České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Bakalářská práce

Ekonomika rekonstrukce vedení ve vybrané lokalitě

Economic evaluation of grid reconstruction

Autor: Jiří Harman

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Vašíček, CSc.

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Praha 2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Harman** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **499099**

Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**

Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**

Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**

Specializace: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Ekonomika rekonstrukce vedení ve vybrané lokalitě

Název bakalářské práce anglicky:

Economic evaluation of grid reconstruction

Pokyny pro vypracování:

Charakteristika zásobované oblasti (zatížení, odběratelé, stávající stav a výhled)
Návrh variant rekonstrukce vedení
Technickoekonomické parametry rekonstrukce (investice, ztráty, provozní náklady)
Ekonomické vyhodnocení variant (z pohledu distributora resp. odběratelů)

Seznam doporučené literatury:

FENCL, F.: Elektrický rozvod a rozvodná zařízení. Skriptum ČVUT FEL, Praha, 2006.
KISLINGEROVÁ, Eva. Manažerské finance. 3. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2010. Beckova edice ekonomie. ISBN 978-80-7400-194-9.
Informace o materiálech pro výstavbu sítí - materiály ČEZ Distribuce, a.s.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Vašíček, CSc. katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **20.01.2023** Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2024**

doc. Ing. Jiří Vašíček, CSc. podpis vedoucí(ho) práce	podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

.	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Prohlášení

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

V Praze dne ....

Podpis autora práce

Poděkování

Chtěl bych touto cestou vyjádřit své upřímné díky všem, kteří mi pomohli s bakalářskou prací na téma Ekonomika rekonstrukce vedení ve vybrané lokalitě. Bez vaší podpory, rad a pomoci bych tuto práci nedokázal dokončit.

Rád bych začal poděkováním doc. Ing. Jiřímu Vašíčkovi, CSc. za jeho vedení práce, odborné rady a konstruktivní kritiku, která mi pomohla lépe porozumět tématu. Jeho zapálení pro věc a nadšení pro danou problematiku mi byly velkou inspirací a motivací.

Dále bych chtěl poděkovat prof. Ing. Oldřichu Starému, CSc. za jeho cenné rady a odpovědi na všemožné otázky během psaní práce. Jeho pomoc byla pro mě velmi přínosná.

Velmi bych také chtěl poděkovat firmám Energon a PRE Distribuce, které mi ochotně poskytly důležité informace a data, na kterých byla tato práce založena. Bez této spolupráce bych nemohl svou práci dotáhnout do úspěšného konce.

Dále bych rád poděkoval své milující matce, Ing. Aleně Harmanové, za její neustálou podporu během psaní této práce. Její povzbuzení mi dodávalo sílu a motivaci, abych dokončil tuto práci s přesností a pečlivostí, jakou si představuji.

Nakonec bych chtěl poděkovat slečně Evě Šefčíkové za její skvělou práci na grafickém zpracování map, to přesně odpovídalo požadavkům mé bakalářské práce.

Abstrakt

V této práci je nejdříve čtenář seznámen se základními druhy vodičů používanými na vedení nízkého napětí. Dále je v práci uváděna charakteristika autorem zvolené oblasti, konkrétně se jedná o polovinu obce Obořiště. Další část textu je věnována seznámení s prostředím, s aktuálně použitými vodiči a s transformačními stanicemi. Následuje seznámení se současnými typy odběrů a je proveden odhad budoucího zatížení, konkrétně je pak proveden odhad na maximální zatížení během doby životnosti vedení. Znalost odběrů je základním stavebním kamenem návrhu rekonstrukce.

Práce vychází z faktu, že vedení v lokalitě začíná být zastaralé, v některých případech dokonce překračuje životnost. Zároveň je potřeba počítat s nárůstem zatížení sítě v budoucnu.

Rekonstrukci je možno provádět vícero způsoby, byly proto navrženy celkem 4 varianty vedení – 2 kombinované, 1 kabelová a 1 venkovní. Tyto varianty jsou blíže popsány, jsou uvedeny jejich výhody a nevýhody a následně jsou mezi sebou porovnány. Z nich jsou poté vybrány 2 nejvhodnější a ty jsou dále porovnány z ekonomického hlediska.

Pro stanovení vhodné varianty je použito kritérium NPV, respektive RCF. Pro určení RCF je nutné zvolit vhodné vstupy. Je proto v první řadě použita hodnota investice, která je pak anuitně rozpočítána na dobu životnosti. Dále je počítáno s náklady na údržbu, náklady na ztráty a je oceněna nedodaná energie. Z těchto vstupů je poté určeno, že kabelová varianta je vhodnější.

Nakonec je provedena citlivostní analýza na změnu nákladů na ztráty a na ocenění nedodané energie. Ta potvrdila vhodnost kabelové varianty. Ta je proto pro tuto rekonstrukci doporučena.

Klíčová slova: rekonstrukce, vedení nízkého napětí, elektrické sítě, modernizace, ekonomická efektivnost.

Abstract

In this work, the reader is first introduced to the basic types of conductors used on low voltage lines. Next, the characteristics of area chosen by author, namely half of the village of Obořiště, are presented. The next part of the text is devoted to an introduction of the environment, the conductors currently used and the transformer stations. This is followed by an introduction to the current types of loads and an estimate of future loads is made, specifically an estimate of the maximum load over the lifetime of the line. The knowledge of the loads is the fundamental building block of the reconstruction project.

The work is based on the fact that the lines in the area are becoming outdated, in some cases even exceeding their service life. At the same time, it is necessary to take into account the increase in network load in the future.

The reconstruction can be carried out in several ways, so a total of 4 variants of the grid were proposed - 2 combined grids, 1 cable grid and 1 overhead grid. These options are described in more detail, their advantages and disadvantages are presented and then compared with each other. The 2 most suitable ones are then selected and compared from an economic point of view.

The NPV and RCF criteria are used to determine the appropriate option. In order to determine the RCF, it is necessary to select appropriate inputs. Therefore, the value of the investment is used in the first place, which is then annuitized over the lifetime. In addition, maintenance costs, the cost of losses and the value of unsupplied energy are taken into account. From these inputs, it is then determined that the cable option is the superior one.

Finally, a sensitivity analysis is performed on the change in the cost of losses and on the valuation of unsupplied energy. This confirms the suitability of the cable variation. It is therefore recommended for this reconstruction.

Keywords: reconstruction, low-voltage lines, electrical networks, modernization, economic efficiency.

Seznam použitých zkratek

ČEZd	ČEZ distribuce
PREdi	PRE distribuce
I_{dov}	maximální dovolený proud
R_{DC20}	jmenovitý elektrický stejnosměrný odpor při teplotě +20 °C
AES	izolovaný vodič pro venkovní vedení
PE	polyetylén
PVC	polyvinylchlorid
PEN	ochranný a pracovní vodič
AYKY	hliníkový třífázový kabel
CYKY	měděný třífázový kabel
CYY	měděný jednožilový kabel
TS	transformační stanice, někdy také dTS, distribuční transformační stanice
NPV	čistá současná hodnota
RCF	roční ekvivalentní peněžní tok
WACC	vážený průměr nákladů kapitálu

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Stávající stav vedení 24
Obrázek 2 - Varianta rekonstrukce 1 32
Obrázek 3 - Varianta rekonstrukce 2 33
Obrázek 4 - Varianta rekonstrukce 3 34
Obrázek 5 - Varianta rekonstrukce 4 35
Obrázek 6 - Zákres kabelové sítě 38
Obrázek 7 - Zákres kombinované sítě 40
Obrázek 8 - Roční diagram zatížení v této lokalitě 50
Obrázek 9 - Podíl složek RCF v kabelové variantě 54
Obrázek 10 - Podíl složek RCF v kombinované variantě 54
Obrázek 11 - Citlivostní analýza pro změnu ceny nedodané energie 55
Obrázek 12 - Citlivostní analýza pro změnu nákladů na ztráty 56
Obrázek 13 - Citlivostní analýza obou variant na základě změny ocenění nedodané energie a velikosti nákladů na ztráty 57

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Vlastnosti holých vodičů [3, 7] 18
Tabulka 2 - Vlastnosti izolovaných vodičů AES [4] 19
Tabulka 3 - Vlastnosti závěsných kabelů [5] 20
Tabulka 4 - Vlastnosti kabelů AYKY [8] 21
Tabulka 5 - Vlastnosti kabelů CYKY [9] 22
Tabulka 6 - Vlastnosti kabelů CYY [10] 22
Tabulka 7 - Současný stav odběrů 27
Tabulka 8 - Očekávaný stav odběrů 30
Tabulka 9 - Očekávaný stav odběrů při rozšíření zástavby 30
Tabulka 10 - Cena transformátorů 44
Tabulka 11 - Cena kabelů v kabelové variantě 44
Tabulka 12 - Detailní rozpočet kabelové varianty 46
Tabulka 13 - Cena kabelů v kombinované variantě 47
Tabulka 14 - Cena sloupů v kombinované variantě 47
Tabulka 15 - Detailní rozpočet kombinované varianty 49
Tabulka 16 - Ukazatele nepřetržitosti distribuce v roce 2021 [21] 52
Tabulka 17 - Změna RCF variant v závislosti na ocenění nedodané energie 55
Tabulka 18 - Změna RCF variant v závislosti na nákladech na krytí ztrát 56
Tabulka 19 - Kompletní citlivostní analýza pro kabelovou variantu 56
Tabulka 20 - Kompletní citlivostní analýza pro kombinovanou variantu 57

Obsah

1. Úvod ... 16

2. Druhy vedení nízkého napětí 0,4 kV ... 17

2.1. Venkovní vedení NN 0,4 kV ... 18

2.1.1. Holé vodiče ... 18

2.1.2. Izolované vodiče AES ... 19

2.1.3. Závěsné kabely ... 20

2.2. Kabelové vedení NN 0,4 kV ... 20

2.2.1. Kabely AYKY ... 20

2.2.2. Kabely CYKY ... 21

2.2.3. Jednožilové kabely CYY ... 22

3. Charakteristika zásobované oblasti ... 23

3.1. Stávající stav sítě NN 0,4 kV ... 23

3.1.1. Stav transformačních stanic 22/0,4 kV ... 23

3.1.2. Stav vedení NN 0,4 kV ... 24

3.2. Stávající zástavba ... 25

3.2.1. Zatížení sítě/odebíraný výkon ze sítě ... 26

3.3. Výhled do budoucnosti ... 28

3.3.1. Předpokládaný odběr ze sítě bez rozšíření zástavby ... 30

3.3.2. Předpokládaný odběr ze sítě s rozšířením zástavby ... 30

4. Návrh variant rekonstrukce vedení ... 31

4.1. Varianta 1 – kombinovaná ... 32

4.2. Varianta 2 – kombinovaná ... 33

4.3. Varianta 3 – kabelová ... 34

4.4. Varianta 4 – venkovní ... 35

4.5. Porovnání ... 36

5. Parametry navržených variant rekonstrukce ... 37

5.1. Parametry kabelové sítě ... 38

5.1.1. Ztráty v kabelovém provedení ... 39

5.2. Parametry kombinované sítě ... 40

5.2.1. Ztráty v kombinovaném provedení ... 41

6. Ekonomické vyhodnocení variant 42

6.1. Hodnota investice 43

6.1.1. Kabelová varianta 44

6.1.2. Kombinovaná varianta 47

6.2. Provozní náklady 50

6.3. Náklady na ztráty 50

6.3.1. Kabelová varianta 52

6.3.2. Kombinovaná varianta 52

6.4. Ocenění nedodané energie 52

6.5. Výsledky ekonomického vyhodnocení variant 53

6.5.1. Roční ekvivalentní náklady 53

6.5.2. Citlivostní analýza 54

6.5.3. Závěr ekonomického vyhodnocení variant 57

7. Závěr 58

8. Reference 59

1. Úvod

Cílem této práce je navrhnout vhodný způsob rekonstrukce vedení nízkého napětí v obci Obořiště ve Středočeském kraji. Před tím je však potřeba se seznámit s jednotlivými druhy vodičů a typy vedení, jejich správná volba je totiž tím hlavním aspektem rekonstrukce.

Pro správné navrhnutí rekonstrukce je potřeba se seznámit s charakterem lokality, poznat typy odběrů ze sítě, seznámit se s územním plánem a s životním stylem obyvatel této obce. Dále je samozřejmě nutné zjistit, v jakém stavu a jakého typu je současné vedení, transformační stanice a příslušné transformátory.

To vše provedu a na základě odhadu rozvoje obce navrhnu 4 odlišné varianty rekonstrukce, z nichž následně 2 vyloučím. Zbylé dvě mezi sebou porovnám z pohledu spolehlivosti a možných problémů na vedení, propočítám cenu investic, provozní náklady, ztráty na vedení a ocením nedodanou energii. Ekonomické zhodnocení provedu pomocí ukazatele NPV, respektive RCF. Poté ještě provedu citlivostí analýzu, pomocí které zjistím, jak je můj výsledek stabilní. Ekonomicky vhodnější pak bude ta varianta, která bude požadovat nižší náklady. Nakonec zhodnotím výsledky a doporučím nejvhodnější variantu. Je nutné podotknout, že nebudu v této práci řešit, zda rekonstrukci vedení provézt, nýbrž kterou z variant rekonstrukce provézt.

Součástí návrhu bude nutnost naučit se pracovat s potřebnými programy pro návrh sítě. Následně provedu samotné schematické zakreslení odběrů a vedení v programu MicroStation a následné simulování v programu Sichr. Díky tomu získám všechny potřebné zmíněné výstupy, hodnoty a údaje pro zhodnocení. Zakreslení výsledného projektu do katastrální mapy není žádoucí, pro potřeby této práce je dostačující, když přiložím ilustrační mapu rekonstrukce.

2. Druhy vedení nízkého napětí 0,4 kV

Elektrizační soustava se v České republice dělí na dvě části, první z nich je přenosová, přenáší výkon na delší vzdálenosti za vyššího napětí a druhá je distribuční, přenáší výkon na kratší vzdálenosti při nižším napětí ke koncovým odběratelům. Pro každou ze zmíněných částí používáme několik různých hladin napětí. [1]

Přenosová soustava je realizována na dvou, respektive třech hladinách napětí, velmi vysoké napětí 220 kV a zvlášť vysoké napětí 400 kV, velmi malá část vedení přenosové soustavy je realizována na hladině 110 kV. Celková délka vedení přenosové soustavy je přibližně 5 685 km, z toho 3 700 km je vedení 400 kV, přibližně z $\frac{1}{3}$ délky je vedení provedeno dvojitě či vícenásobně, a 1 900 km je vedení 220 kV, více než polovina délky vedena vícenásobně. Nakonec ještě cca 85 km z vedení přenosové soustavy pracuje na hladině 110 kV. Takto vysoké napětí je vhodné pro přenos výkonu na delší vzdálenosti. Používáme ho, protože při konstantním výkonu a zvýšení napětí dojde ke snížení tekoucího proudu. Tím dojde ke snížení ztrát na vedení, ty jsou dány následujícím vzorcem. [1]

$$P_z = R \cdot I^2 \tag{1}$$

kde:

P_z... ztrátový výkon přeměněný se na teplo

R… odpor vedení

I… proud tekoucí vedením

Odpor je materiálem, průřezem a délkou vodiče, proto musíme pro snížení ztrát snížit právě tekoucí proud.

Distribuční soustava je pak provedena na třech napěťových úrovních. Označujeme je jako úrovně velmi vysokého napětí, vysokého napětí a nízkého napětí. Úroveň velmi vysokého napětí používá napěťovou hladinu 110 kV. Úroveň vysokého napětí je udávána na 3, 6, 10, 22 a 35 kV. Nakonec pak úroveň nízkého napětí je provozována na hladině 0,4 kV sdružených, respektive 230 V fázových. To znamená, že mezi fázovými vodiči je napětí sdružené a mezi fázovým vodičem a uzlem sítě je napětí fázové. [2]

Pro změnu napěťové hladiny musíme používat transformátory, to jsou netočivé elektrické stroje měnící elektrickou energii o jedné hladině napětí na jinou za konstantního výkonu. V řešené lokalitě tedy dochází k transformování energie v transformačních stanicích z 22 kV na 0,4 kV.

Elektrickou energii z transformačních stanic přenášíme ke koncovým odběratelům pomocí sítě vodičů nízkého napětí, tedy na hladině 0,4 kV. Sítě mohou být realizovány ve dvou, respektive

třech provedeních. Síť může být buď provedena jako venkovní, vodiče mohou být zavěšeny na podpěrných bodech, jako jsou třeba střešníky a konzole nebo sloupy. Nebo může být provedena jako kabelová. V takovém případě je vodič umístěn v zemi v příslušné hloubce a chráničce. Poslední variantou je smíšená síť, v tomto případě se část vedení realizuje jako kabelová a část jako venkovní.

