

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra Elektroenergetiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh rekonstrukce distribuční sítě nízkého napětí

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan BÁRTA**
Osobní číslo: **E18N0036K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Téma práce: **Návrh rekonstrukce distribuční sítě nízkého napětí**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky**

Zásady pro vypracování

1. Uveďte požadavky kladené na distribuční síť, důvody vedoucí k rekonstrukci sítí, kritéria pro návrh distribučních sítí a diskutujte možná technická řešení.
2. Zhodnoťte stávající stav části distribuční sítě v dané lokalitě (Volary – Stögrova Huť), navrhnete měření, která je potřeba provést pro potřeby návrhu sítě.
3. Navrhnete rekonstrukci sítě či jiná nápravná opatření.
4. Zhodnoťte stav sítě po provedené rekonstrukci a proveďte technicko-ekonomické zhodnocení.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Mertlová, J., Noháčová, L.: Elektrické stanice a vedení, ZČU v Plzni, 2008
2. Kříž, M.: Dimenzování a jištění elektrických zařízení – tabulky a příklady, IN-EL, 2015
3. ČSN 332000-5-523: Elektrická zařízení, část 5 Výběr a stavba el. zařízení – Dovolené proudy

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky

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



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





Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 9. října 2020

Abstrakt

Tato práce se zabývá problematikou navrhování úprav distribuční sítě nízkého napětí. V úvodní části jsou rozebírány distribuční sítě a důvody vedoucí k jejich rekonstrukcím. Těžiště práce je tvořeno návrhem rekonstrukce vyvolané stížností konkrétního zákazníka. Návrh rekonstrukce vychází z výpočtů a dat naměřených po podání stížnosti pro bod, do kterého je tento zákazník připojen. Na základě dat o kvalitě elektrické energie naměřených po rekonstrukci v daném bodě je vyhodnocen dopad provedené rekonstrukce a navrhnuty další kroky. Na závěr je provedeno technicko – ekonomické zhodnocení provedeného nápravného opatření.

Klíčová slova

Distribuční soustava, rekonstrukce distribuční sítě, měření kvality elektrické energie, impedance sítě.

Abstract

This thesis studies renovations of low-voltage distribution networks. The introduction discusses distribution networks and reasons for their reconstructions. The core of the thesis is formed by a design for a concrete case of a reconstruction triggered by a customer's complaint. The reconstruction design is based on calculations and electric energy quality data measured after the complaint for the customer's connection point. The impact of the proposed reconstruction is evaluated based on calculations and measurements performed after the reconstruction. The thesis also suggests further enhancements of the network in the area based on these data. The thesis concludes by technical and economic evaluation of the proposed solution.

Key words

Distribution network, distribution network reconstruction, measuring the quality of electricity, network impedance.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím vlastního archivu, odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

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



.....
podpis

V Plzni dne 24.5.2021

Bc. Jan Bárta

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Všem kantorům i kolegům, zejména p. Ing. Petru Hrabákovi, kteří mě doprovázeli dlouhým studiem. Dále bych chtěl poděkovat přátelům, a hlavně své rodině za úžasnou podporu nejen při psaní této práce, ale po dobu celého studia.

Obsah

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI	1
OBSAH	8
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 POSTUP PŘI NÁVRHU REKONSTRUKCE ČÁSTI DISTRIBUČNÍ SÍTĚ.....	12
1.1 DISTRIBUČNÍ SÍTĚ OBECNĚ	12
1.2 POŽADAVKY Kladené NA DISTRIBUČNÍ SÍTĚ	13
1.2.1 Kvalita napětí	14
1.2.2 Bezpečnost	16
1.2.3 Spolehlivost.....	20
1.3 DŮVODY VEDOUcí K REKONSTRUKCím Sítí	21
1.3.1 Životnost vedení.....	22
1.3.2 Poruchovost vedení.....	23
1.3.3 Připojování nových odběratelů nebo výrobců elektrické energie	23
1.3.4 Posilování sítě z důvodů nevyhovujících poměrů v síti.....	24
1.4 TECHNICKÁ ŘEŠENÍ	25
1.4.1 Výměna vodičů vNN ve stávající trase.....	25
1.4.2 Kabelizace	25
1.4.3 Posilování sítí.....	25
2 ZHODNOCENÍ STAVU ČÁSTI DISTRIBUČNÍ SÍTĚ PŘED NÁPRAVNÝM OPATŘENÍM.....	26
2.1 INSTALACE MĚŘENÍ PO PODÁNÍ STÍŽNOSTI NA ZHORŠENÍ DODÁVKY KVALITY EE	28
2.1.1 Výpočet úbytku napětí a smyčkové impedance sítě.....	30
2.1.2 Hodnoty z měření po podání stížnosti.....	33
2.2 REGULAČNÍ TRANSFORMÁTOR A HODNOTY Z MĚŘENÍ PO JEHO INSTALACI.....	36
2.2.1 Regulační transformátor a jeho funkce	36
2.2.2 Hodnoty z měření po instalaci regulačního transformátoru.....	39
3 NÁVRH NÁPRAVNÉHO OPATŘENÍ.....	42
3.1 OBECNÉ TECHNICKÉ POŽADAVKY	42
Uložení kabelového vedení	42
Uzemnění.....	43
Ochrana proti přepětí.....	43
3.2 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ VARIANTY A.....	43
Venkovní vedení VN.....	43
Kabelové vedení VN	43
Trafostanice.....	44

<i>Venkovní vedení NN</i>	44
<i>Kabelové vedení NN</i>	44
<i>Demontáže</i>	44
4 ZHODNOCENÍ STAVU PO REALIZACI VARIANTY A	45
4.1 TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ STAVU SÍTĚ PO PROVEDENÍ NÁPRAVNÉHO OPATŘENÍ	46
<i>Venkovní vedení VN</i>	47
<i>Kabelové vedení VN</i>	47
<i>Trafostanice</i>	50
<i>Venkovní vedení NN</i>	51
<i>Kabelové vedení NN</i>	52
<i>Demontáže</i>	53
4.2 VÝPOČET ÚBYTKU NAPĚTÍ A SMYČKOVÉ IMPEDANCE SÍTĚ V PŘEDÁVACÍM BODĚ U Č.P. 546	53
4.3 HODNOTY Z MĚŘENÍ PO VŘAZENÍ NOVÉ TS	55
4.4 NÁVRH BUDOUCÍHO NÁPRAVNÉHO OPATŘENÍ	57
4.4.1 <i>Výpočet úbytku napětí a smyčkové impedance sítě</i>	57
4.5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PRO VARIANTU A A B	60
4.5.1 <i>Celkové investiční náklady</i>	60
4.5.2 <i>Časová náročnost</i>	61
ZÁVĚR	63
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	64

Úvod

Téma pro tuto diplomovou práci (DP) bylo vybráno společností EG.D, a.s., která zajišťuje provoz a údržbu sítí nízkého napětí (NN), vysokého napětí (VN) a velmi vysokého napětí (VVN). Hlavním účelem diplomové práce je zpracování dokladu o obnovování kvality dodávané elektrické energie po podání stížnosti zákazníkem nacházejícího se na konci dlouhého venkovního vedení NN v okrajové části města Volary nazvané Stögrova Huť. Cílem pro společnost EG.D, a.s. je zlepšit kvalitu EE dodávané do domácností pomocí dostupných prostředků a zařízení jako jsou např. regulátory napětí, popřípadě rozsáhlejší rekonstrukce sítě (kabelizace nebo posílení sítě, zařazení nové trafostanice (TS) do vedení...

Pro vypracování DP jsem si stanovil tyto dílčí úkoly:

- 1) Zpracovat rešerši na požadavky kladené na distribuční sítě a uvést nejčastější důvody vedoucí k rekonstrukcím sítí ve společnosti EG.D, a.s..
- 2) Vypracovat přehled aktuálního technického stavu sledované části sítě, zpracovat již provedené kontrolní měření kvality napětí v předávacím bodě se zákazníkem u č.p.546.
- 3) Zrevidovat zadání pro nápravné opatření vytvořené v r. 2014, přiblížit problematiku instalace regulačních transformátorů a znovu provést měření kvality napětí v předávacím bodě se zákazníkem na konci sítě po realizaci dočasného nápravného opatření.
- 4) Podle interních předpisů společnosti vybrat jednu ze dvou navrhovaných variant trvalého nápravného opatření, tu zadat do realizace a zpracovat dokument o jejím provedení. Provést kontrolní měření kvality napětí v předávacím bodě se zákazníkem u č.p.546 po realizaci vybrané varianty.
- 5) Porovnat naměřené a vypočtené hodnoty. Pokud se projeví nedostatečnost nápravného opatření, tak navrhnout další nápravné opatření. Porovnat odhadované náklady dvou variant nápravného opatření.

Seznam symbolů a zkratek

Apod.....	A podobně
a.s.	Akciová společnost
Atd.....	A tak dále
Atp.....	A tak podobně
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
DP.....	Diplomová práce
DS.....	Distribuční soustava
EE.....	Elektrická energie
EZ.....	Elektrické zařízení
HDO.	Hromadné dálkové ovládání
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
kNN	Kabelové vedení nízkého napětí
kVN	Kabelové vedení vysokého napětí
Např.....	Například
NN	Nízké napětí
OZE	Obnovitelný zdroj energie
PNE	Podniková norma energetiky
PS	Přenosová soustava
TS	Trafostanice
Tzv.....	Takzvaný
ÚO	Úsekový odpínač
Vč.	Včetně
VN	Vysoké napětí
vNN	Venkovní vedení nízkého napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
vVN	Venkovní vedení vysokého napětí

1 Postup při návrhu rekonstrukce části distribuční sítě

Dnes jsou kladeny čím dál tím větší nároky na každého distributora elektrické energie (EE) v zajišťování kvalitní dodávky EE s předem domluvenými parametry napájecího napětí, které jsou popsány a nedefinovány v normě ČSN EN 50160 [1]. Popisovanými parametry se rozumí kmitočet, velikost, tvar vlny a symetrie třífázových (3f) napětí, jsou zde určeny i minimální a maximální meze hodnot, ve kterých se veličiny mohou pohybovat za běžného provozu. Aby společnost mohla tyto parametry dodržet, musí probíhat časté kontroly kvality jak napájecího napětí, tak samozřejmě i zařízení a vybavení určeného k přenosu a distribuci EE.

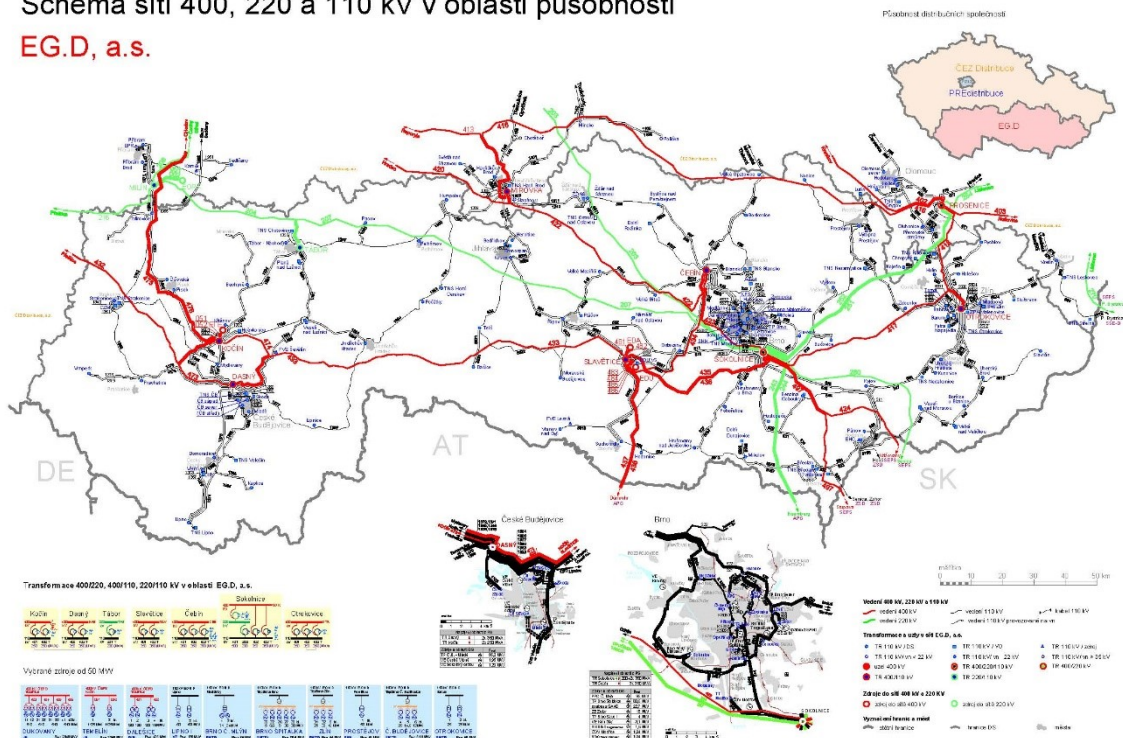
U samotného návrhu rekonstrukce je důležité dbát na vyhlášky a technické normy, které omezují a usměrňují tvůrce zadání pro rekonstrukci. Distribuční sítě (DS) jsou navrhovány tak, aby byly připraveny pro připojování vyššího počtu obnovitelných zdrojů energií (OZE), akumulaci EE a elektromobilitu. Nově navrhované sítě nízkého napětí (NN) musí zajišťovat požadavky na zvyšování spolehlivosti a kvality dodávky EE. Musí být vystavěny jako zkrhované (provozují se paprskově), aby zajistily co nejmenší omezení zákazníků při plánovaných i neplánovaných odstávkách a v neposlední řadě musí být připraveny na nové technologie v oblasti smart grid.

V následujících kapitolách jsem obecně popsal nejdůležitější požadavky kladené na DS, mezi které patří bezpečnost, spolehlivost a udržitelnost požadované kvality napětí. Vypsals jsem zde i některá zařízení, která pomáhají k udržování těchto požadavků. Pro účely práce jsem vybral jen ta zařízení, která jsem dále použil pro návrh nápravného opatření v kapitole 3. Jedná se o uzemnění, úsekové odpínače a svodiče přepětí.

1.1 Distribuční sítě obecně

Hlavním úkolem distribučních sítí je distribuce elektrické energie koncovým uživatelům (zákazníkům distribuční společnosti). V České republice (ČR) jsou provozovány DS v napěťové hladině: VVN 110 kV, VN 22 kV (35 kV) a NN 230/400 V. Společnost EG.D, a.s. provozuje DS v napěťové hladině VVN 110 kV, VN 22 kV a NN 230/400 V. DS je převážně napájena z přenosové soustavy (PS) společností ČEPS, a.s., dále pak z výroben EG.D, a.s., závodních elektráren a ostatních lokálních zdrojů vč. OZE. [2]

Schéma sítě 400, 220 a 110 kV v oblasti působnosti EG.D, a.s.



Obr. 1: Schéma DS v oblasti působnosti EG.D, a.s. [3]

DS tedy slouží k přenosu EE o předem domluvených parametrech napětí k zákazníkům. Parametry napětí jsou popisovány v normě ČSN EN 50160 – *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*, ve vyhlášce 540/2005 Sb. – *Kvalita napětí* a v pravidlech provozování distribučních sítí příloha 3 (PPDS) – *Kvalita napětí v DS*.

1.2 Požadavky kladené na distribuční sítě

Základní účel DS je distribuce EE o dané kvalitě napětí, dalšími nejdiskutovanějšími požadavky jsou bezpečnost a spolehlivost. Tyto požadavky zajišťují bezpečné a spolehlivé návrhy, výstavbu, provoz, údržbu a likvidaci DS, pomáhají udržet kvalitní EE dodávanou jednotlivým zákazníkům.

1.2.1 Kvalita napětí

Dá se definovat pomocí jednotlivých charakteristik sledovaných v daném bodě ES. Společnost EG.D, a.s. se zaměřuje hlavně na body předání EE z přenosové soustavy (PS) do DS, z DS zákazníkům a dále tyto charakteristiky porovnává s referenčními hodnotami uváděnými v normách. Tato kapitola je čerpána ze zdrojů [13] a [14]

Sledované charakteristiky dle PPDS přílohy 3:

- a) kmitočet sítě – monitorování provádí provozovatel DS

Tab. 1: Meze měřené střední hodnoty kmitočtu základní harmonické (50 Hz) za normálního provozu

Systém se synchronním připojením k propojenému systému		
50 Hz \pm 1 %	49,5 – 50,5 Hz	Během 95 % roku
50 Hz + 4 % / -6 %	47 – 52 Hz	Po 100 % času
Systém bez synchronního připojení k propojenému systému (ostrovní systémy)		
50 Hz \pm 2 %	49 – 51 Hz	Během 95 % roku
50 Hz \pm 15 %	42,5 – 57,5 Hz	Po 100 % času

- b) velikost a odchylky napájecího napětí – měření provádí provozovatel DS nejméně po dobu jednoho týdne
- Za normálních provozních podmínek (kromě období s přerušením dodávky) nemá odchylka napětí přesáhnout – 15 % až +10 % ze jmenovitého napětí Un.
- c) rychlé změny napětí – velikost změn, míra vjemu flikru
- Změny jsou obvykle vyvolány změnami zátěže v instalacích, spínáním prvků v síti nebo poruchami.

Tab. 2: Povolené hodnoty rychlých změn napětí v závislosti na četnosti změn za normálních provozních podmínek

Četnost změn n	Změna napětí $du = \Delta U/U_n$ [%]	
	VN	VVN
$n \leq 4$ za den	5-6	3-5
$n \leq$ za hodinu, $n > 4$ za den	4	3
$2 < n \leq 10$ za hodinu	3	2,5

- Flikr – kolísání napětí způsobuje změnu jasu svítidel, která může způsobovat nežádoucí zrakový a sluchový vjem. Míra dlouhodobého vjemu flikru za normálních podmínek musí být minimálně po 95 % času menší než jedna.
- d) krátkodobé poklesy napájecího napětí – pokles napájecího napětí pod jmenovitou hodnotu napětí po dobu kratší než 1 minutu

- e) nesymetrie napájecího napětí
- V libovolném týdenním období musí být desetiminutových středních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 až 2 % sousledné složky za normálních provozních podmínek. Norma udává rozmezí jen pro zpětnou složku, protože je stěžejní pro možné rušení spotřebičů připojených do sítě.
- f) harmonická napětí
- V libovolném týdenním období musí být 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě uvedené v Tab. 3 za normálních provozních podmínek. Úrovně pro harmonické vyšších řádů se neuvádějí, jelikož jejich hodnoty jsou obvykle zanedbatelně malé, zároveň ale činitel harmonického zkreslení THDu nesmí překročit 8 %.

