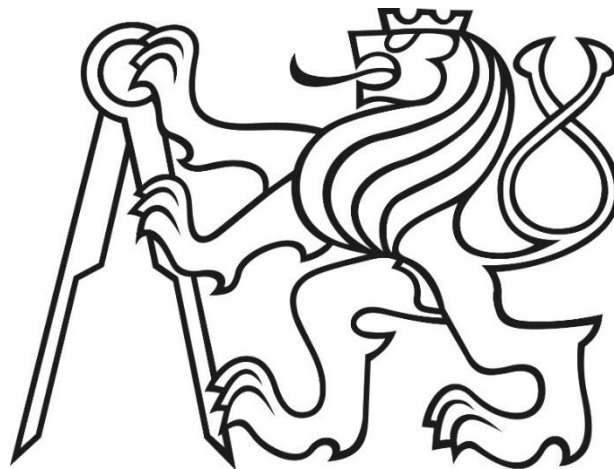
České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky

Studijní program: Elektrotechnika, elektronika a management

Obor: Aplikovaná elektrotechnika



Návrh rekonstrukce sítě NN v obci Zdíkov

The reconstruction design of LV grid in the village Zdíkov

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Petr Blažek

Vedoucí práce: Ing. Vít Klein, Ph.D.

Praha 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Blažek** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **434905**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh rekonstrukce sítě NN v obci Zdíkov

Název bakalářské práce anglicky:

The reconstruction design of LV grid in the village Zdíkov

Pokyny pro vypracování:

1. Zhodnocení stávajícího stavu sítě NN z hlediska kvality napětí.
2. Návrh dočasného řešení pro zlepšení kvality dodávané el. energie. Ověření účinnosti zvoleného řešení.
3. Návrh konečného řešení posílení sítě NN v možných technických variantách.
4. Technicko-ekonomické porovnání navrhovaných variant.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ECZR-PP-AO-062.0 Koncepce sítí nízkého napětí, plánování obnovy sítí NN: Prováděcí pokyn E.ON Česká republika, s.r.o. ECZR - Správa sítě elektřina, účinnost od 1. 10. 2009.
- [2] TLUSTÝ, Josef. Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 9788001049396.
- [3] TOMAN, Petr. Provoz distribučních soustav. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [4] PNE 33 3430-0 Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav. 5. vyd., dostupná 10. 2. 2017 na adrese: <http://www.csres.cz/Upload/PNE%2033%2034300%205.vydání%20definitivní%20znění.pdf>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Vít Klein Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **17.02.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 20. 5. 2017

.....

Petr Blažek

Poděkování:

Velice rád bych poděkoval společnosti E.ON Česká republika s.r.o., která mi umožnila pracovat na tomto zajímavém tématu ve spolupráci s panem Ing. Janem Jiříčkou, který mi poskytl přístup k naměřeným datům reálné sítě a trpělivě odpovídal na moje dotazy a byl ochotný mi pomoci, kdykoliv jsem potřeboval. Dále bych rád poděkoval mému vedoucímu panu Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D. za způsob vedení bakalářského semináře a vedení mé práce. Díky němu jsem začal pracovat velmi brzy, a tím mohla být práce dostatečně obsáhlá. Poslední poděkování patří mé rodině za velkou podporu a vytvoření zázemí během celé doby mého studia.

Anotace:

Cílem práce je vyřešit nevyhovující stav sítě nízkého napětí zjištěný po reklamaci zákazníkem. Dočasným řešením byla instalace regulačního autotransformátoru, který zlepšil parametry v síti. Síť jsem popsal z hlediska geografické polohy a technických veličin a posoudil vliv dočasného řešení pomocí regulačního autotransformátoru napětí. Dále jsem vypsala kritéria a podmínky pro tvorbu sítě nízkého napětí stanovená pro projektování nových sítí. Stěžejním cílem této práce je navrhnout dvě možné varianty řešení sítě nízkého napětí, které musí splňovat technické požadavky stanovené pro nově rekonstruované sítě společností E.ON. Pro výběr nejlepší varianty je nutné provést technicko-ekonomické vyhodnocení, na základě kterého vyberu konečné řešení rekonstrukce sítě v obci Zdíkov Zábrod. Vybranou variantu doporučím vlastníkovi sítě společnosti E.ON k realizaci.

Klíčová slova:

nízké napětí, distribuční síť, vyhodnocení měření, návrh variant řešení, technicko-ekonomické porovnání

Annotation:

The work's aim is to solve the insufficient state of the low voltage grid detected after customer complaint. A temporary solution was to install a regulatory autotransformer, which improved parameters of the grid. I described the grid in terms of geographic location and technical parameters and assessed the impact of temporary solution using voltage regulatory autotransformer. I have also listed the specifications and conditions for the formation of low voltage grid established for designing new power grids. The main goal of this work is to propose two possible low voltage grid solutions that must meet technical requirements for power grid newly renovated by the company E.ON. We will select the best option and the final solution for the reconstruction of the power grid in the village Zdíkov Zábrod based on the performed technical and economic assessment. I recommend the selected option for the grid to the owner company E.ON to implementation.

Keywords:

low voltage, distribution grid, evaluation of measurement, design of alternative solutions, technical and economic comparison

Obsah

ÚVOD.....	7
1. ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU SÍTĚ NN Z HLEDISKA KVALITY NAPĚTÍ	8
1.1 SCHÉMA SÍTĚ NN	9
1.2 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ KVALITY NAPĚTÍ VYVOLANÉ REKLAMACÍ ZÁKAZNÍKA.....	11
1.2.1 <i>Vyhodnocení měření v místě reklamacie</i>	11
1.2.2 <i>Měření a úprava nastavení odbočky transformátoru</i>	12
2 KRITÉRIA PRO TVORBU SÍTÍ NÍZKÉHO NAPĚTÍ.....	13
2.1 KONCEPCE SÍTÍ NÍZKÉHO NAPĚTÍ	13
2.2 OBECNÉ ZÁSADY A VÝCHOZÍ PODMÍNKY.....	13
2.2.1 <i>Výkonové dimenzování</i>	15
2.2.2 <i>Maximální délka vývodu</i>	15
2.3 KRITÉRIA PRO NÁVRH A TECHNICKÉ HODNOCENÍ NN SÍTÍ	16
2.3.1 <i>Návrh a kontrola jištění</i>	17
2.3.2 <i>Impedance</i>	17
2.3.3 <i>Míra vjemu flikru</i>	18
2.3.4 <i>Odchylky napájecího napětí</i>	19
3 NÁVRH DOČASNÉHO ŘEŠENÍ PRO ZLEPŠENÍ KVALITY DODÁVANÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE, OVĚŘENÍ ÚČINNOSTI ZVOLENÉHO ŘEŠENÍ	20
3.1 POUŽITÉ ŘEŠENÍ.....	20
3.2 PRINCIP REGULAČNÍHO AUTOTRANSFORMÁTORU	20
3.3 MĚŘENÍ DOČASNÉHO ŘEŠENÍ.....	21
3.3.1 <i>Vyhodnocení stavu trafostanice</i>	23
3.3.2 <i>Vyhodnocení měření na vstupu do regulátoru</i>	23
3.3.3 <i>Vyhodnocení měření na výstupu z regulátoru</i>	24
3.3.4 <i>Vyhodnocení měření v místě reklamacie po instalaci regulátoru</i>	24
3.4 VYHODNOCENÍ GRAFŮ	25
3.4.1 <i>Měření U_{min}</i>	25
3.4.2 <i>Měření $U_{stř}$</i>	26
3.4.3 <i>Měření U_{max}</i>	27
3.4.4 <i>Měření P_{st}</i>	28
3.4.5 <i>Měření P_{lt}</i>	29

4	NÁVRH KONEČNÉHO ŘEŠENÍ POSÍLENÍ SÍŤE NN V MOŽNÝCH TECHNICKÝCH VARIANTÁCH	30
4.1	OBECNÝ POPIS MOŽNÝCH TECHNICKÝCH VARIANT.....	30
4.2	VARIANTA A.....	30
4.2.1	<i>Ověření splnění podmínek</i>	33
4.3	VARIANTA B	34
4.3.1	<i>Ověření splnění podmínek</i>	37
5	TECHNICKO-EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ NAVRHOVANÝCH VARIANT	39
5.1	ZÁKLADNÍ POUŽITÁ KRITÉRIA.....	39
5.1.1	<i>Impedance v oblasti rekonstruované sítě</i>	39
5.1.2	<i>Investiční náklady</i>	40
5.1.3	<i>Provozní náklady</i>	41
5.1.4	<i>Ztráty v síti</i>	42
6	ZÁVĚR	45
	LITERATURA	47
	SEZNAM PŘÍLOH	49

Seznam obrázků

Obrázek 1: Mapa jižních Čech [9]	8
Obrázek 2: Mapa distribuční sítě v okolí obce Zdíkov	9
Obrázek 3: Vyhodnocení měření v místě reklamace	11
Obrázek 4: Okružní síť [5]	14
Obrázek 5: Paprsková síť [2]	14
Obrázek 6: Princip zapojení regulačního autotransformátoru [7]	21
Obrázek 7: Nainstalované měření v místě trafostanice	22
Obrázek 8: Nainstalované měření v místě autotransformátoru	22
Obrázek 9: Simulační model varianty A	32
Obrázek 10: Schéma varianty B	35
Obrázek 11: Návrh varianty B	36

Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry distribuční sítě	10
Tabulka 2: Tabulka pro návrh obnovy sítí NN [1]	16
Tabulka 3: Tabulka pro návrh sítí NN [1]	16
Tabulka 4: Vyhodnocení měření na vstupu do regulátoru	23
Tabulka 5: Vyhodnocení měření na výstupu z regulátoru	24
Tabulka 6: Vyhodnocení měření v místě reklamace po instalaci regulátoru	24
Tabulka 7: Výpočty parametrů varianty A	33
Tabulka 8: Výpočty parametrů varianty B	37
Tabulka 9: Výpočet parametrů prvního vedení	37
Tabulka 10: Výpočet parametrů druhého vedení	38
Tabulka 11: Tabulka porovnání impedancí	40
Tabulka 12: Investiční náklady varianty A	41
Tabulka 13: Investiční náklady varianty A	41
Tabulka 14: Výpočet ztrát pro jednotlivé varianty	43

Seznam grafů

Graf 1: U_{\min}	25
Graf 2: $U_{\text{stř}}$	26
Graf 3: U_{\max}	27
Graf 4: P_{st}	28
Graf 5: P_{lt}	29

Úvod

Téma bakalářské práce bylo navrženo společností E.ON Česká republika, s.r.o. na základě stížnosti odběratele na kvalitu dodávky elektrické energie, kterou bylo nutno vyřešit.

Náplní této bakalářské práce je vyhodnocení stávajícího stavu sítě, provizorního řešení po instalaci regulačního autotransformátoru a návrh nových variant řešení rekonstrukce nízkonapěťové distribuční sítě v oblasti Zdíkov Zábrod. Jednotlivé varianty budu posuzovat z technického a ekonomického hlediska a vyberu nejlepší možnost řešení distribuční sítě tak, aby nejlépe splňovala technologické i ekonomické podmínky pro tvorbu a provoz distribučních sítí.

V první kapitole se zabývám zhodnocením stavu sítě v době reklamace před provedením provizorního řešení. Blíže se věnuji geografickému umístění obce Zdíkov a popisu technického stavu sítě.

Druhá kapitola rozebírá základní kritéria pro tvorbu sítí nízkého napětí a stanovuje pravidla, kterými se musíme řídit při posuzování stávajících sítí a projektování nových sítí.

Třetí kapitola obsahuje návrh provizorního řešení k zlepšení stavu sítě nízkého napětí a ověření účinnosti navrženého opatření pomocí nainstalovaného měření. Výsledky měření jsem porovnal s normou, která se zabývá kvalitou elektrické energie dodávanou do sledované sítě.

Ve čtvrté kapitole se věnuji technickým možnostem konečného řešení posílení sítě nízkého napětí. Pro tuto síť jsem navrhl dvě odlišné varianty řešení.

V páté kapitole rozebírám jednotlivé varianty z hlediska technicko-ekonomického řešení. Nejprve porovnávám jednotlivá řešení podle technického parametru třífázové zkratové impedance. Poté posuzuji jednotlivá řešení z hlediska finanční náročnosti investice do sítě a náklady spojené s provozem a údržbou sítě.

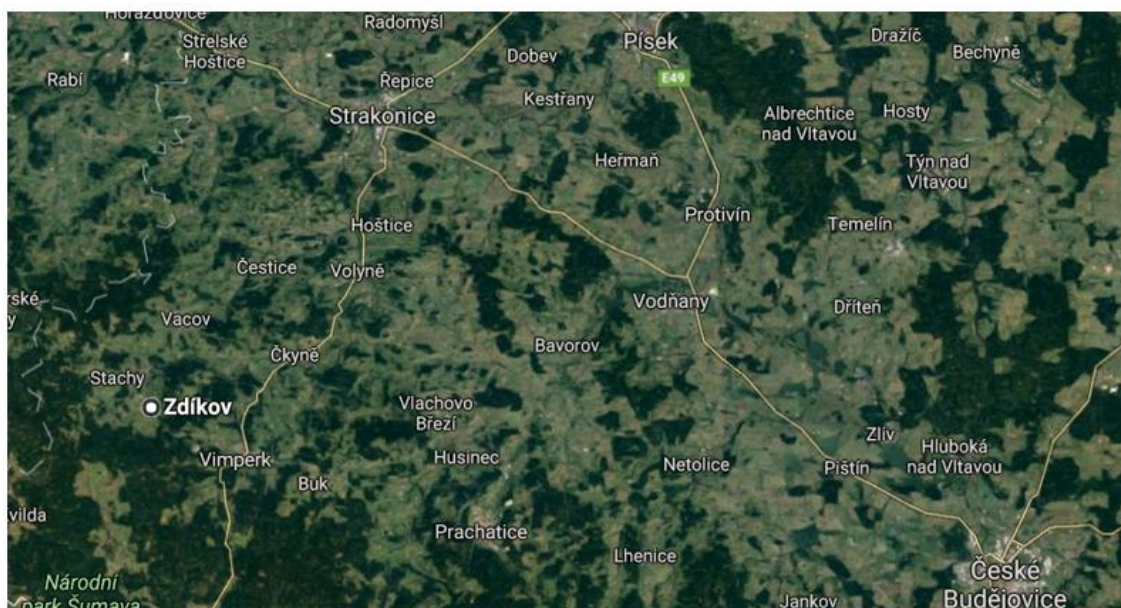
V závěru na základě předchozí kapitoly vyhodnocuji nejlepší variantu konečného řešení pro vlastníka distribuční sítě z hlediska technického i ekonomického.

1. Zhodnocení stávajícího stavu sítě NN z hlediska kvality napětí

Rozborem této bakalářské práce je síť nízkého napětí v obci Zdíkov. Obec Zdíkov se nachází na území Šumavy a je vzdálená přibližně 30 km severozápadně od města Prachatic viz Obrázek 1: Mapa jižních Čech [9].

Síť vychází z trafostanice umístěné v jihozápadní části obce Zdíkov nazývané Zdíkov Zábrod. Stožárová trafostanice o typovém výkonu 400 kVA je osazena transformátorem o jmenovitém výkonu 100 kVA. Rekonstrukce této trafostanice byla uskutečněna v roce 2009. Vedení výkonu z trafostanice je realizováno dvěma nadzemními vývody a jedním kabelovým vývodem. První nadzemní vedení paprskového typu vede od transformátoru přes odběrná místa ke konečnému odběrnému místu v bodu C. V tomto místě byla podána reklamace od zákazníka na kvalitu dodávky elektrické energie. Druhé nadzemní vedení paprskového typu dodává elektrickou energii po trase vedení až k poslednímu odběru bod D na Obrázek 2: Mapa distribuční sítě v okolí obce Zdíkov. Z transformátoru je ještě vyveden kabelový vývod směrem do obce Zdíkov.

Celá popisovaná síť je zde velmi rozsáhlá, délka vedení dosahuje 4,5 km. V dané lokalitě nejsou z důvodu vzdálenosti konečných odběrných míst od transformátoru dodrženy předepsané požadavky na kvalitu dodávky elektrické energie určené normou. Řešením těchto problémů se zabývá tato bakalářská práce, která zkoumá stávající stav distribuční sítě, provizorní řešení sítě a případné možnosti rekonstrukce.