2.1. Venkovní vedení NN 0,4 kV

Venkovní vedení lze provádět 3 hlavními způsoby. Prvním způsobem je vedení z holých vodičů, druhým způsobem je vedení z izolovaných vodičů zvaných AES a třetím je vedení ze závěsných kabelů. [3–5]

2.1.1. Holé vodiče

Používání holých vodičů je na ústupu (u vedení nízkého napětí), v dnešní době jsou mnou navštěvovanou projekční kanceláří nejpoužívanější vodiče AES. To však neznamená, že holé vodiče už nikde nenajdeme či že snad už nikdo takové vodiče neprojektuje. Největší zastoupení mezi holými vodiči má lano AlFe. Takové lano je hliníkové, ale protože hliník nemá příliš vysokou pevnost v tahu, pro zvýšení této pevnosti je do středu přidáno jádro z oceli a tvoří tak nosnou část. [3]

V současné době jsou dle standardů ČEZd používány 3 průměry lan. Ty dnes nesou označení 24–AL1/4–ST1A, 42–AL1/7–ST1A a 66–AL1/11–ST1A. Jedná se však pouze o názvy dané normou ČSN EN 50182 [6]. Známější jsou tyto vodiče pod názvy AlFe 25/4, AlFe 42/7 a AlFe 70/11-1. Jejich vlastnosti jsou udávané podnikovou normou PNE 34 7509, tu odsouhlasily společně organizace ČEPS, a.s., ČEZDistribuce, a.s., E.ON Česká republika, E.ONDistribuce, a ZSE, a.s. [3, 7]

Tabulka 1 - Vlastnosti holých vodičů [3, 7]

Označení podle EN 50182	Průřez [mm^2]			Počet drátů		I_{dov} [A]	R_{DC20} [$\frac{\Omega}{km}$]
	AL	ST	celkový	AL	ST		
24-AL1/4-ST1A	23,64	3,94	27,58	6	1	127	1,1823
42-AL1/7-ST1A	42,41	7,07	49,48	6	1	181	0,6593
66-AL1/11-ST1A	66,27	10,78	77,04	9	1+6	240	0,4227

Z tabulky lze vyčíst, že první číslo udává průřez hliníkové části a číslo za lomítkem udává průřez ocelového jádra. Celkový průřez je pak jejich součtem. Dále vidíme, že s rostoucím průřezem vodičů roste i I_{dov}, což je maximální dovolený proud vedením. Hodnota R_{DC20} je jmenovitý elektrický stejnosměrný odpor při teplotě +20 °C. Ten naopak spolu s rostoucím průřezem vodičů klesá.

2.1.2. Izolované vodiče AES

Izolované vodiče AES, také označované jako 1-AES, jsou v dnešní době nejvhodnějším řešením pro provedení venkovního vedení. Jedná se o čtyřžilový izolovaný vodič bez nosného lana a se společným pláštěm. Žíly s komprimovaným hliníkovým jádrem jsou navzájem stočené a od sebe izolované. Izolace je provedena z PE. Nemá vnější plášť. Abychom od sebe jednotlivé žíly rozeznali, jsou proto fázové vodiče označené podélnými výstupky a pracovní a ochranný vodič je opatřen po celé délce vylisovanou značkou uzemnění. Tyto vodiče jsou zároveň odolné proti působení UV záření a vody. [4]

Společnost ČEZd používá 7 variant vodiče AES. Jejich název se odvíjí od použitého průřezu vodičů. Jmenovitě se jedná o vodiče označené 1-AES 4x16, 1-AES 4x25, 1-AES 4x35, 1-AES 4x50, 1-AES 4x70, 1-AES 4x95 a nakonec 1-AES 4x120. [4]

Tabulka 2 - Vlastnosti izolovaných vodičů AES [4]

Typové označení	Průřez fázových vodičů [mm^2]	Počet drátů ve vrstvách fázových vodičů	I_{dov} [A]	R_{DC20} [$\frac{\Omega}{\mathrm{km}}$]
1-AES 4x16	15,76	1+6	62	1,91
1-AES 4x25	24,03	1+6	82	1,2
1-AES 4x35	34,24	1+6	101	0,868
1-AES 4x50	49,48	1+6	121	0,641
1-AES 4x70	66,76	1+6+12	153	0,443
1-AES 4x95	92,96	1+6+12	188	0,32
1-AES 4x120	116,32	1+6+12	219	0,253

Při nahlédnutí do Tabulka 1 lze odhlédnout, že pokud by došlo k projektování vedení pomocí vodiče 42-AL1/7-ST1A, odpor vedení bude podstatně větší, a tím i ztráty na vedení, než při použití vodiče 1-AES 4x95. Porovnávat mezi sebou tyto dva vodiče dává smysl, protože hodnota jejich dovoleného proudu je podobná, a tak bychom se při projektování rozhodovali právě mezi těmito dvěma vodiči. Ekvivalentní srovnání můžeme provést u libovolné dvojice vodičů s podobnými hodnotami I_{dov}.

2.1.3. Závěsné kabely

Závěsné kabely nesou označení 1-AYKYz-J. Jedná se o kabel složený ze 3 fází a PEN. V kabelu je dále pevně zalisované ocelové nosné lano s průměrem 5 mm. Vodivá jádra jsou plná, s kruhovým průřezem a z hliníku. Jsou od sebe izolovaná pomocí PVC a stejně tak je i vnější plášť vyroben z PVC. Stejně jako vodič AES je odolný proti ÚV záření, navíc je také odolný proti šíření plamene. Fázové vodiče jsou označené hnědou, černou a šedou barvou, ochranný a pracovní vodič je žlutozelený. [5]

V tomto případě společnost ČEZd používá 3 varianty tohoto kabelu. Jedná se o vodiče označené 1-AYKYz-J 4x16, 1-AYKYz-J 4x25 a 1-AYKYz-J 4x35. I tyto vodiče nesou své označení podle průřezu jader fází. [5]

Tabulka 3 - Vlastnosti závěsných kabelů [5]

Typové označení	Průřez fázových vodičů [mm^2]	I_{dov} [A]	R_{DC20} [$\frac{\Omega}{km}$]
1-AYKYz-J 4x16	16	61	1,91
1-AYKYz-J 4x25	25	81	1,2
1-AYKYz-J 4x35	35	99	0,868

2.2. Kabelové vedení NN 0,4 kV

Kabelové vedení je zpravidla umístěno v zemi v příslušných chráničkách a hloubce, lze je ovšem používat i ve venkovním prostředí. V katalogových listech ČEZd nalezneme na výběr 3 druhy vodičů pro kabelová vedení. Jsou to kabely s hliníkovými jádry AYKY, s měděnými jádry CYKY a jednožilové kabely CYY. [8–10]

2.2.1. Kabely AYKY

Tyto kabely nesou v katalogových listech označení 1-AYKY-J. Jedná se o kabel se 4 hliníkovými jádry navzájem izolovanými PVC izolací a vnějším PVC pláštěm. Výplňová vrstva pak pomáhá proti šíření plamene. Fázové vodiče jsou označené hnědou, černou a šedou barvou, ochranný a pracovní vodič je žlutozelený. [8]

U tohoto kabelu nelze skupinově shrnout tvar jader vodiče, mění se totiž s průřezem fázových vodičů. Pro průřezy od 16 mm^2 do 70 mm^2 jsou jádra plná s kruhovým průřezem a navzájem shodná. Kabel s průřezem fázových vodičů 120 mm^2 má 3 jádra fázových vodičů lanová sektorová a 1 jádro zůstává plné s menším kruhovým průřezem. Pro vyšší průřezy – 185 a 240 – jsou všechna jádra lanová sektorová, fázové vodiče jsou však většího průřezu než PEN. [8]

Společnost ČEZd používá 8 variant vodiče AYKY, opět se název odvíjí podle jednotlivých průřezů vodičů. Konkrétně 1-AYKY-J 4x16, 1-AYKY-J 4x25, 1-AYKY-J 4x35, 1-AYKY-J 4x50, 1-AYKY-J 4x70, 1-AYKY-J 3x120+70, 1-AYKY-J 3x185+95 a 1-AYKY-J 3x240+120. [8]

Tabulka 4 - Vlastnosti kabelů AYKY [8]

Typové označení	Průřez [mm²]		I_{dov} [A]		R_{DC20} [$\frac{\Omega}{km}$]	
	fázový vodič	PEN	na vzduchu	v zemi	fázový vodič	PEN
1-AYKY-J 4x16	16	16	61	81	1,91	1,91
1-AYKY-J 4x25	25	25	81	102	1,2	1,2
1-AYKY-J 4x35	35	35	99	123	0,868	0,868
1-AYKY-J 4x50	50	50	119	144	0,641	0,641
1-AYKY-J 4x70	70	70	152	179	0,443	0,443
1-AYKY-J 3x120+70	120	70	216	245	0,253	0,443
1-AYKY-J 3x185+90	185	90	285	313	0,164	0,32
1-AYKY-J 3x240+120	240	120	338	364	0,125	0,253

Z uvedené tabulky lze vyčíst, lže I_{dov} má odlišnou hodnotu pro uložení na vzduchu a v zemi. V porovnání s venkovním vedením lze dosáhnout výrazně vyššího proudu v kabelu. To je dáno větším průřezem, a tedy i nižším odporem.

2.2.2. Kabely CYKY

Tyto kabely nesou v katalogových listech název 1-CYKY-J. Jedná se o kabel se 4 měděnými jádry navzájem izolovanými PVC izolací a vnějším PVC pláštěm. Výplňová vrstva pak pomáhá proti šíření plamene. Fázové vodiče jsou označené hnědou, černou a šedou barvou, ochranný a pracovní vodič je žlutozelený. [9]

Stejně jako kabel AYKY mají i tyto kabely různý tvar PEN vodiče. Tedy pro průřezy od 16 mm² do 70 mm² jsou jádra plná s kruhovým průřezem a navzájem shodná. Kabel s průřezem fázových vodičů 120 mm² má 3 jádra fázových vodičů lanová sektorová a 1 jádro zůstává plné s menším kruhovým průřezem. Pro vyšší průřezy – 185 a 240 – jsou všechna jádra lanová sektorová, fázové vodiče jsou však většího průřezu než PEN. [9]

Společnost ČEZd používá 8 variant vodiče AYKY, opět se název odvíjí podle jednotlivých průřezů vodičů. Konkrétně 1-CYKY-J 4x10, 1-CYKY-J 4x16, 1-CYKY-J 4x25, 1-CYKY-J 4x35, 1-CYKY-J 4x50, 1-CYKY-J 4x70, 1-CYKY-J 3x120+70 a 1-CYKY-J 3x240+120. [9]

Tabulka 5 - Vlastnosti kabelů CYKY [9]

Typové označení	Průřez [mm²]		I_{dov} [A]		R_{DC20} [$\frac{\Omega}{km}$]	
	fázový vodič	PEN	na vzduchu	v zemi	fázový vodič	PEN
1-CYKY 4x10	10	10	63	83	1,88	1,88
1-CYKY 4x16	16	16	78	101	1,15	1,15
1-CYKY 4x25	25	25	105	132	0,727	0,727
1-CYKY 4x35	35	35	129	159	0,524	0,524
1-CYKY 4x50	50	50	157	188	0,387	0,387
1-CYKY 4x70	70	70	199	232	0,268	0,268
1-CYKY-J 3x120+70	120	70	285	318	0,153	0,268
1-CYKY-J 3x240+120	240	120	445	473	0,075	0,153

Oproti kabelům AYKY lze dosáhnout vyšších proudů, v případě největšího průřezu až o 109 A. To právě díky nižšímu odporu mědi. Zároveň na vedení z kabelů CYKY budou při stejném průřezu nižší ztráty.

2.2.3. Jednožilové kabely CYY

Tyto kabely nesou v katalogových listech popis 1-CYY. Jedná se o kabel s měděným kruhovým jádrem z jednotlivých lanek, PVC izolací a vnějším pláštěm opět z PVC. Dříve nesl název 1-YY nebo 1-NYY. Kabel je vyráběn v černé barvě pro fázové vodiče a v zelenožluté barvě pro PEN. [10]

Společnost ČEZd používá 10 variant vodiče CYY. Jejich název se odvíjí od použitého průřezu vodičů. Vyrábí se od průřezu 25 mm^2 až do průřezu 500 mm^2. Pro ukázku uvedu pouze 3 různé průřezy, uvedu pouze vlastnosti samostatně ležícího kabelu, nikoliv svazku, protože potom by se hodnoty shodovaly s kabelem CYKY. [10]

Tabulka 6 - Vlastnosti kabelů CYY [10]

Typové označení	Průřez [mm²]	I_{dov} [A]		R_{DC20} [$\frac{\Omega}{km}$]
		na vzduchu	v zemi	
1-CYY 1x25	25	144	208	0,727
1-CYY 1x240	240	618	746	0,075
1-CYY 1x500	500	994	1125	0,0366

Pokud bych by tyto jednožilové kabely byly složeny tak, aby korespondovaly s tvarem a složením kabelu CYKY, mohlo by se díky většímu průřezu dosáhnout až hodnoty I_{dov} 687 A pro uložení v zemi a 669 pro uložení na vzduchu. [10]

3. Charakteristika zásobované oblasti

Mnou vybraná lokalita je malá obec Obořiště. Jedná se o obec nedaleko města Dobříš vyskytující se ve Středočeském kraji jižně od Prahy. Tato lokalita je zastavěná převážně rodinnými domy a několika malými dílnami. Fungují zde i služby, konkrétně mateřská a základní škola, hospoda, pošta a malý obchod. V západní části obce se také nachází zemědělské družstvo. Okolí je plné luk a polí. V blízkosti Obořiště se nachází rekreační oblast Brdy s rozsáhlým lesním porostem. Rozvoj průmyslu v tomto prostředí není a nebude plánovaný, územní plán takovou skutečnost neumožňuje. Průmysl pro tuto lokalitu je situován v blízkých městech Dobříš a Příbram. Obec je napojena na systém Pražské integrované dopravy. Do okolních vesnic a přilehlých měst, Dobříše a Příbrami, vedou pravidelné autobusové linky. V blízkém okolí vede dálnice D4, i díky tomu je velmi využívána doprava osobními automobily. Velká část obyvatel Obořiště tak dojíždí za prací do Prahy, Dobříše a Příbrami.

3.1. Stávající stav sítě NN 0,4 kV

3.1.1. Stav transformačních stanic 22/0,4 kV

Transformační stanice 22/0,4 kV jsou v této lokalitě celkem 3. První, severní, s výkonem 250 kVA, označena jako TS1, se nachází u fotbalového hřiště a napájí přilehlou oblast. Postavena byla v roce 1995.

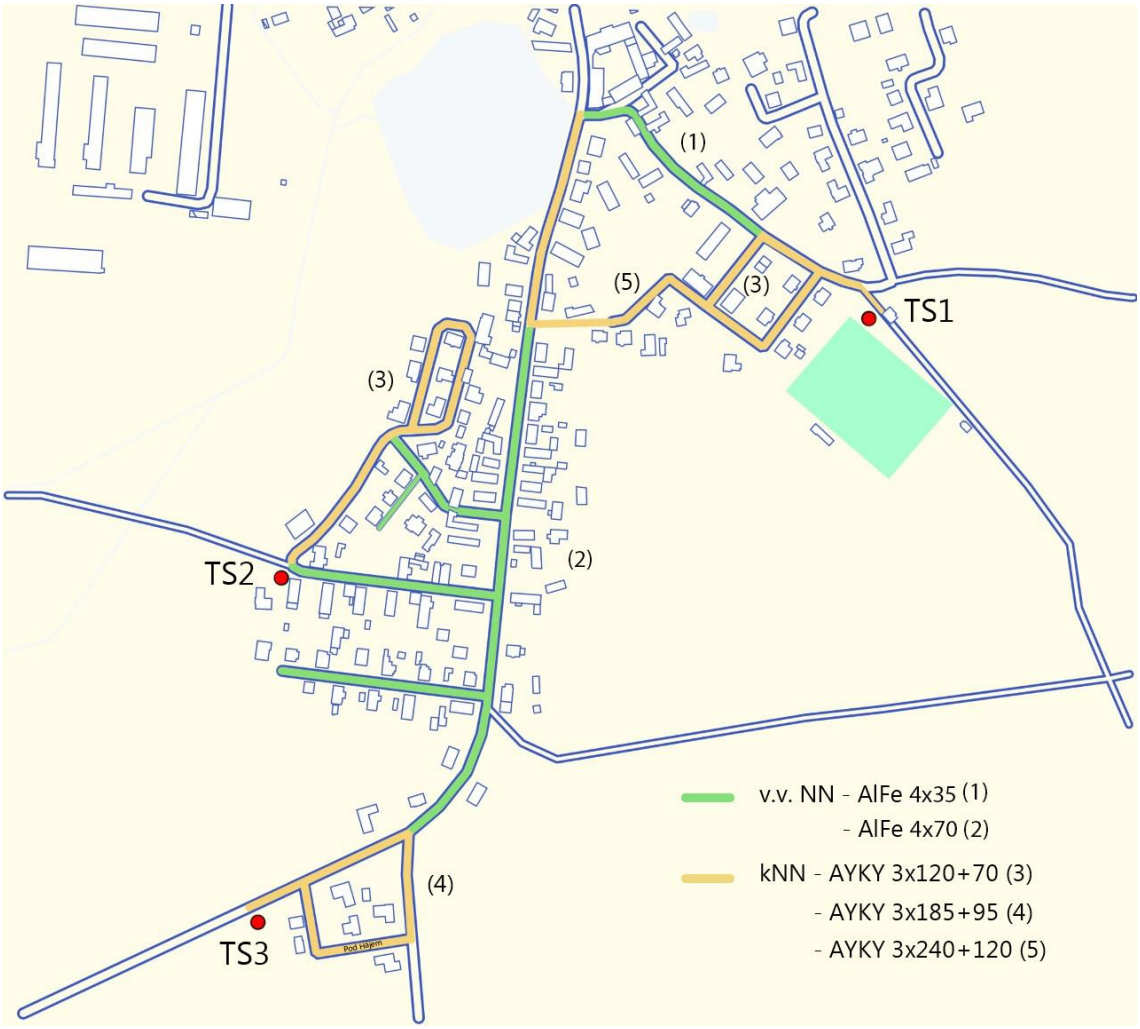
Druhá stanice, označena TS2, se nachází v západní části lokality a vychází z ní vedení AlFe 4×70. Tato transformační stanice napájí největší část dotčené oblasti a je osazená transformátorem o výkonu 400 kVA. Její rekonstrukce proběhla v roce 2000.