Tab. 3: Úrovně harmonických napětí v předávacím místě v procentech

Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3			
Řád harmonické	Harmonické napětí	Řád harmonické	Harmonické napětí	Řád harmonické	Harmonické napětí
5	6 %	3	5 %	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6 – 24	0,5 %
13	3 %	21	0,5 %		
17	2 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

- g) Meziharmonická napětí
- Hladina meziharmonických narůstá díky rozvoji a masivnímu používání domácí elektroniky obsahující mimo jiné i měniče kmitočtu. Hodnoty a jisté meze se prozatím studují a získávají se další zkušenosti. Meziharmonické mohou způsobovat flickr nebo rušení v systémech dálkového ovládání.
- h) Úrovně napětí signálů v napájecím napětí
- V zákaznických instalacích se mohou používat nosné signály o frekvencích 95 kHz – 148,5 kHz pro přenos informací. Přenos v DS není povolen, ale je potřeba brát v úvahu možnost ovlivňování sousedící sdělovací soustavy. Zákazníci musí používat vhodná ochranná opatření nebo vhodné instalace odolné vůči vlivu rušivých signálů.

- i) Krátkodobá přerušení napájecího napětí
 - Přerušení dodávky EE způsobené nepředvídatelnou událostí. Za krátkodobé přerušení se v ČR považuje to, pokud je do 3 minut znovu obnovena dodávka EE.
- j) Dlouhodobá přerušení napájecího napětí
 - Přerušení dodávky EE způsobené nepředvídatelnou událostí, za dlouhodobé se v ČR považuje to, pokud není do 3 minut obnovena dodávka EE.
- k) Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí
 - Doba trvání přepětí obecně závisí na koncepci chránění sítě, která se liší v závislosti na konfiguraci sítě a uzemnění uzlu.
- l) Přechodná přepětí mezi vodiči a zemí
 - Doba trvání přepětí obecně závisí na koncepci chránění sítě, která se liší v závislosti na konfiguraci sítě a uzemnění uzlu. [13], [14]

1.2.2 Bezpečnost

Dle Ministerstva vnitra České republiky: *"Stav, kdy je systém schopen odolávat známým a předvídatelným vnějším i vnitřním hrozbám, které mohou negativně působit proti jednotlivým prvkům (případně celému systému) tak, aby byla zachována struktura systému, jeho stabilita, spolehlivost a chování v souladu s cílovostí. Je to tedy míra stability systému a jeho primární a sekundární adaptace."* [4]

Bezpečnostní předpisy a parametry je nutné dodržovat, aby nedošlo k ohrožení života, zdraví osob, zvířat, majetku nebo životního prostředí. Toto platí jak pro všechny osoby zajišťující výstavbu, provoz a rozvoj DS, tak pro zařízení samotné.

Bezpečnost se dá rozdělit na tři oblasti působení: fyzickou (týká se zejména bezpečnosti lidí a zvířat), provozní (bezpečnost zařízení) a kybernetickou (bezpečnost komunikační a ovládací infrastruktury). Pro účely této práce je blíže popsána bezpečnost fyzická a provozní.

K zajištění bezpečnosti slouží souhrn opatření dělitelný na dvě části:

- a) personální – pracovníci s příslušnou elektrotechnickou kvalifikací,
- b) technický – elektrická zařízení a instalace. [18]

a) Personální opatření

Na elektrickém zařízení (EZ) může pracovat jen člověk s příslušnou elektrotechnickou kvalifikací tzn. proškolený a pravidelně přezkušovaný člověk z odborné způsobilosti v elektrotechnice, který obdržel osvědčení dle vyhlášky 50 a pověření od zaměstnavatele (v tomto případě EG.D, a.s.). Tyto znalosti může získat každý např. z normy ČSN EN50110-1 ed.2, Vyhláška č.50/1978 Sb. Norma má platnost pro obsluhu a práci na a s elektrickými zařízeními (od hladiny NN přes vysoké napětí (VN), velmi vysoké napětí (VVN) až po zvlášť vysoké napětí (ZVN) nebo v jejich blízkosti. Požadavky uvedené v normě se týkají hlavně

obsluhu, práce a údržby elektrických zařízení, ale zároveň platí pro veškerou neelektrickou činnost (nejčastěji stavební práce v blízkosti el. zařízení). Norma také definuje a stanovuje jednotlivé stupně odborné způsobilosti pracovníků, kteří se zabývají projektováním, montáží nebo obsluhou EZ. [5]

b) Technická opatření

Podle zákona č. 22/1997 Sb. musí být i elektrická zařízení při užívání bezpečná pro zdraví osob, zvířat a majetku. Bezpečnost EZ je nejvíce ovlivňována třemi základními faktory:

- technický stav představující i technické řešení / uspořádání EZ,
- prostředí, ve kterém se EZ nachází a provozuje,
- činnostmi na EZ prováděnými. [16]

Bezpečnost EZ a el. instalace je převážně věcí výrobců či dodavatelů. Zařízení musí být vyrobeno s ohledem na vnější vlivy, na omezení vzniku a šíření požáru a na snadnou údržbu. Z hlediska provozovatele sítě platí vše výše uvedené. [18]. Pro zvýšení bezpečnosti provozu je potřeba dodržovat pravidla provozování distribučních soustav [13] a normu PNE 33 0000-6 – *Obsluha a práce na elektrických zařízeních pro výrobu, přenos a distribuci elektrické energie*.

Provozovatel má snahu budovat a udržovat DS co nejvíce přehlednou a jednotnou. Přehledné sítě se lépe udržují, jsou jednodušší na obsluhu a bezpečnější pro montážní a servisní techniky. Používání jednotných zařízení snižuje počet chyb při obsluze. Přehledné uspořádání výkonových prvků DS zjednodušuje řízení jak sítě, tak i systému ochran.

Výkonových prvků a systémů ochran je celá řada, proto byla k bližšímu popisu vybrána zařízení použitá při návrhu v další části této práce. Vybraná zařízení jsou: úsekový odpínač, ochrana před přepětím – svodiče přepětí a uzemnění.

Úsekový odpínač (ÚO) je zařízení v DS schopné spínat a rozpojovat obvod pouze tehdy, spínají-li se provozní proudy, na které je daný ÚO dimenzován. Pro zhášení případných oblouků je využito opalovacích růžků. Pro zvýšení spínací schopnosti je možnost instalovat na ÚO olejové komory pro zhášení oblouků.



Obr. 2: ÚO s nainstalovanými zhášecími olejovými komorami [Zdroj: archiv autora]

Využívá se k rozdělování venkovního vedení vysokého napětí (vVN) na menší úseky, např. při poruchách se pomocí úsekových odpínačů a vypínačů uvede postižená část DS za asistence servisních techniků, nebo pomocí dálkové řízených ÚO do beznapěťového stavu, aby se mohla opravit a podobným postupem znovu uvést do provozu.

Mezi nejnovější typy ÚO se řadí reclosery, které jsou instalovány do DS. Recloser je vypínač, který má možnost opětovného zapnutí. Je umístěn na podpěrném bodě v lince vVN, umožňuje dálkově vymanipulovat místo poruchy a předává dispečerovi informaci o místě poruchy. Ve společnosti EG.D, a.s. se reclosery umísťují vždy do kmene linky vVN a na místo, odkud je možné propojit dvě různé linky vVN.

Všechny části ÚO (rám, držák, ruční pohon) musí být propojeny s uzemňovací soustavou dle normy PNE 33 0000-1 a současně být vybaveny uzemňovací svorkou pro připojení uzemňovacího vodiče. [6]

Ochrana před přepětím PNE 33 0000-7 ed.2

Přepětí je stav, kdy napětí v síti přesahuje nejvyšší povolenou hodnotu provozního napětí v elektrickém obvodu. Přepětí může vzniknout z několika důvodů, nejčastější jsou atmosférické vlivy na venkovní vedení a spínací přepětí na vnitřní instalaci. Spínací přepětí obvykle dosahují nižších hodnot napětí a proudů než atmosférická, takže instalované ochrany před atmosférickým přepětím chrání zařízení NN i před spínacími přepětími. Samostatná ochrana před spínacími přepětími je nutná v případech, kdy je pravděpodobné, že zařízení bude vytvářet spínací přepětí větší než odpovídající přepěťové kategorie elektrické instalace. Např. instalace, která je napájena nízkonapěťovým zdrojem nebo instalace, kde jsou instalovány indukční či kapacitní zátěže – motory, transformátory, kondenzátorové baterie apod. V kabelových sítích, kde nejsou

připojená venkovní vedení a nejsou zde instalovány ochrany před přepětím, jsou přepětí nejčastěji způsobená zkraty nebo častým spínáním elektrických přístrojů.

Přepětí mohou způsobit vadu na zařízení a ohrožení na životech. Je potřeba jejich účinky minimalizovat či zcela eliminovat. K tomu se používají různá zařízení jako hromosvody, stínění budov, systém vyrovnání potenciálů, omezovače přepětí, svodiče přepětí (dříve bleskojistky), jiskřiště apod.

Ochranná zařízení mají za úkol chránit zařízení v sítích NN a zároveň díky snížení přepětí v síti chránit instalaci odběratele před zničením. Omezují negativní účinky na síť.

Mezi nejčastější ochranná zařízení (v odborných textech uváděná pod zkratkou převzatou z anglického překladu SPD – surge protective device) patří omezovače přepětí, svodiče přepětí, jiskřiště nebo jejich kombinace.

Základní úkol omezovačů přepětí je svést přepětí z DS do země přes uzemňovací soupravu. Omezovače musí být řádně nadimenzovány. Napětí trvale přiložené na svorky SPD nesmí překročit její nejvyšší trvalé provozní napětí U_c . Z hlediska teplot, ve kterých může SPD fungovat ve vnějším prostoru nechráněném před povětrnostními vlivy je provozní rozsah teplot mezi -40 °C až $+70\text{ °C}$, vlhkosti vzduchu mezi 5 % až 100 %.

U venkovních vedení (bez ohledu na provedení izolovanými nebo holými vodiči) se SPD montuje na:

- transformovně (na vývodech NN nebo v NN rozvaděči) nebo na prvním podpěrném bodě za transformovnou,
- v NN po 500 m za podmínky, že žádný podpěrný bod sítě není vzdálen od omezovačů přepětí víc jak 250 m,
- přechodech z venkovních vedení do zemního kNN. [15]

U kabelového vedení do 1 kV se ochrana před spínacím a atmosférickým přepětím běžně neprovádí. Ochrana je provedena pouze v řádně odůvodněných případech a po domluvě s provozovatelem DS. Podobné případy jsou sice vzácné, ale ne nemožné. Týká se to převážně oblastí s vodivým geologickým podložím, kam jsou blesky často přitahovány. U společnosti EG.D, a.s. se takovýto případ řešil v oblasti Táborska před rokem 1995. Díky častým úderům blesků do země se tam v zemním kabelovém vedení nízkého napětí (kNN) indukovalo napětí na hodnotu přepětí a projevovalo se negativně na DS a elektrické instalace zákazníků. Docházelo k poškození zařízení citlivějšího na výkyvy napětí apod. Pro provozovatele je tento stav velmi nežádoucí, protože se velice těžce odhaluje příčina, pokud nezareaguje přepěťová ochrana na transformovně, která propouští bez reakce až 280 V. Pro nalezení závady se provedlo měření na straně zákazníka, na straně provozovatele a vyhodnotily se výsledky. Po dlouhém pátrání se dospělo k závěru, že za to mohou bouřky a časté blesky, nakonec se vymyslelo nestandardní řešení a v kabelových skříních se objevily svodiče přepětí, které negativní vlivy omezily do velké míry. Zbavily vedení indukovaného napětí, svedly ho na uzemnění a tím

zajistily potřebnou kvalitu EE dodávané k zákazníkům. Toto řešení není standardní a je povolováno jen ve výjimečných případech.

Jeden z nejdůležitějších aspektů provozní i fyzické bezpečnosti DS je správné vyhotovení uzemnění. Uzemnění je provedení elektrického spojení mezi daným bodem v síti, v instalaci nebo v zařízení s lokální zemí. Spojení může být úmyslné (zemnič byl zřízen záměrně pro účel uzemnění), neúmyslné (vodivý předmět byl zřízen pro jiné účely než uzemnění a je nežádoucí ho použít jako zemnič) nebo náhodné (vodivý předmět, který byl zřízen k jinému účelu než k uzemnění, ale je možné ho jako zemnič využít).

Nejčastěji je uzemnění uloženo v zemi, vodě nebo betonu. Musí být uloženo dle předpisů a norem, aby byl zajištěn správný a bezpečný provoz elektrického zařízení.

Uzemnění musí vykazovat přesně stanovené parametry jako je uložení, druh, materiál, množství, velikost zemního odporu, závislost zemního odporu zemniče na velikosti měrného odporu půdy a velikost celkového zemního odporu vodiče PEN.

Požadavky kladené na uzemnění

- Mechanická pevnost a odolnost proti korozi zajišťuje výběr vhodného materiálu (pro EG.D - FeZn) a správné ošetření spojů a přechodů mezi vzduchem a zemí.
- Odolat oteplení nejvyšším možným sváděným proudem (hodnota proudu odhadována výpočtem).
- Zajistit bezpečnost osob s ohledem na dovolené dotykové napětí na uzemnění, které se objeví při nejvyšším poruchovém proudu.

Provedení zemniče

- Paprskové – běžná uzemnění, v souběhu s kabelovým vedením musí být vzdáleno minimálně 10 cm.
- Ekvipotenciální kruhy – instalovány v místech se zvýšeným nebezpečím výskytu dotykového napětí (uzemnění u trafostanic, úsekových odpínačů, sloupů s jiskřišti).
- Ekvipotenciální prahy – instalovány v místech se zvýšeným nebezpečím výskytu dotykového napětí (zděné a blokové transformovny).
- Základové – zabudované v základech (podzemní část ocelového stožáru, náhodné kovové výztuže betonu).
- Obvodové – buduje se náhradou za neexistující základový zemnič. [17]

1.2.3 Spolehlivost

Dle normy ČSN IEC 50 (191): „Spolehlivost je souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují: bezporuchovost, udržitelnost a zajištěnost údržby.“ [7]

Pojem spolehlivost se užívá při posuzování rozdílných systémů, produktů a prací. Existují takové nástroje spolehlivosti, dle kterých se provádí jednodušší porovnávání v kvalitě EE dodávané zákazníkům. Výpočty spolehlivosti pomáhají ke snížení nákladů na výrobu, přenos a distribuci EE, tím pádem i ke snížení konečné ceny za EE pro domácnosti. Zavádí se tzv. metoda spolehlivosti.

Spolehlivost v energetice se dá rozdělit na tři základní oblasti:

- spolehlivost jednotlivých částí sítí v době tvorby projektové dokumentace,
- spolehlivost již provozovaných sítí,
- spolehlivost v přípravě provozu elektroenergetického systému.

Spolehlivostní výpočty elektrických sítí mají mnoho modifikací, záleží na požadovaném typu výsledku. Je nutné určit struktury vstupních, výstupních dat a vazeb výpočtů spolehlivosti na další matematické modely. Spolehlivostní výpočty ES jsou propojovány zejména se dvěma hlavními provozními problémy a to s výpočty pravděpodobně nedodané energie a s oblastí údržby ES. Výpočet pravděpodobně nedodané energie je jedním ze základních podkladů pro plánování investičních staveb a staveb obnovy na ES. Výpočty v oblasti údržby se provádí pro minimalizaci nákladů na údržbu za předpokladu, že nebude docházet ke snížení kvality dodávky EE. Do výpočtů je potřeba zahrnout postoje údržby a postupně přidávat odpovídající ekonomická vyhodnocení. Povinností provozu je provádět údržbu podle skutečného stavu ES, nikoliv podle stáří a minimalizovat údržbové prostoje. [8]

Samotné vyhodnocování spolehlivosti DS je možné popsat několika různými ukazateli, které jsou speciálně určeny pro DS a v dalších oblastech energetiky nejsou využívány. Do výpočtu ukazatelů jsou zahrnovány jen dlouhodobá přerušení. Vyhodnocujících ukazatelů je celá řada. Ve společnosti EG.D se nejčastěji používají dva. Jedná se o ukazatele nepřetržitosti dodávky SAIDI a SAIFI. Tyto ukazatele pomáhají získat celkový přehled o spolehlivosti dodávky EE v lokální síti v období jednoho roku. SAIDI je ukazatel průměrné systémové doby trvání přerušení (součtový čas trvání beznapěťového stavu) a SAIFI je ukazatel průměrné systémové četnosti přerušení (počet poruch). [19]

1.3 Důvody vedoucí k rekonstrukcím sítí

Níže jsou popsány nejčastější důvody vedoucí k rekonstrukcím sítí. Patří mezi ně životnost vedení, poruchovost, připojování nových odběratelů nebo výrobců EE a posilování sítě z důvodů nevyhovujících poměrů v síti.

1.3.1 Životnost vedení

Tab. 4: Technická životnost zařízení dle E.GD a.s. [9]

Druh zařízení	Doba životnosti (roky)	Množství zařízení provozovaných firmou EG.D, a.s. (údaje platné v r. 2020)
Transformátory VN/NN	35	19 695 ks
Technologie VN, měřicí transformátory	30	
Technologie NN	30	
Venkovní vedení NN	40	15 164 km
Venkovní vedení VN	40	17 992 km
Kabelové vedení NN	40	24 309 km
Kabelové vedení VN	40	3 867 km
Energetické stavby (budovy, kiosky)	60	
Optické kabely	20	
Přenosová zařízení (switch, modemy atd.)	10	
HDO	30 silová/10 řídicí část	
Řídicí systémy a ochrany (DŘSO, RTU)	15	
Měření, elektroměry	15	
Záložní napájení (baterie, usměrňovač)	15	

Po uplynutí této doby je doporučena rekonstrukce, nebo výměna zařízení. Je nutné správně zhodnotit stávající stav (stav dřevěných sloupů, izolátorů a všech dalších komponentů daného zařízení). Dále se vyhodnotí jeho bezpečnost a spolehlivost z pravidelných kontrol provedených na zařízení v průběhu let jeho provozu. Kontroly se provádí nejméně jednou za čtyři roky, častěji pak při poruchách. Poté se navrhne řešení, kde se zváží nová trasa vč. jiného způsobu připojení, např. namísto venkovního vedení proběhne kabelizace nebo namísto venkovní sloupové trafostanice se vystaví nová kiosková.