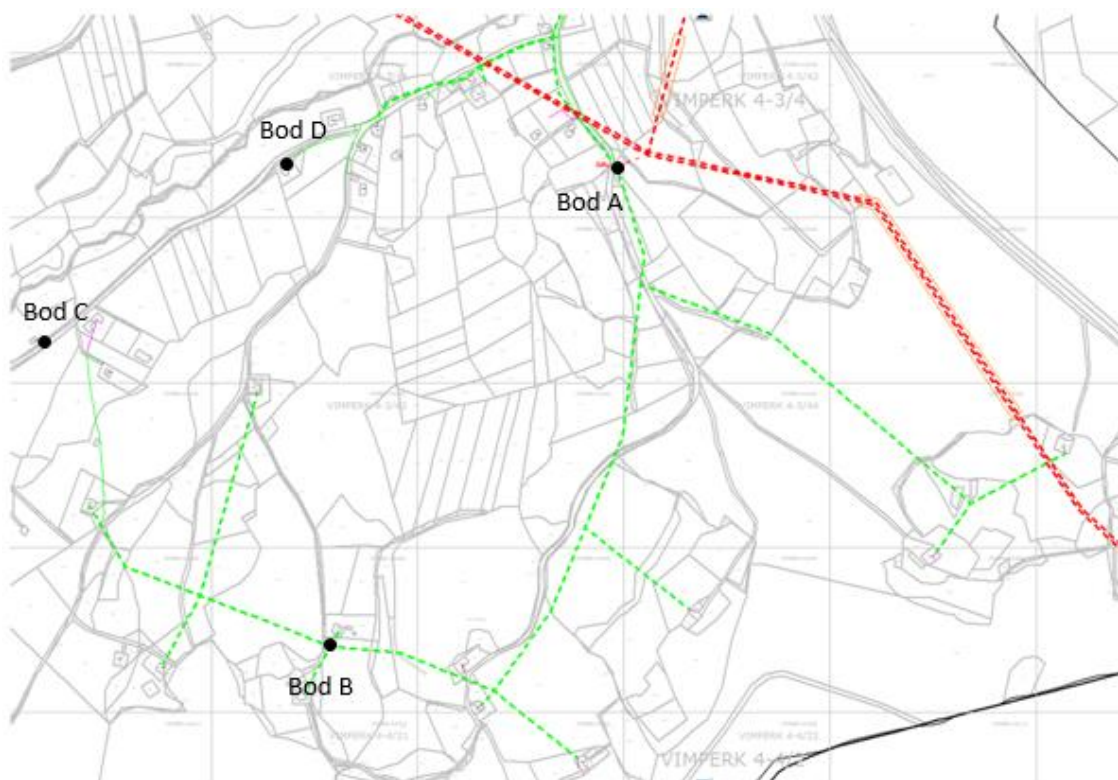


Obrázek 1: Mapa jižních Čech [9]

1.1 Schéma sítě NN

Obrázek 2: Mapa distribuční sítě v okolí obce Zdíkov je vyhotoven programem Netviewer, který slouží k technické dokumentaci sítě elektrického vedení. Červenou barvou je znázorněna část vedení 22 kV, které napájí trafostanice TS Zdíkov Zábrod. Na ni navazující síť nízkého napětí je zobrazena zelenou barvou. Síť je z velké části tvořená venkovním vedením AlFe. Největší četnost má AlFe $4 \times 50 \text{ mm}^2$, pak je zastoupeno vedení AlFe $4 \times 35 \text{ mm}^2$, AlFe $4 \times 16 \text{ mm}^2$ a AES $4 \times 120 \text{ mm}^2$. Dále jsou zde čtyři kabelová vedení. Dvě vedení jsou provedena kabelem AYKY $4 \times 25 \text{ mm}^2$, dvě kabelem AYKY $4 \times 50 \text{ mm}^2$. Pro přehlednost jsem přidal několik důležitých bodů:

- bod A TS Zdíkov Zábrod,
- bod B místo instalovaného regulačního autotransformátoru,
- bod C konec spodní části paprskového vývodu vedení nízkého napětí,
- bod D konec horní části paprskového vývodu vedení nízkého napětí.



Obrázek 2: Mapa distribuční sítě v okolí obce Zdíkov

Na základě technické dokumentace sítě elektrického vedení jsem sestavil simulační model Příloha 1: Simulační model sítě v programu E-vlivy. Jsou zde zadané parametry transformátoru, napájecí linky a jednotlivých venkovních a kabelových vedení

Příloha 11: Rozpis vedení sítě NN. Simulace slouží k výpočtu úbytku napětí ΔU_n , třífázové zkratové impedance Z_k a zkratového výkonu S_k .

Zkratová impedance je jedním z hlavních parametrů sítě při návrhu nových sítí, nebo rekonstrukci stávajících sítí. Její hodnota by v této lokalitě posuzované jako extravilán neměla přesáhnout $Z = 0,28 \Omega$ [1].

Následující Tabulka 1: Parametry distribuční sítě je tabulka vypočtených hodnot úbytku napětí ΔU_n [%] zkratové impedance Z_k [Ω] a zkratového výkonu S_k [MVA] pro 31 uzlů sítě.

Z vypočítaných veličin je vidět, že ve většině těchto uzlů je nevyhovující úbytek napětí, protože má hodnotu třífázové zkratové impedance výrazně vyšší, než je předepsaná hodnota, a proto nespĺňuje kritéria pro návrh nových sítí. Nejvyšší třífázová zkratová impedance se nachází v místě, kde byla podána stížnost na kvalitu dodávky elektrické energie. V tomto uzlu U22 má vztažná impedance o 463 % vyšší hodnotu, než je předepsané normou.

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	S _k [MVA]
U1	21,994	-0,064	0,028	11,547	90,000	41,916
U2	0,395	-0,923	1,248	0,067	65,474	2,372
U3	0,382	-1,254	4,490	0,205	35,818	0,782
U4	0,375	-1,453	6,197	0,642	27,023	0,249
U5	0,374	-1,472	6,536	0,813	24,960	0,197
U6	0,374	-1,463	6,377	0,732	25,811	0,219
U7	0,362	-1,794	9,406	0,479	28,411	0,334
U8	0,360	-1,779	10,108	0,839	20,364	0,191
U9	0,349	-2,199	12,790	0,692	26,728	0,231
U10	0,348	-2,227	13,009	0,813	26,164	0,197
U11	0,349	-2,203	12,823	0,710	26,632	0,225
U12	0,347	-2,253	13,221	0,727	26,545	0,220
U13	0,340	-2,462	14,878	0,886	25,900	0,181
U14	0,347	-2,252	13,256	0,745	26,125	0,215
U15	0,340	-2,460	14,956	0,928	25,154	0,172
U16	0,339	-2,456	15,158	1,037	23,520	0,154
U17	0,336	-2,605	15,975	1,044	25,452	0,153
U18	0,334	-2,642	16,564	1,378	23,462	0,116
U19	0,335	-2,617	16,161	1,149	24,702	0,139
U20	0,334	-2,672	16,478	1,190	25,144	0,134
U21	0,334	-2,677	16,520	1,215	25,100	0,132
U22	0,331	-2,604	17,164	1,567	19,846	0,102
U23	0,390	-1,076	2,613	0,225	34,629	0,710
U24	0,389	-1,082	2,860	0,254	32,286	0,630
U25	0,388	-1,081	2,946	0,293	29,162	0,546
U26	0,388	-1,086	2,993	0,275	30,897	0,582
U27	0,386	-1,117	3,566	0,367	27,424	0,435
U28	0,385	-1,105	3,813	0,484	22,421	0,331
U29	0,386	-1,116	3,602	0,376	26,964	0,426
U30	0,385	-1,112	3,649	0,397	25,626	0,403
U32	0,385	-1,109	3,743	0,442	23,904	0,362

Tabulka 1: Parametry distribuční sítě

1.2 Vyhodnocení měření kvality napětí vyvolané reklamací zákazníka

V této části je proveden komplexní rozbor důležitých veličin měření v místě reklamace a v trafostanici. Vyhodnocení bylo provedeno programem DAM, který nám porovnal naměřené parametry s hodnotami stanovenými závaznou technickou normou ČSN EN 50160.

1.2.1 Vyhodnocení měření v místě reklamace

Na základě stížnosti odběratele na kvalitu dodávky elektrické energie bylo v termínu od 24. 4. 2016 do 13. 5. 2016 v místě reklamace nainstalováno měření parametrů sítě.

Veličina	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod. %)	Splňuje
Napětí	U	[V]	10 min	min. 95%	1 týden	-10%	191,150 (83,11%)	
				max. 95%	1 týden	10%	240,640 (104,63%)	
				min. 100%	1 týden	-15%	188,900 (82,13%)	
				max. 100%	1 týden	10%	242,700 (105,52%)	
Napětí (dlouhá vedení)	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-20%	188,900 (82,13%)	
				max. 100%	1 týden	11%	242,700 (105,52%)	
Krátkodobý flkr	Pst	-	10 min	max. 95%	1 týden	1	2,815	
Dlouhodobý flkr	Plt	-	2 hod	max. 95%	1 týden	1	2,598	
Napěťová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	1,340	
Harmonické zkresení	THDu	%	10 min	max. 95%	1 týden	8%	4,110	
Harmonická napětí	Uh2	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,100	
	Uh3	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	2,940	
	Uh4	%	10 min	max. 95%	1 týden	1%	0,050	
	Uh5	%	10 min	max. 95%	1 týden	6%	1,670	
	Uh6	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	
	Uh7	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	1,830	
	Uh8	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,100	
	Uh9	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,810	
	Uh10	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,100	
	Uh11	%	10 min	max. 95%	1 týden	3,5%	0,700	
	Uh12	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,100	
	Uh13	%	10 min	max. 95%	1 týden	3%	0,740	
	Uh14	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,210	
	Uh15	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,540	
	Uh16	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,340	
	Uh17	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,470	
	Uh18	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,640	
	Uh19	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,380	
	Uh20	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	1,330	
	Uh21	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,250	
	Uh22	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,250	
	Uh23	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,260	
	Uh24	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	1,100	
	Uh25	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,200	

Obrázek 3: Vyhodnocení měření v místě reklamace

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“. Nebyly dodrženy tolerance napětí (odchyly), byl překročen parametr flickr (P_{fl}) a limit 15., 18. a 24. harmonické složky napětí. Standard kvality napětí dle § 8 vyhlášky č. 540/2005 Sb., v platném znění, „O kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice“ nebyl dodržen.

1.2.2 Měření a úprava nastavení odbočky transformátoru

Měření v trafostanici proběhlo od 13. 5. 2016 do 30. 5. 2016 a jeho výsledky neprokázaly žádnou podstatnou závadu proti platné normě viz Příloha 2: Vyhodnocení měření původního stavu TS. V místě měření ve sledovaném období kvalita napětí splňovala podmínky stanovené technickou normou ČSN EN 50160 „Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě“. Měřením se zjistilo ne zcela optimální nastavení odbočky transformátoru. Na základě tohoto zjištění proběhlo přenastavení transformátoru o jednu odbočku nahoru, a tím se docílilo zvýšení hodnoty napětí v trafostanici.

2 Kritéria pro tvorbu sítí nízkého napětí

2.1 Koncepce sítí nízkého napětí

Nejdůležitější podmínkou, které musí každá distribuční síť vyhovět, je její bezpečnost. Bezpečnost distribučních sítí je řešena v PNE 33 0000 - 1. Norma stanovuje podmínky ochrany před úrazem elektrickým proudem v distribučních a přenosových soustavách.

Norma ČSN EN 50160 určuje zákonem předepsané podmínky pro kvalitu elektrické energie. Z těchto závazných dokumentů vycházím při stanovení parametrů jednotlivých veličin. V průběhu mé bakalářské práce tyto prameny dále cituji. Firma E.ON Česká republika, s.r.o. se dále řídí svým interním předpisem: ECD - PP - 046 Koncepce sítí nízkého napětí. Tento dokument není veřejně přístupný. Jsou zde sepsány základní požadavky na technické a ekonomické plánování a koncepce obnovy sítí NN. Dále zde můžeme najít příklad výpočtu vzorové varianty řešení sítí. Tomuto dokumentu se věnuji v následujících několika odstavcích [1].

2.2 Obecné zásady a výchozí podmínky

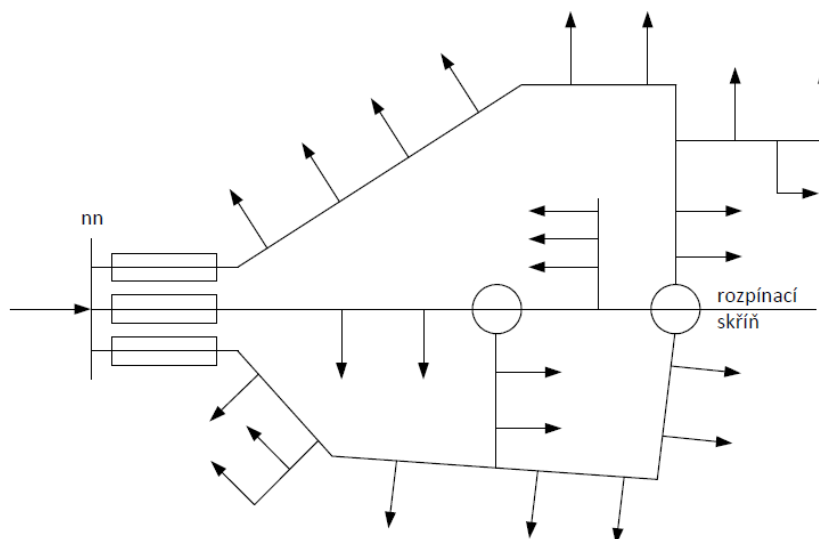
Sítě NN jsou podle interního pokynu E.ON plánovány s důrazem na co nejjednodušší a nejprehlednější řešení s minimem redundantních propojení, aby byly co nejnižší investiční náklady a síť byla přehledná pro manipulaci a lokalizaci poruch.

Hlavním trendem při výstavbě a obnově sítí nízkého napětí je budování zemních kabelových sítí. Výsledkem používání kabelových vedení je zvýšení spolehlivosti provozu sítí, a tím omezení neplánovaných přerušení dodávky elektrické energie, snížení nákladů na provoz a údržbu sítí, omezení cizích zásahů (kácení stromů, průjezd nadměrných nákladů atd.) a lepší přijímání sítí ze strany veřejnosti. Také stavební zákon a jeho prováděcí vyhlášky o řešení sítí v zastavěném území dávají přednost výstavbě kabelových sítí.

Během dalších let bude při rekonstrukcích postupně docházet k nahrazování nadzemního vedení vedením kabelovým. Nadzemní vedení bude použito pouze tam, kde výstavbu kabelové sítě nelze prokazatelně veřejnoprávně nebo s vlastníky dotčených pozemků a nemovitostí projednat. Rekonstrukce na kabelové síť se nedoporučuje v částech obcí s malou hustotou odběru s nesouvislou zástavbou. Kabelové síť NN jsou navrhovány jako okružní. Výjimku tvoří paprskovité připojení okrajových částí sítě

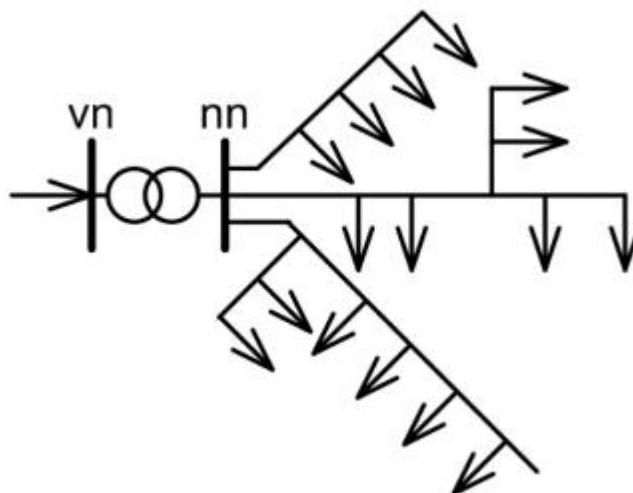
s menším počtem odběrů, kde síť je provedena jako paprsková. Následující obrázky znázorní uspořádání jednotlivých sítí.

Rozdíly mezi jednotlivými uspořádáními jsou patrné. Výhodou okružní sítě je větší spolehlivost. Při poškození kabelu lze postižené místo odpojit a dál síť provozovat jako dva paprskové vývody. Nevýhodou tohoto provedení je vyšší finanční náročnost z důvodu dimenzování vodiče na celkové zatížení všemi odběrnými místy.



Obrázek 4: Okružní síť [5]

Paprskovitá síť je jednoduchá, základní síť, a proto náklady na její pořízení jsou výrazně nižší. Při poruše nelze provizorně vyřešit dodání elektrické energie pro všechna odběrná místa napájená za poškozeným kabelovým paprskem. Obnova dodávky je možná až po odstranění poruchy kabelového vedení.



Obrázek 5: Paprsková síť [2]

Dalším důležitým technickým parametrem při návrhu sítě je velikost vztažné impedance. V dalších odstavcích budu podrobněji řešit tuto veličinu.

2.2.1 Výkonové dimenzování

Před rekonstrukcí stávající sítě nízkého napětí se provede měření skutečného zatížení jednotlivých vývodů z transformační stanice, která danou síť zásobuje elektrickou energií. Měření probíhá v týdenním intervalu v době, kdy dochází k maximálnímu zatížení, což je nejčastěji v zimě (u letních rekreačních objektů během léta).

Pokud už se v dané lokalitě neuvažuje rozšíření o další zástavbu při rekonstrukci, dimenzujeme elektrickou síť tak, aby zde bylo počítáno s možným nárůstem zatížení 20 %. Tato hodnota je výsledkem plánovaného meziročního nárůstu zatížení o 0,9 % pro následujících 20 let, což je polovina odpisové doby kabelového vedení nízkého napětí.

Dojde-li k vyššímu nárůstu zatížení, řeší se to posílením novými kabelovými vývody podle skutečných potřeb dané sítě. Nová odběrná místa nejsou započítána do rekonstrukce, protože výkon transformátoru je zvolen podle stávajícího zatížení.