Poslední transformační stanice je umístěna v nejjižnější části obce. Označena je jako TS3. Její instalovaný výkon je 160 kVA a dodává elektrickou energii pouze nové zástavbě v ulici Pod Hájem. Vybudována byla společně s vedením, tedy v roce 2010.

Vzhledem ke stáří předmětných transformačních stanic není nutná celková rekonstrukce, v budoucnu může s růstem zatížení dojít pouze k výměně transformátoru. Lze tak navýšit výkon bez významných dodatečných investic na rekonstrukci TS.

3.1.2. Stav vedení NN 0,4 kV

V současné době je vedení nízkého napětí realizováno smíšeným způsobem, to znamená, že část vedení je vedena nadzemním vedením, část je vedena kabelovým vedením v zemi. Kabelová část je označena kNN. Venkovní vedení nízkého napětí je označeno v.v. NN. Všechny následující popisované situace jsou zakresleny v přiložené mapě.



Obrázek 1 - Stávající stav vedení

V nejsevernější části lokality je zmíněná TS1 a z ní je vyvedeno část vedení kabelem AYKY 3×240+120 a část kabelem AYKY 3×120+70. Rekonstrukce této části vedení proběhla v roce 1995 a má tedy za sebou podstatnou část životnosti, není však ještě potřeba nutně rekonstruovat. Na toto vedení dále navazuje v jedné ulici v.v. NN, to je realizováno pomocí lana AlFe 4×35, jedná se o nejstarší část zdejšího vedení, vystavěno bylo v roce 1965. Právě v této ulici se nachází základní a mateřská škola i obecní úřad. Venkovní vedení je pak napojeno na konci opět na zmíněný kabel AYKY 3×240+120.

Ve střední části obce vede hlavní silnice a souběžně s ní vede v.v. NN. To bylo rekonstruováno roku 1975. V současné době je realizováno lanem AlFe 4×70. Toto vedení je vyvedeno z TS2, kde nejprve vede postranní ulicí a dále vede zmíněnou ulicí hlavní. Kromě hlavní ulice pak vedení odbočuje do dalších vedlejších ulic. V této části obce elektrické vedení zásobuje nejvíce domácností. Ze stejné TS vede na sever ještě kabelové vedení zásobující okružní ulici. Provedeno je kabelem AYKY 3×120+70 a bylo rekonstruováno společně s kabelovým vedením z předchozího odstavce, tedy v roce 1995.

V poslední, jižní, části je vedení vyvedeno z TS3 pomocí v zemi uložených kabelů. V zemi je od roku 2010 položen kabel AYKY 3×185+95. Tato část, ulice Pod Hájem, je nejnovější zástavbou v obci.

Vzhledem k navyšujícím se budoucím odběrům je zřejmé, že síť NN 0,4 kV v dotčené lokalitě bude nutné zrekonstruovat a optimalizovat. Stávající venkovní vedení je zastaralé a svými technickými vlastnostmi již neumožňuje navýšení odběru elektrické energie. V částech uloženého kabelového vedení jsou přenosové vlastnosti dostačující a navýšení odběru elektrické energie je možné. Zároveň je umístěno v nových chodnících a asfaltových komunikacích, které by bylo velmi nákladné opravovat.

3.2. Stávající zástavba

V mnou zvoleném území se nachází přesně 104 elektrifikovaných staveb. Všechny jsou připojeny na síť nízkého napětí, tedy každý dům odebírá ze sítě elektrickou energii. Struktura domů je však různorodá. Vyskytují se zde objekty od malých nerekonstruovaných chat až po nové moderní rodinné domy.

Pro stanovení odběrů ze sítě je stěžejní znát způsoby využití elektrické energie. Všechny domy využívají elektrickou energii k ohřevu vody a některé dále k vytápění. Podle způsobu vytápění (a s ohledem na nutnost ohřevu vody) je pak určen koeficient soudobosti. Vliv na soudobost má také počet a výkon instalovaných zařízení v domácnosti.

Informace o soudobosti a hlavních jističích jsou poskytnuty firmou na základě dlouholeté praxe v oboru a charakteristiky oblasti.

Konkrétně se zde nachází 20 novostaveb a 83 starších domů, dále také škola, školka a obecní úřad v jedné budově. Jedenáct novostaveb je vytápěno elektricky a devět je vytápěno plynem. Mezi staršími domy je 15 nerekonstruováno, tyto domy jsou vytápěny starým neekologickým způsobem, tedy uhlím, briketami nebo dřevem. Tři z těchto domů zároveň slouží jako malá dílna vybavená soustruhem, míchačkou či pilou. Ostatní domy, tedy 68, jsou rekonstruovány a jsou vytápěny různými způsoby. Vytápění na elektřinu využívá 20 domácností, 34 domácností používá

k topení plyn a 14 domů stále vytápí uhlím. Škola využívá k vytápění plyn. Pouze 55 domů, všechny novostavby a 35 domů po rekonstrukci, je zatepleno.

Dále je vhodné uvést, jaké mají tyto domy instalované hlavní jističe. Nerekonstruované domy mají hlavní jistič 3×25 A s koeficientem soudobosti 0,2, nejsou v nich žádné topné spotřebiče. Dílny pak mají jističe 3×32 A se soudobostí 0,4. Plynem vytápěné domácnosti mají hlavní jistič 3×25 A a jejich soudobost je 0,35. Tyto domácnosti mají elektrickou plotnu a další moderní elektrické spotřebiče. Rodinné domy vytápěné uhlím mají také hlavní jistič 3×25 A, opět se soudobostí 0,35. Poslední složkou jsou domy vytápěné elektřinou. Devět z nich vytápí pomocí přímotopu. Z nich 5 větších domů má instalovaný hlavní jistič 3×32 A a 4 menší mají instalován jistič 3×25 A. Obě varianty mají koeficient soudobosti 0,8. A nakonec 22 domů je vytápěno tepelným čerpadlem. Z nich 5 větších domů je vybaveno jističem 3×32 A a 17 menších domů je vybaveno jističem 3×25 A. Koeficient soudobosti je v tomto případě opět shodný pro obě varianty, 0,6. Nakonec společně budova školy, školky a obecního úřadu má instalovaný hlavní jistič o velikosti 3×50 A se soudobostí 0,5.

V současné době nemá žádný uživatel domu ve zvolené lokalitě elektromobil, není tedy potřeba uvažovat nabíjení těchto vozů do stávajícího zatížení sítě. Domácí fotovoltaickou elektrárnu mají v současné době pouze 2 domy.

3.2.1. Zatížení sítě/odebíraný výkon ze sítě

Nyní mohu určit celkový odebíraný výkon ze sítě. Nejdříve budu potřebovat jednotlivé odběry pro každý druh napájení a soudobost. Pro vytápění uhlím se soudobostí 0,2 a jističem 3×25 A získám nejprve celkový výkon trojfázové soustavy. Pro výpočet předpokládám účiník 0,98, protože ČEZ požaduje, aby s takovou hodnotou projektanti počítali. Toto ale není samoúčelný požadavek firmy ČEZ, neboť spotřebiče v domácnostech jsou převážně odporového charakteru. Vzhledem k povaze lokality budu počítat pouze s činným výkonem.

$$P = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_f \cdot \cos\varphi \tag{2}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 25 \cdot 0{,}98 = 16{,}97 \cong 17\ kW \tag{3}$$

kde:

P… maximální příkon daný jističem

U_s… sdružené napětí sítě

I_f… fázový proud, v tomto případě velikost hlavních jističů

$cos\varphi$… účiník

Ten poté vynásobím soudobostí:

$$P_{soudobý} = \alpha \cdot P \tag{4}$$

$$P_{soudobý} = 0{,}2 \cdot 17 = 3{,}4 \text{ kW} \tag{5}$$

kde:

$P_{soudobý}$... odebíraný výkon jedné stavby při zohlednění soudobosti

α... koeficient soudobosti

Tento výsledek nakonec vynásobím celkovým počtem odpovídajících domácností:

$$P_{celkový} = \text{n} \cdot P_{soudobý} \tag{6}$$

$$P_{celkový} = 12 \cdot 3{,}4 = 40{,}8 \text{ kW} \tag{7}$$

kde:

n... počet domácností odpovídající soudobosti a odběru

$P_{celkový}$... celkový odebíraný výkon příslušným typem stavby

Tyto operace provedu pro všechny varianty odběrů. Pro zjednodušení jsem uvedl jednotlivé odběry ze sítě do tabulky. Celkový odebíraný výkon na celém vedení, tedy ze všech 3 transformačních stanic, je 754 kW.

Tabulka 7 - Současný stav odběrů

Vytápění	Soudobost α	Počet n	Jistič [A]	$P_{soudobý}$ [kW]	$P_{celkový}$ [kW]
Uhlí	0,2	12	3x25	3,40	40,80
Uhlí	0,4	3	3x32	8,68	26,04
Plyn	0,3	43	3x25	5,10	219,30
Plyn	0,5	1	3x50	16,78	16,78
Uhlí	0,3	14	3x25	5,10	71,40
Přímotop	0,8	5	3x32	17,36	86,80
Přímotop	0,8	4	3x25	13,60	54,40
Tepelné čerpadlo	0,6	5	3x32	13,02	65,10
Tepelné čerpadlo	0,6	17	3x25	10,20	173,40

V praxi bych musel ještě použít koeficient soudobosti na základě počtu odběrů v jednotlivých větvích. Vzhledem k nízkému počtu odběrů v každé z větví se tento koeficient bude blížit 1. Při takovéto úpravě bych následoval vnitřní směrnice příslušné společnosti, kde každá společnost má směrnice a tabulkové koeficienty soudobosti rozdílné. Dále uvádím, že tento koeficient zanedbám v celé práci, tedy ani při návrhu rekonstrukce s ním nebudu počítat. Při tomto zanedbání navíc mohu tvrdit, že při případném přepojování sítě nedojde k ohrožení jejího chodu. Tím téměř zaručuji možnost zálohování jednotlivých transformátorů a s tím i omezení nedodávek elektřiny na minimum.

3.3. Výhled do budoucnosti

V budoucnu očekávám globální rozvoj elektromobility. Jinak tomu není ani v tomto prostředí. Ve srovnání s většími městy zde očekávám menší zastoupení elektromobilů oproti automobilům spalovacím. Této myšlence nahrává i fakt, že v současné době se v celé obci nevyskytuje jediný majitel elektromobilu. V současné době tedy očekávám, že elektromobil si během následujících 30 let pořídí zhruba 25 % obyvatel. Tato skutečnost není pro dimenzování sítě důležitá, vzhledem k povaze prostředí bude většina majitelů svůj elektromobil nabíjet v zaměstnání. Při nabíjení doma bude využíván nízký tarif, což je převážně v noci, tedy v době, kdy je spotřeba elektrické energie nižší (než ve dne). Maximální soudobý výkon se tak nezvýší.

S rozvojem baterií a také s případnou rostoucí energetickou krizí očekávám rozvoj malých domácích fotovoltaických elektráren. Rozvoj těchto systémů je velmi podporovaný ze strany Evropské unie, nárůst počtu instalovaných zařízení je však nepředvídatelný, protože velmi závisí na finanční podpoře od státu a finančních možnostech vlastníka nemovitosti. Tyto fotovoltaické elektrárny jsou velmi neefektivní v zimě, kdy vyrábí velmi malé množství energie. Vzhledem k tomu, že síť NN 0,4 kV budu navrhovat tak, aby byla schopna přenášet dostatečné množství energie během celého roku, nebudu tyto malé domácí elektrárny zohledňovat. Dimenzování sítě je prováděno ve vztahu k maximálnímu zatížení, to je vzhledem ke způsobům vytápění právě v zimě, tedy v době, kdy fotovoltaické elektrárny příliš nepomohou.

V mé lokalitě se vyskytuje oblast, která je jako jediná vhodná k budoucímu zastavění. Veškerá další místa v okolí jsou podmáčená nebo naprosto nevhodná k budování další zástavby. V současné době, a v současném územním plánu, je tato plocha uvedena jako zemědělská půda [11]. Vzhledem k lukrativnosti obce, tedy infrastruktuře, pracovním příležitostem a vhodné poloze, lze usuzovat, že dojde ke změně územního plánu a vesnice se skutečně rozroste o přibližně 40 domů. Množství domů bude záležet na velikosti vytvořených parcel. O změně územního plánu pojednává zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) [12]. Postup je složitý, avšak uskutečnitelný.

Vzhledem k rozrůstání zastavěné plochy by bylo potřeba do obce přidat alespoň 2 další transformační stanice pro napájení této nové zástavby. Počet transformačních stanic bude určen na základě požadavků budoucích vlastníků pozemků.

Nepředpokládám, že zde dojde k rozvoji průmyslu, ten je situován v přilehlých městech. Stejně tak neočekávám žádné velké bytové domy.

Dále uvedené informace jsou pouze odhady, možných variant existuje více. Zvolil jsem takovou variantu, která dává smysl a je pravděpodobné, že vývoj bude podobného charakteru.

Očekávám i změnu ve způsobech vytápění. V současné době energetické nejistoty, vzhledem k válce na Ukrajině, očekávám nedostatky plynu. To se projeví i na způsobu smýšlení lidí. Dojde tedy k rozvoji vytápění elektřinou. Mohu očekávat, že žádná novostavba nebude vystavěna s vytápěním na uhlí. Novostaveb s elektrickým vytápěním předpokládám 80 %, tedy 32, a s vytápěním na plyn zbylých 20 %, tedy 8. Rodinné domy vybavené elektrickým vytápěním, primárně tepelnými čerpadly, budou osazeny hlavním jističem 3×25 A se soudobostí 0,6 a rodinné domy vybavené plynovým vytápěním budou osazeny hlavním jističem 3×25 A se soudobostí 0,3.

Dojde také pravděpodobně k rekonstrukci stávajících domů, veškeré vytápění uhlím zanikne a přejde se na vytápění elektrickou energií. Všech 29 objektů využívajících tento způsob vytápění bude modernizováno a vybaveno tepelným čerpadlem či jiným způsobem elektrického vytápění. Očekávám osazení hlavním jističem 3×25 A (předpokládáme rozvoj energeticky úsporných domů) a soudobost 0,6 pro rodinné domy a 3×32 A pro dílny. Nakonec pak 30 % domů využívajících vytápění plynem přejde na vytápění elektřinou, celkem tak dalších 13 domů změní způsob vytápění. Hlavní jistič zůstane zachován v současné výši 3×25 A, soudobost však vzroste na 0,6. Jedná se o menší, původně starší domy, proto uvažujeme osazení menším jističem.

Kotel na pelety ani na uhlí neuvažuji, protože nelze předpokládat vývoj emisních povolenek pro domácnosti a s tím spojené výdaje.

3.3.1. Předpokládaný odběr ze sítě bez rozšíření zástavby

Rekonstrukce sítě NN 0,4 kV může proběhnout bez uvážení budoucí zástavby, ta není zatím v územním plánu uvažována a potvrzena. Proto zde uvádím odběry ze sítě po rekonstrukci současné zástavby.

Provedu stejný postup jako v kapitole 3.2.1, získám tak nové hodnoty odběrů. Opět jsem je pro zjednodušení uvedl do tabulky. Maximální očekávaný odebíraný výkon na celém vedení bude 986 kW.

Přiblížení k této hodnotě očekávám během životnosti vedení. Nebudu proto dále počítat s žádným procentním nárůstem odběrů.

Tabulka 8 - Očekávaný stav odběrů

Vytápění	Soudobost α	Počet n	Jistič [A]	$P_{soudobý}$ [kW]	$P_{celkový}$ [kW]
Plyn	0,3	30	3x25	5,10	153,00
Plyn	0,5	1	3x50	16,78	16,78
Přímotop	0,8	5	3x32	17,36	86,80
Přímotop	0,8	4	3x25	13,60	54,40
Tepelné čerpadlo	0,6	8	3x32	13,02	104,16
Tepelné čerpadlo	0,6	56	3x25	10,20	571,20

3.3.2. Předpokládaný odběr ze sítě s rozšířením zástavby

Rekonstrukce sítě NN 0,4 kV může proběhnout s uvážením budoucí zástavby, ta může být podle stavebního zákona zavedena do územního plánu. Proto zde uvádím odběry ze sítě po rekonstrukci současné zástavby včetně zástavby nové.

Provedu stejný postup jako v kapitole 3.2.1, získám tak nové hodnoty odběrů. Opět jsem je pro zjednodušení uvedl do tabulky. Maximální očekávaný odebíraný výkon na celém vedení bude 1354 kW.