1.3.2 Poruchovost vedení

Poruchy jsou jevy vzniklé díky okolním vlivům, lidskému faktoru při manipulaci nebo nedodržení správného postupu při realizaci stavby. Ve společnosti EG.D, a.s. patří mezi nejčastější poruchy ty, jenž byly způsobeny vnějšími vlivy. To jsou např. pády stromů do vedení, prasklé izolátory (vlivem námrazy, poryvy větru, pohybu vodičů), námraza, nabourané sloupky, svalené kabelové pilíře apod.

Jak je popsáno výše, při vyhodnocování poruchovosti se vychází hlavně z údajů z pravidelných kontrol a počtu poruch v daném úseku DS dle ukazatele SAIFI. Pro popis daného úseku DS společnost zavádí tzv. index technického stavu (ITS). Tento index je počítán z provedených kontrol, kdy technik určí závadu, závadě je přiřazeno číslo s danou hodnotou a v daném úseku DS (nejčastěji obce, části měst atd.) je z těchto hodnot vypočítán ITS. ITS se pohybuje v rozmezí hodnot 0 až 100, čím vyšší číslo, tím je úsek DS v lepším stavu. V praxi se podle tohoto indexu nedá moc dobře orientovat, protože do něj prozatím není zahrnuto stáří zařízení.

V případech, kdy je četnost poruch již moc velká (ITS klesá), zvyšuje se riziko úrazu elektrickým proudem. Úsek se stává i ekonomicky nevýhodným (ceny za opravy jsou vyšší než cena pořízovací), dojde k návrhu na rekonstrukci a prozkoumání možností nového typu připojení (např. kabelizace z důvodu častého padání stromů do venkovního vedení apod.)

1.3.3 Připojování nových odběratelů nebo výrobců elektrické energie

Po podání žádosti o připojení novým zákazníkem dojde k přezkoumání možností k jeho připojení. Příslušný technik provede inspekci aktuálního stavu sítě v daném místě, výpočet zatížení, impedance sítě, výpočet úbytku napětí, určení vnějších vlivů dle PNE 33 0000-2, zjistí rezistivitu půdy – vyhodnotí uzemnění apod. Musí vzít v potaz i možný budoucí rozvoj sítě, v neposlední řadě bere na zřetel i ukazatele SAIDI a SAIFI.

Dále pak postupuje podle souboru pravidel nazvaný *Koncepce sítí NN*, který každoročně podléhá aktualizacím dle požadavků firmy. Tento soubor popisuje stav, jak chce společnost E.GD a.s. budovat nové sítě či do jakého stavu chce rekonstruovat sítě stávající. Mezi základní trendy momentálně patří kabelizace intravilánu (do r.2040 je v plánu zakabelizovat 80 % veškerých venkovních sítí NN a 35 % VN, u VN se jedná převážně o intravilán a úseky s vysokou poruchovostí), budování okružního kabelového vedení, budování tzv. chytrých trafostanic a optických sítí, snaha o vyšší využití dálkově ovládaných prvků (např. úsekové odpínače řízené dálkově dispečerem, reclosery), přenos informací o síti (měření na silových prvcích a elektroměrech), akumulace (virtuální baterie) a elektromobilita (budování nabíjecích stanic, posilování sítí apod.). [13]

Nakonec musí splnit požadavky uvedené v normě ČSN EN 50160 - *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. Norma obsahuje hlavní charakteristiky napětí v místě připojení odběratelů z veřejných distribučních sítí NN a VN za normálních provozních podmínek. Jsou zde uvedeny meze a hodnoty napětí, které se v sítích za normálního provozu vyskytují, a které může očekávat jakýkoliv zákazník. [1]

1.3.4 Posilování sítě z důvodů nevyhovujících poměrů v síti

V předávacím místě musí být dodržena norma ČSN EN 50160 – *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*, vyhláška 540/2005 Sb. – *Kvalita napětí* a pravidla provozování distribučních sítí příloha 3 (PPDS) – *Kvalita napětí v DS*. V uvedených dokumentech jsou uvedeny nominální hodnoty všech sledovaných parametrů viz kapitola 1.2.1 Kvalita napětí.

Nejčastějšími případy jsou stížnosti na kvalitu dodávky EE ze strany odběratelů (blikají jim žárovky, méně svítí apod.). Po obdržení takové stížnosti se musí vyhodnotit aktuální stav, zjistit příčinu, navrhnout opravu a zrealizovat nápravu.

Při zjištění nevyhovujícího stavu sítě se musí daná síť zhodnotit. Ve společnosti EG.D, a.s. hodnocení vychází z interního pokynu ECD-PP-046, podle kterého je využíváno šesti hlavních kritérií pro správné vyhodnocení – kritéria jsou uvedena v Tab. 5.

Tab. 5: Kritéria pro návrh a hodnocení sítě

	Zohlednit při návrhu	Indikace k obnově nebo posílení	Poznámka
Ochrana automatickým odpojením od zdroje	ANO	ANO	Dle aktuálně platných norem
Proudová zatížitelnost	ANO	ANO	
Napěťové meze	ANO	ANO	
Oprávněná stížnost na kvalitu		ANO	
Vztažná impedance	ANO	NE	0,21 Ω – intravilán 0,28 Ω – extravilán
Měření prokazující zpětné vlivy bez stížnosti		NE (pouze příprava)	

Zohlednit při návrhu – parametry, jež je nutné kontrolovat při návrhu nové nebo rekonstruované sítě

Indikace k obnově nebo posílení – parametry, jejichž nedodržení značí nutnost rekonstrukce sítě (obnova nebo posílení) [9]

Nejvíce omezujícím parametrem je vztažná impedance a dodržení její maximální povolené hodnoty – uvedena v Tab. 5. Vztažnou impedanci definuje norma PNE 33 3430-0. [10] Pokud je splněno kritérium pro vztažnou impedanci, je velký předpoklad, že bude dodržena kvalita napětí v předávacím místě.

1.4 Technická řešení

Veškerá technická řešení se řídí interním pokynem ECD-PP-046, který udává trendy v rozvoji jednotlivých prvků DS NN a VN. Mezi trendy patří zvyšování podílu kabelových vedení, změna konfigurace napájení, vyšší podíl kruhovaných sítí, zkracování vývodů NN, vsazování nových trafostanic, omezení využívání „T“ spojek, používání NN rozvaděčů s dálkovým ovládním, měření elektrických veličin, řízení sítí NN, SCADA NN pro navýšení možností při manipulacích a odstávkách. [9]

Typy technických řešení:

1.4.1 Výměna vodičů vNN ve stávající trase

U tohoto typu řešení nedochází ke změně typu vodičů, ani jejich uložení. Jen se vymění za nové a případně se zvětší průřez vodičů. K rekonstrukcím tohoto typu dochází v případech, kdy:

- je poškození menšího rozsahu a není nutné vyvolávat rozsáhlé úpravy, jako např. kabelizace celé oblasti – nejčastěji oprava vedení po pádu stromu či kvůli stáří vedení.
- nelze projednat majetkoprávní záležitosti (nejčastěji majitelé pozemků nesouhlasí s věcnými břemeny za nové kNN), v těchto případech není nutné žádat o stavební povolení.

1.4.2 Kabelizace

Kabelizace (změna v typu vedení i uložení) je preferovaný typ řešení z několika důvodů: jednodušší na výstavbu, údržbu i provoz. Nehrozí zde zpřetrhání vodičů kvůli povětrnostním podmínkám atd. Jediná poškození, ke kterým na kabelech dochází jsou způsobena lidským faktorem, stářím vedení nebo posunem půdního podloží. Výstavba kNN je i ekonomicky přijatelná. Pořizovací náklady kNN (jsou vyšší než u vNN) a provozní náklady nepřesahují pořizovací a provozní náklady (bývají několikanásobně vyšší než u kNN) za vNN. Další výhodou kNN je jeho zdánlivá neviditelnost díky uložení v zemi. Tato výhoda se ovšem stává i nevýhodou, obzvláště když si stavitelé nepožádají o vyjádření k existenci a následně o vytýčení sítí a kabely zpřetrhají při výkopových pracích.

1.4.3 Posilování sítí

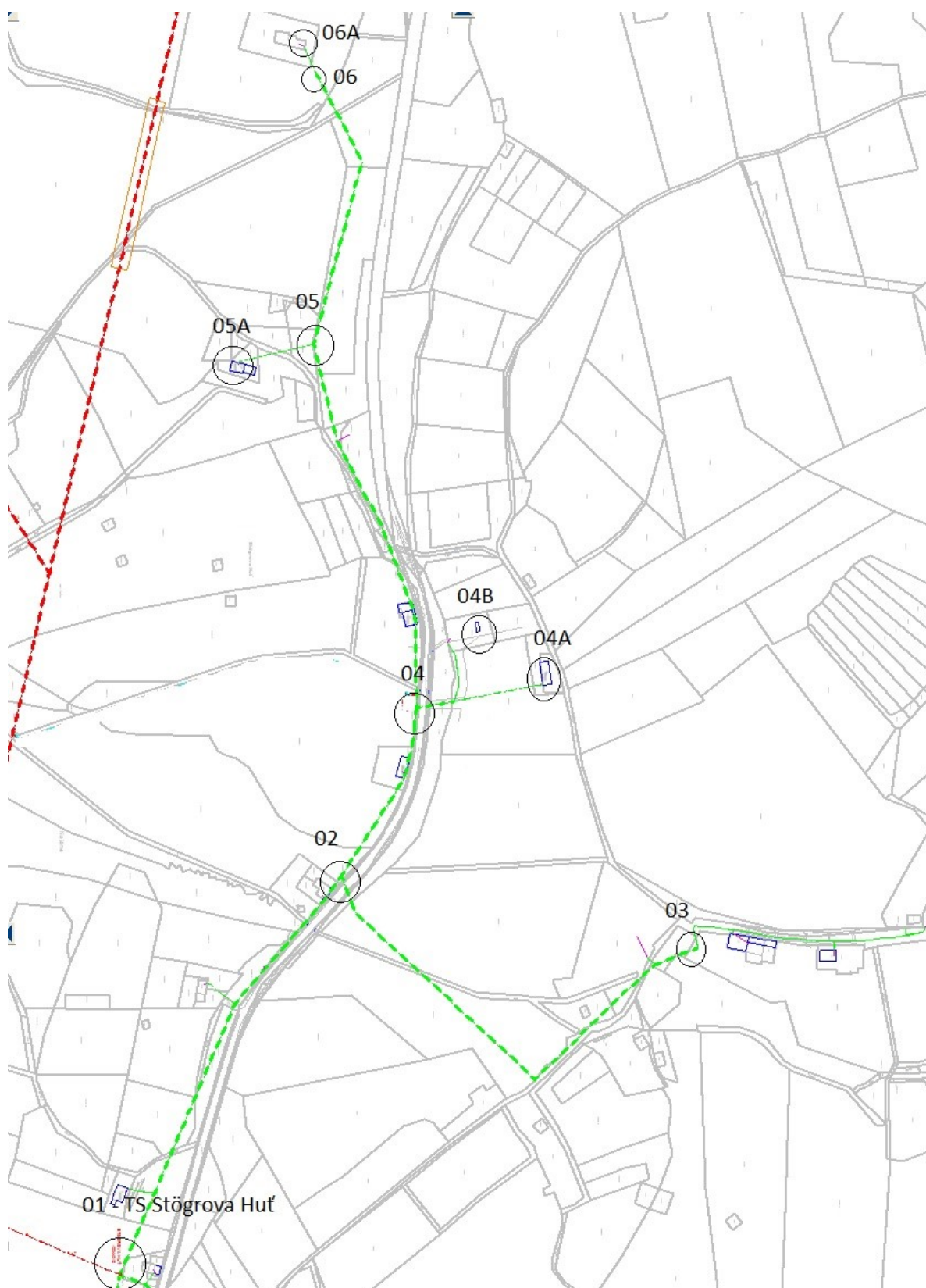
Distribuční sítě se posilují nejčastěji z důvodu existence nevyhovujících poměrů v síti viz výše. Znamená to zvětšení průřezu vodičů, navýšení počtu vodičů nebo vřazení nové trafostanice. Opět se vychází z interního pokynu ECD-PP-046. Vsazování nových trafostanic je velmi žádoucí (i když finančně náročnější), zkracují se tím vývody, zlepšuje hodnota impedance na konci sítě, zmenšují se úbytky napětí a společnost je pak lépe připravena na připojování nových odběrných míst a snáze splňuje požadavky zákazníků.

2 Zhodnocení stavu části distribuční sítě před nápravným opatřením

Jedná se o část sítě nízkého napětí v oblasti zvané Stögrova Hut' v okrajové části města Volary ve směru jízdy na Lenoru. Celá síť je tvořena venkovním nadzemním vedením zrealizovaná v paprskovém uspořádání. Původní vedení bylo vystavěno v r. 1960, od té doby proběhlo několik menších úprav na různých částech vedení. Venkovní vedení vychází z trafostanice Stögrova Hut' č. 10044015 umístěné ve východní části oblasti. Síť NN prochází celou oblastí, kde napájí sedmáct odběrných míst. U několika odběrných míst přechází venkovní vedení v kabelové (v minulých letech byly na žádost zákazníků sundány střešníky ze střech, aby nedošlo k poškození domů a přípojky byly vyhotoveny pomocí kabelového svodu a kabelovým vedením až do kabelové skříně u domu).

Tab. 6: Typy a délky jednotlivých vedení ve sledované části sítě NN

Úsek	Typ a průřez	Délka [km]
U6 – 01	TS 100 kVA	0
01 – 02	AlFe 4×50 mm ²	0,485
02 – 03	AlFe 4×50 mm ²	0,517
02 – 04	AlFe 3×50+35 mm ²	0,200
04 – 04A	AlFe 4×16 mm ²	0,096
04 – 04B	AYKY 4×25 mm ²	0,066
04 – 05	AlFe 3×50+35 mm ²	0,402
05 – 05A	AYKYz 4×16 mm ²	0,082
05 – 06	AlFe 42/7 mm ²	0,301
06 – 06A	AYKYz 4×16 mm ²	0,032



Obr. 3: Část sítě NN v oblasti Stögrova Huť – Volary před nápravným opatřením

2.1 Instalace měření po podání stížnosti na zhoršení dodávky kvality EE

V r. 2013 byla podána stížnost na zhoršení kvality napětí (problikávání žárovek a podezření na podpětí v předávacím místě) zákazníkem ze sledované oblasti, konkrétně šlo o číslo popisné 546 (konec sítě NN – bod 06A). Po podání žádosti bylo elektrické vedení v oblasti zkontrolováno na aktuální stav (mechanické poškození, kontrola proudových spojů, výpočet smyčkové impedance viz kapitola 302.1.1 a následně bylo nainstalováno měření, jeho instalaci a první měření provedl p. Ing. Jan Jiříčka, jehož výsledky jsem převzal pro účely této práce a následně jsem s p. Jiříčkou spolupracoval na dalších měřeních.

Na základě výpočtů a měření byl nainstalován regulační transformátor a začalo se s přípravou zadání pro rekonstrukci DS ve sledované oblasti. Tvorba zadání byla obtížná a musely být navrženy dvě varianty. Jedna spočívala ve výměně stávajících vodičů vNN ve stávající trase za vodiče s většími průřezy a druhá počítala s posílením stávající sítě ze strany VN pomocí nové odbočky z kmenu vVN a nové venkovní sloupové trafostanice. Bohužel na realizaci tohoto zadání nedošlo a společnost byla nucena stavbu odložit z neznámých důvodů.

Ke společnosti jsem nastoupil v r. 2018 a s kolegou Ing. Petrem Hrabákem jsme dostali za úkol zrevidovat toto zadání vytvořené v průběhu r. 2014 a přetvořit ho podle aktuálních požadavků společnosti EG.D, a.s.. Kolega Hrabák, jakožto služebně starší a zkušenější kolega, působil jako můj poradce a konzultant při revizi zadání. Výsledek revize jsem blíže popsal v kapitole 3 Návrh nápravného opatření.

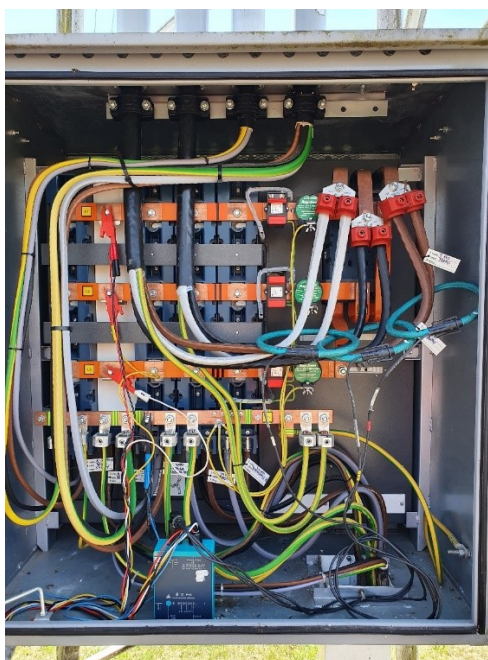
Jak jsem uvedl výše, v r. 2018 jsem se začal podílet na měření kvality napětí s kolegou Ing. Petrem Hrabákem a Ing. Janem Jiříčkou ze společnosti EG.D, a.s.. Měřili jsme zatížení trafostanice TS Stögrova Huť, napětí a impedanci na konci sítě (u č.p. 546) a nakonec jsme měřili hodnotu dlouhodobé míry vjemu flikru Plt. Naměřené hodnoty jsem uvedl a zpracoval v kapitole 2.1.2.

Měření impedance probíhalo za pomoci přístroje Zerotest 46 N, kdy jsem hroty přístroje přiložil mezi fázový vodič a zem a na displeji se ukázala hodnota impedance (Obr. 4).