2.2.2 Maximální délka vývodu

Vždy záleží na konkrétních parametrech sítě nízkého napětí. Při plánování je třeba výpočtem ověřit splnění požadavků na:

- zajištění podmínek pro ochranu před nebezpečným dotykem neživých částí automatickým odpojením od zdroje - impedance poruchové smyčky,
- nejvyšší přípustnou vztažnou impedanci - impedanci třífázovou zkratovou,
- nejvyšší přípustné úbytky napětí na zatížené síti,
- nejvyšší přípustné proudové zatížení jednotlivých prvků.

Nejdůležitějším parametrem je použitý průřez vedení a s ním spjatá impedance, která se velice často stává omezujícím faktorem při délce vývodu. Při rekonstrukci musí být vždy dodržen závazný limit impedance pro intravilán nebo extravilán.

2.3 Kritéria pro návrh a technické hodnocení NN sítí

Sítě NN jsou hodnoceny a navrhovány dle dále uvedených kritérií. Následující tabulka obsahuje sloupce:

- v prvním sloupci jsou vypsána jednotlivá kritéria,
- zohlednit při návrhu – jde o parametry, které je nutno dodržet na základě platných norem vždy, kdy se navrhuje nová síť nebo provádí rekonstrukce stávajících sítí,
- indikace k obnově nebo posílení – zobrazuje parametry, za kterých je nutno provést obnovu nebo posílení sítě.

	Zohlednit při návrhu	Indikace k obnově nebo posílení	Poznámka
Ochrana automatickým odpojením od zdroje	ANO	ANO	Posouzení se provádí dle norem platných v době uvedení do provozu.
Proudová zatížitelnost	ANO	ANO	
Napětové meze	ANO	ANO	
Vztažná impedance	ANO	NE	
Oprávněná stížnost na kvalitu		ANO	
Měření prokazující zpětné vlivy bez stížnosti		NE (pouze příprava)	

Tabulka 2: Tabulka pro návrh obnovy sítí NN [1]

Tabulka 3: Tabulka pro návrh sítí NN [1] obsahuje v prvním sloupci Parametry. Další sloupec uvádí Limitní hodnoty. V posledním sloupci Závaznost je uvedeno, zda je nutno danou hodnotu považovat za závaznou nebo je to hodnota, která je pouze doporučená. Jedná se vždy o hodnoty pro návrh nové nebo rekonstruované sítě, nejedná se o hodnoty, podle nichž je posuzována stávající síť.

Parametr	Limitní hodnota	Závaznost
Napětí v napájecí TS (uvažované při výpočtu)	243 V	doporučená
Minimální napětí na konci sítě (výhledová výkonová bilance)	220 V	Závazná
Maximální impedance 3f zkratu v intravilánu	0,21 Ω	Závazná
Maximální impedance 3f zkratu v extravilánu	0,28 Ω	Závazná
Maximální impedance 3f zkratu pro samotu (jistič max 3x25A); garáže, zahrádka, chaty (počet v řádu jednotek, jističe max 3x16A)	0,35 Ω	Závazná
Maximální zatížení transformátoru v základním řazení (3 a více propojitelných trafostanicích)	70%	doporučená
Maximální zatížení kabelu při náhradním napájení (zatížitelnost v zemi pro příslušný souběh).	80%	doporučená
Účinnost odběrů MOO a MOP (pokud není změřena jiná hodnota)	0,98	doporučená
Volba jistění dle požadavku ochrany před nebezpečným dotykem neživých částí automatickým odpojením od zdroje dle PNE 33 0000-1.		Závazná

Tabulka 3: Tabulka pro návrh sítí NN [1]

2.3.1 Návrh a kontrola jištění

Je nezbytné, aby síť NN splňovala podmínky pro ochranu před úrazem elektrickým proudem dle ustanovení normy PNE 33 0000 - 1, zejména požadavkům na ochranu automatickým odpojením od zdroje. Charakteristiky nadproudových ochranných přístrojů a impedance obvodů musí být takové, aby v případě poruchy o zanedbatelné impedanci, která může vzniknout kdekoliv v distribuční síti TN mezi fázovým vodičem a vodičem PEN nebo vodičem PE nebo neživou částí zařízení, došlo k automatickému odpojení příslušné části sítě od zdroje napětí v předepsaném čase do 30 s. Přitom musí být splněná následující podmínka:

$$Z_s = \frac{c \cdot U_0}{I_{(a)}} \quad (1)$$

- Z_s – impedance celé poruchové smyčky,
- $I_{(a)}$ – proud zajišťující automatické působení nadproudového ochranného přístroje v případě poruchy v předepsaném čase do 30 s,
- c – koeficient dle ČSN EN 60909-0 (33 3022) pro síť 230/400 V a minimální zkratové proudy ($c = 0,95$),
- U_0 – jmenovité napětí proti zemi v síti TN (obvykle 230 V).

Použijeme-li zjednodušující podmínku, můžeme vyjádřit $I_{(a)}$ ze vztahu:

$$I_{(a)} = 3,5 \cdot I_n \quad (2)$$

- I_n – jmenovitý proud nadproudového jisticího prvku.

2.3.2 Impedance

Existuje několik typů impedancí. Podívejme se na to, co popisují a jak jsou mezi sebou propojené.

Třífázová zkratová impedance představuje impedanci fázového vodiče.

Dále jednofázová zkratová impedance popisující impedanci smyčky. Ještě se používají hodnoty vztažné pro obě zmíněné impedance. Tyto veličiny jsou mezními parametry a ostatní impedance s nimi porovnáváme, proto název vztažné.

Vztažnou impedanci definuje norma PNE 33 3430-0 takto: *Pro posouzení rušivých emisí přístrojů NN do 16 A, přípustných na základě prohlášení výrobce nebo typové zkoušky, se používá následující vztažná, event. referenční impedance Z_{ref} pro síť NN:*

$$R_{Au} = 0,24 \Omega \quad X_{Au} = 0,15 \Omega \text{ (pro fázový vodič)}$$

$$R_{Ne} = 0,16 \Omega \quad X_{Ne} = 0,10 \Omega \text{ (pro střední vodič)} \quad [3]$$

Jednofázové připojení mezi fázový a střední vodič (impedance smyčky) je definováno podle [3]:

$$Z_{k\ ref} = (R_{Au} + R_{Ne}) + j(X_{Au} + X_{Ne}) = 0,4 + j0,25 = 0,47 + e^{j32^\circ} \Omega \quad (3)$$

Pro třífázové připojení (impedance fázového vodiče) je definována podle [3]:

$$Z_{3\ k\ ref} = R_{Au} + jX_{Au} = 0,4 + j0,15 = 0,28 + e^{j32^\circ} \Omega \quad (4)$$

Z tohoto vztahu plyne podmínka pro maximální hodnotu třífázové zkratové impedance v extravilánu uvedená v Tabulka 3: Tabulka pro návrh sítí NN [1].

Porovnáním hodnot Z_{ref} a Z_{3ref} dostanu konstantu 1,68. Tuto konstantu použiji při výpočtu impedance smyčky Z_s z hodnoty třífázové zkratové impedance Z_{3f} podle vztahu (5). Tento předpoklad je možné použít obecně pro všechny sítě, kde je dostatečné množství uzemnění [6].

$$Z_s = 1,68 * Z_{3f} \quad (5)$$

Vypočtená vztažná impedance podle vztahu (3) je nejvyšší možná hodnota třífázové zkratové impedance v extravilánu. Pokud vyjdeme z předpokladu, že Z_{3f} je menší nebo rovna $0,28 \Omega$, budou spotřebiče do 16 A fungovat bez problémů. Zamezí se problémům s kvalitou napětí a zajistí se podmínky, aby síť nebyla ovlivňována na zpětnými vlivy od spotřebičů odběratelů. Síť budeme navrhovat při rekonstrukci tak, abychom splnili výše uvedenou závaznou maximální přípustnou hodnotu třífázové zkratové impedance. Stejný způsob by se dal aplikovat pro impedanci intravilánu, kdy pro spotřebiče do 75 A je předepsána $Z_{3F} = 0,21 \Omega$.

2.3.3 Míra vjemu flikru

První veličinou naměřenou na síti, na kterou se budu později odkazovat, je vjem flikru. Tento parametr je subjektivní, na každého člověka působí jinak. Může se měnit v závislosti na příčině a délce trvání.

Flikr je vjem nestálosti zrakového vnímání vyvolaného světelným podmětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase. Kolísání napětí způsobuje změnu jasu svítidel a nad určitou prahovou hodnotou se stává nepříjemným pro lidské oko. U zařízení jednotlivých odběratelů se ověřuje, jak změna zátěže (zapínání, vypínání a střídavá zátěž)

ovlivní hodnoty flikru. Jelikož je lidské oko velmi citlivé, musí být změny napětí udrženy v určitých mezích [8].

Norma ČSN EN 50160 stanovuje maximální povolenou hodnotu této veličiny a je definována následně: „*Za normálních provozních podmínek musí být pro 95 % času, v libovolném týdenním období, dlouhodobá závažnost flikru $P_{lt} \leq 1$.*“ Přičemž normální provozní podmínky jsou takové podmínky distribuční soustavy, která splňuje požadavek zatížení, spínání soustavy a odstraňování poruch automatickými ochrannými systémy bez mimořádných podmínek způsobených vnějšími vlivy nebo závažnými událostmi“ [4].

2.3.4 Odchylky napájecího napětí

Další veličinou je odchylka napájecího napětí. Její dodržování upravuje vyhláška 540/2005 Sb. a to paragraf číslo 8 této vyhlášky.

Napájecí napětí je definováno normou ČSN EN 50160 ve znění: „*Za normálních provozních podmínek, kromě období s přerušením, odchylka napájecího napětí nemá přesáhnout ± 10 % jmenovitého napětí U_n . Dále musí být během každého týdne 95 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí měřeného v intervalech 10 minut v rozsahu $U_n \pm 10$ %. Všechny průměrné efektivní hodnoty napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut musí být v rozsahu $U_n + 10$ % / - 15 %“ [4].*

3 Návrh dočasného řešení pro zlepšení kvality dodávané elektrické energie, ověření účinnosti zvoleného řešení

3.1 Použité řešení

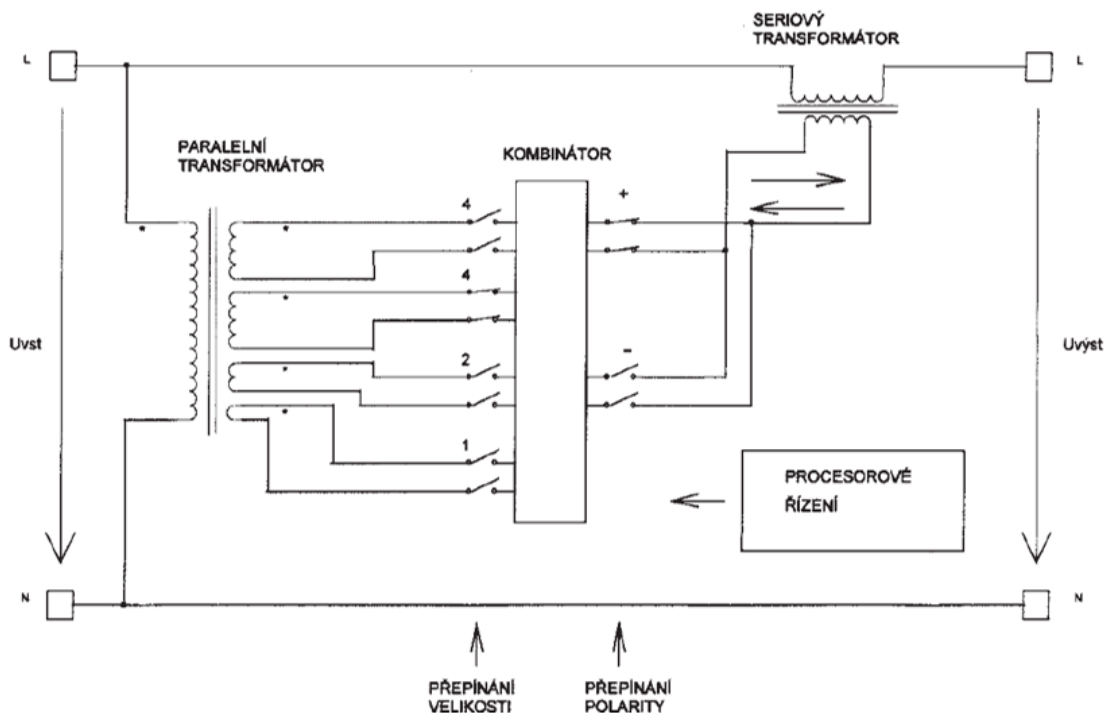
Na základě stížnosti bylo provedeno měření, které potvrdilo nevyhovující kvalitu dodávky elektrické energie v této síti. Největším problémem této sítě je délka vodičů, na které dochází k velkému úbytku napětí. Pro okamžité zlepšení kvality dodávky elektrické energie bylo nejlepším řešením dočasně nainstalovat regulační autotransfórmátor. Autotransfórmátor svou regulací stabilizuje napětí na koncových odběrných místech. V tomto případě byl použit regulační autotransfórmátor napětí Schmatl o výkonu 50 kVA.

Regulační autotransfórmátor napětí sítě je určen k trojfázové stabilizaci napětí ve vzdálených uzlech sítě NN, kde napájecí napětí vykazuje velký rozptyl přesahující normou dovolené tolerance. Ve společnosti E.ON se používá jako dočasné řešení do doby rekonstrukce sítě.

Regulační autotransfórmátor je vhodný především k napájení samot, chatových a rekreačních oblastí, kdy se spotřebitelé nacházejí v místně ucelené lokalitě, která je poměrně dlouhým a po trase nezatíženým vedením napájena z transformátoru viz Měření dočasného řešení.

3.2 Princip regulačního autotransfórmátoru

Zapojení stabilizátoru napětí sítě NN se skládá ze tří samostatně regulovaných obvodů stabilizace výstupního napětí. Základem stabilizačního obvodu jsou paralelní a sériový transformátor, jejichž vinutí jsou podle velikosti vstupního napětí U_{vst} přepínána procesorem přes reléový kombinátor tak, aby výstupní napětí $U_{výst}$ nabývalo požadované velikosti nezávisle na velikosti U_{vst} , viz Obrázek 6: Princip zapojení regulačního autotransfórmátoru [7].



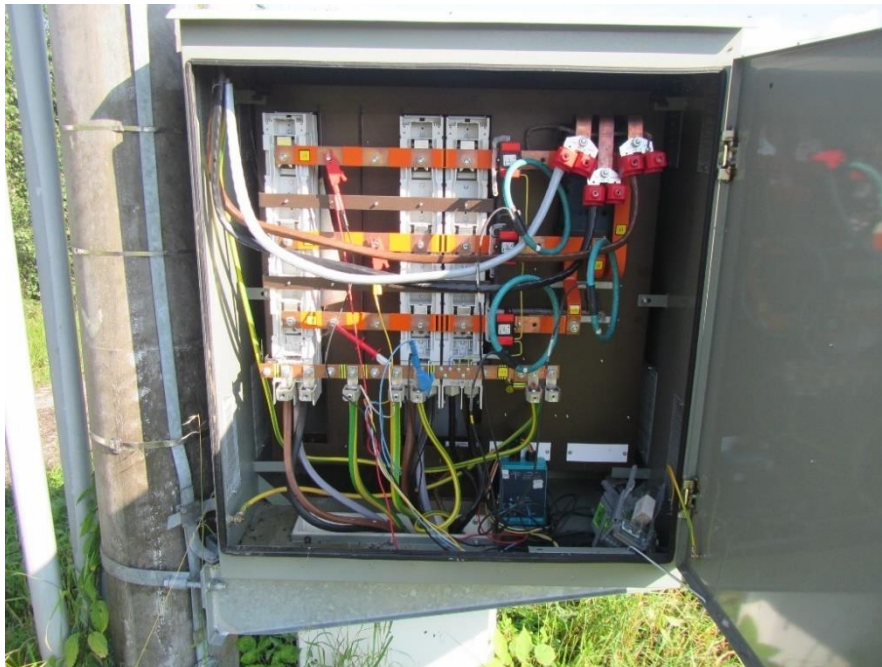
Obrázek 6: Princip zapojení regulačního autotransformátoru [7]

Zvyšování nebo snižování U_{vyst} proti U_{vst} se provádí spínači „přepínání polarity“, kdy se pomocí sériového transformátoru k napětí U_{vst} přičítá nebo odečítá transformovaná složka napětí. Velikost transformované složky je řízena skupinou spínačů reléového kombinátoru „přepínání velikostí“. Jednotlivá sekundární vinutí paralelního transformátoru jsou odstupňována v poměru 1:2:4:4, čímž se dosahuje poměrně značné jemnosti stabilizace výstupního napětí při širokém pracovním rozsahu [7].