Tabulka 9 - Očekávaný stav odběrů při rozšíření zástavby

Vytápění	Soudobost α	Počet n	Jistič [A]	$P_{soudobý}$ [kW]	$P_{celkový}$ [kW]
Plyn	0,3	38	3x25	5,10	193,80
Plyn	0,5	1	3x50	16,78	16,78
Přímotop	0,8	5	3x32	17,36	86,80
Přímotop	0,8	4	3x25	13,60	54,40
Tepelné čerpadlo	0,6	8	3x32	13,02	104,16
Tepelné čerpadlo	0,6	88	3x25	10,20	897,60

4. Návrh variant rekonstrukce vedení

Tuto lokalitu je v podstatě možné rekonstruovat čtyřmi způsoby. Všechny zde blíže představím, následně je věcně zhodnotím (z hlediska spolehlivosti a investic) a vyberu dvě, se kterými budu dále pracovat. V tuto chvíli nebudu zohledňovat novou zástavbu, ta totiž nemůže změnit rozhodnutí o výhodnosti variant, protože by byla její realizace nutná v každém případě. Také nemá smysl u ní porovnávat výhodnost venkovního vedení oproti kabelovému a naopak. Stavební zákon ukládá, že každé nové vedení musí být provedeno jako kabelové. Pro vystavění venkovního vedení existují výjimky, zde však není potřeba o nich vůbec uvažovat.

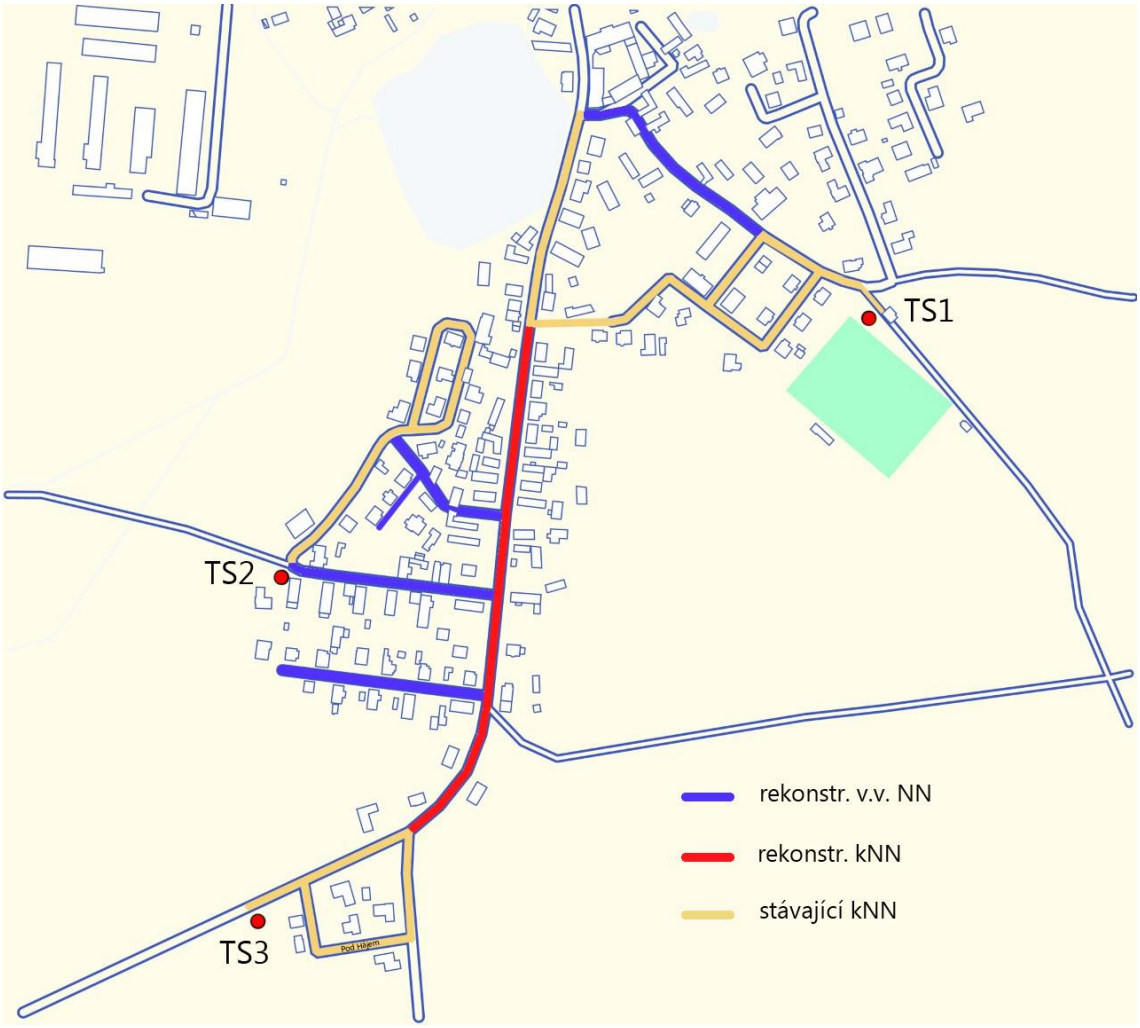
Ve všech variantách zůstává stávající kabelové vedení zachováno z důvodu jeho stáří. Není nutné současný stav měnit, vedení nevykazuje v současné době žádné nedostatky. Toto vedení je schopno přenášet dostatečný výkon.

Ve všech variantách dojde k výměně transformátorů v TS1 a TS3. Transformátor v TS1 bude nahrazen transformátorem o výkonu 630 kVA, v TS2 zůstává původní transformátor a v TS3 bude výkon instalovaného transformátoru 400 kVA.

4.1. Varianta 1 – kombinovaná

Varianta 1 je provedena jako kombinované vedení, tedy část vedení je realizována venkovním vedením a část je realizována kabelovým vedením.

V této variantě by došlo v severní části (TS1) k rekonstrukci v.v. NN opět jako v.v. NN. Ve střední části by bylo vedení z TS2 vyvedeno opět jako v.v. NN a stejně tak by byly vedeny okolní ulice. Vedení v hlavní ulici by pak bylo přestavěno na kabelové. Tím je získána vyšší spolehlivost a možnost zálohování přenosu elektrické energie z jednotlivých transformačních stanic v případě jejich vypnutí, což je v takovém místě velmi žádané.

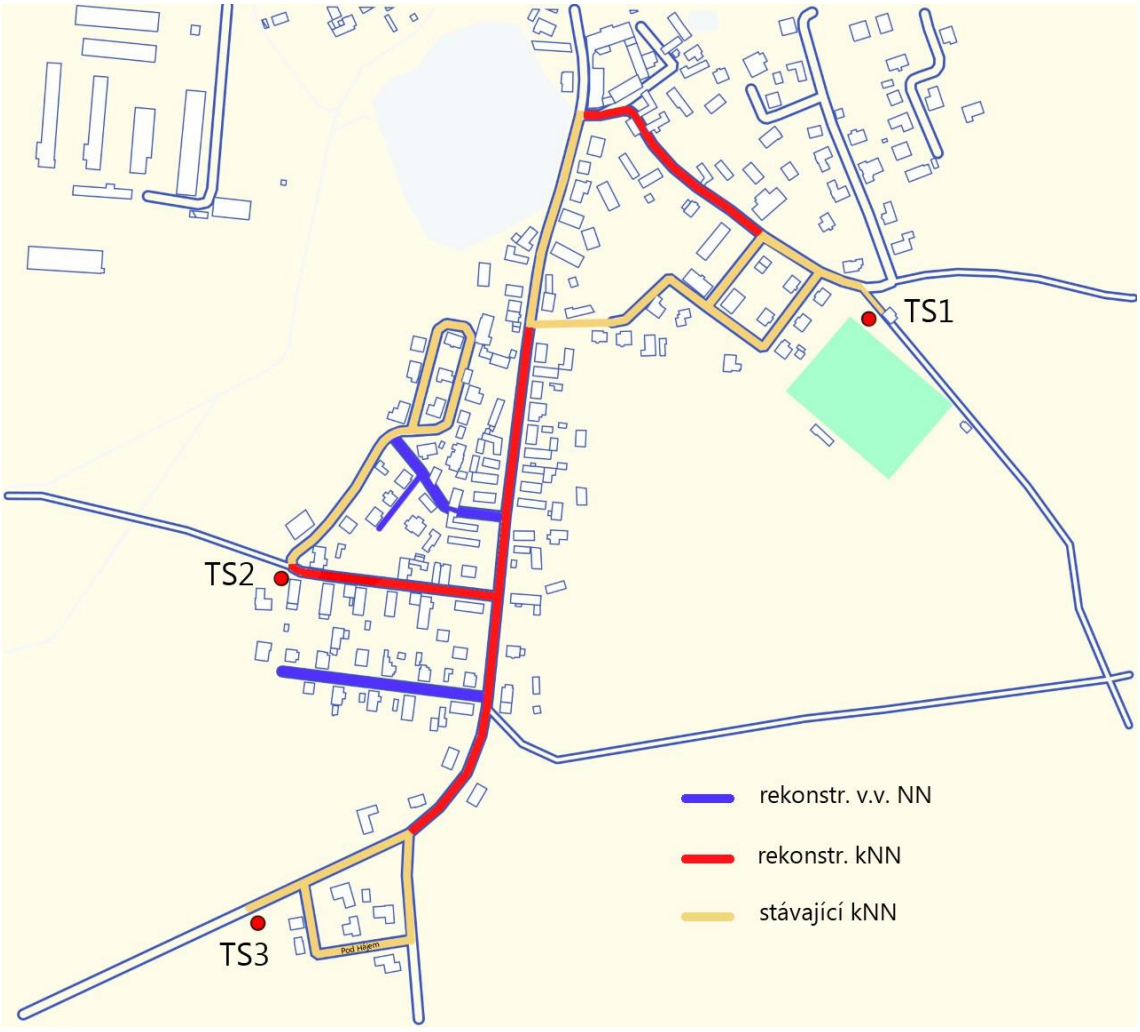


Obrázek 2 - Varianta rekonstrukce 1

4.2. Varianta 2 – kombinovaná

Varianta 2 je také provedena kombinovaným způsobem. V severní části by však došlo k nahrazení v.v. NN za kabelové. Vedení vyvedené z TS1 by tak bylo provedeno kompletně kabelově.

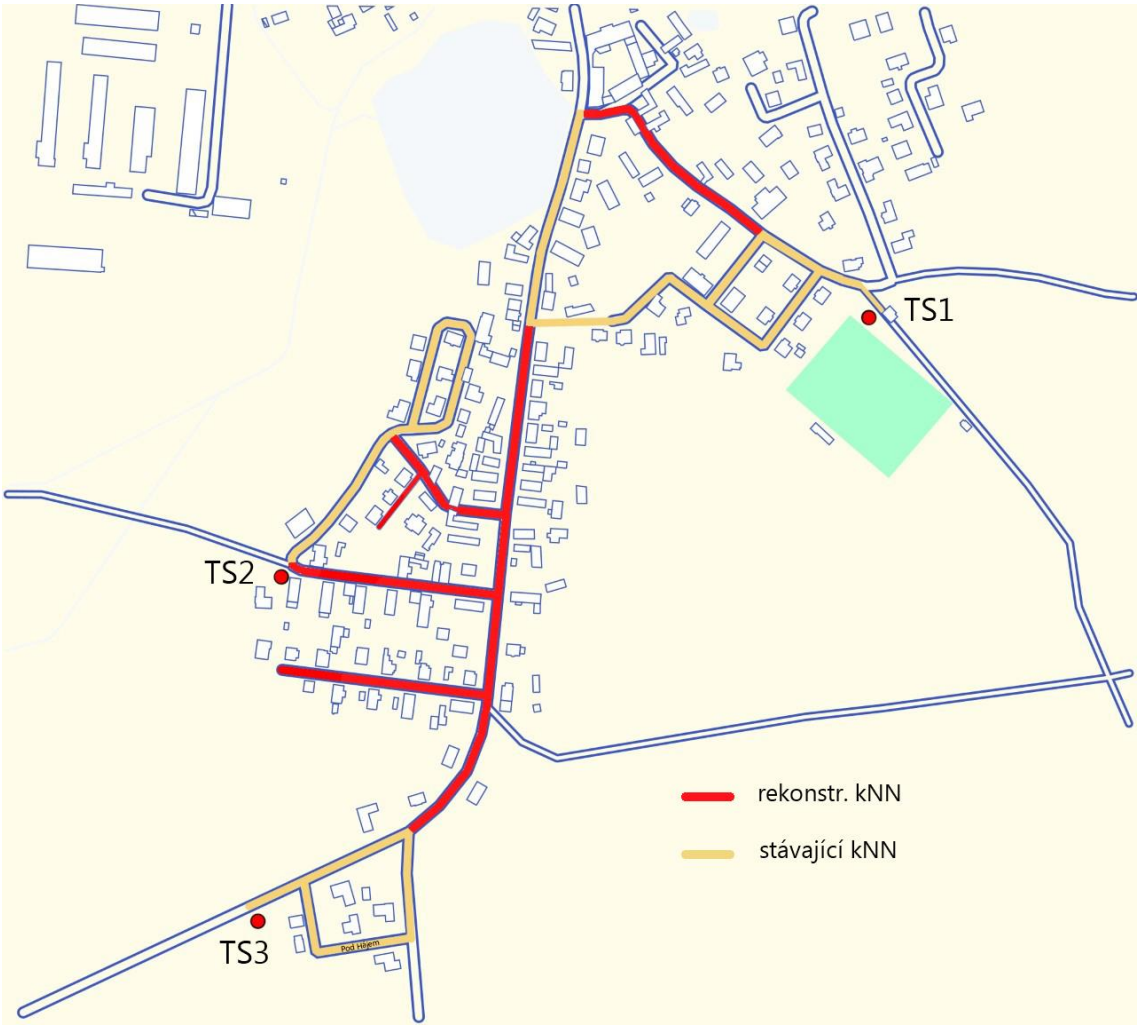
Další změna oproti variantě 1 je skutečnost, že by síť byla z TS2 vyvedena místo v.v. NN kabelem. To zaručuje vyšší spolehlivost dodávek elektrické energie, což je v případě vývodu z TS stěžejní. Obě paralelní ulice by pak byly i nadále rekonstruovány jako venkovní vedení.



Obrázek 3 - Varianta rekonstrukce 2

4.3. Varianta 3 – kabelová

Ve variantě 3 už nenavrhuji vedení smíšené, nýbrž pouze vedení kabelové. Kompletní síť v této lokalitě by pak byla rekonstruována pomocí kabelového vedení uloženého v zemi. Mohu říct, že zde je velmi vysoká spolehlivost, stejně tak je ale nejvyšší vstupní investice na rekonstrukci.

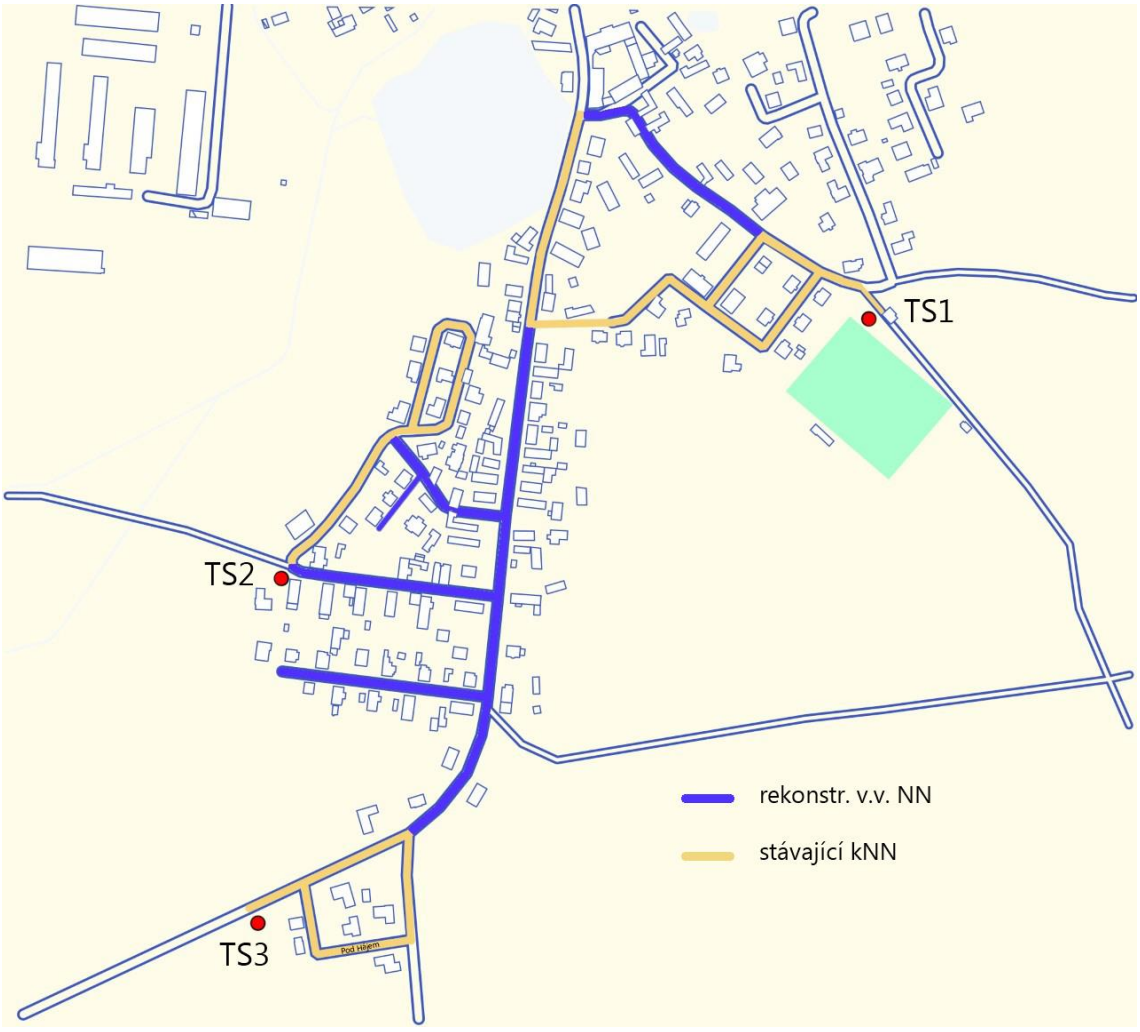


Obrázek 4 - Varianta rekonstrukce 3

4.4. Varianta 4 – venkovní

Nakonec pak navrhuji ještě čtvrtou variantu. Existuje totiž možnost rekonstruovat stávající vedení pouze pomocí venkovního vedení. To dovoluje i stavební zákon, ten totiž říká, že vedení již postavené je možné rekonstruovat opět jako venkovní. Síť by pak byla provedena stávajícím kabelovým vedením a nově zrekonstruovaným venkovním vedením.