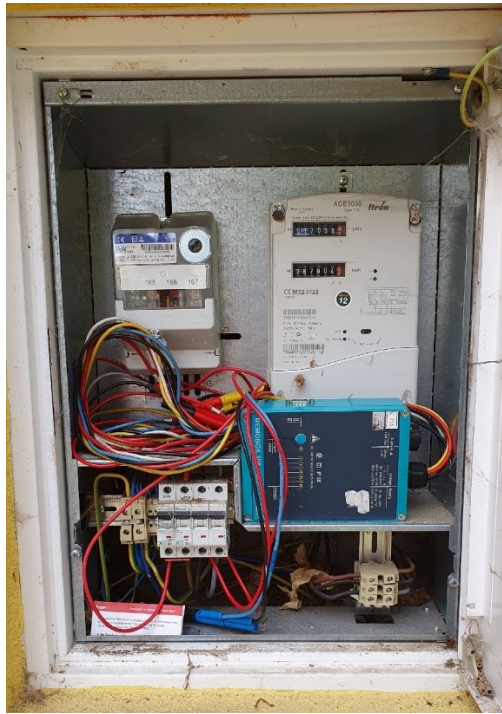
Obr. 4: Ilustrační foto měření pomocí Zerotest 46 N [Zdroj: archiv autora]

Měření zatížení trafostanice jsme zrealizovali montáží proudových sond kvalitoměru s označením MEMOBOX 300 smart na přívod hlavního jističe a napěťových sond na šiny trafostanicového rozvaděče (Obr. 5).



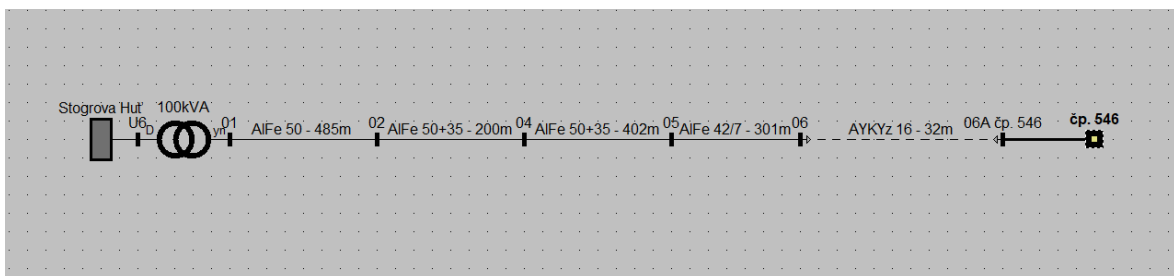
Obr. 5: Ilustrační obrázek osazení kvalitoměru MEMOBOX 300 v TS Stögrova huť [Zdroj: archiv autora]

Kvalitoměř měřil efektivní hodnoty všech fázových napětí a proudů a zaznamenával jejich střední hodnotu každých deset minut po dobu třinácti dní (u odběratelů se musí ze zákona měřit minimálně sedm dní). Stejně tak další kvalitoměř zaznamenával střední hodnoty napětí v elektroměrovém rozvaděči u č.p. 546 na konci sítě v bodě 06A viz Obr. 3 a Obr. 6.



Obr. 6: Kvalitoměř MEMOBOX 300 osazený v kab. Skříní u č.p. 546 [Zdroj: archiv autora]

2.1.1 Výpočet úbytku napětí a smyčkové impedance sítě



Obr. 7: Topologické schéma sledované sítě vytvořené v programu DNCalc

Pro výpočet úbytků napětí jsem musel nejprve stanovit maximální výkon, který je vedení schopno převést při maximálním zatížení, tzn. než zareaguje hlavní jistič odběratele v č.p. 546. Trojfázový výkon jsem počítal dle vztahu:

$$I. \quad P_{3f} = \sqrt{3} \times U_s \times I_n \times \cos\varphi [W]$$

kde: P_{3f} je maximální výkon vedení udávaný ve wattech [W]

U_s je hodnota sdruženého napětí udávaná ve voltech [V]

I_n je proud jisticího prvku (v tomto případě hodnota hlavního jističe – 25 A)

$\cos\varphi$ je účinník, udávaná hodnota = 0,98 [-]

Po dosazení do vztahu I:

$$P_{3f} = \sqrt{3} \times U_s \times I_n \times \cos\varphi = \sqrt{3} \times 400 \times 25 \times 0,98 = 16,9741 \text{ W}$$

Když jsem zjistil výkon, mohl jsem pokračovat k výpočtu úbytku napětí pomocí tabulkových hodnot procentuálního úbytku napětí pro daný typ vedení (tabulkové hodnoty používané společností EG.D, a.s. v r.2021 jsou uvedeny v Tab. 7.) dle vztahu:

$$II. \quad \Delta U = k \times l \times P_{3f} [\%]$$

kde: ΔU je úbytek napětí na daném úseku udávaný v procentech [%]

k je tabulková hodnota, stanovující procentní úbytek na 1 kW a 1 km, udávaná v ohmech na kilowatt krát kilometr [% / kW × km]

l je délka daného úseku vedení udávaná v metrech [m]

Tab. 7: Vypočítané hodnoty úbytků napětí k předávacímu místu u č.p. 546 po podání stížnosti

Úsek vedení	Typ vedení	l [km]	k [% / kW × km]	ΔU [%]
U6 – 01	TS 100 kVA	-	-	0,139
01 – 02	AlFe 50	0,4850	0,5501	4,5287
02 – 04	AlFe 50 + 35	0,2000	0,5079	1,7242
04 – 05	AlFe 50 + 35	0,4020	0,5079	3,4657
05 – 06	AlFe 42 / 7	0,3010	0,5069	2,5899
06 – 06A	Aykyz 16	0,0320	1,3218	0,7180
				$\sum \Delta U = 13,1655$

Vzorový výpočet pro úsek 01 – 02 s dosazením hodnot z Tab. 7 do vztahu II:

$$\Delta U = k \times l \times P_{3f} = 0,5501 \times 0,4850 \times 16,9741 = 4,5287 \%$$

Úbytek napětí v úseku U6 – 06A dosáhl hodnoty $\Delta U = 13,1655 \%$ což nespĺňuje požadavek normy ČSN EN 50160 na maximální dovolený úbytek napětí $\Delta U \leq 10 \%$. Měřením bych měl potvrdit výsledek výpočtu. (Červeně označené položky v Tab. 7, Tab. 12 a Obr. 8)

Ukázka výpočtu smyčkové impedance sítě – Z_s [Ω]

Pro správný výpočet Z_s jsem potřeboval vypočítat třífázovou zkratovou impedanci sítě Z_{3f} . Z_s jsem vypočítal dle vztahu:

$$III. \quad Z_{3f} = l \times Z \text{ [}\Omega\text{]}$$

Kde: Z_{3f} je třífázová zkratová impedance sítě udávaná v ohmech [Ω]

l je délka daného úseku vedení udávaná v metrech [m]

Z je impedance daného typu vedení udávaná v ohmech na kilometr [Ω/km]

Když jsem zjistil hodnotu Z_{3f} , mohl jsem pokračovat k výpočtu Z_s dle vztahu:

$$IV. \quad Z_s = 1,68 \times Z_{3f} \text{ [}\Omega\text{]}$$

Tento vztah vychází ze zdroje [20]. Hodnoty Z jsem převzal z programu DNCalc používaného společností EG.D,a.s.

Tab. 8: Vypočítané hodnoty smyčkové impedance k předávacímu místu u č.p. 546 po podání stížnosti

Úsek vedení	Typ vedení	l [km]	Z [Ω/km]	Z_{3f} [Ω]	Z_s [Ω]
U6 – 01	TS 100 kVA	-	0,0680	0,0680	0,1142
01 – 02	AlFe 50	0,4850	0,7164	0,3475	0,5838
02 – 04	AlFe 50 + 35	0,2000	0,7164	0,1433	0,2407
04 – 05	AlFe 50 + 35	0,4020	0,7164	0,2880	0,4838
05 – 06	AlFe 42 / 7	0,3010	0,7475	0,2250	0,3780
06 – 06A	Aykyz 16	0,0320	1,7813	0,0570	0,0958
U6 – 06A				$Z_{3f} = 1,1273$	$Z_s = 1,8963$

Vzorový výpočet pro úsek 01 – 02 s dosazením hodnot z Tab. 8 do vztahů III a IV:

$$Z_{3f} = l \times Z = 0,4850 \times 0,7164 = 0,3475 \Omega$$

$$Z_s = 1,6800 \times Z_{3f} = 1,6800 \times 0,3475 = 0,5838 \Omega$$

Pro ověření správnosti výsledků jsem provedl další výpočty za pomoci programu DNCalc.

	Poměry v uzlech			Poměry ve větvích			Překročení limitů			Zk [Ω]	α [°]	Sk [MVA]
	Ua [kV]	αa [°]	Ub [kV]	αb [°]	Uc [kV]	αc [°]	dUna [%]	dUnb [%]	dUnc [%]			
U6	12,698	-0,023	12,698	-120,023	12,698	119,977	0,029	0,029	0,029	11,547	68,199	41,916
01	0,230	-30,383	0,230	-150,383	0,230	89,617	0,139	0,139	0,139	0,068	64,289	2,360
02	0,219	-30,860	0,219	-150,860	0,219	89,140	4,668	4,668	4,668	0,416	29,051	0,384
04	0,215	-31,070	0,215	-151,070	0,215	88,930	6,533	6,533	6,533	0,566	27,416	0,283
05	0,206	-31,520	0,206	-151,520	0,206	88,480	10,279	10,279	10,279	0,866	25,836	0,185
06	0,200	-31,910	0,200	-151,910	0,200	88,090	13,077	13,077	13,077	1,092	25,401	0,147
06A č.p. 546	0,198	-31,830	0,198	-151,830	0,198	88,170	13,853	13,853	13,853	1,149	24,205	0,139

Obr. 8: Výpočet úbytku napětí a impedance sítě u č.p. 546

Program DNCalc používá jiné označení pro třífázovou zkratovou impedanci, tedy: $Z_k = Z_{3f}$, je patrné z Tab. 8 a Obr. 8: Výpočet úbytku napětí a impedance sítě u č.p. 546 (žlutě vyznačená pole), mírná chyba ve výpočtu je způsobena zaokrouhlováním.

2.1.2 Hodnoty z měření po podání stížnosti

Naměřené hodnoty impedance jsem zanesl do Tab. 9. Hodnoty napětí a dlouhodobé míry vjemu flikru jsem zpracoval a vynesl do grafů programem DAM (viz Obr. 9, Obr. 10, Obr. 11) a dále jsem vypracoval protokol z měření dle ČSN EN 50160.

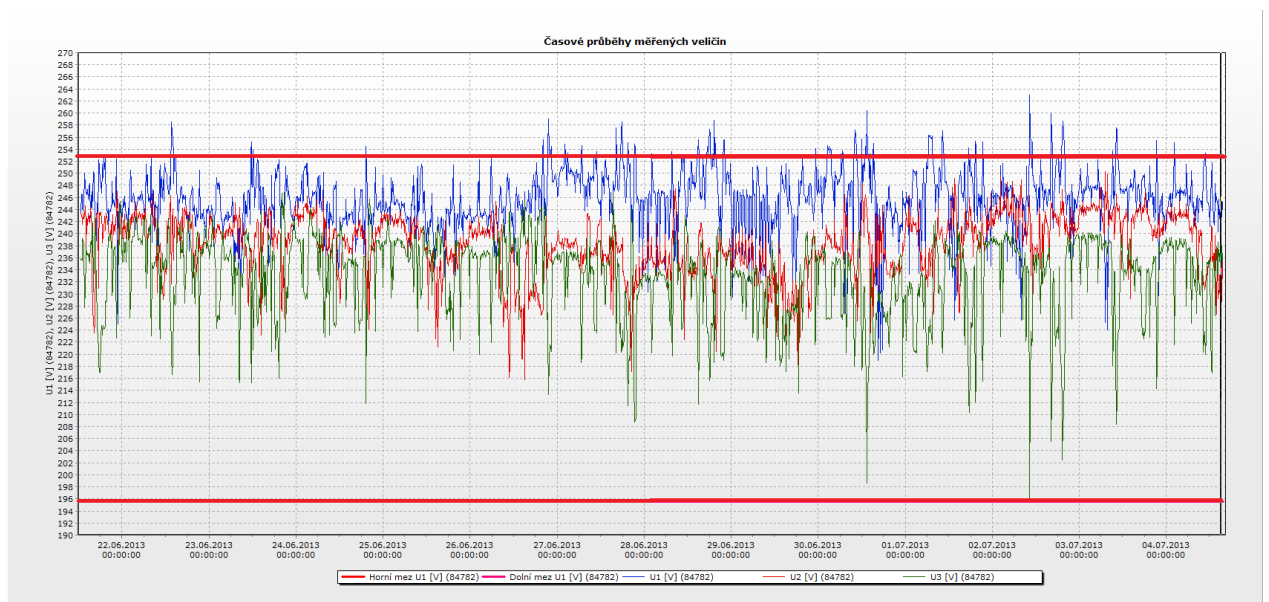
Tab. 9: Hlavička protokolu z měření, hodnoty smyčkové impedance

Měření DAM číslo	84782
Název obce	Stögrova Hut'
Místo připojení	Elektroměrový rozvaděč č.p. 546
Napájecí trafostanice	TS Stögrova Hut' č. 10044015
Datum měření	05.06. – 14.06.2013
Impedance smyčky	$Z_{L1-N} = 1,97 \Omega$ $Z_{L2-N} = 1,91 \Omega$ $Z_{L3-N} = 1,86 \Omega$

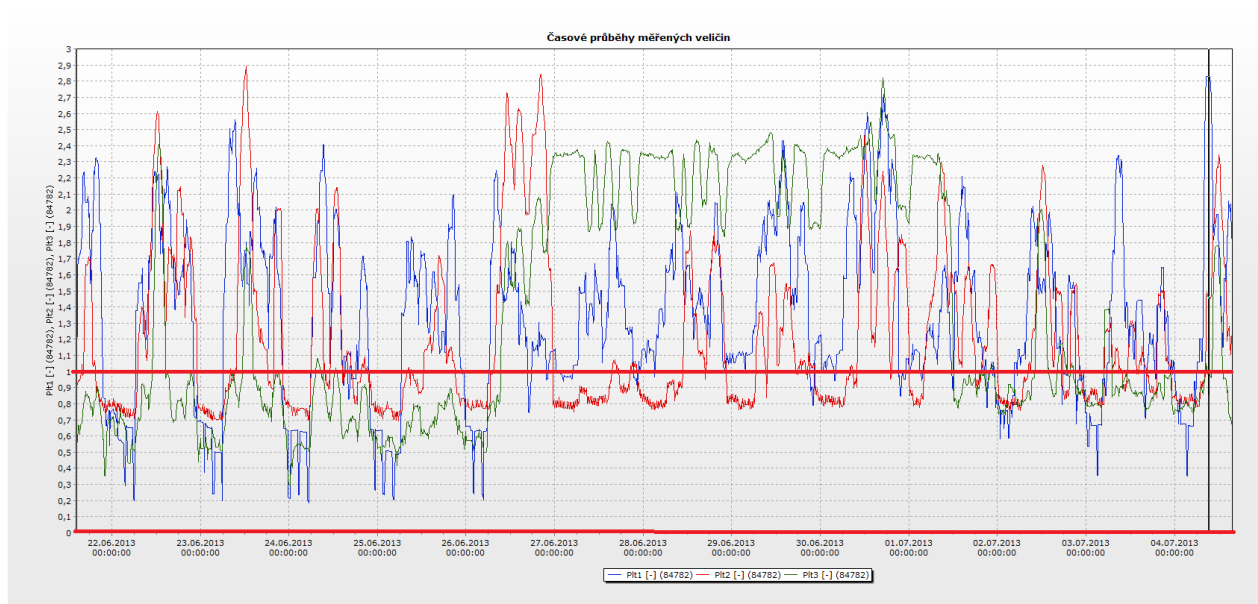
Vyhodnocení charakteristik napětí podle PPDS Přílohy 3 Meze: PPDS_2012, od: 21.06.2013 12:40:00, do: 04.07.2013 15:40:00

Velična	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod.%)	Splňuje
Napětí	U	[V]	10 min	min. 95%	1 týden	-10%	217,113 (94,40%)	✓
				max. 95%	1 týden	10%	252,374 (109,73%)	✓
				min. 100%	1 týden	-15%	208,700 (90,74%)	✓
				max. 100%	1 týden	10%	258,996 (112,61%)	✗
Napětí (dlouhá vedení)	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-20%	208,700 (90,74%)	✓
				max. 100%	1 týden	11%	258,996 (112,61%)	✗
Krátkodobý flikr	Pst	-	10 min	max. 95%	1 týden	1	2,925	✗
Dlouhodobý flikr	Plt	-	2 hod	max. 95%	1 týden	1	2,546	✗
Napětíová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	2,000	✓
Harmonické zkreslení	THDu	%	10 min	max. 95%	1 týden	8%	2,520	✓
Harmonická napětí	Uh2	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,150	✓
	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%	1,200	✓
	Uh6	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,100	✓
	Uh7	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	2,000	✓
	Uh8	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh9	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,450	✓
	Uh10	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh11	%	10 min	max. 95%	1 týden	3,5%	0,650	✓
	Uh12	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh13	%	10 min	max. 95%	1 týden	3%	0,500	✓
	Uh14	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh15	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,400	✓
	Uh16	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh17	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,350	✓
	Uh18	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh19	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,300	✓
	Uh20	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh21	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,350	✓
	Uh22	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh23	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,200	✓
	Uh24	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh25	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,200	✓

Obr. 9: Naměřené a zaznamenané hodnoty



Obr. 10: Průběh středních hodnot napětí Ustr̄ v závislosti na čase



Obr. 11: Průběh dlouhodobého vjemu flickru v závislosti na čase

Vyhodnocení:

Společnost EG.D, a.s. si převzala jako nejvyšší povolenou hodnotu smyčkové impedance $Z_s \leq 0,47 \Omega$ při výstavbě nových sítí. U rekonstrukcí až $Z_s \leq 0,6 \Omega$. V případech, kdy je aktuální smyčková impedance vyšší, by mělo docházet k rekonstrukcím a obnovám sítí, či výstavbě nového zařízení. Je tomu tak i v tomto případě, kdy se vypočtené a naměřené hodnoty pohybovaly okolo $1,9 \Omega$, tzn. že byla potvrzena nutnost nápravného opatření.

