VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

NÁVRH REKONSTRUKCE NN SÍTĚ V RÁMCI DLOUHODOBÉHO KONCEPČNÍHO ROZVOJE SÍTÍ
DESIGN OF LV DISTRIBUTION NETWORK RECONSTRUCTION WITHIN THE LONG-TERM NETWORK DEVELOPMENT STRATEGIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Stanislav Navrátil
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Michal Ptáček, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2019

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**
Ústav elektroenergetiky

Student: Stanislav Navrátil ***ID:*** 195397
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Návrh rekonstrukce NN sítě v rámci dlouhodobého koncepčního rozvoje sítí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Zásady navrhování sítí NN
2. Dlouhodobé koncepce rozvoje ČEZ distribučních sítí
3. Popis vybrané sítě NN a zhodnocení/analýza jejího stávajícího stavu prostřednictvím sw
4. Návrh rekonstrukce vybrané NN sítě s ohledem na koncept rozvoje sítí, plánovanou životnost a existenci distribuovaných zdrojů
5. Provedení komplexní analýzy návrhu rekonstrukce prostřednictvím sw a celkové zhodnocení

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Je vhodné využít technických norem, odborných článků databází IEEE, Web of Science, SCOPUS a jiné. Další literatura je stanovena dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 4.2.2019 ***Termín odevzdání:*** 27.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Michal Ptáček, Ph.D.
Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:
Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

NAVRÁTIL, Stanislav. *Návrh rekonstrukce NN sítě v rámci dlouhodobého koncepčního rozvoje sítí* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119152. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Michal Ptáček.

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Návrh rekonstrukce NN sítě v rámci dlouhodobého koncepčního rozvoje sítí jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.
Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 27. 05. 2019 ……

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Michalu Ptáčkovi, Ph. D. za přístup k vedení práce a za čas, který byl ochotný věnovat konzultačním hodinám. Dále si nesmírně vážím navázané spolupráce s přerovským pracovištěm společností ČEZ Distribuce, a. s., kde mi byly umožněny konzultace s místními odborníky na danou problematiku. Poslední poděkování náleží společnosti DAISY s. r. o., která pro potřeby této práce zapůjčila svůj výpočetní software DAISY Bizon Projektant.

ABSTRAKT

Cílem této práce je seznámení s problematikou navrhování distribučních sítí nn. Práce zpracovává nejdříve teoretické poznatky související s touto problematikou. Velký důraz je v této části věnován koncepčnímu rozvoji v oblasti distribučních sítí nn.

V praktické části práce je provedena analýza skutečné elektrické sítě a následný návrh její rekonstrukce. Návrh byl zpracován v souladu s technickými normami ČSN, PNE a postupů společnosti ČEZ Distribuce, a.s. Jako prostředek pro analýzu byl použit výpočetní software DAISY Bizon Projektant.

KLÍČOVÁ SLOVA: analýza sítě nn, koncepční rozvoj sítí nn, návrh sítě nn; rekonstrukce sítě nn; distribuční sítě, DAISY Bizon Projektant

ABSTRACT

The aim of this thesis is to design a low voltage distribution grid. The thesis includes theoretical knowledge related to this topic. Great emphasis is placed on development strategies in the area of low voltage distribution networks.

A practical part of the thesis is focused on analysis of the real low voltage distribution grid followed by designing reconstruction solution. This solution is based on technical standards ČSN, PNE and procedures used in ČEZ Distribuce, a.s. company. For this purpose computing software DAISY Bizon Projektant will be used.

KEY WORDS: analysis of low voltage distribution grid, development strategies, reconstruction solution, DAISY Bizon Projektant

OBSAH

1 ÚVOD **13**

2 ÚVOD DO REKONSTRUKCÍ NN SÍTÍ **14**

2.1 DODRŽOVÁNÍ ZÁVAZNÝCH DOKUMENTŮ **14**

2.1.1 ENERGETICKÁ LEGISLATIVA 14
2.1.2 ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD 14
2.1.3 ČESKÉ TECHNICKÉ NORMY 15
2.1.4 PODNIKOVÉ NORMY 15
2.1.5 PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY 15

2.2 OBECNÉ ZÁSADY PŘI NAVRHOVÁNÍ SÍTÍ NN **16**

2.2.1 VÝPOČTOVÉ ZATÍŽENÍ 16
2.2.2 IMPEDANCE SMYČKY 17
2.2.3 VZTAŽNÁ IMPEDANCE 18
2.2.4 PARAMETRY KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE V SÍTÍCH NN 19