3.3 Měření dočasného řešení

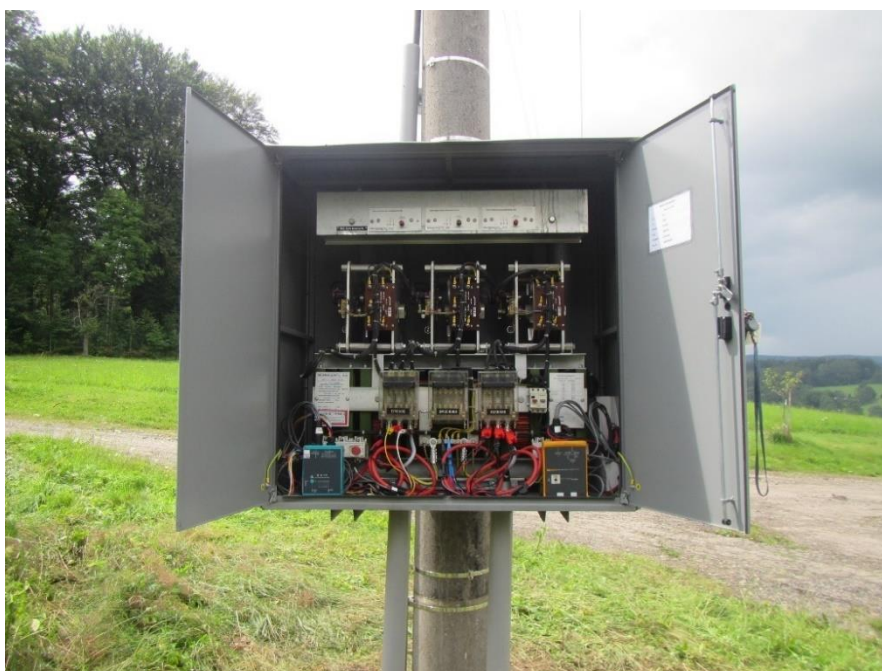
Dne 25. 7. 2016 jsem měl možnost zúčastnit se zaměstnancem společnosti E.ON, Ing. Janem Jiříčkou instalace autotransformátoru a umístění měření do sítě. V dopoledních hodinách jsme na základě výsledků předchozího měření byli přítomni odbornému přenastavení transformátoru v TS Zábrod o jednu odbočku nahoru, kterou provedla montážní četa společnosti E.ON. Po přenastavení transformátoru jsme do trafostanice nainstalovali kvalitoměr MEMOBOX 300 smart od firmy LEM. Poté jsme se přesunuli na druhé místo k č. p. 51 Obrázek 2: Mapa distribuční sítě v okolí obce Zdíkov - Bod B, kde probíhala instalace regulačního autotransformátoru Schmatl o výkonu 50 kVA. Po dokončení této instalace jsme na regulační autotransformátor osadili měření. Na vstupu do regulátoru jsme použili kvalitoměr MEMOBOX 300 smart

od firmy LEM a na výstupu z regulátoru byl použit měřicí přístroj FLUKE 1744 Power Quality Logger. Tyto měřicí přístroje doplnil v místě odběru na konci sítě u č. p. 352 měřicí přístroj SIMON PQ.



Obrázek 7: Nainstalované měření v místě trafostanice

Měření probíhalo po dobu 14 dní v desetiminutových intervalech podle normy ČSN EN 50160. Na obrázcích číslo 7 a 8 jsou vyobrazené měřicí přístroje instalované v trafostanici a regulačním autotransfornátoru.



Obrázek 8: Nainstalované měření v místě autotransfornátoru

V dalších podkapitolách měření je provedeno komplexní vyhodnocení důležitých veličin měřených současně na čtyřech místech: v trafostanici, vstupu do regulačního autotransformátoru, výstupu z regulačního autotransformátoru a odběrném místě na konci sítě. Vyhodnocení bylo provedeno programem DAM, který nám porovnal naměřené parametry ve všech měřených místech s hodnotami stanovenými závaznou technickou normou ČSN EN 50160. Z měření jsou vyčleněny údaje nespĺňující tuto normu a celé vyhodnocení je vždy přiloženo v přílohách. Postupně tyto výsledky budu komentovat.

3.3.1 Vyhodnocení stavu trafostanice

V této podkapitole se podrobně zabývám údaji měření ve sloupové trafostanici Zdíkov Zábrod. Celé vyhodnocení je v Příloha 3: Vyhodnocení měření stavu TS po přestavbě odbočky transformátoru po přestavbě odbočky transformátoru.

V místě měření ve sledovaném období kvalita napětí splňovala podmínky stanovené technickou normou ČSN EN 50160 „Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě“.

3.3.2 Vyhodnocení měření na vstupu do regulátoru

Tato část řeší hodnoty naměřené na vstupu regulačního autotransformátoru. Celé vyhodnocení je v Příloha 4: Vyhodnocení měření na vstupu do regulátoru.

Veličina	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. Hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod. %)
Napětí	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-15%	193,360 (84,07%)
Krátkodobý flickr	Pst	[-]	10 min	max. 95%	1 týden	1	3,167
Dlouhodobý flickr	Plt	[-]	2 hod	max. 95%	1 týden	1	3,662
Napěťová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	2,060
Harmonické napětí	Uh22	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,860

Tabulka 4: Vyhodnocení měření na vstupu do regulátoru

V místě měření ve sledovaném období kvalita napětí nespĺňovala podmínky stanovené technickou normou ČSN EN 50160 „Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě“. Nebyly dodrženy tolerance napětí (odchyly) a byl překročen parametr flickr (P_{lt}), nesymetrie a 22. harmonická složka napětí. Standard kvality napětí dle § 8 vyhlášky č. 540/2005 Sb., v platném znění, „O kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice“ nebyl dodržen.

3.3.3 Vyhodnocení měření na výstupu z regulátoru

Další měření proběhlo na výstupu z regulačního autotransformátoru. Celé vyhodnocení je v Příloha 5: Vyhodnocení měření na výstupu do regulátoru.

Veličina	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. Hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod. %)
Krátkodobý flickr	Pst	[-]	10 min	max. 95%	1 týden	1	3,052
Dlouhodobý flickr	Plt	[-]	2 hod	max. 95%	1 týden	1	3,543
Napěťová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	3,190
Harmonické napětí	Uh22	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,880

Tabulka 5: Vyhodnocení měření na výstupu z regulátoru

V místě měření ve sledovaném období kvalita napětí nespĺňovala podmínky stanovené technickou normou ČSN EN 50160 „Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě“. Byl překročen parametr flickr (P_{lt}), nesymetrie a 22. harmonická složka napětí. Velikost a odchylky napájecího napětí a frekvence byly 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“.

3.3.4 Vyhodnocení měření v místě reklamace po instalaci regulátoru

Poslední naměřené hodnoty jsou z konce sítě. Celé vyhodnocení je v Příloha 6: Vyhodnocení měření v místě reklamace po instalaci regulátoru.

Veličina	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. Hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod. %)
Krátkodobý flickr	Pst	[-]	10 min	max. 95%	1 týden	1	3,052
Dlouhodobý flickr	Plt	[-]	2 hod	max. 95%	1 týden	1	3,543
Napěťová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	4,389
Harmonické napětí	Uh22	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,600

Tabulka 6: Vyhodnocení měření v místě reklamace po instalaci regulátoru

V místě měření ve sledovaném období kvalita napětí nespĺňovala podmínky stanovené technickou normou ČSN EN 50160 „Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě“. Byl překročen parametr flickr (P_{lt}), nesymetrie a 15. harmonická složka napětí. Velikost a odchylky napájecího napětí a frekvence byly 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“.

3.4 Vyhodnocení grafů

Naměřené hodnoty z přístrojů jsem vyexportoval do tabulek. Z těchto tabulek jsem sestavil potřebné grafy. Jako hlavní veličiny jsem použil minimální hodnotu napětí U_{\min} , střední hodnotu napětí $U_{\text{stř}}$, maximální hodnotu napětí U_{\max} , hodnotu krátkodobé míry flikru P_{st} a hodnotu dlouhodobé míry flikru P_{lt} . Z grafu celého měření ze dne 26. 7. 2016 v čase od 13:00 do 16:00 jsem pro fázi L1 vybral vhodný úsek měření, na kterém chci ukázat účinky regulátoru napětí Schmatl ANSI 50 o výkonu 50 kVA.

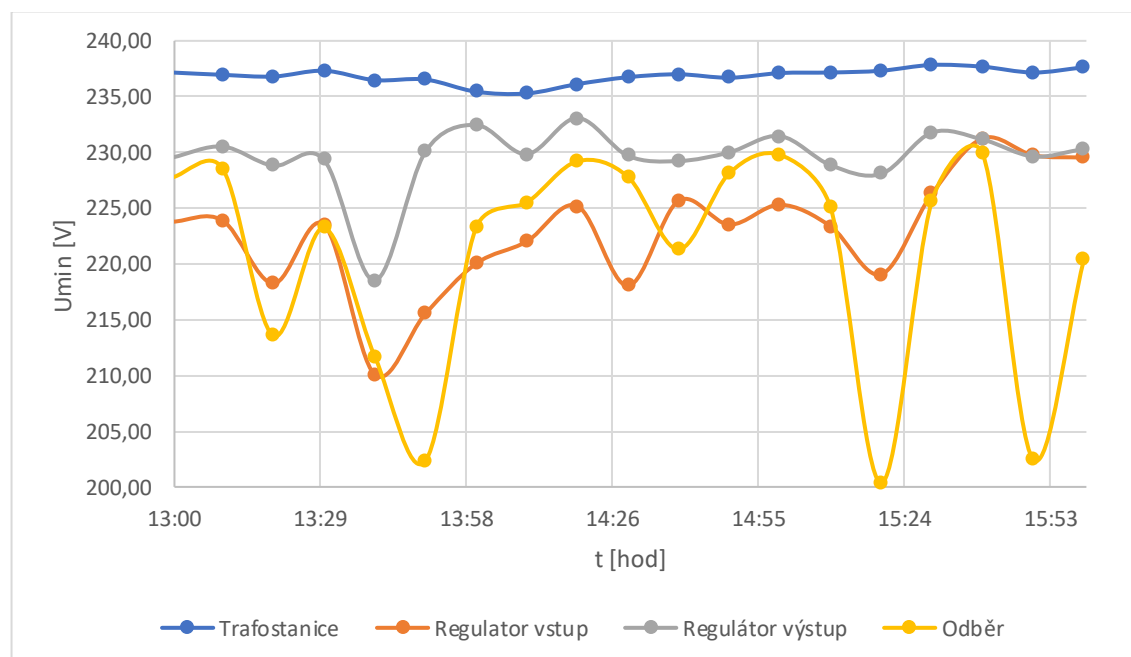
3.4.1 Měření U_{\min}

V grafu závislosti $U_{\min} = f(t)$ je znázorněn průběh minimální hodnoty napětí ve čtyřech měřených uzlech. Hodnoty U_{\min} v trafostanici jsou téměř neměnné. Pohybují se blízko hodnoty 240 V.

Na vstupu do regulátoru se hodnoty U_{\min} snížily a často se měnily v rozmezí 200 V až 220 V. Po průchodu regulátorem napětí se hodnoty U_{\min} zvýšily a dosahovaly hodnot v rozmezí mezi 215 V až 228 V.

Na konci sítě v odběrném místě se minimální hodnoty napětí pohybovaly mezi 200 V až 231 V.

Z toho grafu můžeme vidět, že regulátor napětí má dobrý vliv na minimální hodnoty napětí. Zvyšuje její hodnotu, ale nedokáže ji dostatečně vylepšit.



Graf 1: U_{\min}

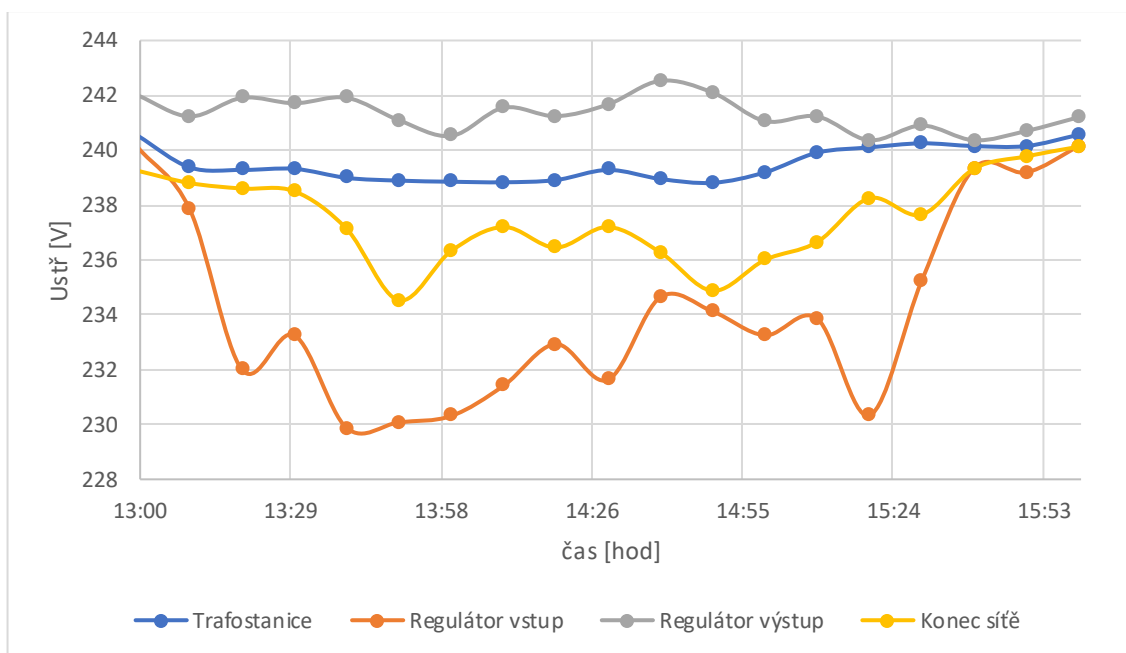
3.4.2 Měření $U_{stř}$

V grafu závislosti $U_{stř}=f(t)$ je znázorněn průběh střední hodnoty napětí ve čtyřech měřených uzlech. Hodnoty $U_{stř}$ v trafostanici jsou téměř neměnné. Pohybují se blízkosti hodnoty 240 V.

Na vstupu do regulátoru se hodnoty $U_{stř}$ snížily a často se měnily v rozmezí 230 V až 240 V. Po průchodu regulátorem napětí se hodnoty $U_{stř}$ zvýšily a dosahovaly hodnot v rozmezí mezi 240 V až 242 V.

Na konci sítě v odběrném místě se střední hodnoty napětí pohybovaly mezi 234 V až 240 V.

Z toho grafu můžeme vidět, že regulátor napětí má dobrý vliv na střední hodnotu napětí. Regulátor způsobuje zlepšení střední hodnoty napětí. V tomto konkrétním časovém období se hodnota $U_{stř}$ zlepšila v rozmezí 0,42 % až 5,23 %.



Graf 2: $U_{stř}$

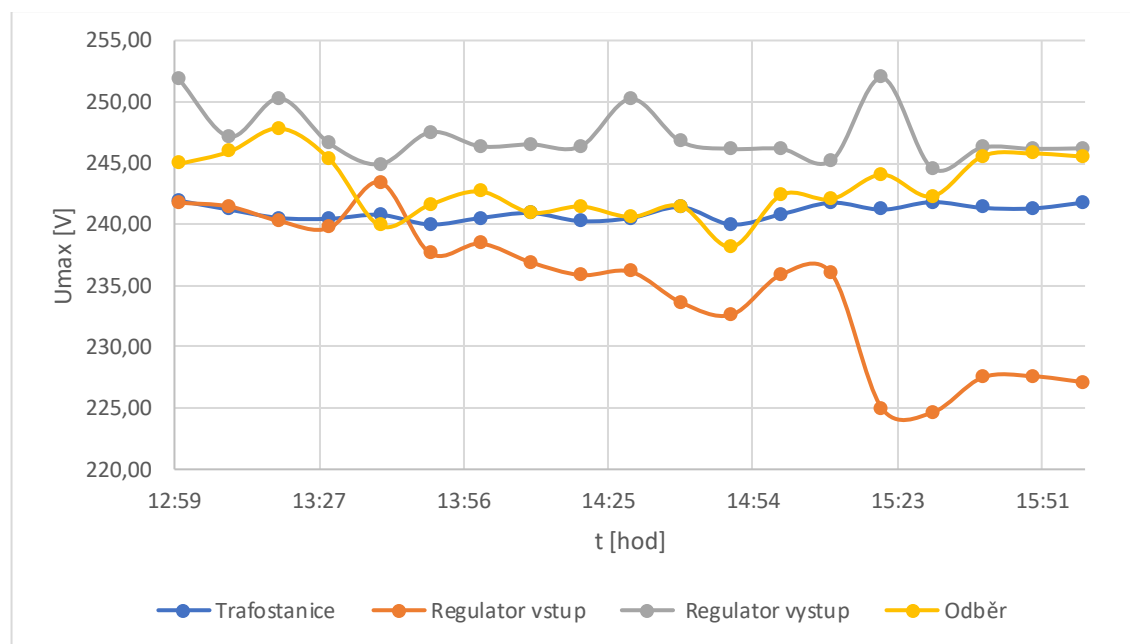
3.4.3 Měření U_{max}

V grafu závislosti $U_{max}=f(t)$ je znázorněn průběh maximální hodnoty napětí ve čtyřech měřených uzlech. Hodnoty U_{max} v trafostanici jsou téměř neměnné. Pohybují se v blízkosti hodnoty 242 V.

Na vstupu do regulátoru se hodnoty U_{max} snížily a často se měnily v rozmezí 224 V až 243 V. Po průchodu napětí regulátorem se hodnoty U_{max} znatelně zvýšily a dosahují hodnot v rozmezí mezi 245 V až 253 V.