Na Obr. 9 je uvedeno vyhodnocení charakteristik napětí podle PPDS přílohy 3, která je podřízená ČSN EN 50160. Červeným křížkem jsou zobrazeny nevyhovující charakteristiky dle ČSN EN 50160, zelenou fajfkou pak hodnoty vyhovující.

Jak je vidět z Obr. 10 a Obr. 11, kvalita napětí ve sledovaném období nesplňovala podmínky stanovené technickou normou ČSN EN 50160, dovolené meze jsou vyznačeny červenou přímkou. Nebyly dodrženy tolerance napětí (195,5 až 253 V). V průběhu měření se napětí pohybovalo v rozmezí 196,2 V až 263 V, tzn. byla překročena povolená horní mez + 10 % (viz kapitola 1.2.1 Kvalita napětí bod b)). Situace byla vyhodnocena jako přepětí. To vzniká kvůli nesymetrickému zatížení soustavy. V praxi se nejčastěji vyskytují díky existenci nevyhovujících poměrů v síti (nedodržení smyčkové impedance).

Jak je patrné z Obr. 11 byla překročena i horní mez parametru flickru $Plt \leq 1$ (popsáno v kapitole 1.2.1 Kvalita napětí v bodě c)). Dovolená mez je vyznačena červenou přímkou. Flicker dosahoval hodnoty až 2,9. Nebyl dodržen ani standart kvality napětí dle §8 vyhlášky č. 540/2005 Sb. Flicker dosahuje tak vysokých hodnot díky nedodržení impedančního kritéria a díky spínání velkých strojů samotnými odběrateli.

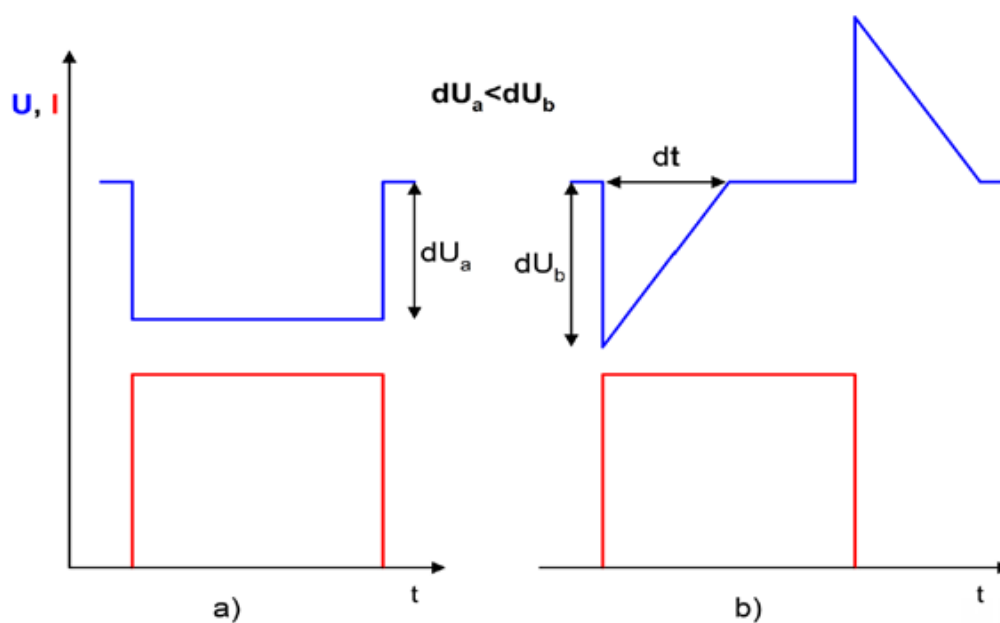
Pro rychlé obnovení požadované kvality EE byla navržena instalace regulačního transformátoru NN/NN na podpěrný bod pozice 02 viz Obr. 3. Jak stanovují předpoklady pro instalaci regulačního transformátoru, měl by být nainstalován tak, aby oba dlouhé paprsky (mezi body 02 – 03 a 02 – 06A) byly připojeny až za regulační transformátor. Transformátor pak bude moci stabilizovat napětí v celé sledované oblasti. Na podpěrném bodě musí být zhotoveno uzemnění.

2.2 Regulační transformátor a hodnoty z měření po jeho instalaci

2.2.1 Regulační transformátor a jeho funkce

Transformátor je žádané instalovat na část sítě, kde dochází k poměrně velkým úbytkům napětí. Nejčastěji se tyto zařízení instalují do tras dlouhého venkovního vedení, aby udržovala napětí v předepsaných mezích. Regulační transformátor má tedy za úkol stabilizovat napětí v požadované oblasti.

Principem funkce přístroje je sledovat okamžité hodnoty napětí ve všech fázích. Pokud se napětí v některé fázi dostane pod stanovenou minimální hranici, přístroj se uvede do provozu a díky magnetické indukci zvýší napětí v potřebné fázi. To znamená, že na výstupu regulačního transformátoru by se mělo naměřit zvýšené napětí. Hlavní výhodou je schopnost dodržování maximální odchylky napájecího napětí v odběrných místech umístěných za přístrojem ve směru napájení. Bohužel, přístroj má i velkou nevýhodu – zhoršuje ukazatel vjemu flikru. Toto je dáno principem regulace, která je schematicky zobrazena na Obr. 12.



dt - doba regulace (řády sekund)

dU_a - pokles napětí při odebraném proudu I bez reg. transformátoru

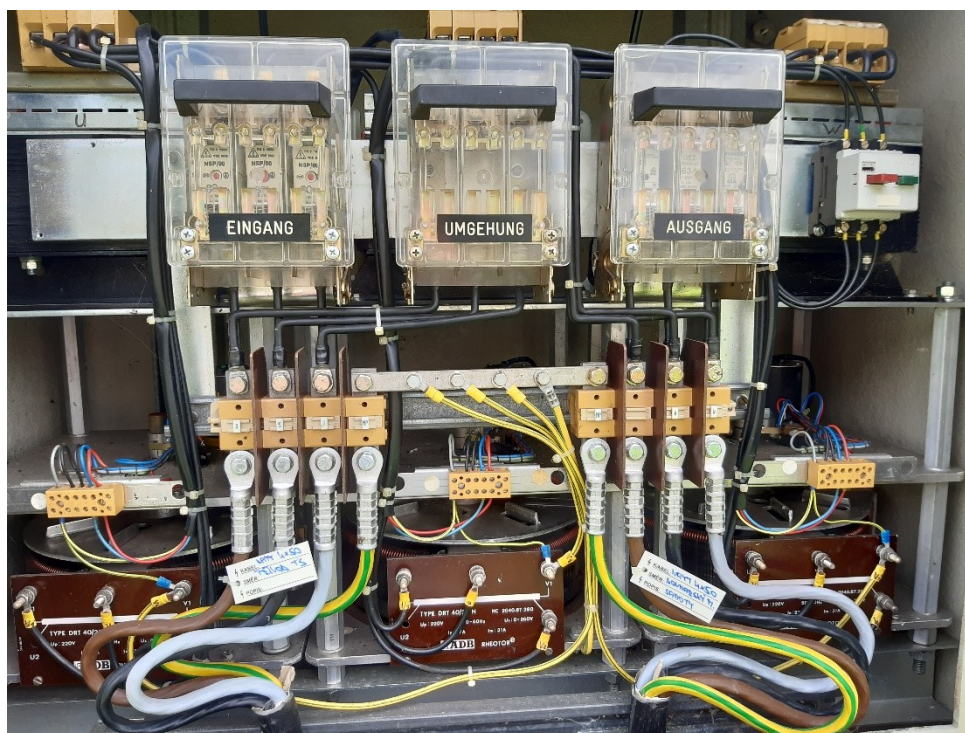
dU_b - pokles napětí při odebraném proudu I s reg. transformátorem

Obr. 12: Teoretický průběh napětí a proudu při změně zatížení a) bez, b) s regulačním transformátorem [11]

Obr. 12 ukazuje průběhy proudu a napětí v místě za instalovaným regulačním transformátorem. Při ukončení odběru $I = 0$ A dojde ke zvýšení napětí U , transformátor sepne a začne regulovat tuto změnu. Změny napětí dU při stejném odebíraném proudu I po zapojení transformátoru jsou větší kvůli přídavné impedanci samotného přístroje. Je možné tvrdit, že transformátor mění hladinu napětí a drží ho v domluvených mezích, čímž zároveň zhoršuje flickr. Může se stát, že flickr bude zhoršen na takovou míru, že nebude vyhovovat požadavkům normy ČSN EN 50160, i když kvalita EE za regulačním transformátorem vyhoví požadavkům vyhlášky 540/2005 Sb.[11], [12]



Obr. 13: Umístění regulačního transformátoru na podpěrném bodě u č.p. 257 [Zdroj: archiv autora]



Obr. 14: Zapojení regulačního transformátoru do sítě NN [Zdroj: archiv autora]

Pro zlepšení kvality EE ve sledované oblasti byl použit regulační transformátor od výrobce SCHMACHTL, typ ANSI 50 o výkonu 50 kVA. Výkon transformátoru byl zvolen dle naměřených hodnot proudu v trafostanici Stögrova Hut' (podle hodnot by stačil výkon 25 kVA), ale byla připočtena výkonová rezerva pro nepředpokládané skutečnosti. Transformátor byl nainstalován v r. 2013 na pozici 02 u č.p. 257 (viz Obr. 3), toto místo bylo vybráno pro jeho strategické umístění (na začátek dvou nejdelších větví vedení a na již uzemněný podpěrný bod). Z tohoto místa byl demontován v r. 2020 a připraven pro další použití v jiné oblasti. Tyto transformátory nejsou využívány jako trvalé řešení, nýbrž jen jako dočasná výpomoc, než se připraví plány pro zlepšení elektrické sítě v dané oblasti.

Jak již bylo naznačeno výše, ve společnosti EG.D, a.s. se podobné regulátory stále využívají. Instalují se buď přímo před odběr (v případě jednoho zákazníka s nekvalitní dodávkou EE), nebo na začátek oblasti, kde není optimální kvalita napětí, aby vylepšil napětí u všech odběrných míst, kde je předpoklad, nebo již samotný výskyt podpětí či přepětí. Mohou se však instalovat jen na podpěrné body, kde je vyhotoveno uzemnění.

Transformátor je schopen pracovat s výkyvy napětí v rozmezí od minimální hodnoty 160 V (výrobce udává 140 V, praxe říká 160 V) až do maximální hodnoty 264 V. Hranice, ve kterých se hodnoty pohybovaly na Stögrově Huti, byly ověřeny měřeními po podání stížnosti na zhoršení kvality EE, a bylo potvrzeno, že regulační transformátor může být nainstalován. Hodnoty napětí na konci vedení u č.p. 546 byly v rozmezí 196,2 až 263 V. Sice maximální dosažená hodnota 263 V již hraničí s maximální povolenou mezí, kde může transformátor pracovat, ale je to hodnota naměřená na konci vedení, tudíž se předpokládá, že v místě, kde bude osazen regulační transformátor, nebudou výkyvy napětí dosahovat tak vysokých hodnot.

2.2.2 Hodnoty z měření po instalaci regulačního transformátoru

Tentokrát byly měřeny hodnoty impedance pomocí Zerotest 46 N, napětí a dlouhodobé míra vjemu flikru Plt jen na konci sítě u č.p. 546. Zde byl znovu nainstalován kvalitoměr MEMOBOX 300 smart po dobu devíti dní (od 15.10.2013 do 23.10.2013).

Naměřené hodnoty impedance jsem vynesl do Tab. 10. Hodnoty napětí a dlouhodobé míry vjemu flikru jsem zpracoval a vynesl do grafů programem DAM (viz Obr. 14, Obr. 16, Obr. 17) a opět jsem vypracoval protokol z měření dle ČSN EN 50160.

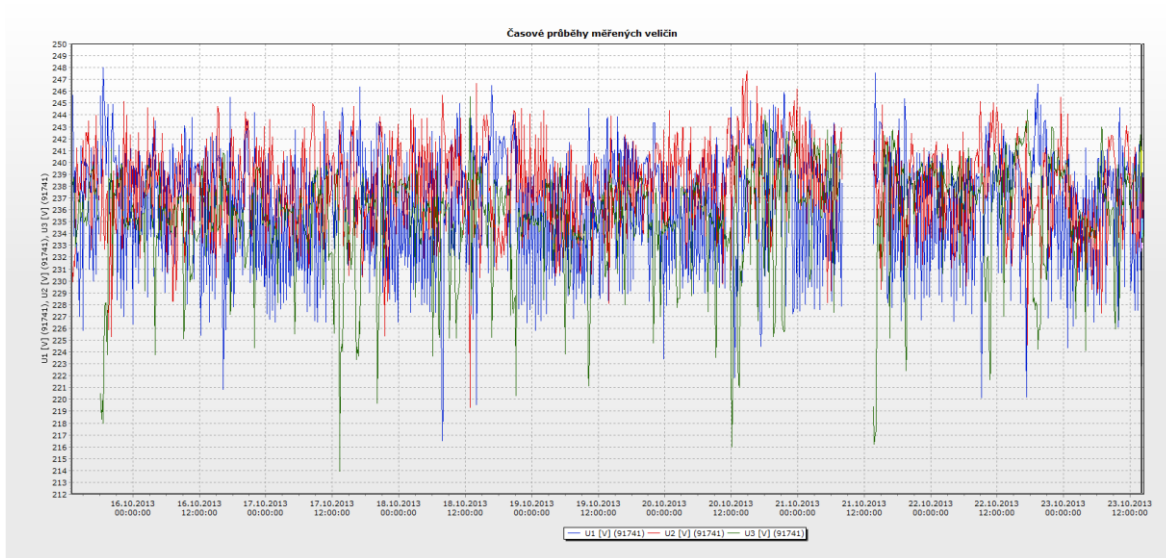
Tab. 10: Hlavička protokolu z měření, hodnoty smyčkové impedance

Měření DAM číslo	91741
Název obce	Stögrova Huť
Místo připojení	Elektroměrový rozvaděč č.p. 546
Napájecí trafostanice	TS Stögrova Huť č. 10044015
Datum měření	15.10. – 23.10.2013
Impedance smyčky	$Z_{L1-N} = 1,97 \Omega$ $Z_{L2-N} = 1,91 \Omega$ $Z_{L3-N} = 1,86 \Omega$

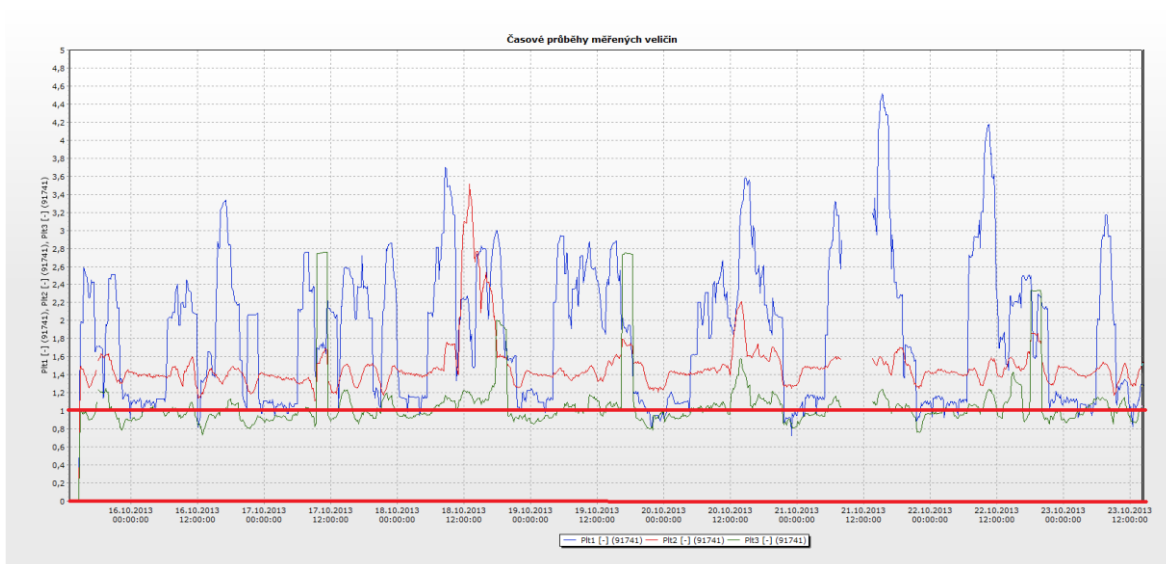
Vyhodnocení charakteristik napětí podle PPDS Přílohy 3 Meze: PPDS_2012, od: 15.10.2013 13:00:00, do: 23.10.2013 14:30:00

Veličina	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod.%)	Splňuje
Napětí	U	[V]	10 min	min. 95%	1 týden	-10%	216,490 (94,13%)	✓
				max. 95%	1 týden	10%	244,820 (106,44%)	✓
				min. 100%	1 týden	-15%	213,910 (93,00%)	✓
				max. 100%	1 týden	10%	248,030 (107,84%)	✓
Napětí (dlouhá vedení)	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-20%	213,910 (93,00%)	✓
				max. 100%	1 týden	11%	248,030 (107,84%)	✓
Krátkodobý flikr	Pst	-	10 min	max. 95%	1 týden	1	4,910	✗
Dlouhodobý flikr	Plt	-	2 hod	max. 95%	1 týden	1	4,001	✗
Napětová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	2,180	✗
Harmonické zkreslení	THDu	%	10 min	max. 95%	1 týden	8%	2,350	✓
Harmonická napětí	Uh2	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,110	✓
	Uh3	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	0,930	✓
	Uh4	%	10 min	max. 95%	1 týden	1%	0,060	✓
	Uh5	%	10 min	max. 95%	1 týden	6%	1,270	✓
	Uh6	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh7	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	2,110	✓
	Uh8	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh9	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,470	✓
	Uh10	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh11	%	10 min	max. 95%	1 týden	3,5%	0,660	✓
	Uh12	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh13	%	10 min	max. 95%	1 týden	3%	0,360	✓
	Uh14	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh15	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,420	✓
	Uh16	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh17	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,370	✓
	Uh18	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh19	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,210	✓
	Uh20	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,210	✓
	Uh21	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,260	✓
	Uh22	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,060	✓
	Uh23	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,210	✓
	Uh24	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,060	✓
	Uh25	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,210	✓

Obr. 15: Naměřené a zaznamenané hodnoty po osazení regulátoru



Obr. 16: Průběh středních hodnot napětí Ustř v závislosti na čase po osazení regulátoru



Obr. 17: Průběh dlouhodobého vjemu flikru v závislosti na čase po osazení regulátoru

Vyhodnocení:

Hodnoty impedance se po instalaci regulačního transformátoru nezměnily (stále dosahovaly hodnot až ke 2 Ω), tedy stále platí potřeba nápravného opatření.