Tato varianta by byla bezesporu nejméně nákladná na rekonstrukci, zároveň by byla nejméně spolehlivá.



Obrázek 5 - Varianta rekonstrukce 4

4.5. Porovnání

Venkovní vedení umístěné pomocí střešníků a konzolí (podpěrné body vedení) na rodinných domech velmi často poškozuje fasádu a stabilitu zdí. Zdi jsou totiž neúměrně zatěžovány jedním směrem, kde síla působící na podpěrný bod je při nepříznivých klimatických podmínkách navíc rostoucí. To je první důvod, proč je kabelové vedení z hlediska statiky rodinných domů výhodnější než venkovní.

Dalším důvodem je možnost pádu stromu či jiných objektů na vedení, možnost autonehody v podobě nárazu do sloupu v.v. NN, případně úder blesku a povětrnostní podmínky. To jsou všechno faktory ohrožující spolehlivost vedení.

Všechny tyto nevýhody kNN smývá, z hlediska spolehlivosti je tedy mnohem lepším způsobem, jak vést elektrickou energii. Zároveň zaručuje menší ztráty ve vedení. Způsob poškození tohoto vedení je pak mnohem složitější. Jako možnosti poškození uvedu stáří, překopnutí kabelů během případných staveb v okolí a případné poškození izolace. U tohoto vedení je možné poškodit jistící skříň s pilířem, například vandalismem nebo autonehodou, vše ostatní je umístěno pod zemí.

Další rozhodovací kritéria jsou investice spolu s náklady na provoz a na ztráty na vedení. Kabelové vedení je oproti venkovnímu dražší. V této lokalitě však nepřipadá v úvahu kompletně venkovní rekonstrukce, proto budu spíše uvažovat o kombinaci obou výše zmíněných.

Z důvodů rozvoje (navýšení odběrů elektrické energie v budoucnosti) je rekonstrukce pouze venkovním vedením neefektivní z důvodu malých přenosových schopností závěsných kabelů. V hlavních trasách by musely být zavěšeny alespoň dva a více kabelů na podpěrné body, proto zamítám variantu číslo 4. Stejně tak zamítám variantu číslo 1. Vedení vycházející z transformační stanice by mělo být, pokud možno, nejspolehlivější. Zároveň je zde nutnost dostatečně dimenzovat průřez vodičů, přenášený výkon bude v tomto místě největší. Taková situace je zohledněna ve variantě 2, proto si myslím, že tato varianta je správným zástupcem kombinovaného řešení rekonstrukce. Jako druhou možnost rekonstrukce volím variantu 3, kompletní kabelové vedení. Variantu předpokládám jako nejdražší, avšak nejmodernější a nejspolehlivější.

O dalším porovnání a výběru finální varianty rozhodne propočítání v budoucích kapitolách.

5. Parametry navržených variant rekonstrukce

Během vypracovávání této práce a pro správné provedení návrhu jsem se musel naučit pracovat s dvěma programy běžně používanými v mnou navštěvované firmě.

Prvním z nich je MicroStation, program od firmy Benteley Systems. Jedná se o program CADového typu používaný pro kreslení veškeré projektantské práce. Mimo jiné jsem zde nakreslil veškerá schémata a získal délky jednotlivých částí vedení. V příloze přikládám schémata odběru pro kombinovanou i kabelovou síť.

Vzhledem k tomu, že celá oblast je pokryta rodinnými domy, všechny odběry jsou stejného charakteru. Díky tomu jsem mohl provést zjednodušení a některé odběry blízko sebe jsem spojil do jednoho. Na výsledné výpočty má tento krok minimální dopad. Zároveň je potřeba zmínit, že vzdálenosti jsou orientační, pro získání přesných délek bych potřeboval celou řadu informací mně nedostupných. Mezi nimi například rozmístění plynovodů a dalších jiných vedení, v Brdských lesích se totiž nachází vojenské prostory, nevylučuji proto přítomnost vojenských informačních vedení. Pro potřeby tohoto návrhu je to však dostačující, rozdíly délek by byly nevelké a nedošlo by tak k výrazné změně úbytků napětí a ztrát na vedení.

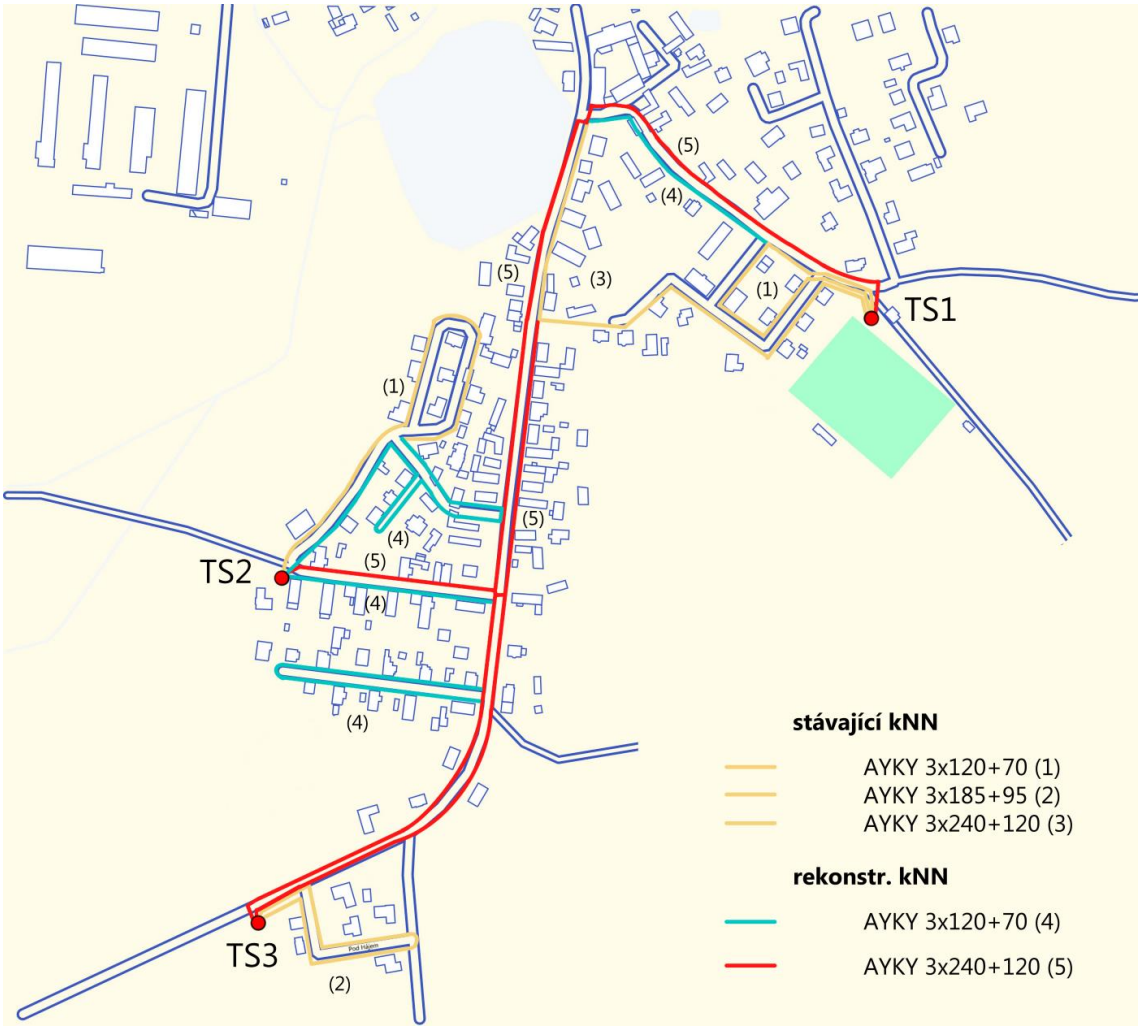
Druhým programem je pak výpočtový program Sichr. Díky znalosti odběrů a vzdáleností odběrných míst z programu MicroStation jsem mohl provádět výpočty a simulace v Sichru. Při zadání požadovaného vodiče, příslušných délek a odběrů program automaticky vyhodnotí úbytky napětí na jednotlivých odběrných místech. Zároveň pak program hlídá, aby nedošlo k poddimenzování vedení, v takovém případě totiž červeným písmem oznámí nedostatečné I_{dov} vodiče. To stejné platí i pro správnou volbu pojistek, to však není předmětem této práce, a proto jsem si vždy nechal správné pojistky poradit od proškoleného zaměstnance firmy. Program má spoustu dalších funkcí, ty však pro moji práci nejsou podstatné.

Tímto způsobem jsem tedy vytvořil všechny impedanční smyčky paprskové sítě. Paprsková síť je používána proto, protože je poměrně jednoduché nalézt místo, kde se nachází na vedení chyba. Zároveň se na vedení nachází rozpojovací skříně a na čas oprav a rekonstrukcí lze vedení přepojovat a paprsky měnit. Minimalizujeme tak dobu výpadku. Mimo výše zmíněných program udává i ztrátový výkon na vedení ΔP, to využiji pro vyčíslení nákladů na ztráty při provozu sítě.

Ukázky některých výstupů z tohoto programu přikládám jako přílohu.

5.1. Parametry kabelové sítě

Jako první variantu jsem zvolil rekonstrukci do kabelového vedení.



Obrázek 6 - Zákres kabelové sítě

V severní části v oblasti napájení z TS1 navrhuji rekonstruovat staré venkovní vedení a nahradit ho kabelovým vedením. Přenos elektrické energie bude zajištěn vodičem AYKY 3x240+120. Získám tak možnost v případě poruchy v severní části zapojit vedení do kruhu a eliminovat čas vypnutí sítě na minimum.

Z TS2 navrhuji vyvést severním směrem druhý kabel AYKY 3x120+70, ten bude napájet nejsevernější ze 3 rovnoběžných ulic. Druhý rekonstruovaný vodič vyvedený z TS2 navrhuji kabel AYKY 3x240+120. Ten bude napájet severní stranu prostřední ulice a na hlavní ulici se stočí vlevo, tedy opět na sever, kde se napojí na stávající vedení. Jako třetí vodič jsem zvolil AYKY 3x120+70 a bude napájet jižní stranu této ulice.

Z TS3 zůstává vyveden kabel AYKY 3x185+90 napájející zástavbu v ulici Pod Hájem. Nově by z ní však místo venkovního vedení vedly dva kabely AYKY 3x240+120. První vede po levé straně hlavní silnice a tu i napájí. U prostřední rovnoběžné ulice se setkává s novým kabelem z předchozího bodu. Na tomto kabelu je také provedena odbočka do nejjižnější z rovnoběžných ulic. Zde navrhuji uložení kabelu AYKY 3x120+70 po obou stranách ulice. Druhý kabel AYKY 3x240+120 pak vede po pravé straně ulice a napájí téměř celou hlavní ulici, na severu se opět setkává s původním vedením.

5.1.1. Ztráty v kabelovém provedení

V nápovědě programu Sichr se lze dočíst, že ztráty program počítá při oteplení kabelu na 45 °C. To provádí, protože očekává, že jednotlivými segmenty vedení může krátkodobě téct vyšší proud než můj výpočtový, tedy maximální soudobý. Simulační program proto uvádí ztráty nepatrně vyšší, než v případě použití odporu při 20 °C, tedy R_{DC20}. Zároveň je nutné uvést, že se jedná o ztráty při maximálním soudobém výkonu. Pro ekonomické zhodnocení nákladů na ztráty v další kapitole určím dobu plných ztrát, tato část slouží k seznámení se s hodnotami.

Nejdříve porovnám hodnoty ztrát získané ručním výpočtem a hodnoty udávané programem. Ze simulačního programu odečtu proud tekoucí v jednotlivých smyčkách v ulici Pod Hájem a vypočtu ztráty, tyto vypočtené ztráty pak srovnám s hodnotami, které uvádí Sichr. Pro výpočet ztrát využiji vzorec (1), ten je třeba vynásobit 3x, protože používám třífázovou síť. Navíc znám hodnotu odporu vedení udávanou na 1 kilometr, musím proto odpor vynásobit délkou vodiče.

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2 = 3 \cdot 0{,}16735 \cdot 0{,}056 \cdot 49{,}2^2 = 68{,}1\ \text{W} \tag{8}$$

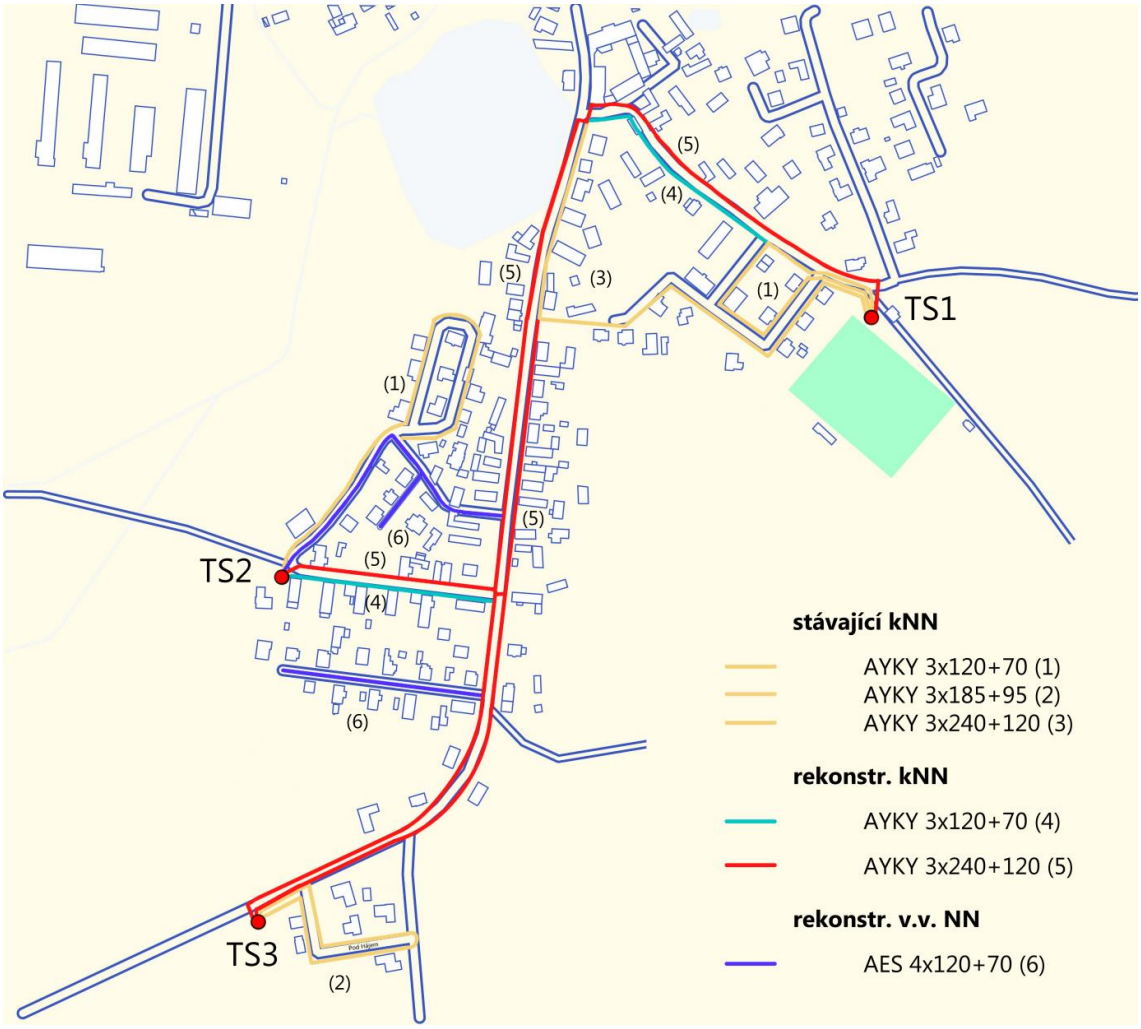
Analogický výpočet provedu pro všechny 4 segmenty a ty následně sečtu. Ztráty jsou v této ulici vypočteny na 222,8 W. Oproti tomu program uvádí ztráty ve velikosti 244,8 W. Rozdíl je nepatrný, proto pro všechny další výpočty a úvahy použiji hodnoty vypočtené simulačním programem.

Vyčetl jsem tedy z programu hodnoty pro všechny úseky vedení. Část vedení napájená z TS1 má ztráty vyčíslené na 4 367 W, část vedení napájená z TS2 10 481 W a část vedení napájená TS3 bude mít ztráty 11 092 W. Celkem tedy maximální soudobé ztráty na vedení v kabelové variantě dosahují hodnoty 25 940 W. Pro mé účely je samozřejmě vhodné uvádět hodnotu v kW, ztráty na vedení tedy dosahují 25,94 kW.