Na konci sítě v odběrném místě se maximální hodnoty napětí pohybovaly mezi 238 V až 248 V.

Z toho grafu můžeme vidět, že regulátor napětí má dobrý vliv na maximální hodnotu napětí. Regulátor způsobuje zvýšení maximální hodnoty napětí, v tomto konkrétním časovém období se hodnota U_{max} navýšila v rozmezí 0,60 % až 11,98 %.



Graf 3: U_{max}

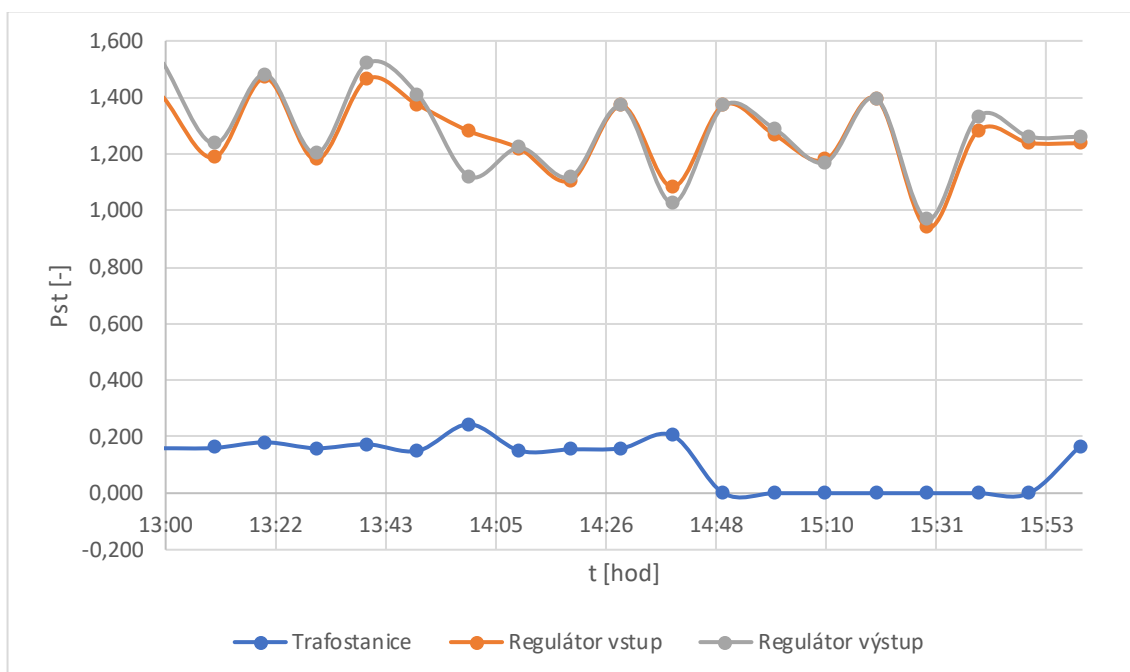
3.4.4 Měření P_{st}

V grafu závislosti $P_{st}=f(t)$ je znázorněn průběh krátkodobé míry vjemu flikru pouze ve třech měřených uzlech, na konci sítě v odběrném místě jsme P_{st} neměřili.

Hodnoty krátkodobé míry vjemu flikru na začátku sítě v trafostanici se pohybují mezi 0 [-] až 0,2 [-]. Tyto hodnoty jsou v toleranci normy ČSN EN 50160.

Na vstupu a výstupu regulátoru se hodnoty P_{st} pohybují mezi hodnotou 0,9 [-] až 1,5 [-].

Z grafu můžeme vidět, že regulátor nedokáže vylepšit hodnotu krátkodobé míry vjemu flikru P_{st} .



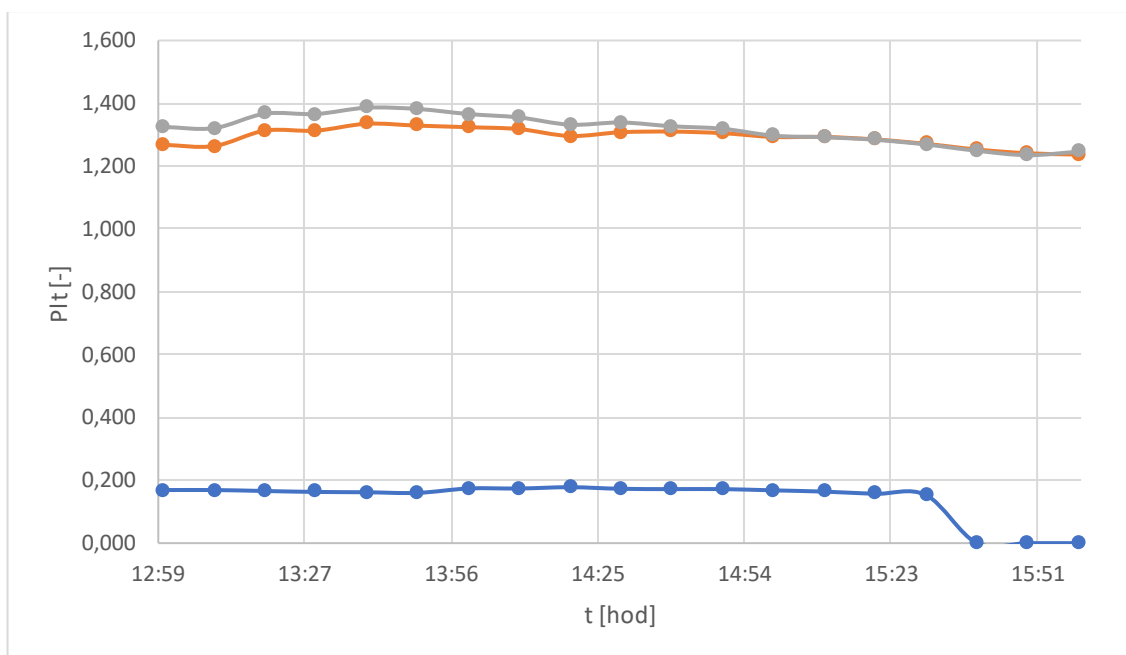
Graf 4: P_{st}

3.4.5 Měření P_{lt}

V grafu závislosti $P_{lt}=f(t)$ je znázorněn průběh dlouhodobé míry vjemu flikru pouze ve třech měřených uzlech, na konci sítě v odběrném místě jsme P_{lt} neměřili.

Hodnoty dlouhodobé míry vjemu flikru na začátku sítě v trafostanici se pohybují mezi 0 [-] až 0.2 [-]. Tyto hodnoty jsou v toleranci normy ČSN EN 50160.

Opačný případ je na vstupu a výstupu regulátoru napětí, kde hodnoty P_{lt} jsou velmi vysoko nad hodnotami stanovenými normou ČSN EN 50160.



Graf 5: P_{lt}

4 Návrh konečného řešení posílení sítě NN v možných technických variantách

4.1 Obecný popis možných technických variant

V této kapitole navrhuji technické možnosti konečného řešení posílení sítě nízkého napětí ve dvou odlišných variantách řešení. Rekonstrukce této sítě nízkého napětí je nutná, abychom splnili požadované parametry sítě stanovené normami.

Varianta A je založena na přidání nové trafostanice do oblasti, kde byla podána stížnost na kvalitu dodávky elektrické energie, a výměně části venkovního vedení za nové kabelové vedení ve stávající trase. V dané lokalitě bude vedení elektrické energie zajištěno pouze podzemním kabelovým vedením. Rekonstruované vedení zajistí požadované parametry pro bezproblémový chod sítě.

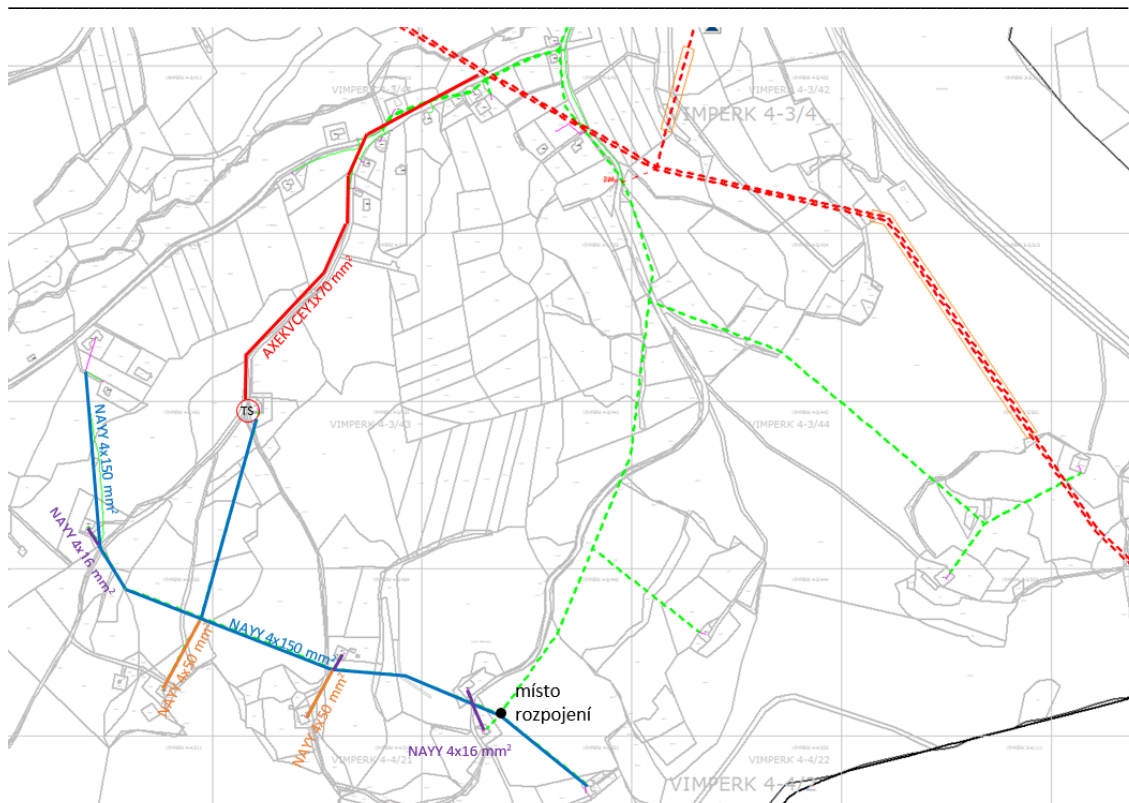
Varianta B realizuje rekonstrukci sítě nízkého napětí pomocí zkruhování sítě s použitím slabé vazby. Pro použití této varianty se musí nadimenzovat páteřní vodiče venkovního a kabelového vedení zapojené do kruhu tak, aby byly splněny podmínky fungování slabé vazby.

V rekonstruované části jsem při výpočtech vycházel z parametrů jednotlivých odběrů pro vesnické obce $P = 3,3 \text{ kW}$, $\cos \varphi = 0,98$ [-] podle ECD - PP - 046 v kapitole Základní výkonové podklady bytových odběrů na úrovni vývodu NN [1].

4.2 Varianta A

Varianta A řeší nevyhovující kvalitu dodávky elektrické energie v místě stížnosti odběratele na č. p. 352 vybudováním nové kioskové trafostanice u č. p. 27, napájené kabelovým vedením AXEKVCEY $1 \times 70 \text{ mm}^2$ odbočením z venkovního vedení vysokého napětí v blízkosti č. p. 121. Nová kiosková trafostanice bude osazena transformátorem o jmenovitém výkonu 100 kVA.

Pro návrh varianty A jsem použil program E-vlivy, ve kterém jsem si vytvořil simulační model sítě na výpočet potřebných veličin.

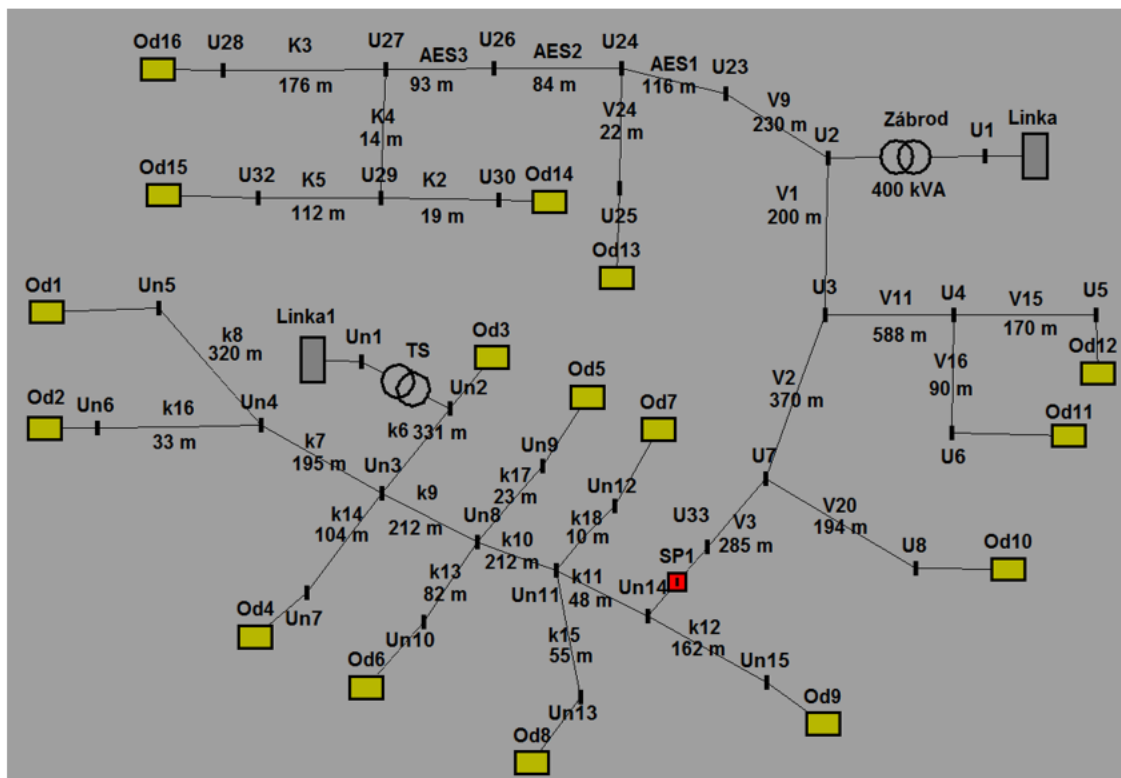


Obrázek 9: Návrh varianty A

Pro dosažení požadovaných parametrů je dále nutno vyměnit část stávající sítě venkovního a kabelového vedení od nové trafostanice. To nejlépe ukazuje Obrázek 9: Návrh varianty A a Obrázek 10: Simulační model varianty A. Nově rekonstruovaná část sítě bude realizována pomocí kabelového vedení NAYY $4 \times 150 \text{ mm}^2$. Tato vedení jsou pojmenována v simulaci k6 až k12. Dále bude postaveno nové kabelové vedení NAYY $4 \times 50 \text{ mm}^2$ s názvy k13, k14 a nové kabelové vedení NAYY $4 \times 16 \text{ mm}^2$ znázorněné vedeními k15 až k18.

Obrázek 10: Simulační model varianty A zobrazuje simulační model návrhu sítě.

V uzlu Un14 je v kabelové skříni provedeno rozpojení stávajícího venkovního vedení napájeného ze stávající trafostanice TS Zábrod a nového kabelového vedení napájeného z nové TS.



Obrázek 10: Simulační model varianty A

Následující Tabulka 7: Výpočty parametrů varianty A popisuje jednotlivé uzly a jejich vypočtené parametry. Důležité uzly dotčené rekonstrukcí v této tabulce jsou Un1 až Un15. V těchto uzlech musí být splněny požadavky na konstrukci nových a rekonstrukci stávajících sítí podle ECD - PP - 046 [1]. Z tabulky využijí hodnoty vztažné impedance a úbytku napětí, podle kterých budu v následující části ověřovat správnost návrhu rekonstrukce sítě nízkého napětí. Dále musím zkontrolovat jištění, aby síť splňovala požadavek na ochranu automatickým odpojením od zdroje dle PNE 33 0000 - 1 [11]. Poslední parametr výkonové dimenzování vodičů je závislý na hodnotě proudů, která musí být menší, než je předepsaná hodnota maximálního dovoleného zatěžovacího proudu.