Na Obr. 15 je uvedeno vyhodnocení charakteristik napětí podle PPDS přílohy 3, která je podřízená ČSN EN 50160. Červeným křížkem jsou zobrazeny nevyhovující charakteristiky dle ČSN EN 50160, zelenou fajfkou pak hodnoty vyhovující.

V místě měření (u č.p. 546) ve sledovaném období 7.10. – 15.10.2013 kvalita napětí splňovala podmínky stanovené technickou normou ČSN EN 50160, což je patrné z Obr. 15 a Obr. 16. Napětí se pohybovalo

v dovolených mezích od 214 V až do 248 V. Standart kvality napětí dle §8 vyhlášky č. 540/2005 Sb. byl dodržen.

Naopak Obr. 15 a Obr. 17 ukazují, že nebyly dodrženy tolerance flikru Plt. Plt dosáhl hodnoty až 4,5. Zhoršení flikru mohl způsobit nejen regulátor (viz kapitola 2.2.1 Regulační transformátor a jeho funkce), ale i samotní odběratelé. Např. spínáním těžkých strojů (např. katry, velké motory apod.). Případně ještě měkká DS, tzn. že je DS provozována při velkých hodnotách smyčkové impedance na koncích sítí.

Instalace regulačního transformátoru splnila dané předpoklady. Regulační transformátor obnovil určitou kvalitu napětí v síti. Napomohl ke zhoršení flikru. Stále je doporučeno posílit stávající síť pro zlepšení dodávky a zajištění potřebné kapacity distribuční sítě.

3 Návrh nápravného opatření

Po vyhodnocení stávajícího stavu sítě v oblasti Stögrova Hut' byly zrevidovány a upraveny dvě varianty nápravného opatření (A a B) pro dosažení předepsané kvality EE. Varianta B byla navržena pro případ zásadního neprojednání majetkoprávních vztahů (týká se hlavně nového kVN a pozemku pod novou TS). Měla se posílit stávající síť NN a napájení ze stávající trafostanice, kdy by pro dodržení impedančního kritéria musel být ze stávající trafostanice vyveden dvojitý kabelový vývod $4 \times 150 \text{ mm}^2$ délce 890 m a dále venkovní vedení posíleno na AES $4 \times 120 \text{ mm}^2$. Což se jevílo jako pracné a nákladné řešení, se kterým se schvalovací komise nechtěla ztotožnit. Mimo pracnost a nákladnost nesplňovala téměř žádné nařízení udávané interními pokyny. Proto jsme navrhovali další řešení, variantu B, kde jsme počítali s úspěšným projednáním majetkoprávních záležitostí.

Varianta A představuje vřazení nové kioskové trafostanice na optimální místo do stávající sítě NN. Trafostanice bude připojena novým zemním VN kabelem, svedeným z nedalekého podpěrného bodu vVN. Případně budou posíleny vodiče na dlouhých větvích vNN. Při tomto umístění TS budou zajištěny požadavky na parametry sítě v celé sledované oblasti. Varianta A dále zajišťuje možnost připojování nových odběrných míst a zálohu napájení této oblasti z hladiny VN. Varianta A splňuje i požadavky interního nařízení. [9]

Vzhledem k nízkému stáří a celkově dobrému mechanickému stavu stávající sítě NN bylo vedoucími pracovníky schváleno pouze vřazení nové TS se zachováním sítě NN bez velkých úprav. Byl jim požadován výpočet impedance sítě pro ověření splnění impedančního kritéria. Na základě tohoto výpočtu bylo dále schváleno, že se budou tolerovat hodnoty smyčkové impedance $Z_s \leq 1,2 \Omega$. Tato hodnota by měla být dostačující pokud nedojde ke zhoršení stavu sítě. Povolení na realizaci úprav vNN bude uděleno do pěti let, aby se zlepšila hodnota impedance a snížily se momentální náklady.

V kapitole 4.3 Technicko – ekonomické zhodnocení stavby je uvedeno srovnání variant A a B z hlediska plánovaných nákladů stavby.

3.1 Obecné technické požadavky

Uložení kabelového vedení

Kabely budou uloženy do pískového lože o tloušťce cca 10 cm pod i nad kabelem. Případné souběhy či křížení s dalšími inženýrskými sítěmi se řídí ČSN 73 6005. Pískové lože bude zahozeno jemnou zeminou o tloušťce minimálně 40 cm, na zeminu bude položena výstražná folie červené barvy pro snazší identifikaci při budoucích výkopech. Ve volném terénu bude minimální krytí kabelu 70 cm, v komunikacích 1 m (viz Obr. 20 a Obr. 21).

Uzemnění

Uzemnění bude zřízeno dle norem PNE 33 3301 *El. venkovní vedení se střídavým napětím do 45kV vč.* a PNE 33 3201 *El. stanice – návrh a stavba el. stanic nad 1kV AC, DS a PS*. Uzemnění bude zřízeno tak, aby žádné odběrné místo nebylo dále než 100 m od předchozího uzemnění, zejména v rozpojovacích skříních a na koncích sítí. Při realizaci této podmínky jsou automaticky dodrženy další podmínky uváděny ve výše zmíněných normách.

Dále bude změřena rezistivita půdy (v hloubce 1 m) a bude navržena uzemňovací sestava. Pro uzemnění TS a úsekového odpínače bude použita sestava ekvipotenciálních kruhů a prahů a paprsků dle potřeby. V místech, kde budou instalovány svodiče přepětí, musí být maximální hodnota uzemnění $R_a \leq 10 \Omega$ a uzemnění bude realizováno pomocí paprsků a tyčového zemniče.

Ochrana proti přepětí

Ve venkovní VN síti budou použity jiskřiště a omezovače přepětí VN. V TS budou použity taktéž omezovače přepětí. V NN síti bude ochrana zajištěna pomocí svodičů přepětí instalovaných na sloupech, kde je plánován přechod mezi vzdušným a kabelovým vedením, příp. na koncích sítí. Musí být splněna podmínka, že svodiče přepětí nesmí být osazeny více než 500 m od sebe.

3.2 Technické řešení varianty A

V této kapitole odkazují na topologické schéma části sledované sítě NN zobrazené na Obr. 18.

Stavba bude provedena následujícím způsobem:

Venkovní vedení VN

- Podpěrný bod na pozici 7 bude vyzbrojen svislým, růžkovým, úsekovým odpínačem včetně sestavy kabelového svodu.
- Na pozici 7 bude zhotoveno uzemnění.

Kabelové vedení VN

- Bude uloženo do volného terénu podél hranic pozemků. Kabel VN bude ukončen v nové trafostanici. Ke kabelu bude přiložena HDPE trubka pro budoucí zafouknutí optického kabelu.

Trafostanice

- Bude osazena nová kiosková stanice vhodného typu na vhodné místo

Venkovní vedení NN

- Na pozici 04 bude ponechán stávající sloup, bude demontována stávající kabelová skříň SP100 a bude rozštíženo stávající vNN.
- Na pozici 02 bude osazena nová rozpojovací kabelová skříň SV 201/PS a budou provedeny nové kabelové svody.

Kabelové vedení NN

- Z nové TS Pomník budou provedeny kabelové vývody na pozici 04.

Demontáže

- Na pozici 02 bude zdemontován regulační transformátor SCHMACHTL ANSI 50.
- Dále bude zdemontována kabelová skříň SP100 na pozici 04.

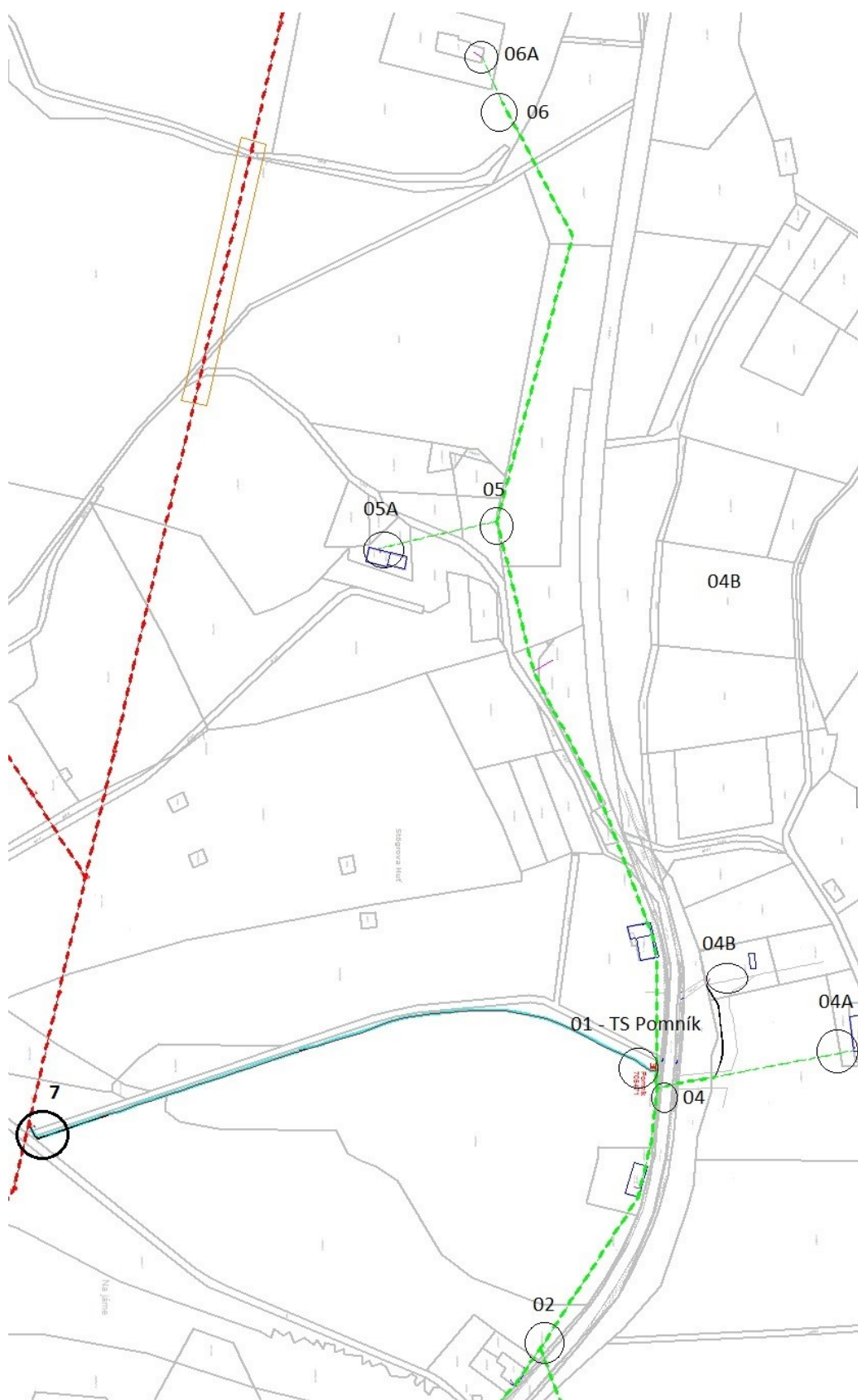
4 Zhodnocení stavu po realizaci varianty A

V roce 2020 proběhla realizace technického řešení navrhovaného v kapitole 3 Návrh nápravného opatření. V této kapitole jsem zhodnotil stav sítě po technické a ekonomické stránce. Technické zhodnocení jsem uvedl za hodnotami z každého měření v tučně značených podkapitolách nazvaných Vyhodnocení.

Tabulka 11: Typy a délky jednotlivých vedení ve sledované části sítě NN

Úsek	Typ a průřez	Délka [km]
7 – 01	3× AXEKVCEY 1×70 mm ²	0,450
01	TS 100 kVA	-
01 – 04	4×150 mm ² a NAYY 4×50 mm ²	0,750
02 – 04	AlFe 3×50+35 mm ²	0,200
04 – 04A	AlFe 4×16 mm ²	0,096
04 – 04B	AYKY 4×25 mm ²	0,066
04 – 05	AlFe 3×50+35 mm ²	0,402
05 – 05A	AYKYz 4×16 mm ²	0,082
05 – 06	AlFe 42/7 mm ²	0,301
06 – 06A	AYKYz 4×16 mm ²	0,032

4.1 Technické zhodnocení stavu sítě po provedení nápravného opatření



Obr. 18: Část sítě NN v oblasti Stögrova Huť Volary po vřazení nové TS

Venkovní vedení VN

Stávající podpěrný bod č.b. 234 na pozici 7 je vyzbrojen svislým, růžkovým, úsekovým odpínačem s označením PT1923 včetně sestavy kabelového svodu $3 \times 150 \text{ mm}^2$, na sloup je osazena i výstražná tabulka.

U č.b. 234 na pozici 7 je zhotoveno uzemnění. Jsou instalovány dva ekvipotenciální kruhy propojené zemnicími paprsky. Materiál zemnicí pásy byl použit dle standardu EG.D, a.s. – páska FeZn $30 \times 4 \text{ mm}^2$ v délce 56 m. Naměřená hodnota samostatného uzemnění (bez připojení na vedení) činí $1,1 \Omega$ což je více než žádoucí. (maximální dovolená hodnota odporu $R_a \leq 94 \Omega$).

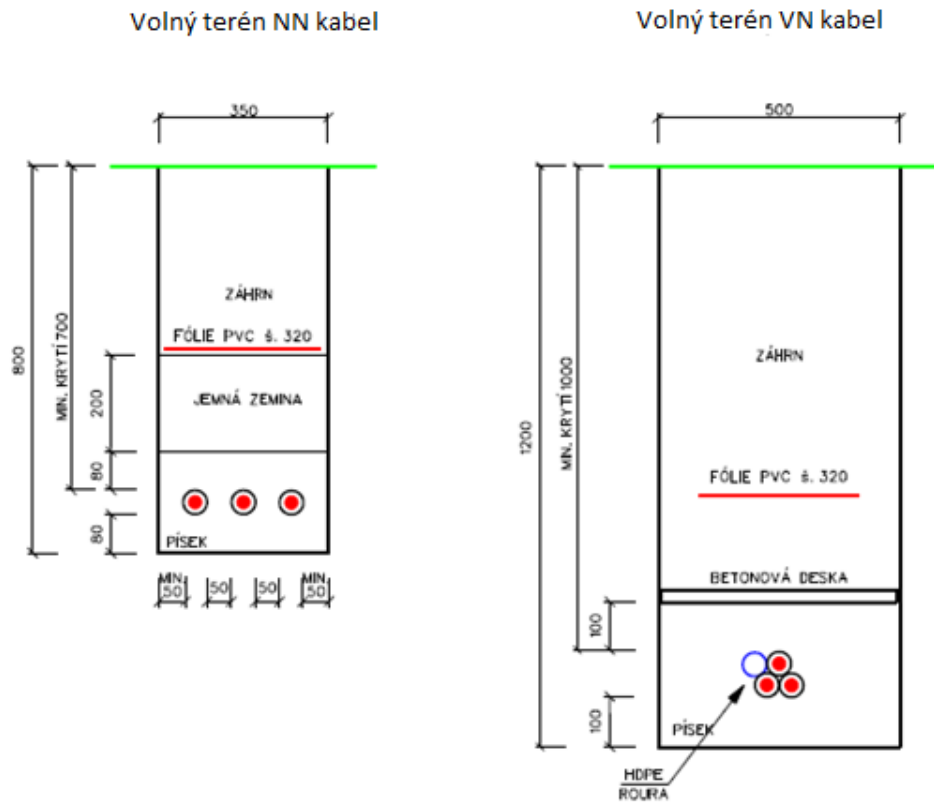


Obr. 19: Detail osazení svislého růžkového ÚO [Zdroj: archiv autora]

Kabelové vedení VN

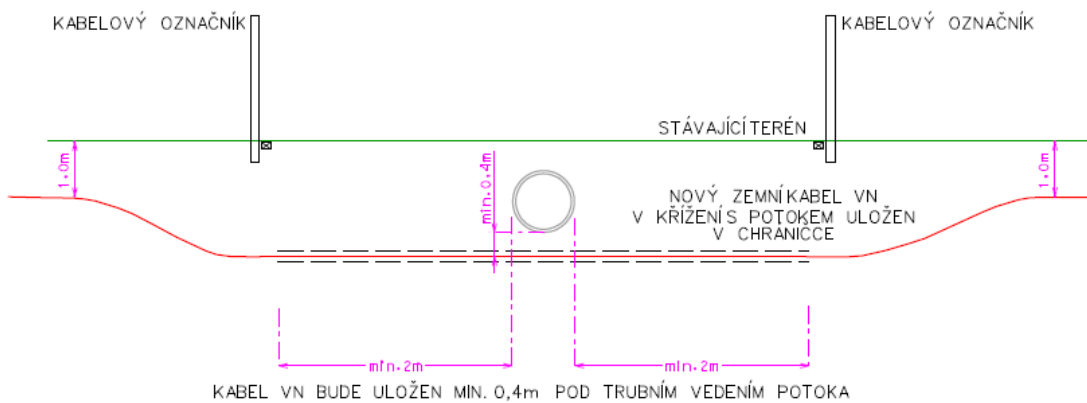
Ze stávajícího podpěrného bodu č. 234 na pozici 7 je sveden nový zemní kabel VN $3 \times \text{AXEKVCEY } 1 \times 70 \text{ mm}^2$ (Obr. 22), který je uložen do volného terénu podél hranic pozemků do pískového lože s minimálním krytím 1,0 m. Pískové lože dosahuje tloušťky až 10 cm pod i nad kabelem. Lože je dále překryto betonovými deskami a výstražnou folií z PVC červené barvy (Obr. 23). U bodu 7 je kabel uložen do kabelové chráničky typu PE hladká 160 / 5 do hloubky 0,5 m pod trubním vedením potoka, je tedy splněn požadavek z Obr. 21. Na březích potoka jsou osazeny kabelové označníky pro budoucí identifikaci.