Nyní je vhodné porovnat uvedené ztráty na vedení s maximálním soudobým výkonem, ten jsem v kapitole 0 stanovil na 986 kW. Ztráty tak tvoří 2,63 % z odebíraného výkonu.

5.2. Parametry kombinované sítě

Jako druhou variantu jsem zvolil rekonstrukci do kombinovaného vedení. V tomto případě dojde ke dvěma změnám oproti předchozí variantě.



Obrázek 7 - Zákres kombinované sítě

Severní oblast připadající TS1 navrhuji stejně jako v případě kabelové rekonstrukce.

V oblasti TS2 dojde ke změně. Místo původně navrhovaného kabelu AYKY 3x120+70 vedoucího na sever navrhuji použít vodič AES 4x120. Tento vodič by tak napájel severní rovnoběžnou ulici. Ostatní vodiče jsou shodné s předchozí variantou. Tedy opět použiji kabel AYKY 3x240+120 pro napájení severní strany prostřední ulice a AYKY 3x120+70 pro napájení jižní.

V oblasti TS3 nenavrhuji změnit dva vyvedené kabely AYKY 3x240+120. Pro zmíněnou odbočku do jižní rovnoběžné ulice však navrhuji místo kabelu AYKY 3x120+70 použít izolovaný vodič AES 4x120.

5.2.1. Ztráty v kombinovaném provedení

Stejně jako v předchozí variantě pro určení ztrát na vedení použiji simulační program.

Vyčetl jsem tedy z programu hodnoty pro všechny jednotlivé úseky vedení. Část vedení napájená z TS1 má ztráty vyčíslené na 4 367 W, zde nedochází k žádné změně oproti kabelové variantě, nemění se proto ani ztráty. Část vedení napájená z TS2 9 699 W a část napájená z vedení TS3 bude mít ztráty 11 522 W. Celkem tedy maximální soudobé ztráty na vedení v kabelové variantě dosahují hodnoty 25 588 W, resp. 25,59 kW. Stejně jako v předchozím bodě při porovnání s maximálním soudobým výkonem získám procentní podíl ztrát. V tomto případě se jedná o 2,6 % z odebíraného výkonu.

Ztráty na kombinovaném provedení jsou nižší než v kabelovém. Obecně bych očekával opačný výstup. Skutečně se tímto předpokládaným způsobem chová vedení v jižní ulici. Stejná zátěž spojená ze dvou kabelů do jednoho venkovního vodiče způsobí zvýšení ztrát. V severní ulici však dojde v mém případě ke snížení ztrát, a to vlivem změny konfigurace vedení. Tato situace může nastat z důvodu, že kabely AES 4x120 mají stejný odpor vodičů jako vodiče v kabelech AYKY 3x120+70. Pokud bych pro projekt použil holé vodiče AlFe, tato situace by pravděpodobně nenastala.

6. Ekonomické vyhodnocení variant

V předchozích kapitolách jsem navrhl a popsal jednotlivé možnosti rekonstrukce. Takové návrhy jsou stěžejní pro další výběr projektu. Ze 4 představených variant jsou vybral 2, které dávají smysl a následně jsem tento výběr obhájil. V této kapitole porovnám právě ty 2 zvolené z ekonomického pohledu. Nakonec pak provedu výsledné zhodnocení mnou představených návrhů, to rozhodne, jakou variantu bych doporučil k výstavbě.

Varianty budu hodnotit podle kritéria NPV, resp. ročních ekvivalentních hotovostních toků s tím, že do výpočtu budou zahrnuty položky investic, provozních nákladů, nákladů na ztráty a pokusím se ocenit nedodanou energii.

Kritérium NPV, net present value, je ekonomický ukazatel, který sčítá diskontované hotovostní toky za dobu životnosti do současnosti. [13, 14]

$$NPV = \sum_{t=0}^{T} CF_t(1+r)^{-t} \tag{9}$$

kde:

CF_t... jednotlivé roční hotovostní toky

r… diskont

t… zkoumaný rok

T… doba životnosti investice

Vzhledem k rozdílné době životnosti transformátorů a ostatních částí rekonstrukce je vhodné použít ukazatel RCF, roční ekvivalentní peněžní tok, ten vychází z kritéria NPV a zohledňuje právě rozdílnou životnost. Pomocí anuitního faktoru dojde k rovnoměrnému rozdělení diskontovaných peněžních toků do jednotlivých roků [13]. V práci budu uvažovat pouze náklady, proto si mohu dovolit uvádět RCF kladné. V takovém případě je ekonomicky vhodnější ta varianta, která bude mít RCF nižší – bude levnější.

$$RCF = a \cdot NPV = \frac{q^T \cdot (q-1)}{q^T - 1} \cdot \sum_{t=0}^{T} CF_t(1+r)^{-t} \tag{10}$$

kde:

a… anuitní faktor

q… $1+r$

Jako diskont zvolím hodnotu WACC, weighted average cost of capital, v překladu průměrné náklady kapitálu, jedná se o míru výnosnosti uváděnou v Zásadách cenové regulace ERU. Pro roky 2021–2025 je tato hodnota určena na 6,54 % [14, 15].

6.1. Hodnota investice

Vstupní investice je prvotní faktor, na základě výše investice se může společnost rozhodovat, kterou z variant rekonstrukce provede. Na toto tvrzení mohu myšlenku zjednodušit, protože udávaná životnost venkovních kabelů AES a kabelů AYKY je shodná.

Rozpočet jsem vytvořil v programu KROS plus, jedná se o nadstavbu programu KROS 4, kterou používají společnosti projektující právě pro společnost ČEZd. Například společnost PREdi používá pro svou práci základní verzi KROS 4. Vzhledem k tomu, že mnou navštěvovaná projekční kancelář projektuje distribuční síť převážně pro ČEZd, použití této verze programu je nasnadě.

Seznámit se s jednotlivými položkami rozpočtu je pro potřeby bakalářské práce téměř nemožné. Proto jsem právě tuto část provedl ve spolupráci s kvalifikovaným zaměstnancem projekční kanceláře. Samotný rozpočet je složen z mnoha položek, pro tuto práci jsou podstatné pouze výsledné ceny jednotlivých projektů.

Hodí se však uvést výčet nejdůležitějších složek těchto rozpočtů. Součástí je demontáž stávajícího vedení a transformátorů, cena nových transformátorů, cena za provedené výkopy či umístěné sloupy a jejich základy, samotné kabely, přípojkové skříně, a v neposlední řadě všechny položky potřebné pro ukotvení a správnost funkce vedení.

Životnost kabelů AYKY i AES je uvedena na 40 let [4, 8]. Transformátory mají životnost uvedenou na 35 let [16]. Při propočtech budu proto uvažovat samostatné transformátory s příslušnou životností, ostatní náklady s životností 40 let. Pro tuto úvahu předpokládám nutnost provést případné pracovní akce spolu s výměnou vedení a jeho součástí.

6.1.1. Kabelová varianta

Všechny jednotkové ceny jsou odečteny z ceníku materiálu firmy ČEZ Distribuce. [17]

Dojde k výměně dvou transformátorů. Dojde k pořízení transformátoru 630 kVA 22/0,4 kV s jednotkovou cenou 639 137,02 Kč a transformátoru 400 kVA 22/0,4 kV s jednotkovou cenou 490 974,90 Kč. Celkem tak dojde k pořízení transformátorů za 1 130 112 Kč.

Tabulka 10 - Cena transformátorů

Popis	Množství	MJ	Cena jednotková	Cena celková
Transformátory				
TRANSFORMÁTOR 630 kVA 22/0,4 kV	1,000	KS	639 137,02	639 137,02
TRANSFORMÁTOR 400 kVA 22/0,4 kV	1,000	KS	490 974,98	490 974,98
Silová trafa celkem:				1 130 112,00

Vzhledem k povaze práce je z výdajů vhodné zvýraznit ceny použitých kabelů. Abych mohl stanovit ceny, je potřeba znát délky kabelů a jednotkové ceny. V tomto případě jednotková cena znamená cenu za 1 metr kabelu. Kabel AYKY 3x240+120 bude potřeba pořídit v celkové délce 1857 metrů a v jednotkové ceně 491,6 Kč. Celková cena pak vyjde na 912 901,2 Kč. Kabel AYKY 3x120+70 bude potřeba pořídit v délce 1230 metrů s jednotkovou cenou 288,67 Kč. Celková cena bude 355 064,1 Kč.

Tabulka 11 - Cena kabelů v kabelové variantě

Popis	Množství	MJ	Cena jednotková	Cena celková
Kabely				
KABEL 1-AYKY-J 3X120+70MM2	1230	M	288,67	355 064,1
KABEL 1-AYKY-J 3X240+120MM2	1857	M	491,60	912 901,2

Na následující stránce uvádím rozpočet celého projektu se všemi vypsanými položkami, částky jsou uváděné v tisících korun. Tento výsledný rozpočet je složen z několika částí. Nejdříve I. Projektové a průzkumné práce, poté II. + III. Provozní soubory a stavební objekty, dále VII. Ostatní náklady a nakonec IX. Jiné investice. Výsledná cena za I. je dána cenou projektu, počtem odběratelů a počtem smluv. Část II. + III. má cenu složenou právě z ceny za práci a materiál. V části s označením VII. se nalézají například náklady na revize, zábory, dopravní značení, dopravu a skládkovné. Nakonec poslední část IX. je automaticky dopočtena na základě vložených údajů, jedná se o vysoutěžené ceny společnosti ČEZd. Nachází se v ní například věcná břemena, geodetická zaměření a vytýčení, vypínání, a nakonec dokumentace skutečného provedeni stavby (DSPS).

Celková cena za stavebně montážní činnost je 12 339 000 Kč, celkové náklady stavby jsou 15 305 800 Kč. V praxi by v tuto chvíli vypsala společnost ČEZd soutěž o tento projekt za nižší ze zmíněných hodnot, vítězem by se pak stala společnost s nabídkou nejnižší ceny.

RCF pro pořízené transformátory je:

$$RCF_{transf} = \frac{1{,}0654^{35} \cdot (0{,}0654)}{1{,}0654^{35} - 1} \cdot 1\,130\,112 = 82\,942{,}32 \text{ Kč} \tag{11}$$

RCF ostatních nákladů stavby:

$$RCF_{proj} = \frac{1{,}0654^{40} \cdot (0{,}0654)}{1{,}0654^{40} - 1} \cdot 14\,175\,688 = 1\,006\,984{,}13 \text{ Kč} \tag{12}$$

Celkové RCF projektu rekonstrukce v kabelové variantě:

$$RCF_{kabelová} = RCF_{transf} + RCF_{proj} = 82\,942{,}32 + 1\,006\,984{,}13 = 1\,089\,926{,}46 \text{ Kč} \tag{13}$$

Tabulka 12 - Detailní rozpočet kabelové varianty

REKAPITULACE NÁKLADŮ stavby v tisících Kč	verze 43.00	
Označení (název) stavby dle zadávacího návrhu	Obořiště - kabelová síť	
Číslo definice projektu dle zadávacího návrhu	JH-BP-OBOR	
Verze NZ, Datum:	00218	15.02.2023
Okres:	Příbram	
Počet SOBS VB majitelé / spolumajitelé	51	15
Počet dohod o omezení v užívání		
Počet LV v ks	51	
I. Projektové a průzkumné práce	1 239,7	
Cena PD	950,0	
Administrace SOBS VB a dohod o omezení	112,5	
Geodetické práce při zpracování PD	150,0	
Správní poplatky včetně ostatních nákladů	2,0	
Zajištění BOZP v rámci PD	25,2	
Geologický průzkum		

	Sečtená hodnota	Upraveno vzorcem
II.+III. Provozní soubory a stavební objekty	10 414,5	10 414,5
Investiční dodávky (SaZ + trafa)		0,0
Materiály dodávané DSO (mimo SaZ a traf)		0,0
Materiály dodávané zhotovitelem	4 735,6	4 735,6
Práce	5 678,9	5 678,9
Materiály rozpočtované mimo KROS (viz. rek.obj.)		0,0
Práce rozpočtované mimo KROS (viz. rek.obj.)		0,0
VII. Ostatní náklady	1 549,7	1 556,4
Vytýčení podzemních zařízení	312,4	312,4
Doprava výkonového materiálu,odvoz zeminy	364,5	371,5
Revize	151,7	151,7
Zábory	130,5	130,5
Skládkovné	260,4	260,4
Ekonomické újmy na plodinách		0,0
Koordinační činnost zhotovitele	208,5	208,3
Archeologický dohled	6,6	6,6
Dopravní značení	115,0	115,0
Hutnící zkoušky		0,0
Další náklady zhotovitele (viz.rekapitulace objektů)		0,0
IX. Jiné investice	2 071,8	2 095,2
Inženýrink DSO	729,2	729,2
Manipulace,vypínání,diagnostika a činnost ČDS (s použitím metody PPN nebo bez)	248,3	271,9
Koordinátor BOZP	138,7	138,5
Pronájem záložních zdrojů a mobilních TS		0,0
Jednorázové náhr. za omezení užívání		0,0
Geometrické plány pro dohody o omezení		0,0
Věcná břemena celkem	587,6	587,6
Věcná břemena vklady	287,6	287,6
Věcná břemena náhrady	114,0	114,0
Geometrické plány pro VB	186,0	186,0
Geodetické vytýčení před. zaháj. stavby	124,0	124,0
Geodetické zaměření skutečného stavu	186,0	186,0
Zajištění kupní smlouvy pozemku TR vč. zápisu do KN		0,0
Geometrické plány pro účel odkupu pozemku		0,0
Kupní cena pozemku		0,0
Další náklady DSO (viz.rekapitulace objektů)		0,0
Dokumentace skutečného provedeni stavby (DSPS)	58,0	58,0
Stavebně montážní činnost	12 332,2	12 339,0
Celkové náklady stavby	15 275,6	15 305,8

6.1.2. Kombinovaná varianta

I v této variantě dojde k výměně dvou transformátorů, jejich cena je shodná s cenou v předchozí variantě. Dojde tedy i zde k pořízení transformátoru 630 kVA 22/0,4 kV s jednotkovou cenou 639 137,02 Kč a transformátoru 400 kVA 22/0,4 kV s jednotkovou cenou 490 974,90 Kč. Celkem tak dojde k pořízení transformátorů za 1 130 112 Kč.

V kombinované variantě také zvýrazním použité kabely. Jednotková cena kabelu AYKY 3x240+120 zůstává na hodnotě 491,6 Kč a bude potřeba ho pořídit v celkové délce 1857 metrů. Celková cena pak vyjde na 912 901,2 Kč. Kabel AYKY 3x120+70 bude tentokrát potřeba pořídit v délce 366 metrů s jednotkovou cenou 288,67 Kč. Celková cena bude 105 653,22 Kč. Dále je v této variantě potřeba pořídit kabely AES 4x120 v délce 524 metrů při jednotkové ceně 290,27 Kč. Celkově za kabely AES firma zaplatí 152 101,48 Kč.

Dále je oproti předchozí variantě potřeba pořídit betonové sloupy pro zavěšení kabelů AES. Sloupy jsou označovány pomocí 3 čísel, první značí výšku sloupu, druhé značí maximální vrcholový tah v kN a třetí znamená průměr sloupu v milimetrech. V tomto případě navrhuji použít sloupy vysoké 9 metrů s maximálním vrcholovým tahem 3 kN a 10 kN. Jednotková cena betonového sloupu J 9/3/180 je 14 141,71 Kč, bude jich potřeba 10, celková cena těchto sloupů bude 141 417,1 Kč. Dále bude potřeba pořídit 12 betonových sloupů J 9/10/220 v jednotkové ceně 18 152,29 Kč. Celkem za ně firma zaplatí 217 827,48 Kč.

Tabulka 13 - Cena kabelů v kombinované variantě

Popis	Množství	MJ	Cena jednotková	Cena celková
Kabely				
KABEL 1-AYKY-J 3X120+70MM2	366	M	288,67	105 653,22
KABEL 1-AYKY-J 3X240+120MM2	1857	M	491,60	912 901,2
KABEL AES 4X120 MM2	524	M	290,27	152 010,48

Tabulka 14 - Cena sloupů v kombinované variantě

Popis	Množství	MJ	Cena jednotková	Cena celková
Sloupy				
SLOUP BETON. J 9/3/180	10	KS	14 141,71	141 417,1
SLOUP BETON. J 9/10/220	12	KS	18 152,29	217 827,48

Je potřeba opět uvést celkovou cenu za stavebně montážní činnost. Ta je 11 483 800 Kč a celkové náklady stavby jsou 14 409 700 Kč.

Stejně jako v předchozí variantě je nyní na místě uvést RCF jednotlivých složek, a nakonec pak celkovou hodnotu RCF této varianty rekonstrukce.

RCF pro pořízené transformátory je:

$$RCF_{transf} = \frac{1{,}0654^{35} \cdot (0{,}0654)}{1{,}0654^{35} - 1} \cdot 1\,130\,112 = 82\,942{,}32 \text{ Kč} \quad (14)$$

RCF ostatních nákladů stavby:

$$RCF_{proj} = \frac{1{,}0654^{40} \cdot (0{,}0654)}{1{,}0654^{40} - 1} \cdot 13\,279\,588 = 943\,328{,}78 \text{ Kč} \quad (15)$$

Celkové RCF projektu rekonstrukce v kabelové variantě:

$$RCF_{kombinovaná} = RCF_{transf} + RCF_{proj} = \\ = 82\,942{,}32 + 943\,328{,}78 = 1\,026\,271{,}1 \text{ Kč} \quad (16)$$

V porovnání s předchozí variantou vidím, že investice do rekonstrukce je v tomto případě nižší, stejně tak hodnota nižší i hodnota RCF.