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
U1	21,997	-0,031	0,012	11,547	90,000	41,916
U2	0,400	-0,146	0,123	0,020	76,487	8,127
U3	0,396	-0,246	1,033	0,163	28,521	0,981
U4	0,389	-0,444	2,801	0,603	24,454	0,265
U5	0,387	-0,463	3,152	0,775	22,857	0,207
U6	0,388	-0,454	2,987	0,694	23,510	0,231
U7	0,394	-0,309	1,593	0,440	25,012	0,364
U8	0,391	-0,293	2,356	0,804	18,124	0,199
Un14	0,389	-0,753	2,716	0,230	32,766	0,696
Un15	0,389	-0,760	2,789	0,265	31,173	0,604
Un13	0,389	-0,748	2,768	0,252	29,806	0,635
Un11	0,389	-0,751	2,695	0,220	33,324	0,728
Un8	0,390	-0,725	2,411	0,174	36,639	0,918
Un12	0,389	-0,747	2,735	0,236	30,913	0,677
Un9	0,390	-0,723	2,502	0,214	31,357	0,746
Un10	0,390	-0,720	2,520	0,222	29,972	0,720
Un3	0,392	-0,682	1,938	0,130	42,248	1,231
Un2	0,397	-0,575	0,751	0,067	65,474	2,372
Un7	0,392	-0,675	2,076	0,189	30,568	0,846
Un4	0,392	-0,698	2,113	0,171	36,981	0,937
Un6	0,391	-0,703	2,163	0,195	35,217	0,821
U23	0,394	-0,300	1,508	0,183	27,907	0,873
U24	0,393	-0,307	1,758	0,213	26,029	0,752
U25	0,393	-0,305	1,845	0,254	23,396	0,631
U26	0,392	-0,311	1,894	0,234	24,967	0,683
U27	0,392	-0,315	2,044	0,258	23,998	0,619
U28	0,391	-0,303	2,295	0,377	18,630	0,424
U29	0,392	-0,313	2,080	0,267	23,457	0,600
U30	0,391	-0,309	2,128	0,289	21,883	0,554
U32	0,391	-0,306	2,224	0,334	20,109	0,478
U33	0,394	-0,309	1,593	0,653	24,338	0,245
Un1	21,997	-0,040	0,016	11,547	90,000	41,916
Un5	0,391	-0,711	2,256	0,239	32,287	0,669

Tabulka 7: Výpočty parametrů varianty A

4.2.1 Ověření splnění podmínek

- Impedance

Podle Tabulka 7: Výpočty parametrů varianty A rekonstruovaná část sítě splňuje podmínky vztažné impedance vodiče pro extravilán. Nejvyšší hodnota třífázové zkratové impedance z této tabulky dotčené rekonstrukcí je uzel Un15 a má hodnotu $Z_k = 0,265 \Omega$.

- Jištění

Hodnotu jištění dostaneme výpočtem impedance smyčky v posledním uzlu rekonstruované sítě Un15, který dosadíme do vzorce (1) a zjistíme, zda vypočtený proud splňuje podmínku $I_{poj} < I$. Při dodržení této podmínky je proud zajišťující automatické působení nadproudového ochranného přístroje v případě poruchy v předepsaném čase do 30 s.

Výpočet impedance smyčky v uzlu Un15:

$$Z_s = 1,68 * Z_k = 1,68 * 0,265 = 0,445 \Omega \quad (6)$$

Výpočet velikosti proudu musí splnit tento předpoklad:

$$I_{poj} < \frac{c * U_f}{3,5 * Z_s} = \frac{0,95 * 230}{3,5 * 0,445} = 140,29 A \quad (7)$$

Výpočtu odpovídá velikost pojistky z řady na hodnotu $I_p = 125 A$.

- Úbytky napětí

Podle Tabulka 7: Výpočty parametrů varianty A rekonstruovaná část sítě splňuje hodnotu maximálního úbytku napětí. Nejvyšší hodnota úbytku napětí z této tabulky dotčené rekonstrukcí je uzel Un15, kde její hodnota $\Delta U_n = 2,789 \%$.

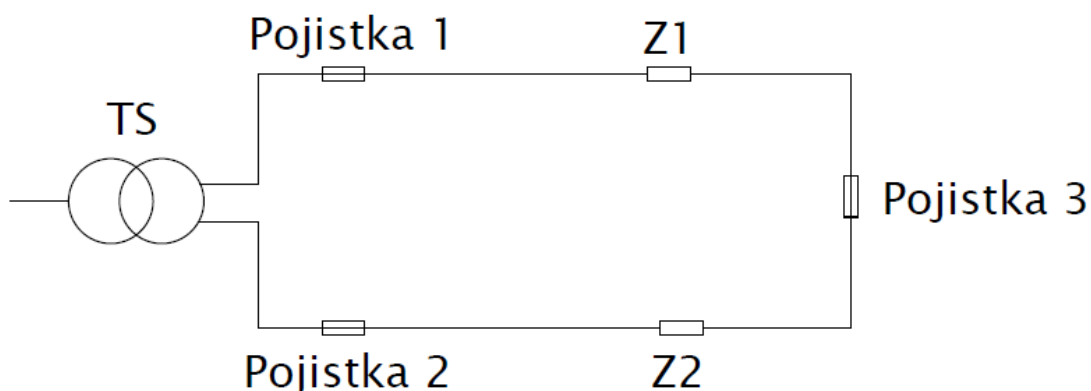
- Výkonové dimenzování vodičů

Ve všech uzlech je nutné přikontrolovat protékající proudy a zjistit, zda byl dodržen maximální povolený proud pro jednotlivé typy vedení. Největší proud v úseku vedení k6, kde proud dosahuje hodnoty $I_s = 33,3 A$ a maximální dovolený proud pro kabel NAYY $4 \times 150 \text{ mm}^2$, je $275 A$.

4.3 Varianta B

Varianta B řeší rekonstrukci sítě nízkého napětí ve stávající trase s prodloužením bodů C a D dle Obrázek 2: Mapa distribuční sítě v okolí obce Zdíkov a použitím slabé vazby. Podíváme se na základní princip sítě se slabou vazbou. Obrázek 11: Schéma varianty B popisuje nejdůležitější části sítě. V jednoduchém obvodovém schématu nalezneme transformátor TS, 3 sady pojistek a impedance vedení Z1 a Z2.

Za určitých podmínek lze brát tuto síť jako dvě samostatná vedení o impedancích vedení Z1 a Z2, která jsou na konci spojena do kruhové sítě přes sadu pojistek. Základním předpokladem návrhu místa se slabou vazbou je stejná impedance vedení obou paprsků. Shodná velikost impedance zajistí za předpokladu stejného zatížení stejný úbytek napětí na vedení. Napětí na obou koncích vedení poté bude stejné a v ideálním případě přes pojistku slabé vazby poteče nulový proud.



Obrázek 11: Schéma varianty B

Dimenzování sítě se slabou vazbou je závislé na splnění těchto podmínek, vhodné je tedy předem připravit vedení o podobných délkách a průřezech vedení. Je potřeba najít místo, kde dojde k rozpojení sítě přes sadu pojistek tak, aby impedance vedení byla v obou částech sítě shodná.

Dále pro správnou funkci sítě musíme ještě navrhnout vhodné jištění pojistkami. Pojistky číslo 1, 2 slouží k odjištění vedení na výstupu z transformátoru. Složitější dimenzování je u pojistky číslo 3. Aby fungovala správně, musí i v případě nejnevhodnějšího místa zkratu zareagovat a způsobit rozpojení obvodu. Její velikost musí být dostatečná, protože v případě malé hodnoty by způsobovala často nežádoucí rozpojení obvodu a nárůst impedance na konci obou paprsků, a tím zhoršení kvality napětí.

Návrh varianty B je proveden opět pomocí simulace v programu E-vlivy, kde jsem ověřil parametry sítě. Simulace pro schéma Příloha 7: Simulační model varianty B jsou uvedeny v Tabulka 8: Výpočty parametrů varianty B. Dále jsem provedl výpočet impedance smyčky. V této tabulce jsou typy vedení a transformátorů se svými parametry, pomocí kterých jsem provedl výpočet hodnoty impedance vedení, impedance smyčky, zkratových proudů a příslušnou velikost pojistek pro jištění. Pro použití této varianty se musí páteřní vodiče venkovního vedení zapojené do kruhu nadimenzovat tak, aby byly splněny podmínky fungování slabé vazby.



Obrázek 12: Návrh varianty B

První vedení v horní části od stávající trafostanice je realizováno pomocí stávajícího nízkonapěťového kabelu AYKY $3 \times 120 + 70 \text{ mm}^2$, na který je připojeno stávající venkovní vedení AES $4 \times 120 \text{ mm}^2$. Další část vedení pokračuje novým venkovním vedením AES $4 \times 120 \text{ mm}^2$ končícím v místě slabé vazby. Výměna stávajícího kabelového vedení AYKY $3 \times 120 + 70 \text{ mm}^2$ není nutná, a proto bude tento kabel použit i v rekonstruované síti.

Druhá část vedení směrem dolů od stávající trafostanice je provedena venkovním vedením AES $4 \times 120 \text{ mm}^2$ ukončeným v bodě rozpojení u č. p. 147 Obrázek 12: Návrh varianty B. V tomto místě je umístěna sada pojistek pro realizaci slabé vazby. U sady pojistek slabé vazby jsem stanovil hodnotu jisticího proudu 32 A. To ovlivnilo velikost použitých průřezů jednotlivých vedení páteřní sítě, viz Příloha 8: Výpočet pojistky slabé vazby.

Dále bylo potřeba vyměnit některá vedení k odběrným místům V17, V22, V23 za venkovní vedení AES $4 \times 120 \text{ mm}^2$, aby byly splněny podmínky pro konstrukci nových sítí. V odběrném místě Un2 jsem se nevešel do předepsané velikosti impedance extravilánu. Toto místo je ale dostatečně vzdálené od páteřního vedení a lze ho považovat za samotu. Pro samoty platí hodnota uvedená v Tabulka 3: Tabulka pro návrh sítí NN [1].

Při definici odběrného místa Un2 jako samota, požadované parametry splním. Ostatní vedení nejsou zahrnuta do rekonstrukce a zůstávají ve stávajícím stavu.

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
U1	21,994	-0,069	0,028	11,547	90,000	41,916
U2	0,395	-1,001	1,312	0,067	65,474	2,372
U3	0,391	-1,021	2,267	0,105	44,310	1,517
U4	0,384	-1,220	4,013	0,540	27,028	0,296
U5	0,383	-1,239	4,360	0,711	24,669	0,225
U6	0,383	-1,230	4,197	0,631	25,620	0,254
U7	0,385	-1,051	3,643	0,173	32,025	0,923
U8	0,382	-1,035	4,390	0,535	16,934	0,299
Un14	0,382	-1,070	4,553	0,213	28,523	0,750
Un15	0,381	-1,072	4,638	0,255	26,232	0,628
Un13	0,382	-1,074	4,589	0,231	28,090	0,692
Un11	0,381	-1,072	4,654	0,219	28,140	0,731
Un8	0,380	-1,077	4,997	0,239	26,826	0,669
Un12	0,381	-1,071	4,692	0,237	26,697	0,675
Un9	0,380	-1,075	5,085	0,281	24,227	0,569
Un10	0,380	-1,078	5,040	0,260	25,827	0,615
Un3	0,380	-1,075	5,118	0,252	26,008	0,634
Un2	0,379	-1,080	5,291	0,338	23,105	0,474
Un7	0,379	-1,077	5,173	0,279	24,905	0,573
Un4	0,380	-1,069	5,026	0,258	25,567	0,620
Un6	0,380	-1,069	5,044	0,267	25,215	0,600
Un5	0,381	-1,051	4,702	0,255	25,353	0,628
U23	0,391	-1,031	2,161	0,112	42,568	1,426
U24	0,390	-1,045	2,584	0,135	37,551	1,188
U25	0,389	-1,043	2,671	0,173	31,085	0,925
U26	0,389	-1,054	2,846	0,150	35,031	1,066
U27	0,387	-1,064	3,135	0,166	32,924	0,963
U28	0,384	-1,026	4,093	0,227	26,050	0,705
U29	0,387	-1,062	3,171	0,174	31,677	0,919
U30	0,387	-1,058	3,218	0,195	28,438	0,820
U32	0,387	-1,055	3,313	0,239	24,740	0,668
Un4x	0,380	-1,069	5,026	0,258	25,567	0,620

Tabulka 8: Výpočty parametrů varianty B

4.3.1 Ověření splnění podmínek

- Místo rozpojení a dimenzování pojistek

První vedení se skládá z AYKY $3 \times 120+70 \text{ mm}^2$ o délce 230 m. Na toto vedení bude navázovat stávající venkovní vedení AES $4 \times 120 \text{ mm}^2$, které měří 293 m a dále pokračující nové venkovní vedení AES $4 \times 120 \text{ mm}^2$ dlouhé 897 m. Impedance smyčky na konci venkovního vedení dosahuje $Z_{sm} = 0,897 \Omega$. Sada pojistek číslo 1 jisticí první vedení má velikost 125 A. Vedení AES v délce 673 m je dále jistěno pojistkou 63 A.

Vstupní bod	prvek	délka	Ω úsek	Ω smyčka	zkr. proud	jištění(A)
Trafo	transformátor 100 kVA		0,028	0,028	8333,33	160
Svod	svod + vývod rozvaděče TS		0,020	0,048	4831,93	160
1. Úsek	AYKY 3 x 120 + 70	230	0,176	0,224	1026,65	125
2. Úsek	AES 4 x 120	1190	0,673	0,897	256,51	63

Tabulka 9: Výpočet parametrů prvního vedení

Na druhé vedení je použito nové venkovní vedení AES $4 \times 120 \text{ mm}^2$ o celkové délce 1500 m, které je rozděleno do dvou vhodných úseků. Impedance smyčky na konci venkovního vedení má téměř stejnou hodnotu $Z_{sm} = 0,895 \Omega$. Hodnota jistění u druhého vedení, sada pojistek číslo 2 je vypočtena na 125 A. Vedení AES v délce 930 m je dále jistěno pojistkou 63 A.

Vstupní bod	prvek	délka	Ω úsek	Ω smyčka	zkr. proud	jištění(A)
Trafo	transformátor 100 kVA		0,028	0,028	8333,33	160
Svod	svod + vývod rozvaděče TS		0,020	0,048	4831,93	160
1. Úsek	AES 4 x 120	570	0,322	0,370	622,00	125
2. Úsek	AES 4 x 120	930	0,526	0,895	256,86	63

Tabulka 10: Výpočet parametrů druhého vedení

- Ověření minimální velikosti zkratového proudu pojistky slabé vazby

Zkontrolujeme, zda vypočtený proud splňuje podmínku $I_{poj3} < I$. Při dodržení této podmínky je proud zajišťující automatické působení nadproudového ochranného přístroje v případě poruchy v předepsaném čase do 30 s.

$$I_{poj3} < \frac{c \cdot U_f}{3,5 \cdot Z_s} = \frac{0,95 \cdot 230}{3,5 \cdot (0,897 + 0,895)} = 34,84 \text{ A} \quad (8)$$

5 Technicko-ekonomické porovnání navrhovaných variant

5.1 Základní použitá kritéria

Mezi základní parametry technicko-ekonomického porovnání patří posouzení nejen technické náročnosti rekonstrukce sítě, ale hlavně zhodnocení z hlediska ekonomické stránky. V první části budu posuzovat technickou stránku rekonstrukce. Následující tři body této kapitoly se budou zabývat ekonomickými parametry, kterými jsou investiční náklady, náklady na provoz a údržbu a ztráty v síti.

V prvním bodě podrobně vypíši do tabulky důležitá místa rekonstruované sítě a porovnáám jejich technické parametry, abych mohl určit průměrnou hodnotu impedance v dotčené oblasti.

Druhá část investiční náklady vyčíslí hrubé náklady na realizaci jednotlivých variant.

Třetí část náklady na provoz a údržbu vypočítá roční náklady na provozování sítě jednotlivých variant.

Čtvrtým parametrem jsou ztráty v síti, kde určím hlavní místa ztrát u obou variant řešení. Výpočtem zjistím hodnotu ztrát v síti a na transformátoru. Následně vypočítám celkové roční ztráty v síti.

5.1.1 Impedance v oblasti rekonstruované sítě

Nejdůležitějším technickým parametrem sítě je její třířázková zkratová impedance. Tato veličina nepřímým způsobem popisuje celou síť, protože do její hodnoty jsou zahrnuty všechny prvky sítě začínající od transformátoru až po jednotlivá vedení o daných průřezích a délkách.

Při návrhu nových sítí a rekonstrukci stávajících sítí je snahou technika rozvoje sítí dosáhnout co nejmenší hodnoty impedance s vynaložením co možná nejnižších nákladů. Menší hodnota impedance zajistí nižší úbytek napětí na vedení a sníží ztráty.

Srovnání navržených variant v jednotlivých uzlech nevypovídá o celkové kvalitě sítě v místě obnovy. Proto jsem vzal všechny uzly dotčené rekonstrukcí a udělal jsem aritmetický průměr hodnoty třířázkové zkratové impedance. Následující tabulka porovnává variantu A a variantu B.

Uzel	Varianta A $Z_A [\Omega]$	Varianta B $Z_B [\Omega]$
Un2	0,067	0,338
Un3	0,130	0,252
Un4	0,171	0,258
Un5	0,239	0,255
Un6	0,195	0,267
Un7	0,189	0,279
Un8	0,174	0,239
Un9	0,214	0,281
Un10	0,222	0,260
Un11	0,220	0,219
Un12	0,236	0,237
Un13	0,252	0,231
Un14	0,230	0,213
Un15	0,265	0,255
Průměrná hodnota $Z_\phi [\Omega]$	0,200	0,256

Tabulka 11: Tabulka porovnání impedancí

Výsledek porovnání ukazuje velký impedanční rozdíl mezi jednotlivými variantami. Varianta A má průměrnou hodnotu třífázové zkratové impedance $Z_{A\phi} = 0,200 \Omega$. Tato hodnota má poměrně velikou rezervu do maximální povolené vztážné impedance pro extravilán. Varianta B má o 28 % vyšší hodnotu třífázové zkratové impedance, která je rovna $Z_{B\phi} = 0,256 \Omega$.

Při porovnávání impedance v oblasti rekonstruované sítě výrazně lépe vychází první varianta A.