Uložení kabelu



Obr. 20: Uložení NN a VN kabelu ve volném terénu [Zdroj: archiv autora]

PŘECHOD ZATRUBNĚNÉHO POTOKA PŘEKOPEM



Obr. 21: Uložení VN kabelu pod korytem zatrubněného potoka [Zdroj: archiv autora]



Obr. 22: Ukázka kabelového svodu + osazená výstražná tabulka [Zdroj: archiv autora]



Obr. 23: Ukázka pokládky VN kabelu do pískového lože s překrytím betonovými deskami [Zdroj: archiv autora]

Trafostanice

Na pozici 01 je vřazena nová kiosková trafostanice Betonbau UK 1700 s vnější obsluhou v provedení schváleném standardizací EG.D, a.s. a nazvána TS Stögrova Hut' Pomník. TS bylo přiděleno provozní číslo 705471. Nová TS je umístěna na hranici pozemku č. 4526/5.

Stavební část TS

Je tvořena základovou deskou tvořící spolu se stěnami betonovou buňku odlitou jako jeden celek z železobetonu B35. Prostor stání transformátoru slouží jako olejová jímka. Před osazením stavební části byla provedena úprava stávajícího terénu a byl zrealizován násyp pod TS. Kolem TS jsou položeny betonové dlaždice 50 cm × 50 cm a je upraven okolní terén (viz Obr. 24).



Obr. 24: Nově osazená TS Stögrova Hut' Pomník [Zdroj: archiv autora]

Technologická část TS

Rozvaděč VN s označením 1K+1TS (jeden kabel, jedno trafostání) je osazen pojistkami VN 4 A dle IEC, dále je doplněn a jednu sadu omezovačů přepětí VN a je zde ukončen kabel VN 3× AXEKVCEY 1×70 mm².

V rozvaděči NN do 630 kVA s označením RST 0663/4535-VH se stojanem ST-MN jsou ukončeny kabely NN 2×NAYY 4×150 mm² a NAYY 4×50 mm², v rozvaděči NN jsou osazeny omezovače přepětí NN.

Dále je osazen nový hermetizovaný transformátor s převodem 22/0,4 kV a výkonem 100 kVA.

Nakonec je provedeno nové uzemnění pomocí ekvipotencionálních kruhů a prahů s maximální dovolenou hodnotou odporu $R_a \leq 5 \Omega$. Musel být dodržen sled fází se stávající trafostanicí TS Stögrova Huť, což bylo ověřeno kabelovým vozem.

Venkovní vedení NN

Na pozici 04 je ponechán stávající sloup, je naspojováno venkovní vedení AlFe 3×50+35 mm² ve směru pozice 02, AlFe 3×50+35 mm² ve směru pozice 05, AlFe 4×16 mm² ve směru pozice 04A na nové kabelové vývody 2× NAYY 4×150 mm² a NAYY 4×500 mm² jdoucí z trafostanice. Jsou zde osazeny tři ochranné roury chránící kabelové vývody do výšky cca 2 m, dále jsou nainstalovány omezovače přepětí na vedení v každém směru, které jsou napojeny na stávající uzemnění.



Obr. 25: Detail bodu 04 – osazení svodičů přepětí, napojení vodičů [Zdroj: archiv autora]

Na pozici 02 u č.p. 257 je osazena nová rozpojovací skříň SV 201/PS s označením S030979, jsou zde provedeny tři nové kabelové svody 3× NAYY 4×95 mm² a je doplněna jedna sada omezovačů přepětí, které byly napojeny na stávající uzemnění.



Obr. 26: Podpěrný bod na pozici 02 po rekonstrukci (zde byl dříve osazen regulátor) [Zdroj: archiv autora]

Kabelové vedení NN

Z nové TS Pomník jsou vyvedeny nové kabelové vývody $2 \times \text{NAYY } 4 \times 150 \text{ mm}^2$ a $\text{NAYY } 4 \times 50 \text{ mm}^2$. Kabelové vedení je položeno do volného terénu v pískovém loži s minimálním krytím 0,7 m a je ukončeno na pozici 04 Obr. 18.

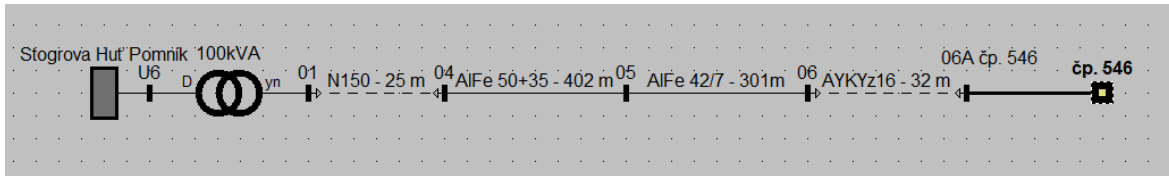


Obr. 27: Vyvedení kabelových vývodů na sloup [Zdroj: archiv autora]

Demontáže

Na pozici 02 byl zdemontován regulační transformátor NN/NN značky SCHMACHTL typu ANSI 450 a odvezen na centrální sklad k dalšímu použití.

4.2 Výpočet úbytku napětí a smyčkové impedance sítě v předávacím bodě u č.p. 546



Obr. 28: Topologické schéma sledované sítě vytvořené v programu DNCalc po vřazení TS Pomník

Výpočet jsem provedl stejně jako v kapitole 2.1.1.

Tab. 12: Vypočítané hodnoty úbytků napětí k předávacímu místu u č.p. 546 po vřazení nové TS

Úsek vedení	Typ vedení	l [km]	k [% / kW × km]	ΔU [%]
U6 – 01	TS 100 kVA	-	-	0,0900
01 – 04	N150	0,0250	0,1508	0,0640
04 – 05	AlFe 50 + 35	0,4020	0,5079	3,4657
05 – 06	AlFe 42 / 7	0,3010	0,5069	2,5900
06 – 06A	Aykyz 16	0,0320	1,3218	0,7180
U6 – 06A				$\Sigma \Delta U = 6,9277$

Vzorový výpočet pro úsek 01 – 04 s dosazením hodnot z Tab. 12 do vztahu II:

$$\Delta U = k \times l \times P_{3f} = 0,1508 \times 0,0250 \times 16,9741 = 0,0640 \% [V]$$

Úbytek napětí v úseku U6 – 06A dosáhl hodnoty $\Delta U = 6,9277 \%$ což splňuje požadavek normy ČSN EN 50160 na maximální dovolený úbytek napětí $\Delta U \leq 10 \%$. Měřením bych měl potvrdit výsledek výpočtu. (Červeně označené položky v Tab. 12 a Obr. 29.

Výpočet smyčkové impedance:

Tab. 13: Vypočtené hodnoty smyčkové impedance k předávacímu místu u č.p. 546 po vřazení nové TS

Úsek vedení	Typ vedení	l [km]	Z [Ω /km]	Z_{3f} [Ω]	Z_s [Ω]
U6 – 01	TS 100 kVA	-	0,068	0,068	0,1142
01 – 04	N150	0,0250	0,16	0,0040	0,0067
04 – 05	AlFe 50 + 35	0,4020	0,7164	0,2880	0,4838
05 – 06	AlFe 42 / 7	0,3010	0,7475	0,2250	0,3780
06 – 06A	Aykyz 16	0,0320	1,7813	0,0570	0,0958
U6 – 06A				$\Sigma Z_{3f} = 0,6420$	$\Sigma Z_s = 1,0785$

Vzorový výpočet pro úsek 01 – 04 s dosazením hodnot z Tab. 13 do vztahů III a IV:

$$Z_{3f} = l \times Z [\Omega] = 0,0250 \times 0,1600 = 0,0040 \Omega$$

$$Z_s = 1,6800 \times Z_{3f} = 1,6800 \times 0,0040 = 0,0067 \Omega$$

Smyčková impedance v úseku U6 – 06A dosáhla hodnoty $Z_s = 1,0785 \Omega$ což splňuje požadavek uvedený v Kapitola 3 Návrh nápravného opatření. Stále platí, že tato hodnota není optimální a je nutná další rekonstrukce (navrhují výměnu vodičů od TS k č.p. 546).

Pro ověření správnosti výsledků jsem opět provedl další výpočty za pomoci programu DNCalc. Je nutné si uvědomit, že rogram DNCalc používá jiné označení pro třífázovou zkratovou impedanci, tedy: $Z_k = Z_{3f}$, což dokazují i žlutě označené výsledky výpočtů a měření v Tab. 13 a Obr. 29.

	Poměry v uzlech			Poměry ve větvích			Překročení limitů					
	Ua [kV]	α_a [°]	Ub [kV]	α_b [°]	Uc [kV]	α_c [°]	dUna [%]	dUnb [%]	dUnc [%]	Zk [Ω]	α [°]	Sk [MVA]
U6	12,698	-0,021	12,698	-120,021	12,698	119,979	0,026	0,026	0,026	11,547	68,199	41,916
01	0,230	-30,358	0,230	-150,358	0,230	89,642	0,090	0,090	0,090	0,068	64,289	2,360
04	0,230	-30,364	0,230	-150,364	0,230	89,636	0,154	0,154	0,154	0,072	61,273	2,225
05	0,222	-30,754	0,222	-150,754	0,222	89,246	3,620	3,620	3,620	0,360	29,993	0,444
06	0,216	-31,090	0,216	-151,090	0,216	88,910	6,210	6,210	6,210	0,585	27,580	0,273
06A č.p. 546	0,214	-31,022	0,214	-151,022	0,214	88,978	6,928	6,928	6,928	0,642	25,246	0,249

Obr. 29: Výpočet úbytku napětí a impedance sítě po vřazení nové TS u č.p. 546 pomocí programu DNCalc

4.3 Hodnoty z měření po vřazení nové TS

Po provedení výpočtu úbytku napětí, impedance sítě a realizaci rekonstrukce jsem znovu proměřil kvalitu dodávané EE k č.p. 546 na konci sítě. Znovu jsem měřil impedanci pomocí Zerotest 46 N, napětí a dlouhodobou míru vjemu flikru pomocí MEMOBOX 300 smart.

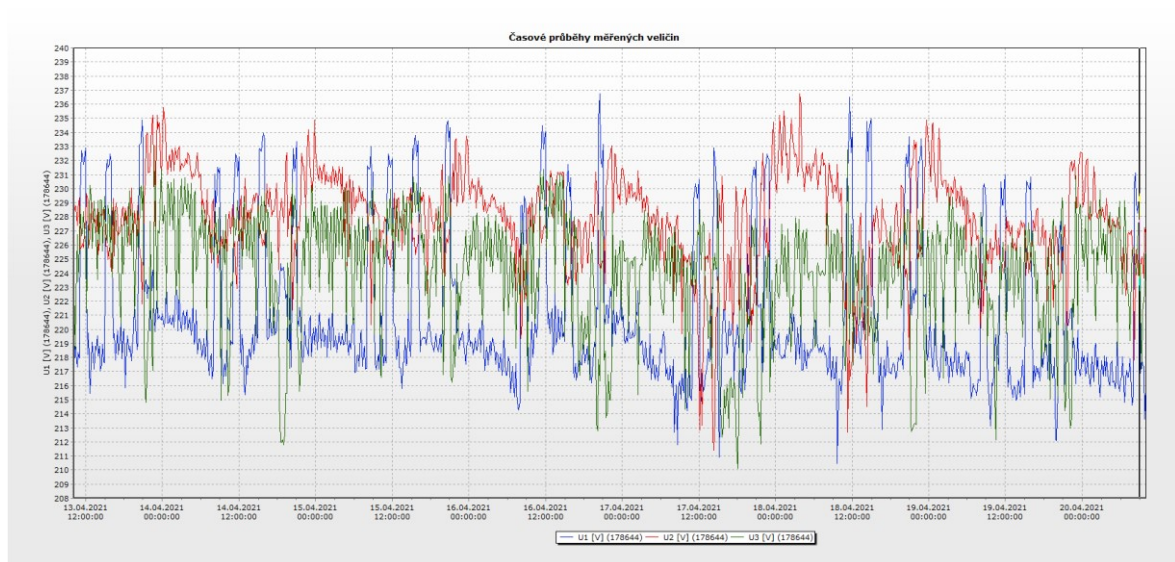
Naměřené hodnoty impedance jsem vynesl do Tab. 14. Hodnoty napětí a dlouhodobé míry vjemu flikru jsem zpracoval a vynesl do grafů programem DAM a vypracoval jsem protokol z měření dle ČSN EN 50160.

Tab. 14: Hlavička protokolu z měření, hodnoty smyčkové impedance

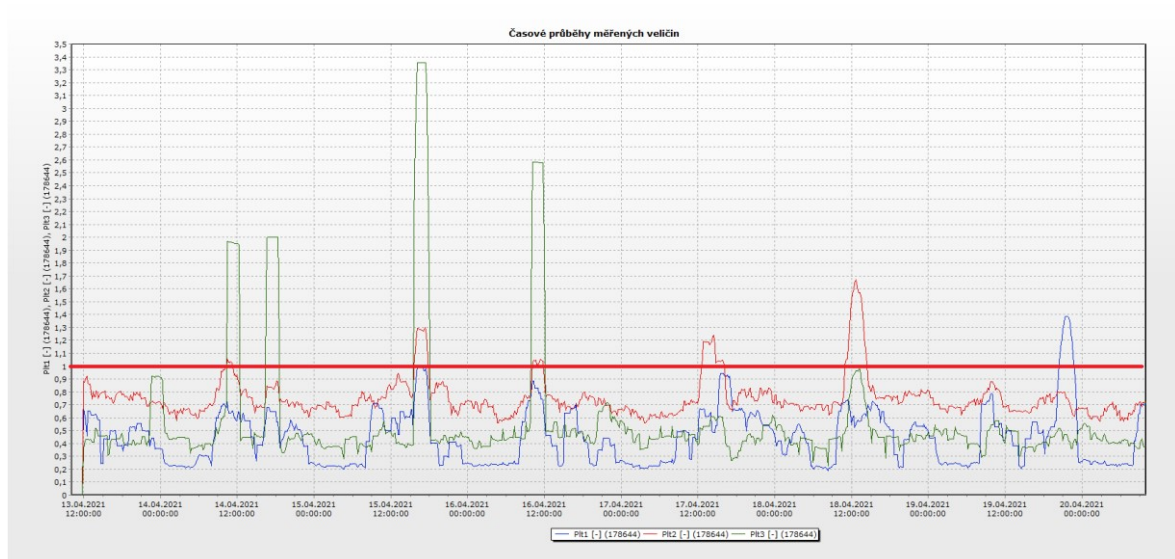
Měření DAM číslo	178644
Název obce	Stögrova Hut'
Místo připojení	Elektroměrový rozvaděč č.p. 546
Napájecí trafostanice	TS Stögrova Hut' Pomník č. 705471
Datum měření	13.04. – 20.04.2021
Impedance smyčky	$Z_{L1-N} = 1,09 \Omega$ $Z_{L2-N} = 1,1 \Omega$ $Z_{L3-N} = 1,12 \Omega$

Vyhodnocení charakteristik napětí podle PPDS Přílohy 3								Meze: PPDS_2012, od: 13.04.2021 10:10:00, do: 20.04.2021 10:00:00	
Veličina	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod.%)	Splňuje	
Napětí	U	[V]	10 min	min. 95%	1 týden	-10%	210,100 (91,35%)	✓	
				max. 95%	1 týden	10%	232,610 (101,13%)	✓	
				min. 100%	1 týden	-15%	210,100 (91,35%)	✓	
				max. 100%	1 týden	10%	236,740 (102,93%)	✓	
Napětí (dlouhá vedení)	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-20%	210,100 (91,35%)	✓	
				max. 100%	1 týden	11%	236,740 (102,93%)	✓	
Krátkodobý flikr	Pst	-	10 min	max. 95%	1 týden	1	1,158	✗	
Dlouhodobý flikr	Plt	-	2 hod	max. 95%	1 týden	1	1,689	✗	
Napětíová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	1,030	✓	
Harmonické zkreslení	THDu	%	10 min	max. 95%	1 týden	8%	2,060	✓	
Harmonická napětí	Uh2	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,050	✓	
	Uh3	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	0,440	✓	
	Uh4	%	10 min	max. 95%	1 týden	1%	0,050	✓	
	Uh5	%	10 min	max. 95%	1 týden	6%	1,290	✓	
	Uh6	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓	
	Uh7	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	1,840	✓	
	Uh8	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓	
	Uh9	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,300	✓	
	Uh10	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓	
	Uh11	%	10 min	max. 95%	1 týden	3,5%	0,550	✓	
	Uh12	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓	
	Uh13	%	10 min	max. 95%	1 týden	3%	0,300	✓	
	Uh14	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓	
	Uh15	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,140	✓	
	Uh16	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓	
	Uh17	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,200	✓	
	Uh18	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓	
	Uh19	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,100	✓	
	Uh20	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓	
	Uh21	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,150	✓	
	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%	0,000	✓	
	Uh25	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,050	✓	

Obr. 30: Naměřené a zaznamenané hodnoty po vřazení nové TS



Obr. 31: Průběh středních hodnot napětí Ustř v závislosti na čase po vřazení nové TS



Obr. 32: Průběh dlouhodobého vjemu flikru v závislosti na čase po vřazení nové TS

Vyhodnocení:

Hodnoty impedance sítě NN se výrazně snížily na hodnoty 1,09 až 1,12 Ω (viz Tab. 14). Byla splněna výjimka, která se týká posunutí meze na $Z_s \leq 1,2 \Omega$. Úsek TS až č.p. 546 je stále velmi dlouhý, a proto je z impedančního hlediska nutné provést další nápravné opatření (Navrhují posílení sítě od TS k odběrateli, vyměnit vodiče vNN v trase stávajícího vedení). Varianta A toto opatření nezahrnovala, protože stávající síť NN byla v dobrém technickém stavu a nedosahovala požadovaného stáří pro povolení dalších úprav. Tyto úpravy jsou v plánu na rok 2025 pokud nedojde k náhlé změně v technickém stavu sítě.

Na Obr. 30 je uvedeno vyhodnocení charakteristik napětí podle PPDS přílohy 3, která je podřízená ČSN EN 50160. Červeným křížkem jsou zobrazeny nevyhovující charakteristiky dle ČSN EN 50160, zelenou fajfkou pak hodnoty vyhovující.