Detailní rozpočet uvádím na další straně, tentokrát bez hlavičky.

Tabulka 15 - Detailní rozpočet kombinované varianty

Okres:	Příbram	
Počet SOBS VB majitelé / spolumajitelé	44	15
Počet dohod o omezení v užívání		
Počet LV v ks	44	
I. Projektové a průzkumné práce	1 225,7	
Cena PD	950,0	
Administrace SOBS VB a dohod o omezení	98,5	
Geodetické práce při zpracování PD	150,0	
Správní poplatky včetně ostatních nákladů	2,0	
Zajištění BOZP v rámci PD	25,2	
Geologický průzkum		

	Sečtená hodnota	Upraveno vzorcem
II.+III. Provozní soubory a stavební objekty	9 754,1	9 754,1
Investiční dodávky (SaZ + trafa)		0,0
Materiály dodávané DSO (mimo SaZ a traf)		0,0
Materiály dodávané zhotovitelem	4 562,3	4 562,3
Práce	5 191,8	5 191,8
Materiály rozpočtované mimo KROS (viz. rek.obj.)		0,0
Práce rozpočtované mimo KROS (viz. rek.obj.)		0,0
VII. Ostatní náklady	1 446,0	1 452,7
Vytýčení podzemních zařízení	292,6	292,6
Doprava výkonového materiálu,odvoz zeminy	341,4	348,4
Revize	152,1	152,1
Zábory	100,4	100,4
Skládkovné	243,9	243,9
Ekonomické újmy na plodinách		0,0
Koordinační činnost zhotovitele	195,3	195,1
Archeologický dohled	18,3	18,3
Dopravní značení	102,0	102,0
Hutnící zkoušky		0,0
Další náklady zhotovitele (viz.rekapitulace objektů)		0,0
IX. Jiné investice	1 838,0	1 977,2
Inženýrink DSO	683,1	683,1
Manipulace,vypínání,diagnostika a činnost ČDS (s použitím metody PPN nebo bez)	230,7	256,1
Koordinátor BOZP	130,0	243,9
Pronájem záložních zdrojů a mobilních TS		0,0
Jednorázové náhr. za omezení užívání		0,0
Geometrické plány pro dohody o omezení		0,0
Věcná břemena celkem	517,2	517,2
Věcná břemena vklady	252,2	252,2
Věcná břemena náhrady	103,0	103,0
Geometrické plány pro VB	162,0	162,0
Geodetické vytýčení před. zaháj. stavby	103,0	103,0
Geodetické zaměření skutečného stavu	162,0	162,0
Zajištění kupní smlouvy pozemku TR vč. zápisu do KN		0,0
Geometrické plány pro účel odkupu pozemku		0,0
Kupní cena pozemku		0,0
Další náklady DSO (viz.rekapitulace objektů)		0,0
Dokumentace skutečného provedeni stavby (DSPS)	12,0	12,0
Stavebně montážní činnost	11 477,0	11 483,8
Celkové náklady stavby	14 263,7	14 409,7

6.2. Provozní náklady

Stálé roční provozní náklady jsou náklady na obsluhu, revize, údržbu a opravy.

Pro kabelovou variantu předpokládám, že stále roční provozní náklady budou 0,5 % z ceny rekonstrukce.

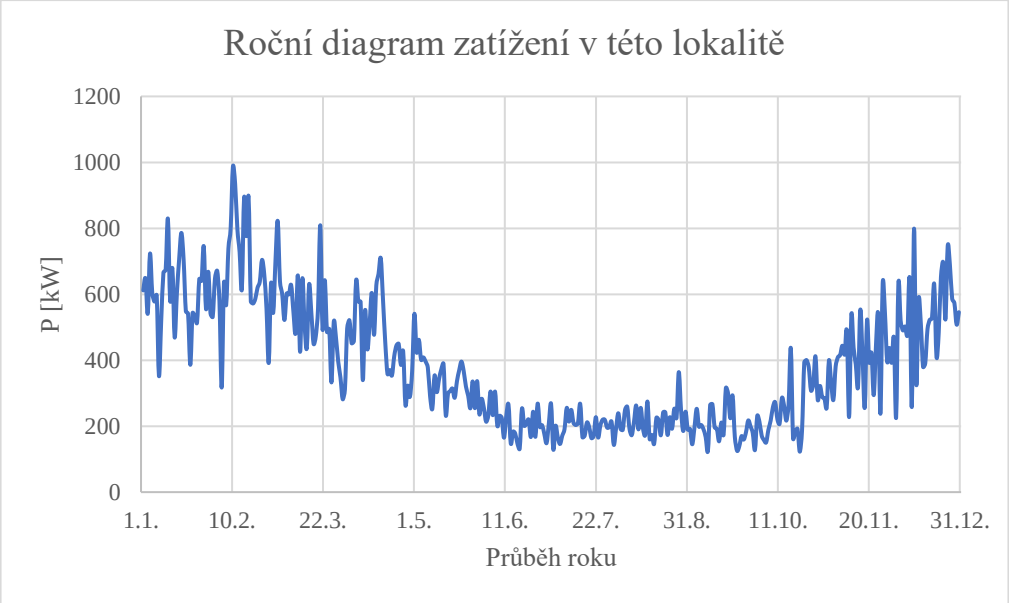
$$CF_{\text{údržba}_{kabelová}} = 0{,}005 * 15\,305\,800 = 76\,529 \text{ Kč} \quad (17)$$

Kombinovaná varianta je nákladnější na údržbu, protože je mnohem náchylnější k poškození. Podrobněji jsem úvahu o možnostech poškození venkovního vedení probral v kapitole 4.5., proto pro kombinovanou variantu počítám s náklady zvýšenými na 1 % z ceny rekonstrukce.

$$CF_{\text{údržba}_{kombinovaná}} = 0{,}01 * 14\,409\,700 = 144\,097 \text{ Kč} \quad (18)$$

6.3. Náklady na ztráty

Pro určení nákladů na ztráty je třeba znát diagram zatížení. Proto vytvořím roční diagram zatížení pro moji lokalitu na základě ročního diagramu zatížení jiného typového transformátoru. Hodnoty výkonů transformátoru jsou odečítány každých 10 minut pomocí zařízení MEg 40. Na základě maximálního změřeného zatížení na tomto transformátoru a mého maximálního soudobého příkonu přepočítám jednotlivé body tohoto diagramu. Data mi pro tuto práci poskytla společnost PREdistribuce, a. s.



Obrázek 8 - Roční diagram zatížení v této lokalitě

Zároveň ČEZ Distribuce nabízí veřejně k nahlédnutí denní diagramy zatížení jednotlivých regionů [18]. Vzhledem k velikosti těchto regionů jsem uváděné hodnoty nemohl využít, protože by byly nevypovídající.

Nyní mohu určit dobu plných ztrát. To je doba, za kterou by došlo ke stejným ztrátám za předpokladu konstantního maximálního zatížení jako při proměnlivém zatížení. Určíme ji pomocí vzorce [19]:

$$T_Z = \frac{\int_0^T P(t)^2 dt}{P_m^2} \tag{19}$$

kde:

$P(t)$… odebraný výkon v jednotlivých časech

P_m… maximální soudobý příkon

Integrál aproximuji numerickou metodou levých obdélníků a vypočtu dobu plných ztrát.

$$T_z = 1400 \text{ h}$$

Ztrátový výkon a následně ztrátovou energii transformátoru lze určit pomocí vzorců [20]:

$$\Delta P_{transformátor} = \Delta P_0 + \Delta P_k \cdot \left(\frac{S_{max}}{S_{Tn}}\right)^2 \tag{20}$$

kde:

ΔP_0… ztráty transformátoru naprázdno

ΔP_k… ztráty transformátoru nakrátko

S_{max}… maximální soudobý příkon

S_{Tn}… jmenovitý výkon transformátoru

$$W_{transformátor} = \Delta P_0 \cdot T_P + \Delta P_k \cdot \left(\frac{S_{max}}{S_{Tn}}\right)^2 \cdot T_z \tag{21}$$

kde:

T_p… doba provozu

Ztráty na transformátorech však nebudu zohledňovat, protože jsou v obou variantách shodné. Tato informace by tak nepomohla k určení vhodné varianty.

Zároveň je vhodné zmínit, že ztráty v síti lze poměrně dobře predikovat na dlouhou dobu, takže distributor může optimalizovat nákup elektřiny na krytí ztrát. Tím se mu podaří náklady na ztráty minimalizovat.

6.3.1. Kabelová varianta

Nyní mohu určit náklady na ztráty v případě provedení rekonstrukce v kabelové variantě. Ztrátový výkon na vedení dosahuje v maximálním soudobém zatížení hodnoty 25,94 kW, s dobou plných ztrát 1400 hodin získávám ztrátovou energii 36 316 kWh. Při ceně 3 Kč za kWh jsou roční náklady na ztráty v hodnotě 108 948 Kč.

6.3.2. Kombinovaná varianta

V tomto případě jsou ztráty na vedení v maximálním soudobém zatížení 25,59 kW. Při stejné době plných ztrát vychází roční ztrátová energie 35 826 kWh. Při ceně 3 Kč za kWh jsou roční náklady na ztráty v hodnotě 107 478 Kč.

6.4. Ocenění nedodané energie

Zde se nejedná o cenu, protože nedochází k žádné platbě za tuto energii. Tato ocenění vychází z odhadů případných přímých a nepřímých škod u odběratelů.

O úrovni kvality v distribuční soustavě pojednává § 21 vyhlášky č. 540/2005 o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. Součástí této vyhlášky je i definování ukazatelů nepřetržitosti. [21]

SAIFI je průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období. [21]

SAIDI je průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období. [21]

CAIDI je průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků. [21]

Je zcela zřejmé, a několikrát bylo uváděno, že kabelová síť je mnohem spolehlivější než síť kombinovaného typu. Ukazatele společnosti ČEZd jsou povahou svojí sítě vhodné jako podklady pro kombinovanou síť, ukazatele společnosti PREdi jsou vhodné pro kabelovou síť. Hodnoty těchto ukazatelů plně přebírám ze zprávy o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2021 vydávané ERÚ. [21]

Tabulka 16 - Ukazatele nepřetržitosti distribuce v roce 2021 [21]

Ukazatel	ČEZ Distribuce, a.s.	EG.D, a.s.	PRE distribuce, a.s.	ČR
SAIFI [přerušení/rok]	2,65	1,99	0,35	2,17
SAIDI [min/rok]	237,57	451,42	30,18	319,30
CAIDI [min]	123,80	226,35	86,36	147,01

Průměrný odebíraný výkon ze sítě je 357 kW. Za předpokladu, že tento výkon nebudu odebírat po čas stanovený ukazatelem SAIDI, mohu ocenit množství nedodané energie.

Pro kabelovou síť tak získávám nedodanou energii ve výši 179,6 kWh a pro kombinovanou síť získávám nedodanou energii ve výši 1413,5 kWh.

Ve studii EGÚ Brno se lze dočíst, že nedodaná energie je pro domácnosti oceněna na 350 Kč/kWh, oproti tomu studie Ernst&Yuoung ocenila nedodanou energii na 100 Kč/kWh. Ve své práci použiji průměr těchto dvou studií – 225 Kč/kWh. (Ing. Jan Šefránek, Ph.D ve své disertační práci v roce 2014 uvádí toto ocení v hodnotě 203 Kč/kWh [22].)

Nedodanou energii v kabelové variantě lze ocenit na 40 403 Kč ročně a nedodanou energii v kombinované variantě lze ocenit na 318 047 Kč ročně.

6.5. Výsledky ekonomického vyhodnocení variant

6.5.1. Roční ekvivalentní náklady

Nyní mám k dispozici všechny potřebné informace pro zvolení vhodné varianty rekonstrukce. Vhodnou variantu vyberu pomocí ročních ekvivalentních nákladů, ty získám prostým sečtením hodnot vypočtených v předchozích kapitolách, zpravidla pak mohu tvrdit, že nižší náklady znamenají ekonomicky vhodnější variantu.

Roční ekvivalentní náklady kabelové varianty:

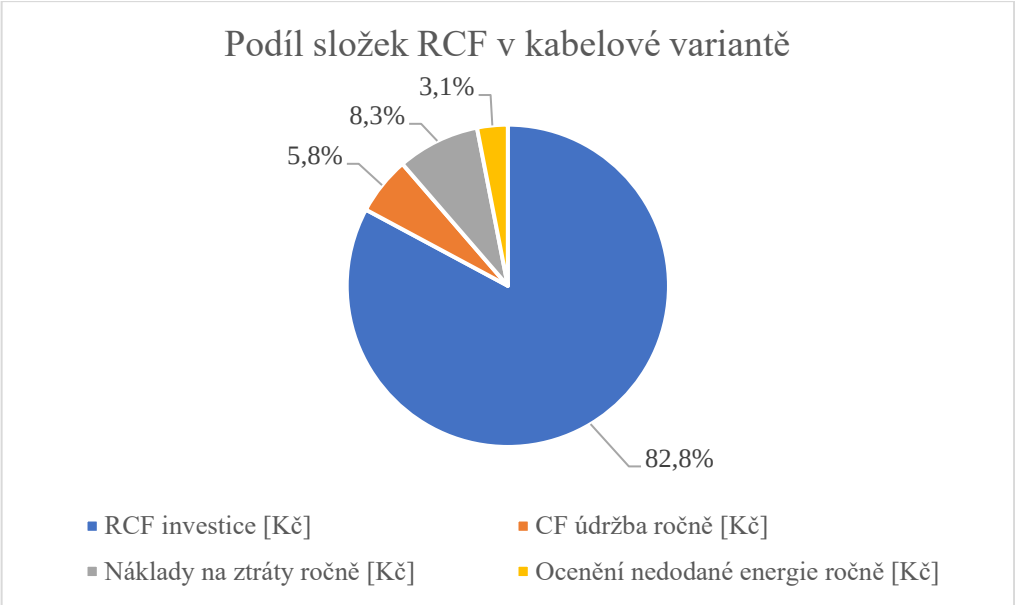
$$RCF_{KAB} = RCF_{kabelová} + CF_{údržba_{kabelová}} + CF_{\Delta Pkab} + CF_{nedodaná_{kabelová}} = \quad (22)$$
$$= 1\,089\,926{,}5 + 76\,529 + 108\,948 + 40\,403 = 1\,315\,807{,}5 \text{ Kč}$$

Roční ekvivalentní náklady kombinované varianty:

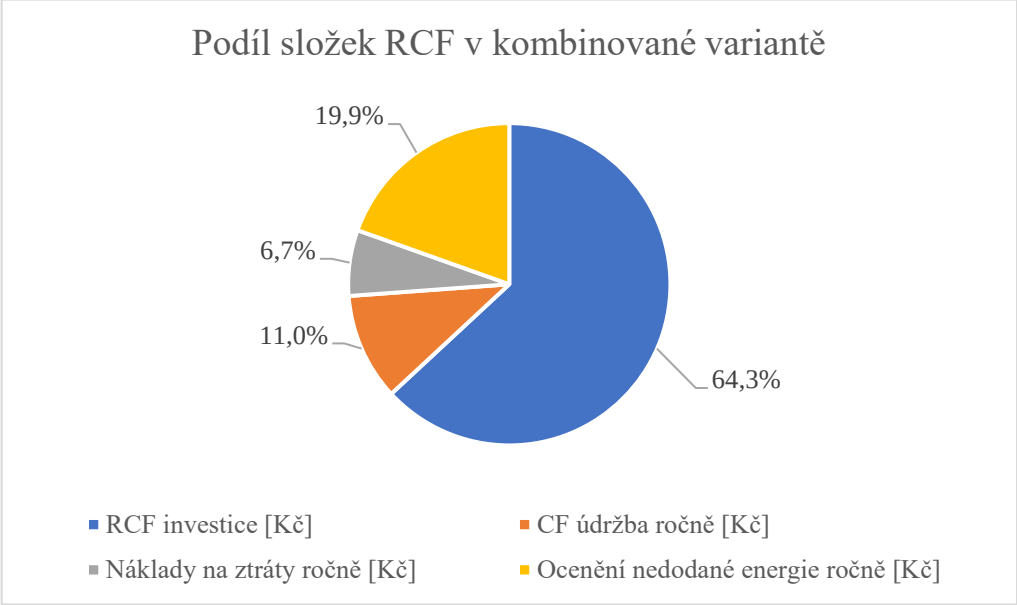
$$RCF_{KOMB} = RCF_{kombinovaná} + CF_{údržba_{kombinovaná}} + CF_{\Delta Pkomb} + CF_{nedodaná_{kombinovaná}} = \quad (23)$$
$$= 1\,026\,271 + 144\,097 + 107\,478 + 318\,047 = 1\,595\,893 \text{ Kč}$$

Po sečtení jednotlivých nákladů je vidět, že je vhodnější zvolit kabelovou variantu. Některé důvody pro zvolení kabelové varianty jsem vypsal již v kapitole 4.5. Díky těmto dvěma výstupům mohu tvrdit, že na základě stávajících vstupních hodnot je vhodnější zvolit kabelovou variantu.