5.1.2 Investiční náklady

Rekonstrukci sítě nízkého napětí je nutno provést z důvodu stížnosti zákazníka na kvalitu dodávky elektrické energie. Výsledkem porovnání navržených investičních nákladů bude stanovení varianty, kterou je nutné realizovat, aby byly splněny závazné podmínky předepsané normou. U této sítě se nejedná o rozšíření jmění provozovatele sítě, ale o nutnou rekonstrukci stávající sítě.

V následujících dvou tabulkách jsou uvedeny zjednodušené hrubé rozpočty jednotlivých variant. Všechny položky započtené do investičních nákladů jsou v Příloha 9: Seznam kalkulace varianty A a Příloha 10: Seznam kalkulace varianty B. Kalkulace v přílohách neobsahují ceny, protože se jedná o firemní neveřejné informace.

Tabulky jsou upraveny do formy maximálně obsáhlé, jak mi dovolila společnost E.ON zveřejnit.

Varianta A	
Položka	Cena [Kč]
Vedení VN	609 930
Trafostanice	533 356
Vedení NN	741 122
Ostatní náklady	1 162 078
Demontáže	110 000
Celková cena	3 156 486

Tabulka 12: Investiční náklady varianty A

Varianta B	
Položka	Cena [Kč]
Vedení NN	2 309 319
Ostatní náklady	1 077 290
Demontáže	230 000
Celková cena	3 616 609

Tabulka 13: Investiční náklady varianty A

Předchozí tabulky jasně ukazují na výhodnost varianty A, kde investiční náklady vychází o 460 123 Kč levněji než varianta B.

5.1.3 Provozní náklady

Výpočet ročních nákladů spojených s provozem a údržbou vychází z procentuální části vstupní investice. Z hlediska provozních nákladů je důležité rozdělení sítí podle typů. Koeficient výdajů týkající se sítě VN bude mít z důvodu menšího počtu prvků nižší hodnotu než v síti nízkého napětí. Sítě NN jsou většinou rozsáhlejší a složitější a obsahují více prvků pro ochranu, rozpojení a uzemnění. Dále je nutné zohlednit typ vedení. Kabelové vedení není tak náročné na údržbu, proto hodnota provozních nákladů je nižší než u venkovního vedení. Hodnotu zprůměruji a získám univerzální koeficient pro obě možnosti provedení sítě nízkého napětí.

Hodnoty provozních nákladů jsou určeny pomocí statistických údajů a vychází z dlouholetých zkušeností s provozem sítí podobných parametrů. Pro část sítě VN je koeficient ročních provozních výdajů 1,2 % z hodnoty vstupní investice. U nízkonapěťových sítí se výdaje určují jako 2 % z ceny vstupní investice. Velikost nákladů jednotlivých variant je určena následujícími vztahy.

Výpočet provozních nákladů varianty A:

$$N_{pA} = 0,012 * V_{VN} + 0,02 * V_{VN} = 0,012 * 609\,930 + 0,02 * 2\,546\,556 = 58\,250 \text{ Kč} \quad (9)$$

- N_{pA} roční výdaje na provoz sítě při realizaci rekonstrukce podle varianty A [Kč]
- V_{VN} výdaje na výstavbu sítě VN [Kč]
- V_{NN} výdaje na výstavbu sítě NN [Kč]

Výpočet provozních nákladů varianty B:

$$N_{pB} = 0,02 * V_{NN} = 0,02 * 3\,616\,609 = 72\,332 \text{ Kč} \quad (10)$$

- N_{pB} roční výdaje na provoz sítě při realizaci rekonstrukce podle varianty B [Kč]
- V_{NN} výdaje na výstavbu sítě NN [Kč]

Roční provoz a údržba pro variantu A vychází 58 250 Kč a pro variantu B 72 332 Kč. Z těchto hodnot vyplývá, že provoz a údržba varianty A je ročně levnější o 14 082 Kč než varianta B.

5.1.4 Ztráty v síti

Poslední důležitý parametr jsou ztráty v síti, které jsou tvořeny ztrátami na vedení a ztrátami v transformátorech. Celková suma vzniká součtem elektrických ztrát sítě nízkého a vysokého napětí. Pro úplný výpočet je nutné znát detailní ztráty sítě VN, v transformátoru a na distribuční síti NN.

Výpočet ztrát v síti byl proveden pomocí simulací jednotlivých variant v programu E-vlivy a je zobrazen v následující tabulce, kde P_{dod} vyjadřuje dodaný výkon, P_{odb} znamená odebraný výkon a ΔP je rozdíl mezi dodaným a odebraným výkonem.

Tyto hodnoty použijí při výpočtu celkových ztrát v síti za jeden rok.

Varianta A		
P _{dod} [kW]	P _{odb} [kW]	ΔP [kW]
51,453	50,353	1,101
Varianta B		
P _{dod} [kW]	P _{odb} [kW]	ΔP [kW]
50,262	48,254	2,012

Tabulka 14: Výpočet ztrát pro jednotlivé varianty

Výpočet celkových ročních ztrát v síti NN provedeme pomocí vztahu, který lze použít na základě zjednodušujících předpokladů:

Celou síť NN nahradím jedním prvkem o parametrech ztráty naprázdno P_0 [kW] a ztráty nakrátko P_K [kW]. V našem případě velikost ztrát naprázdno je $P_0 = 0,2$ kW. Pro hodnotu ztrát nakrátko při maximálním zatížení použijeme hodnoty ΔP [kW] vypočtené v předchozí tabulce. Varianta A má velikost ztrát nakrátko $P_{kA} = 1,101$ kW a varianta B $P_{kB} = 2,012$ kW.

Použijí parametry vycházející z ročního průběhu zatížení průměrné venkovské sítě NN s následujícími hodnotami, počet provozních hodin transformátoru za rok $T_p = 8760$ hod, doba využití maxima za rok $T_{max} = 3500$ hod a účinník sítě $\cos \varphi = 0,96$ [-] dle statistických údajů firmy E.ON.

Pak dobu plných ztrát T_{ztr} vypočteme pomocí následujícího vzorce [10]:

$$T_{ztr} = T_p * \left(0,2 * \frac{T_{MAX}}{T_p} + 0,8 * \left(\frac{T_{MAX}}{T_p} \right)^2 \right) \quad (11)$$

Po dosazení dostáváme dobu plných ztrát o hodnotě $T_{ztr} = 1818,72$ hod. Nyní stačí dosadit do následujícího obecného vzorce a vypočteme hodnotu celkových ročních ztrát W_{ztr} [10]:

$$W_{ztr} = \Delta P_0 * T_p + \Delta P_k * \left(\frac{P_s}{S_n} * \cos \varphi \right) * T_{ztr} \quad (12)$$

U výpočtu hodnoty celkových ročních ztrát první varianty A musíme zohlednit použití dvou trafostanic zdvojnásobením součinu $\Delta P_0 * T_p$ v předchozí rovnici (12). Varianta B je pak vypočítána podle základního vzorce.

Hodnota celkových ročních ztrát je u varianty A $W_{ztrA} = 3\,626$ kWh a pro variantu B $W_{ztrB} = 1\,965$ kWh. Z těchto hodnot vyplývá, že celková velikost ročních ztrát

je z velké části tvořena ztrátami na transformátoru a hodnoty ztrát vznikajících na vedení jsou malé. Konkrétně ztráty na vedení varianty A jsou 3,36 % a u varianty B mají hodnotu 10,83 % z celkových ročních ztrát.

Pro určení rozdílu ztrát jednotlivých variant jsem použil cenu elektrické energie 30 euro za MWh. Po vyčíslení jsem dostal cenu celkových ztrát v síti NN, která je pro variantu A 108,78 eura a pro variantu B 58,95 eura.

Když zvážíme rozsah těchto rekonstrukcí, rozdíl není tak veliký. Varianta B z hlediska ztrát vychází za rok o 49,83 eura výhodněji. Při přepočtu na českou měnu je to přibližně 1 350 Kč v závislosti na kurzu. V procentuálním rozdílu má o 84,45 % vyšší roční celkové ztráty varianta A než varianta B.

6 Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo provést vyhodnocení stávající sítě. Výsledky měření potvrdily nevyhovující stav, který byl dočasně vyřešen pomocí nainstalovaného regulačního autotransformátoru. Po jeho připojení bylo opět provedeno měření. Na základě výsledků lze konstatovat, že regulační transformátor dokáže efektivně řešit pouze velikost napětí v síti. Pozitivní přínos ke snížení velikosti flikru a harmonických složek napětí je prakticky nulový. Pro zlepšení kvality sítě ve všech jejích parametrech jsem navrhl dvě varianty možného řešení. Ty jsem následně porovnal podle technických a ekonomických kritérií firmy E.ON. V následujících odstavcích doporučuji finální variantu konečného posílení sítě v části obce Zdíkov Zábrod.

Z předchozích kapitol vyplývá, že varianta A řešící nevyhovující kvalitu dodávky elektrické energie vybudováním nové kioskové trafostanice a nového kabelového vedení je výhodnější, jak z technické, tak i ekonomické stránky. Pouze jeden parametr celkových ročních ztrát v síti vychází ve prospěch varianty B, která řeší rekonstrukci sítě nízkého napětí ve stávající trase pomocí zkruhování a slabé vazby. V následujícím textu shrnu, proč je první varianta A lepším řešením.

Kvalitu sítě ovlivňuje hlavně impedance, která by měla být co nejnižší. U varianty A je hodnota průměrné třířázové zkratové impedance ve sledovaných uzlech $Z_{\phi A} = 0,200 \Omega$. U varianty B je hodnota průměrné třířázové zkratové impedance ve sledovaných uzlech $Z_{\phi B} = 0,258 \Omega$, což je o 28 % horší než varianta A. Díky výrazně nižší průměrné impedanci vychází varianta A podle tohoto důležitého technického parametru podstatně lépe. Z hlediska ekonomického jsou pro vlastníka sítě dále velmi důležité investiční náklady, které často rozhodují o zvolené variantě rekonstrukce a roční provozní náklady na provoz a údržbu sítě. V našem případě jsou investiční náklady varianty A o 460 123 Kč nižší než u varianty B, rovněž náklady na roční provoz a údržbu jsou u varianty A o 14 082 Kč levnější než u varianty B. Pouze hodnota celkových ročních ztrát v síti je ve variantě A z důvodu provozu dvou trafostanic vyšší o 84,45 %, než ve variantě B. Ve výsledku tato položka ročně vychází přibližně o 1350 Kč víc. Po provedení součtu ročních nákladů na provoz a údržbu a hodnoty ročních ztrát, vychází náklady na provoz sítě varianty A o 12 732 Kč levněji. Celkově tedy technické i ekonomické parametry jsou ve prospěch varianty A.

Dále varianta A souladu s dlouhodobým záměrem firmy budovat pro zvýšení spolehlivosti provozu sítě podzemního kabelového vedení. To ovlivní i snížení nákladů na provoz a údržbu sítí, omezení cizích zásahů (kácení stromů, průjezd nadměrných nákladů atd.) a lepší přijímání sítí ze strany veřejnosti [1].

Ještě bych zmínil složitost tvorby projektové dokumentace z hlediska projednání majetkoprávních vztahů k nemovitostem dotčených stavbou. Obě varianty jsou velmi rozsáhlé a každý pozemek, přes který vedení prochází, snižuje šanci provedení obnovy. Každý majitel pozemku dotčeného i blízkého musí totiž se stavbou souhlasit. Jeden nesouhlas může celou stavbu pozastavit a musí se hledat alternativní cesta nebo se rekonstrukce neuskuteční. U varianty B je celková trasa venkovního vedení přibližně o čtvrtinu delší a pravděpodobnost problémů s projektovou dokumentací se zvyšuje.

Práce detailně popisuje, jakým způsobem se v praxi postupuje při návrhu rekonstrukce distribučních sítí a při případném výběru varianty s nejlepšími parametry. Porovnávají se technické a ekonomické stránky návrhů. Pro mě bylo velmi cenné, že jsem mohl spolupracovat s panem Ing. Janem Jiříčkou, který mi umožnil získat reálná data o distribuční síti. Doufám, že i má práce bude mít pro firmu E.ON praktický význam. Tato práce byla pro mě velmi zajímavá, neboť jsem získal mnoho zkušeností a znalostí o provozu a plánování obnovy sítí NN z praxe.

Literatura

- [1] *ECD - PP - 046 Koncepce sítí nízkého napětí*, ECD - Technický rozvoj a plánování, účinnost od 1. 7. 2016.
- [2] PROCHÁZKA, Radek. Přenos a rozvod elektrické energie [přednáška online]. Dostupná 28. 12. 2016 na adrese:
<https://www.powerwiki.cz/attach/EN1Podklady/Elektroenergetika-1-Prenosova%20a%20distribucni%20soustava.pdf>
- [3] *PNE 33 3430-0 Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav*. 5. vyd., dostupná 10. 2. 2017 na adrese:
<http://www.csres.cz/Upload/PNE%2033%2034300%205.vydání%20definitivní%20znění.pdf>
- [4] *ČSN EN 50 160 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. Praha: Český normalizační institut, listopad 1994.
- [5] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [6] JIŘIČKA, Jan – Tesařová Miloslava. *Posouzení změn napětí způsobených jednofázovými a dvoufázovými zdroji připojovanými do sítě NN* [přednáška]. Brno: EPE 2012, květen 2012.
- [7] *EGU Brno, a.s. Stabilizátor napětí sítě nn STR 50 Uživatelský návod*. Dostupný 18.1.2017 na adrese <http://www.egubrno.cz/sluzby-a-produkty/merici-technika-a-diagnostika/>
- [8] TLUSTÝ, Josef. *Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 9788001049396.

[9] Google maps. Dostupná 28. 12. 2016 na adrese:

<https://www.google.cz/maps/dir//Zd%C3%ADkov/@49.0783736,13.8127958,87206m/data=!3m1!1e3!4m8!4m7!1m0!1m5!1m1!1s0x4774cec321636311:0x11f743dc aed99599!2m2!1d13.6973788!2d49.0845717>

[10] ERÚ. *Cenové rozhodnutí č. 10/2004 a Doporučená metodika výpočtu ztrát při měření na sekundární straně transformátoru*. Dostupný 18.1.2017 na adrese:

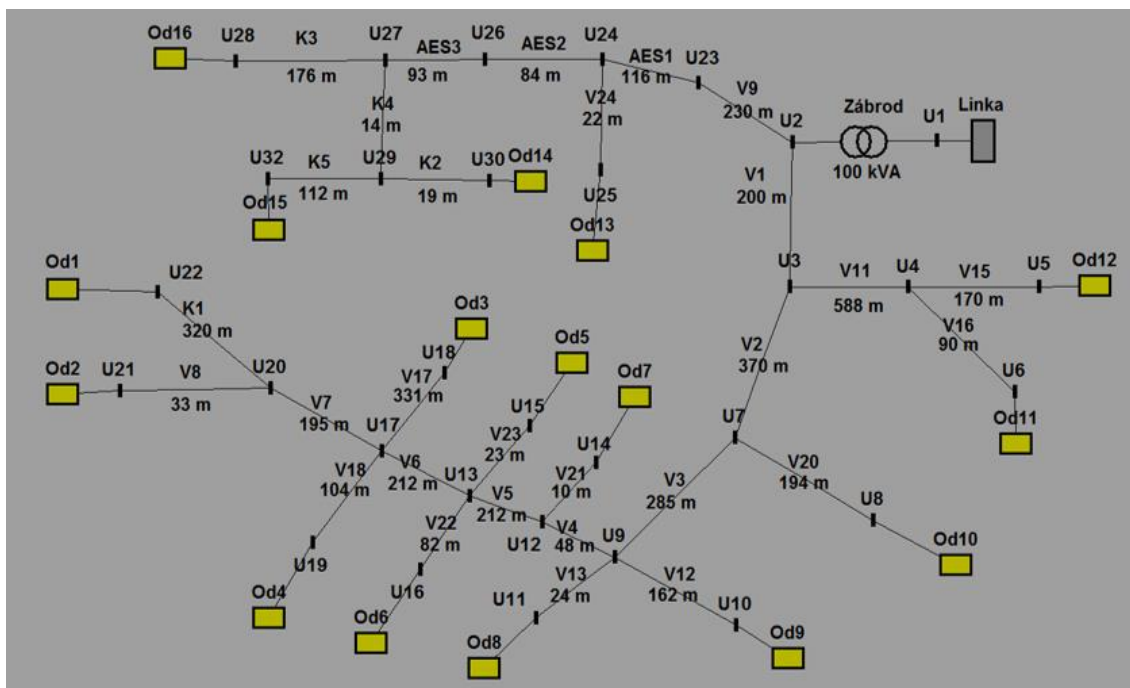
https://www.eru.cz/documents/10540/480387/CR_2004_10metodika.pdf/ddc425aa-a9d0-4f6f-b20c-878008386a87

[11] *PNE 33 0000-1 Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě*. 5. vyd.. Dostupná 10. 2. 2017 na adrese:

http://www.csres.cz/Upload/PNE_33_0000_1_ed.5.pdf

Seznam příloh

Příloha 1: Simulační model sítě v programu E-vlivy	50
Příloha 2: Vyhodnocení měření původního stavu TS	51
Příloha 3: Vyhodnocení měření stavu TS po přestavbě odbočky transformátoru	52
Příloha 4: Vyhodnocení měření na vstupu do regulátoru.....	53
Příloha 5: Vyhodnocení měření na výstupu do regulátoru.....	54
Příloha 6: Vyhodnocení měření v místě reklamace po instalaci regulátoru.....	55
Příloha 7: Simulační model varianty B	56
Příloha 8: Výpočet pojistky slabé vazby	57
Příloha 9: Seznam kalkulace varianty A	58
Příloha 10: Seznam kalkulace varianty B	59
Příloha 11: Rozpis vedení sítě NN	60