V místě měření (u č.p. 546) ve sledovaném období 13.04. – 20.04.2021 kvalita napětí splňovala podmínky stanovené technickou normou ČSN EN 50160 (je patrné z Obr. 30 a Obr. 31). Měřením bylo zjištěno velké zlepšení oproti hodnotám z měření po osazení regulátoru (Obr. 15 a Obr. 16), napětí tolik nekolísá. Standart kvality napětí dle §8 vyhlášky č. 540/2005 Sb. byl dodržen.

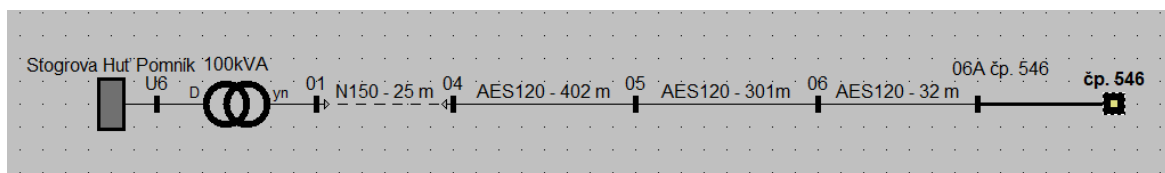
Ale jak je vidět z Obr. 30 a Obr. 32 nebyly dodrženy tolerance flikru Plt. Je dáno velkou smyčkovou impedancí na konci sítě viz výše. Dále může být flikr způsoben spínáním velkých strojů u některých z odběratelů. Např. cirkulační pila, katr, velké motory apod.

Vřazení nové TS Pomník prospělo kvalitě dodávaného napětí do domácností, byly do jisté míry splněny požadavky na zkracování úseků sítí NN, byla zajištěna rezerva pro připojování nových odběrných míst. V neposlední řadě byla zajištěna vyšší spolehlivost dodávky díky vybudování zálohy připojení ze strany VN. Tudíž byly splněny podmínky udávané interním pokynem. [9]

4.4 Návrh budoucího nápravného opatření

Jak jsem uváděl výše, navrhuji posílení sítě ve směru od TS k zákazníkovi na konci sítě u č.p.546. Navrhuji vyměnit stávající vodiče vNN AlFe 4×50 mm², AlFe 42/7 mm² a AYKYz 16 mm² za závěsné izolované vodiče typu AES 120 mm² na stávajících podpěrných bodech. Nenavrhuji nové kNN, protože u výměny vzdušného vedení ve stávající trase není nutné projednávat majetkoprávní vztahy a nehrozí rizika z hlediska časových posunů realizace. Pro potvrzení správnosti návrhu jsem provedl výpočet úbytku napětí a smyčkové impedance k předávacímu bodu se zákazníkem.

4.4.1 Výpočet úbytku napětí a smyčkové impedance sítě



Obrázek 33: Topologické schéma budoucího stavu části sítě NN vytvořené v programu DNCalc

Výpočet jsem provedl stejně jako v kapitole 2.1.1.

Tab. 15: Vypočítané hodnoty úbytků napětí budoucího stavu k předávacímu místu u č.p. 546

Úsek vedení	Typ vedení	l [km]	k [% / kW × km]	ΔU [%]
U6 – 01	TS 100 kVA	-	-	0,0900
01 – 04	N150	0,0250	0,1508	0,0640
04 – 05	AES 120	0,4020	0,1791	1,2221
05 – 06	AES 120	0,3010	0,1791	0,9151
06 – 06A	AES 120	0,0320	0,1791	0,0973
U6 – 06A				$\sum \Delta U = 2,3885$

Vzorový výpočet pro úsek 01 – 04 s dosazením hodnot z Tab. 15 do vztahu II:

$$\Delta U = k \times l \times P_{3f} = 0,1508 \times 0,0250 \times 16,9741 = 0,0640 \text{ \% [V]}$$

Úbytek napětí v úseku U6 – 06A dosáhl hodnoty $\Delta U = 2,3885 \text{ \%}$ což splňuje požadavek normy ČSN EN 50160 na maximální dovolený úbytek napětí $\Delta U \leq 10 \text{ \%}$. Výsledek výpočtu jsem ověřil v programu DNCalc.

Výpočet smyčkové impedance:

Tab. 16: Vypočtené hodnoty smyčkové impedance budoucího stavu k předávacímu místu u č.p. 546

Úsek vedení	Typ vedení	l [km]	Z [Ω /km]	Z_s [Ω]
U6 – 01	TS 100 kVA	-	0,068	0,1142
01 – 04	N150	0,0250	0,16	0,0067
04 – 05	AES 120	0,4020	0,2813	0,1890
05 – 06	AES 120	0,3010	0,2813	0,1422
06 – 06A	AES 120	0,0320	0,2813	0,0151
U6 – 06A				$\sum Z_s = 0,4672$

Vzorový výpočet pro úsek 01 – 04 s dosazením hodnot z Tab. 16 do vztahů III a IV:

$$Z_{3f} = l \times Z [\Omega] = 0,0250 \times 0,1600 = 0,0040 \Omega$$

$$Z_s = 1,6800 \times Z_{3f} = 1,6800 \times 0,0040 = 0,0067 \Omega$$

Smyčková impedance v úseku U6 – 06A dosáhla hodnoty $Z_s = 0,4672 \Omega$. Tato hodnota již splňuje impedanční kritérium společnosti EG.D, a.s. ($Z_s \leq 0,47 \Omega$) a předpokládá se i zlepšení flikru. Síť by měla být dostatečně tvrdá.

Info panel 2: Poměry v uzlech. Schéma vypocet.egc3, 12:34:32 2021.05.12.

	Ua [kV]	α_a [°]	Ub [kV]	α_b [°]	Uc [kV]	α_c [°]	dUna [%]	dUnb [%]	dUnc [%]	Zk [Ω]	α [°]	Sk [MVA]
U6	12,699	-0,020	12,699	-120,020	12,699	119,980	0,025	0,025	0,025	11,547	68,199	41,916
01	0,230	-30,343	0,230	-150,343	0,230	89,657	0,061	0,061	0,061	0,068	64,289	2,360
04	0,230	-30,349	0,230	-150,349	0,230	89,651	0,122	0,122	0,122	0,072	61,273	2,225
05	0,227	-30,426	0,227	-150,426	0,227	89,574	1,309	1,309	1,309	0,167	35,173	0,960
06	0,225	-30,484	0,225	-150,484	0,225	89,516	2,198	2,198	2,198	0,244	29,608	0,655
06A čp. 546	0,225	-30,490	0,225	-150,490	0,225	89,510	2,292	2,292	2,292	0,253	29,218	0,633

Obrázek 34: Výpočet úbytku napětí a impedance sítě budoucího stavu u č.p. 546 pomocí programu DNCalc

Program DNCalc používá jiné označení pro třífázovou zkratovou impedanci, tedy: $Z_k = Z_{3f}$

4.5 Ekonomické zhodnocení pro variantu A a B

4.5.1 Celkové investiční náklady

Tab. 17: Celkové investiční náklady varianty A

Směr	Cena [Kč]
Projektová dokumentace	132.472,00
Ostatní náklady stavby	145.500,00
Trafostanice	269.380,00
Venkovní vedení VN	38.000,00
Kabelové vedení VN	663.200,00
Kabelové vedení NN	14.350,00
Demontáže	10.000,00
Uzemnění	15.000,00
Příprava a řízení stavby	90.153,00
Projekční rezerva	128.790,00
Globální zařízení staveniště	51.516,00
Suma	1.558.361,00

Tab. 18: Celkové investiční náklady varianty B

Směr	Cena [Kč]
Projektová dokumentace	211.131,00
Ostatní náklady stavby	114.000,00
Venkovní vedení NN	438.360,00
Kabelové vedení NN	736.475,00
Demontáže	30.000,00
Uzemnění	37.200,00
Příprava a řízení stavby	125.374,00
Projekční rezerva	156.718,00
Globální zařízení staveniště	62.687,00
Suma	1.911.945,00

Tab. 19: celkové investiční náklady budoucího nápravného opatření

Směr	Cena [Kč]
Projektová dokumentace	41.731,00
Ostatní náklady stavby	23.000,00
Venkovní vedení NN	200.288,00
Demontáže	20.000,00
Příprava a řízení stavby	22.802,00
Projekční rezerva	28.502,00
Globální zařízení staveniště	11.401,00
Suma	347.723,00

V předešlých kapitolách bylo ukázáno technické zhodnocení a potvrzení, že varianta A bude splňovat požadavky na zlepšení parametrů sítě, přičemž do pěti let dojde k posílení vedení, a tím zlepšení kvality napětí i k nejvzdálenějšímu odběrnému místu u č.p. 546. Dále provedu porovnání celkových investičních nákladů na jednotlivé varianty včetně budoucího nápravného opatření. Myslím, že je vhodné sdělit, že se jedná o vynucenou investici, se kterou nebylo v r. 2013 počítáno, a že neslouží k obohacení investora. V tomto případě není podle společnosti EG.D, a.s. nutné provádět rozsáhlé ekonomické průzkumy a je dostačující zvolit vhodnou variantu dle výše celkových investičních nákladů stavby a časové náročnosti samotné realizace.

Z Tab. 17 a Tab. 18 je zřejmé, že levnější je varianta A. Dokonce ani po součtu nákladů na variantu A a nákladů na budoucí opatření nepřekročí cenu varianty B (1.906.084,00 Kč < 1.911.945,00 Kč).

4.5.2 Časová náročnost

Časovou náročnost jednotlivých variant jsem odhadl. Čerpal jsem ze zkušeností z minulosti s podobnými případy. V zásadě platí, že výkopové práce, které jsou v obou variantách stěžejní a zaujímají většinovou pozici, se provádějí nejsnáze v zelené louce. Nepředpokládá se navýšení nákladů z předem neznámých příčin a počítá se se zhotovením 60 m výkopu za den s případnými opravami či potížemi. Ke zvyšování nákladů většinou dochází u výkopů kolem komunikací, staveb, stávajících inženýrských sítí či v těžko dostupných oblastech. Pro odhad jsem předpokládal využití jedné montážní čety o čtyřech lidech, použití jednoho kolového a jednoho pásového bagru, jednoho nákladního vozu pro převoz materiálu a jednoho osobního automobilu. Nezohledňuji dny potřebné pro bezproudí, administrativní úkony a volnou kapacitu zhotovitelů firem.

Varianta A zahrnuje výkopové práce v rozsahu 475 m v zelené louce, kde jsou jen stávající meliorace. Předpokládám, že práce (výkop a oprava meliorací) budou probíhat max. osm dní. Uložení kVN tři dny (se všemi náležitostmi). Osazení a oživení TS dva dny. Montáž ÚO a kabelového svodu jeden den. Úprava NN sítě dva dny, dohromady tedy šestnáct dní.

Varianta B zahrnuje výkopové práce v rozsahu 890 m v rozmanitém terénu. Tím myslím v blízkosti stávající komunikace, u jednotlivých odběratelů předpokládám souběh se stávajícími inženýrskými sítěmi (voda, kanalizace, telekomunikační vedení, plyn), v zarostlých mezích (nutnost provedení průseku) a kamenité skalky. Provedení těchto prací odhaduji na patnáct dní. Uložení kNN čtyři dny (se všemi náležitostmi). Výměnu 520 m vodičů tři dny, dohromady dvacet dva dní.

U budoucího nápravného opatření, kdy jde o výměnu vodičů v rozsahu 735 m předpokládám realizaci v průběhu čtyř dní.

Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo přiblížit postup při vyřizování stížnosti na kvalitu dodávané EE v předávacím místě na konci dlouhé vNN a navrhnout nápravné opatření, které by respektovalo aktuální normy a splňovalo požadavky společnosti EG.D, a.s.

V úvodní části jsem popsal požadavky kladené na distribuční síť a důvody k jejich rekonstrukcím včetně využívaných technických řešení. Dále jsem uvedl několik základních pravidel koncepce sítí nízkého napětí, normy a interní předpisy společnosti, z kterých jsem vyšel při návrhu rekonstrukce sítě.

Dále jsem zpracoval výsledky z provedených měření kvality napětí ze stavů před podáním stížnosti, po osazení regulačního transformátoru a po vřazení nové TS. Výsledky těchto měření sloužily pro porovnání mých výpočtů impedancí a úbytků napětí na vedení, i jako vstupní data pro další postup návrhu nápravných opatření. Za jednotlivými měřeními a výpočty jsem uvedl technické zhodnocení sítě v podkapitolách nazvaných vyhodnocení. Ekonomické zhodnocení a zhodnocení z hlediska časové náročnosti jsem zpracoval až v závěrečné pasáži této práce.

Výstupem těchto kapitol byly dvě varianty nápravných opatření s tím, že realizace varianty A bude rozložena do pětiletého období s ohledem na stávající stav sledované části distribuční sítě a investiční náročnost varianty B.

Detailně jsem popsal variantu A, která byla schválena mými vedoucími pracovníky a byla zrealizována v r. 2020. Varianta A zahrnovala vřazení nové TS na optimální místo do stávající sítě NN. Připojení z VN strany bylo provedeno novým zemním kVN svedeným z nedalekého podpěrného bodu vVN, který byl ukončen v TS. Připojení z NN strany bylo provedeno novými kabelovými vývody, které byly vyvedeny na blízký podpěrný bod NN sítě a dále naspojovány na stávající vodiče vNN. Byl zdemontován regulační transformátor. Došlo ještě k několika úpravám na vNN jako je montáž svodičů přepětí, zhotovení nového uzemnění či osazení nové kabelové rozpojovací skříně.

U realizace jsem pak působil jako kontrolor prováděných prací a používaných materiálů. Další část nápravného opatření je v investičním plánu na r. 2025. Varianta A společně s budoucím nápravným opatřením zajistí požadovanou kvalitu dodávané elektrické energie, tím pádem se vyhoví požadavkům společnosti a úkol této práce bude naplněn.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ČSN EN 50160: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě. 3. vydání. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [2] *Popis distribuční soustavy EG.D, a.s.* [online]. In: 2020, s. 2 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: https://www.egd.cz/sites/default/files/2020-08/332_Popis_DS_elektro_2020.pdf
- [3] *Schéma sítě 400, 220 a 110 kV v oblasti působnosti* [online]. In: . 2020, s. 1 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: https://www.egd.cz/sites/default/files/2020-09/336_schema_distribucni_site_elektro_egd.pdf
- [4] *Terminologický slovník pojmů z oblasti krizového řízení a plánování obrany státu*. In: , Ministerstvo vnitra ČR odbor bezpečnostní politiky. Terminologický slovník [online]. 2009. Praha, 2009, s. 65 [cit. 28.04.2021]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/terminologicky-slovník-krizove-řízení-a-planování-obranystatu.aspx>
- [5] ČSN EN 50110-1, Vyhláška č.50/1978 Sb: *Obsluha a práce na elektrických zařízeních*. Ed. 3. Praha: Český normalizační institut, 2015.
- [6] PNE 35 4212: *Úsekové odpínače pro venkovní vedení do 45 kV včetně*. Ed. 3. Praha: Čez Distribuce, E.ON Distribuce, 2018.
- [7] ČSN IEC 60050-692: *Mezinárodní elektrotechnický slovník - část 692: Výroba, přenos a rozvod elektrické energie - Spolehlivost a kvalita služby elektrizačních soustav*. Praha: Český normalizační institut, 2019.
- [8] *Spolehlivost distribuční sítě*. Brno, 2017. Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Špaček.
- [9] ECD-PP-046. *Koncepce sítě nízkého napětí 0,4 kV*. [Prováděcí pokyn E.ON Distribuce a.s.], ECD – Správa sítě, účinnost od 1.11.2019.
- [10] PNE 33 3430-0: *Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav*. 5. vydání. Praha: Čez Distribuce, E.ON Distribuce, E.ON ČR, PRE Distribuce, ČEPS, 2015.
- [11] Kašpírek, Martin. *Distribuční transformátory s regulací pod zatížením jako prvky pro stabilizaci napětí NN* [odborná publikace Konference ČK CIRED 2012], Tábor, listopad 2012.

- [12] *Revize a návrh řešení sítě NN Vrbice*, Samoty. Praha, 2014. Diplomová práce. ČVUT V Praze. Vedoucí práce Ing. Petr Šlajs.
- [13] Pravidla provozování distribučních soustav: Příloha 3 - Kvalita napětí v distribuční soustavě, způsoby jejího zjišťování a hodnocení [online]. Praha: Provozovatelé distribučních soustav, 2011 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.egd.cz/sites/default/files/2018-09/P%20C5%99%C3%ADloha%203%20PPDS%202016%20-%20KVALITA%20NAP%C4%9AT%C3%8D.pdf>
- [14] PNE 33 3430-7: *Charakteristiky napětí elektrické energie ve veřejné distribuční síti*. 4. vydání. Praha: ČEPS, ČEZ Distribuce, E.ON ČR, E.ON Distribuce, PREdistribuce, 2011.
- [15] PNE 33 0000-7: *Navrhování a umístování svodičů přepětí v distribučních sítích do 1 kV*. 2. vydání. Praha: Čez Distribuce, EG.D, 2021.
- [16] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů*. In: Praha: Poslanecká sněmovna Parlamentu ČR, 1997, ročník 1997, číslo 22.
- [17] *Uzemnění elektrických zařízení: Projektování, výstavba a provoz*. České Budějovice: E.ON Distribuce, 2019.
- [18] *Bezpečnost v elektrotechnice* [online]. In: 2011, s. 70 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.utee.fekt.vut.cz/sites/default/files/inline-files/bbz.pdf>

- [19] Pravidla provozování distribučních soustav: Příloha 2: Metodika určování nepřetržitosti distribuce elektřiny a spolehlivosti prvků distribučních sítí [online]. Praha: Provozovatelé distribučních soustav, 2011 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.egd.cz/sites/default/files/2019-01/p%C5%99%C3%ADloha%20%20Metodika%20ur%C4%8Dov%C3%A1n%C3%AD%20nep%C5%99etr%C5%BEitosti%20distribuce%20elekt%C5%99iny%20-%2012%202016.pdf>.
- [20] JIŘIČKA, Jan – Tesařová Miloslava. Posouzení změn napětí způsobených jednofázovými a dvoufázovými zdroji připojovanými do sítě NN [přednáška]. Brno: EPE 2012, květen 2012