Je také vhodné zmínit procentní zastoupení jednotlivých složek v RCF obou variant. Nejlépe toto zastoupení představí grafické zobrazení.



Obrázek 9 - Podíl složek RCF v kabelové variantě



Obrázek 10 - Podíl složek RCF v kombinované variantě

Z grafického zobrazení lze odhlédnout, že kabelová varianta má velké vstupní náklady, ale nízké náklady během doby životnosti. Oproti tomu kombinovaná varianta má nižší vstupní náklady, ale má výrazně větší náklady během doby životnosti.

6.5.2. Citlivostní analýza

V této práci nezohledňuji inflaci, protože očekávám, že ceny porostou rovnoměrně, tedy že pokud v jedné z variant dojde ke zvýšení hodnoty některé z položek, ekvivalentně se zvýší hodnota položek i v druhé variantě. Stejně tak předpokládám, že cena energie se bude zvyšovat

rovnoměrně s inflací, tedy že cena elektřiny neporoste výrazně vyšším tempem než ostatní náklady.

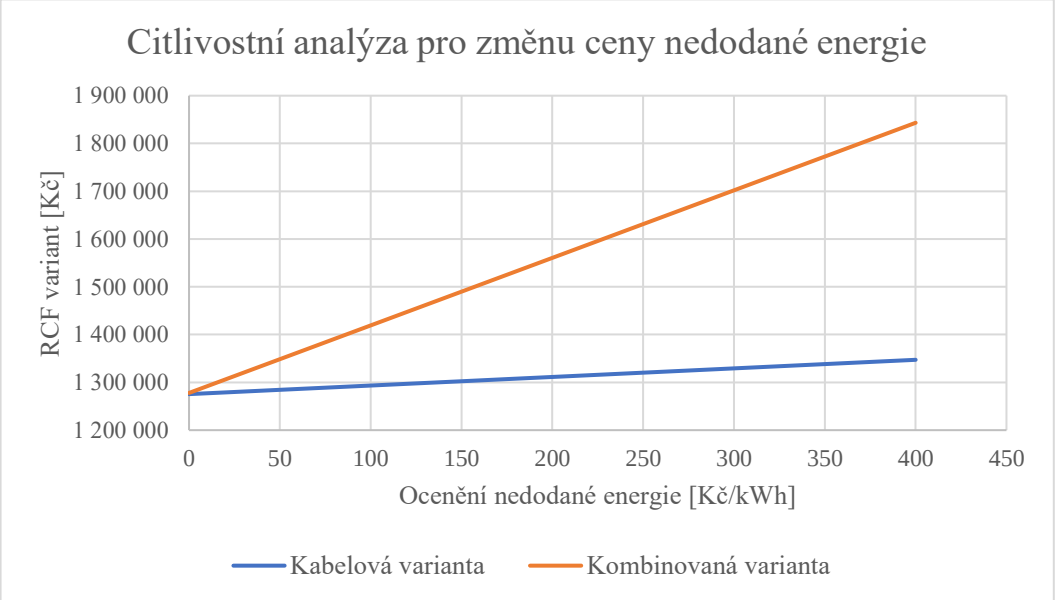
Pokud by však rostla cena elektřiny rychleji, na výběr variant to nebude mít vliv, protože ztráty na vedení jsou v obou variantách téměř shodné. V tuto chvíli se výše tohoto nákladu liší mezi variantami o 1 470 Kč.

Pokud vezmu náklady na vybudování variant a náklady na údržbu jako fixní, mohu provést citlivostní analýzu projektů, konkrétně na případ změny ocenění nedodané energie a změny výše nákladů na ztráty.

Vzhledem k tomu, že ocenění nedodané energie je prováděno na základě omezení volnočasových aktivit odběratelů a na základě možných přímých škod vznikajících nedodáním elektřiny, může být nedodaná energie oceněna různě a pro každého odběratele může toto omezení znamenat jiné dopady. Pokud bych neocenil nedodanou kWh energie vůbec, na vhodnosti variant se nic nezmění. S rostoucím oceněním pak roste vhodnost kabelové varianty.

Tabulka 17 - Změna RCF variant v závislosti na ocenění nedodané energie

Ocenění [Kč/kWh]	RCF Kabelová [Kč]	RCF Kombinovaná [Kč]
0	1 275 403	1 277 846
50	1 284 382	1 348 523
150	1 302 339	1 489 877
200	1 311 318	1 560 554
300	1 329 275	1 701 909
400	1 347 232	1 843 263

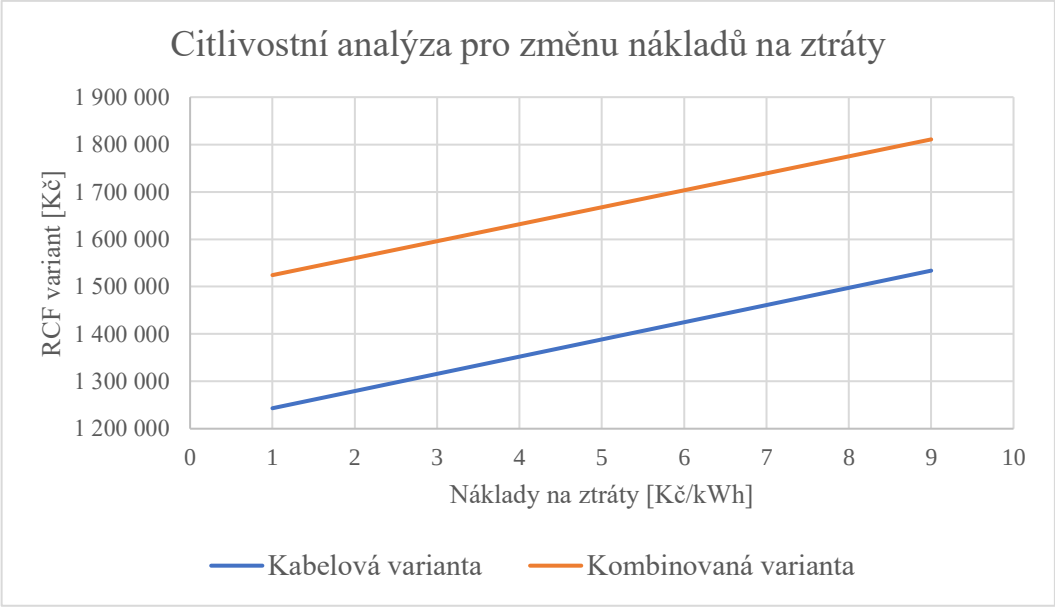


Obrázek 11 - Citlivostní analýza pro změnu ceny nedodané energie

Oproti tomu s rostoucí cenou za kWh energie na krytí ztrát klesá vhodnost kabelové varianty. Z hodnot pak lze odhlédnout, že s rostoucí cenou za kWh se sobě hodnoty RCF obou variant skutečně přibližují, nikoli však podstatnou rychlostí.

Tabulka 18 - Změna RCF variant v závislosti na nákladech na krytí ztrát

Ocenění [Kč/kWh]	RCF Kabelová [Kč]	RCF Kombinovaná [Kč]
1	1 243 175	1 524 241
3	1 315 807	1 595 893
5	1 388 439	1 667 545
7	1 461 071	1 739 197
9	1 533 703	1 810 849



Obrázek 12 - Citlivostní analýza pro změnu nákladů na ztráty

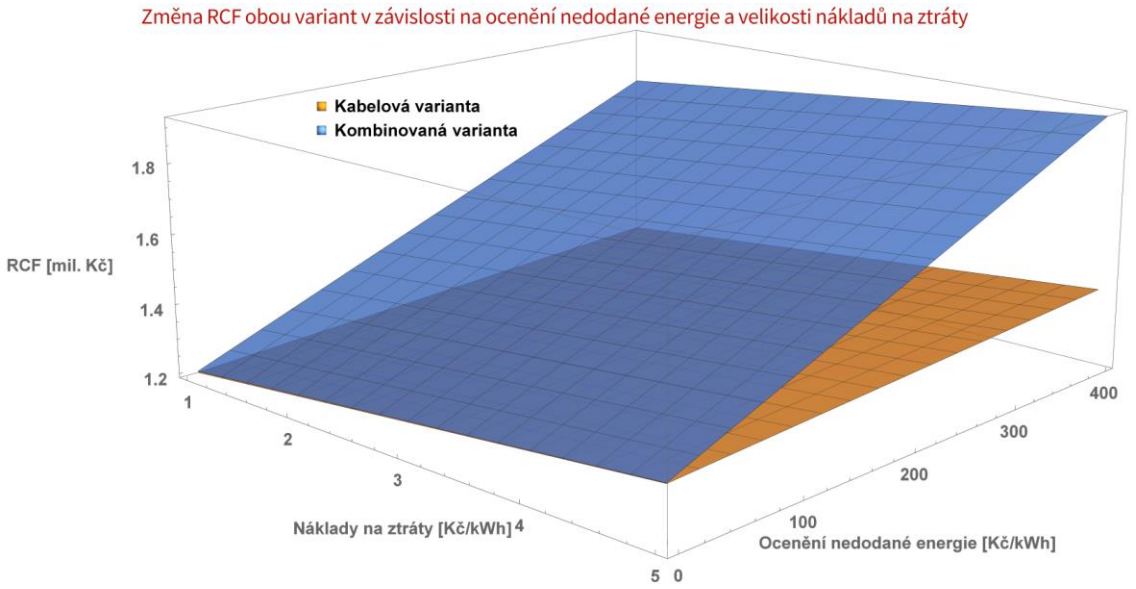
Pro konečné zhodnocení citlivostní analýzy je vhodné tyto dvě dílčí analýzy spojit do tabulek a porovnat jejich vzájemné chování pomocí společného grafu. Takový graf pak ukáže, jestli existuje stav, ve kterém by byla výhodnější kombinovaná varianta.

Tabulka 19 - Kompletní citlivostní analýza pro kabelovou variantu

Ocenění nedodané energie [Kč/kWh]	Náklady na ztráty [Kč/kWh]				
	1	2	3	4	5
0	1 202 771	1 239 087	1 275 403	1 311 719	1 348 035
50	1 211 750	1 248 066	1 284 382	1 320 698	1 357 014
150	1 229 707	1 266 023	1 302 339	1 338 655	1 374 971
200	1 238 686	1 275 002	1 311 318	1 347 634	1 383 950
300	1 256 643	1 292 959	1 329 275	1 365 591	1 401 907
400	1 274 600	1 310 916	1 347 232	1 383 548	1 419 864

Tabulka 20 - Kompletní citlivostní analýza pro kombinovanou variantu

Ocenění nedodané energie [Kč/kWh]	Náklady na ztráty [Kč/kWh]				
	1	2	3	4	5
0	1 206 194	1 242 020	1 277 846	1 313 672	1 349 498
50	1 276 871	1 312 697	1 348 523	1 384 349	1 420 175
150	1 418 225	1 454 051	1 489 877	1 525 703	1 561 529
200	1 488 902	1 524 728	1 560 554	1 596 380	1 632 206
300	1 630 257	1 666 083	1 701 909	1 737 735	1 773 561
400	1 771 611	1 807 437	1 843 263	1 879 089	1 914 915



Obrázek 13 - Citlivostní analýza obou variant na základě změny ocenění nedodané energie a velikosti nákladů na ztráty

6.5.3. Závěr ekonomického vyhodnocení variant

Všechny výše provedené výpočty, úvahy a citlivostní analýza vedou k jednomu závěru. V této lokalitě je vhodnější provést rekonstrukci v podobě kabelové varianty. Kombinovanou variantu pro ekonomickou, estetickou i technickou nevhodnost zamítám.

7. Závěr

V této práci jsem popsal charakter prostředí, ve kterém bude probíhat rekonstrukce. Stejně tak jsem zjistil, v jakém stavu je současné vedení NN 0,4 kV. Díky tomu jsem mohl odhadnout možné navýšení hodnot odběrů v obci. Nedílnou součástí práce bylo seznámení se s typy používaných vodičů, abych mohl následně dimenzovat síť vhodným způsobem, tedy tak, aby nedošlo k přílišným úbytkům napětí v odběrných místech, ale zároveň aby nebyla hodnota investice nevhodně vysoká.

Navrhl jsem proto 4 varianty vedení – 2 kombinované, 1 kabelovou a 1 venkovní, ty jsem mezi sebou porovnal a z pohledu spolehlivosti jsem je zhodnotil. Vybral jsem tak dvě, se kterými jsem dále pracoval, 1 kombinovanou a 1 kabelovou. Situace jsem schematicky zakreslil a simuloval v příslušných programech.

Dále jsem projekty zhodnotil z ekonomického hlediska. Pro toto hodnocení jsem použil hodnoty investic, nákladů na ztráty, nákladů na údržbu, a nakonec jsem ocenil nedodanou energii. Pro stanovení vhodné varianty jsem použil ekonomické kritérium RCF, roční ekvivalentní cash flow. Zjistil jsem, že pro kabelovou variantu je RCF 1 315 807,5 Kč a pro kombinovanou variantu je RCF 1 595 893 Kč. Je zde evidentní, že pro stanovené vstupní hodnoty je kabelová varianta nejvhodnější. Varianta je levnější.

Nakonec jsem provedl citlivostní analýzu pro změnu nákladů na ztráty a na ocenění nedodané energie. S rostoucí cenou za 1 kWh roste vhodnost kombinované varianty, avšak ocenění nedodané energie velmi výrazně favorizuje variantu kabelovou. Zjistil jsem tedy, že v každém mnou zkoumaném případě je vhodnější zvolit kabelovou variantu. Tu bych proto doporučil k výstavbě.

8. Reference

[1] *Výklad - Energetika zblízka - Svět energie.cz* [online]. [vid. 2022-12-22]. Dostupné z: https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/distribuce-elektriny/distribuce-elektricke-energie-podrobne/elektrizacni-a-prenosova-soustava/vyklad

[2] *Výklad - Energetika zblízka - Svět energie.cz* [online]. [vid. 2022-12-22]. Dostupné z: https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/distribuce-elektriny/distribuce-elektricke-energie-podrobne/distribucni-soustava/vyklad

[3] ČEZ DISTRIBUCE. *Katalogový list vodičů AlFe*. 16. červenec 2021

[4] TARJAN, Michal. *Vedení z izolovaných vodičů AES, katalogový list ČEZd A106.001G*. 11. duben 2022

[5] TARJAN, Michal. *Vedení z kabelů AYKYz, katalogový list ČEZd A107.001E*. 6. listopad 2017

[6] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. *ČSN EN 50182*. leden 2002

[7] ČEPS, ČEZ DISTRIBUCE, E.ON ČESKÁ REPUBLIKA, E.ON DISTRIBUCE. a ZSE. *PNE 34 7509*. 1. leden 2007

[8] TARJAN, Michal. *Vedení z kabelů AYKY, katalogový list ČEZd A401.002H*. 14. říjen 2019

[9] TARJAN, Michal. *Vedení z kabelů CYKY, katalogový list ČEZd A401.003B*. 20. prosinec 2022

[10] TARJAN, Michal. *Vedení z kabelů CYY, katalogový list ČEZd A401.004A*. 11. srpen 2022

[11] SALABA, Milan. Územní plán Obořiště [online]. 2021 [vid. 2022-12-23]. Dostupné z: http://obecoboriste.cz/obecni-urad/uredni-deska/uzemni-plan/

[12] Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ČÁST TŘETÍ. *Zákon č. 183/2006 Sb.* 1. leden 2007.

[13] NOSKOVÁ, Blanka a KATEDRA EKONOMIKY MANAŽERSTVÍ A HUMANITNÍCH STUDIÍ. *Kritéria ekonomické efektivnosti*. 2021.

[14] KISLINGEROVÁ, Eva a KOL. *Manažerské finance*. 3. vyd. V Praze: C. H. Beck, 2010. ISBN 978-80-7400-194-9.

[15] ERÚ. *Zásady cenové regulace pro regulační období 2021-2025* [online]. 2020. Dostupné z: https://www.eru.cz/eru-zverejnil-zasady-cenove-regulace-pro-regulacni-obdobi-2021-2025

[16] NOVÁK, Ondřej. *Transformátory 22/0,42 kV, katalogový list ČEZd B510.201*. 4. červenec 2021

[17] ČEZ DISTRIBUCE. *Ceník materiálu*. 5. prosinec 2022

[18] ČEZD. *Denní diagram zatížení* [online]. [vid. 2023-03-25]. Dostupné z: https://diagramonline.cezdistribuce.cz/Viewer/region.zul?id=rst

[19] KATEDRA ELEKTROENERGETIKY FEL ČVUT. *Základní energetické pojmy* [online]. 2012 [vid. 2023-03-14]. Dostupné z: https://www.powerwiki.cz/attach/EN1Podklady/CV01_Zakladni%20pojmy_DDZ.pdf

[20] ERÚ. *Energetický regulační věstník 15/2022* [online]. 2022 [vid. 2023-03-25]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/docu/predpisy/download/CR13-2022.pdf

[21] ERÚ. *Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2021* [online]. 2022 [vid. 2023-04-17]. Dostupné z: https://www.eru.cz/kopie-z-zprava-o-dosazene-urovni-nepretrzitosti-prenosu-nebo-distribuce-elektriny-za-rok-2021

[22] ING. JAN ŠEFRÁNEK PH.D. *Spolehlivost a kvalita dodávek elektřiny a možnosti jejich ovlivňování*. Praha. 2014, Disertační práce: České vysoké učení technické V Praze, Elektrotechnická fakulta, Školitel: Prof. Ing. Jiří Tůma DrSc.