Příloha 1: Simulační model sítě v programu E-vlivy

Veličina	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod. %)	Splňuje
Napětí	U	[V]	10 min	min. 95%	1 týden	-10%	229,190 (99,65%)	✔
				max. 95%	1 týden	10%	237,640 (103,32%)	✔
				min. 100%	1 týden	-15%	228,950 (99,54%)	✔
				max. 100%	1 týden	10%	237,640 (103,32%)	✔
Napětí (dlouhá vedení)	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-20%	228,950 (99,54%)	✔
				max. 100%	1 týden	11%	237,640 (103,32%)	✔
Krátkodobý flikr	Pst	-	10 min	max. 95%	1 týden	1	0,205	✔
Dlouhodobý flikr	Plt	-	2 hod	max. 95%	1 týden	1	0,221	✔
Napětíová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,370	✔
Harmonické zkreslení	THDu	%	10 min	max. 95%	1 týden	8%	1,680	✔
Harmonická napětí	Uh2	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,000	✔
	Uh3	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	0,200	✔
	Uh4	%	10 min	max. 95%	1 týden	1%	0,000	✔
	Uh5	%	10 min	max. 95%	1 týden	6%	0,820	✔
	Uh6	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✔
	Uh7	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	1,530	✔
	Uh8	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✔
	Uh9	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,050	✔
	Uh10	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✔
	Uh11	%	10 min	max. 95%	1 týden	3,5%	0,360	✔
	Uh12	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✔
	Uh13	%	10 min	max. 95%	1 týden	3%	0,250	✔
	Uh14	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✔
	Uh15	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✔
	Uh16	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✔
	Uh17	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,100	✔
	Uh18	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✔
	Uh19	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,050	✔
	Uh20	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✔
	Uh21	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✔
	Uh22	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✔
	Uh23	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,050	✔
	Uh24	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,100	✔
	Uh25	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,000	✔

Příloha 2: Vyhodnocení měření původního stavu TS

Veličina	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod.%)	Splňuje
Napětí	U	[V]	10 min	min. 95%	1 týden	-10%	235,920 (102,57%)	✓
				max. 95%	1 týden	10%	243,670 (105,94%)	✓
				min. 100%	1 týden	-15%	234,520 (101,97%)	✓
				max. 100%	1 týden	10%	243,670 (105,94%)	✓
Napětí (dlouhá vedení)	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-20%	234,520 (101,97%)	✓
				max. 100%	1 týden	11%	243,670 (105,94%)	✓
Krátkodobý filtr	Pst	-	10 min	max. 95%	1 týden	1	0,237	✓
Dlouhodobý filtr	Plt	-	2 hod	max. 95%	1 týden	1	0,316	✓
Napěťová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,480	✓
Harmonické zkreslení	THDu	%	10 min	max. 95%	1 týden	8%	1,740	✓
Harmonická napětí	Uh2	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,000	✓
	Uh3	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	0,320	✓
	Uh4	%	10 min	max. 95%	1 týden	1%	0,000	✓
	Uh5	%	10 min	max. 95%	1 týden	6%	0,980	✓
	Uh6	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh7	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	1,570	✓
	Uh8	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh9	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,060	✓
	Uh10	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh11	%	10 min	max. 95%	1 týden	3,5%	0,410	✓
	Uh12	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh13	%	10 min	max. 95%	1 týden	3%	0,320	✓
	Uh14	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh15	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh16	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh17	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,110	✓
	Uh18	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh19	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,060	✓
	Uh20	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh21	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh22	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh23	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,060	✓
	Uh24	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh25	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,000	✓

Příloha 3: Vyhodnocení měření stavu TS po přestavbě odbočky transformátoru

Velična	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod.%)	Splňuje
Napětí	U	[V]	10 min	min. 95%	1 týden	-10%	207,050 (90,02%)	✓
				max. 95%	1 týden	10%	250,280 (108,82%)	✓
				min. 100%	1 týden	-15%	193,360 (84,07%)	✗
				max. 100%	1 týden	10%	250,280 (108,82%)	✓
Napětí (dlouhá vedení)	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-20%	193,360 (84,07%)	✓
				max. 100%	1 týden	11%	250,280 (108,82%)	✓
Krátkodobý flukr	Pst	-	10 min	max. 95%	1 týden	1	3,167	✗
Dlouhodobý flukr	Plt	-	2 hod	max. 95%	1 týden	1	3,662	✗
Napěťová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	2,060	✗
Harmonické zkreslení	THDu	%	10 min	max. 95%	1 týden	8%	3,030	✓
Harmonická napětí	Uh2	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,100	✓
	Uh3	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	1,890	✓
	Uh4	%	10 min	max. 95%	1 týden	1%	0,050	✓
	Uh5	%	10 min	max. 95%	1 týden	6%	1,500	✓
	Uh6	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,090	✓
	Uh7	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	1,940	✓
	Uh8	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh9	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,750	✓
	Uh10	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh11	%	10 min	max. 95%	1 týden	3,5%	0,670	✓
	Uh12	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh13	%	10 min	max. 95%	1 týden	3%	0,550	✓
	Uh14	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh15	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,460	✓
	Uh16	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,100	✓
	Uh17	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,340	✓
	Uh18	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,200	✓
	Uh19	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,350	✓
	Uh20	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,340	✓
	Uh21	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,290	✓
	Uh22	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,860	✗
	Uh23	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,210	✓
	Uh24	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,300	✓
	Uh25	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,150	✓

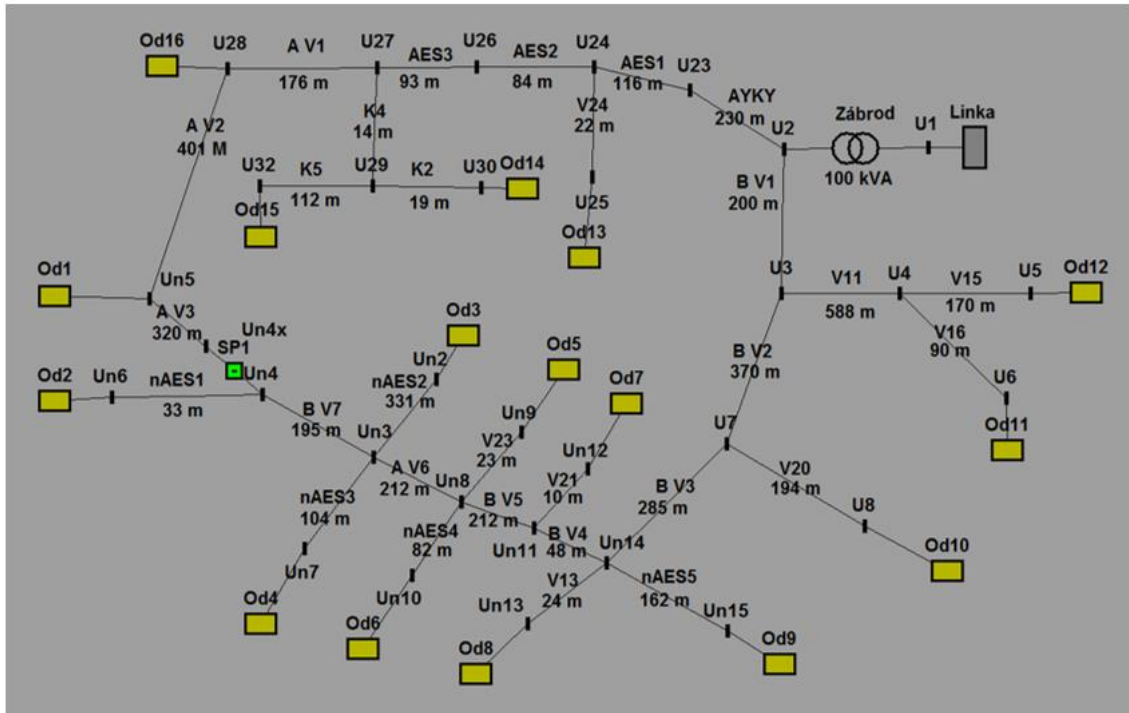
Příloha 4: Vyhodnocení měření na vstupu do regulátoru

Velična	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod.%)	Splňuje
Napětí	U	[V]	10 min	min. 95%	1 týden	-10%	236,570 (102,86%)	✓
				max. 95%	1 týden	10%	242,730 (105,53%)	✓
				min. 100%	1 týden	-15%	235,080 (102,21%)	✓
				max. 100%	1 týden	10%	242,730 (105,53%)	✓
Napětí (dlouhá vedení)	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-20%	235,080 (102,21%)	✓
				max. 100%	1 týden	11%	242,730 (105,53%)	✓
Krátkodobý flikr	Pst	-	10 min	max. 95%	1 týden	1	3,052	✗
Dlouhodobý flikr	Plt	-	2 hod	max. 95%	1 týden	1	3,543	✗
Napěťová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	3,190	✗
Harmonické zkreslení	THDu	%	10 min	max. 95%	1 týden	8%	3,050	✓
Harmonická napětí	Uh2	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,110	✓
	Uh3	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	2,020	✓
	Uh4	%	10 min	max. 95%	1 týden	1%	0,050	✓
	Uh5	%	10 min	max. 95%	1 týden	6%	1,550	✓
	Uh6	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,110	✓
	Uh7	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	1,960	✓
	Uh8	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh9	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,780	✓
	Uh10	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh11	%	10 min	max. 95%	1 týden	3,5%	0,680	✓
	Uh12	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh13	%	10 min	max. 95%	1 týden	3%	0,570	✓
	Uh14	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh15	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,470	✓
	Uh16	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,060	✓
	Uh17	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,360	✓
	Uh18	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,210	✓
	Uh19	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,360	✓
	Uh20	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,320	✓
	Uh21	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,310	✓
	Uh22	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,880	✗
	Uh23	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,210	✓
	Uh24	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,310	✓
	Uh25	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,160	✓

Příloha 5: Vyhodnocení měření na výstupu do regulátoru

Veličina	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod.%)	Splňuje
Napětí	U	[V]	10 min	min. 95%	1 týden	-10%	230,575 (100,25%)	✓
				max. 95%	1 týden	10%	242,475 (105,42%)	✓
				min. 100%	1 týden	-15%	219,875 (95,60%)	✓
				max. 100%	1 týden	10%	242,475 (105,42%)	✓
Napětí (dlouhá vedení)	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-20%	219,875 (95,60%)	✓
				max. 100%	1 týden	11%	242,475 (105,42%)	✓
Krátkodobý flukr	Pst	-	10 min	max. 95%	1 týden	1	3,052	✗
Dlouhodobý flukr	Plt	-	2 hod	max. 95%	1 týden	1	3,543	✗
Napěťová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	4,389	✗
Harmonické zkreslení	THDu	%	10 min	max. 95%	1 týden	8%	4,590	✓
Harmonická napětí	Uh2	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,100	✓
	Uh3	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	0,800	✓
	Uh4	%	10 min	max. 95%	1 týden	1%	0,100	✓
	Uh5	%	10 min	max. 95%	1 týden	6%	1,450	✓
	Uh6	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,100	✓
	Uh7	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	1,050	✓
	Uh8	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,100	✓
	Uh9	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,900	✓
	Uh10	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh11	%	10 min	max. 95%	1 týden	3,5%	0,850	✓
	Uh12	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh13	%	10 min	max. 95%	1 týden	3%	0,450	✓
	Uh14	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh15	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,600	✗
	Uh16	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh17	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,400	✓
	Uh18	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh19	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,250	✓
	Uh20	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh21	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,300	✓
	Uh22	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh23	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,150	✓
	Uh24	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh25	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,200	✓

Příloha 6: Vyhodnocení měření v místě reklamace po instalaci regulátoru



Příloha 7: Simulační model varianty B

Vstupní bod	prvek	délka	Ω úsek	Ω smyčka	zkr. proud	jištění(A)
Trafo	transformátor 100 kVA		0,028	0,028	8333,33	160
Svod	svod + vývod rozvaděče TS		0,020	0,048	4831,93	160
1. Úsek	AYKY 3 x 120 + 70	230	0,176	0,224	1026,65	125
2. Úsek	AES 4 x 120	1190	0,673	0,897	256,51	63
3. Úsek	AES 4 x 120	930	0,526	1,422	161,71	40
4. Úsek	AES 4 x 120	570	0,322	1,744	131,85	32

Příloha 8: Výpočet pojistky slabé vazby

Kalkulace	Množství	MJ
Projektová dokumentace		
Územní řízení,vč.popl. a Inž.	1	KS
Sml. o sml.bud.na VB/vlastník	50	KS
Specifikace kioskové TS	1	KS
Společné náklady stavby		
Kolaudace	1	
Správní poplatky	1	
Poplatky	1	
Archeologický dozor	1	
Náhrady škod,VB,rekultivace...	1	
Revize	1	
Geodetické zaměření	1	
Ekologická likvidace dem.mat.	1	
TS Blokové Technologická část		
BETONBAU 1x400kVA UK1700-t.č.	1	KS
TS Blokové Staveb. část, dopr.		
Přípravné práce 1x630kVA	1	KS
Doprava BETONBAU UK 1700	1	KS
Rozvaděče VN		
Kompakt GA 1TS1A1-C TS paprsek	1	KS
Transformátory		
Transformátor 22/0,4kV 100kVA	1	KS
Vnitřní TS, Opravy TS		
NN Rozv. RST 1x630 5 vývodů	1	KS
Venkovní vedení VN		
VN Kab.sv. ÚOkom.sv.JB12/6 uz.	1	KS
Venkovní vedení NN		
NN P.b.koncový DBx10,5/10-konz	1	KS
NN SV201/PS trub.bez prop.kab.	1	KS
Kabelové vedení VN		
VN kabel 3x70-volný terén	690	M
VN Kabelová koncovka venkovní	1	SET
VN Kabel.konektor vnitř s omez	1	SET
Kabelové vedení NN		
NN kabel 4x16-terén bez skříní	121	M
NN kabel 4x50-terén bez skříní	186	M
NN kabel 4x150-terén bez skříní.	1 530	M
NN Skříň SR422/NV	3	KS
NN Skříň SR522/NV	5	KS
NN Pilíř plast. do SS300/NK	7	KS
Demontáže		
VN Dem.venk.v.15%z IN do250tKč	1	
NN Dem.venk.v.10%z INnad250tKč	1	

Příloha 9: Seznam kalkulační varianty A

Kalkulace	Množství	MJ
Projektová dokumentace		
Územní řízení,vč.popl. a Inž.	1	KS
Sml. o sml.bud.na VB/vlastník	50	KS
Společné náklady stavby		
Kolaudace	1	
Správní poplatky	1	
Poplatky	1	
Archeologický dozor	1	
Náhrady škod,VB,rekultivace...	1	
Revize	1	
Geodetické zaměření	1	
Ekologická likvidace dem.mat.	1	
Venkovní vedení NN		
NN izol.vod. 4x120-sl.bet.stř.	3 109	M
NN SV201/PS trub.bez prop.kab.	4	KS
stáv.odběry - přepojení 20x	1	
Kabelové vedení NN		
NN Pilíř plast.do SS300/NK	2	KS
přepojení stáv. kabelů NN	1	
Demontáže		
NN Dem.venk.v.10%z INnad250tKč	1	

Příloha 10: Seznam kalkulace varianty B

Úsek vedení	Typ vedení	l [km]
V1	AlFe 4 × 50 mm ²	0,200
V2	AlFe 4 × 50 mm ²	0,370
V3	AlFe 4 × 50 mm ²	0,285
V4	AlFe 4 × 50 mm ²	0,048
V5	AlFe 4 × 50 mm ²	0,215
V6	AlFe 4 × 50 mm ²	0,212
V7	AlFe 4 × 50 mm ²	0,195
V8	AlFe 4 × 50 mm ²	0,033
V9	AYKY 4 × 120+70 mm ²	0,230
V10	AES 4 × 120 mm ²	0,116
V11	AES 4 × 120 mm ²	0,084
V12	AlFe 4 × 50 mm ²	0,588
V13	AlFe 4 × 50 mm ²	0,162
V14	AlFe 4 × 50 mm ²	0,024
V15	AlFe 4 × 35 mm ²	0,170
V16	AlFe 4 × 35 mm ²	0,090
V17	AlFe 4 × 35 mm ²	0,331
V18	AlFe 4 × 35 mm ²	0,104
V19	AES 4 × 120 mm ²	0,093
V20	AlFe 4 × 16 mm ²	0,194
V21	AlFe 4 × 16 mm ²	0,010
V22	AlFe 4 × 16 mm ²	0,082
V23	AlFe 4 × 16 mm ²	0,023
V24	AlFe 4 × 16 mm ²	0,022
K1	AYKY 4 × 25 mm ²	0,320
K2	AYKY 4 × 25 mm ²	0,019
K3	AYKY 4 × 25 mm ²	0,176
K4	AYKY 4 × 25 mm ²	0,112

Příloha 11: Rozpis vedení sítě NN