2.3 VÝPOČETNÍ PROGRAM DAISY BIZON PROJEKTANT **23**

3 DLOUHODOBÉ KONCEPCE ROZVOJE DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ **24**

3.1 STÁTNÍ ENERGETICKÁ KONCEPCE **24**

3.2 KONCEPCE ROZVOJE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY ČEZ DISTRIBUCE, A. S. **26**

3.2.1 INTELIGENTNÍ DÁLKOVĚ OVLÁDANÉ PRVKY 26
3.2.2 OSAZENÍ MĚŘENÍ KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE V KONCOVÝCH DISTRIBUČNÍCH TRAFOSTANICÍCH 26
3.2.3 VÝSTAVBA OPTICKÉ INFRASTRUKTURY 27

3.3 INTELIGENTNÍ SÍTĚ **28**

3.3.1 ELEKTROMĚRY 28
3.3.2 ELEKTROMOBILITA 28
3.3.3 AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE 29
3.3.4 PROJEKT SMART REGION VE VRCHLABÍ 29

4 POPIS VYBRANÉ SÍTĚ NN **30**

4.1 POLOHA SÍTĚ NN **30**

4.2 STRUKTURA SÍTĚ NN **32**

4.3 ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU SÍTĚ NN PROSTŘEDNICTVÍM SW DAISY BIZON PROJEKTANT **34**

5 NÁVRH REKONSTRUKCE SÍTĚ NN VYBRANÉ OBCE **37**

5.1 NÁVRH NAPÁJENÍ **37**

5.1.1 OHLED NA POZEMKOVÝ ROZVOJ OBCE 37
5.1.2 PŘIDÁNÍ DRUHÉ DTS 39
5.1.3 NÁVRH PARAMETRŮ TRANSFORMÁTORŮ 40

5.2 NÁVRH ELEKTRICKÝCH ROZVODŮ **44**

5.2.1 KABELIZACE 44
5.2.2 REDUKCE PEN VODIČE 44
5.2.3 STRUKTURA SÍTĚ 45
5.2.4 PŘÍPOJKOVÉ A ROZPOJOVACÍ SKŘÍNĚ 46
5.2.5 NÁVRH ELEKTRICKÉHO VEDENÍ 48
5.2.6 JIŠTĚNÍ 49

5.3 KONTROLA PARAMETRŮ V DAISY BIZON 50
5.3.1 ENERGETICKÁ BILANCE 50
5.3.2 ÚBYTKY NAPĚTÍ 51
5.3.3 VZTAŽNÁ IMPEDANCE 51
5.3.4 PŘIPOJITELNOST MIKROZDROJŮ 52

6 ZÁVĚR 53

7 POUŽITÁ LITERATURA 55

8 SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH 59

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1 Maximální dovolená střední hodnota napětí signálu pro jednotlivé kmitočty [17] 22

Obr. 2-2 Ukázka uživatelského rozhraní programu DAISY Bizon Projektant 23

Obr. 3-1 Dlouhodobý vývoj spotřeby elektrické energie v ČR [20] 24

Obr. 4-1 Mapa námrazových oblastí na území ČR [33] 30

Obr. 4-2 Mapa větrných oblastí na území ČR [34] 31

Obr. 4-3 Schéma topologie sítě nn ve vybrané obci [37] 33

Obr. 4-4 Schéma topologie sítě s vyznačenými problémovými oblastmi[41] 36

Obr. 5-1 Výkres záměrů z územního plánování[47] 38

Obr. 5-2 Zokruhované úseky vedení v centru vybrané obce [41] 45

Obr. 5-3 Příklad provedení kabelové rozpojovací skříně SR 47

Obr. 5-4 Příklad provedení venkovní rozpojovací skříně SV 47

Obr. 5-5 Umístění mikrozdroje ve vybrané síti [41] 52

SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1 Maximální dovolené úrovně harmonických složek vyjádřených v poměru k základní harmonické *22*

Tab. 4-1 Energetická bilance zatížení před rekonstrukcí *34*

Tab. 5-1 Určení soudobého příkonu P_{n1} pro DTR1 ..... *41*

Tab. 5-2 Určení soudobého příkonu P_{n2} pro DTR2 ..... *41*

Tab. 5-3 Energetická bilance sítě po rekonstrukci *50*

Tab. 5-4 Zatížení transformátorů v dané síti po rekonstrukci *50*

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Popis
AES	samonosný slaněný kabel s PE izolací
AlFe	kombinované lano s ocelovým jádrem a hliníkovým pláštěm
AMM	advanced metering managment
AYKY	kabel s hliníkovými žilami a PVC izolací
AYKYz	závěsný kabel s hliníkovými žilami a PVC izolací
ČSN	česká technická norma
DOP	dálkově ovládaná prvek
DS	distribuční soustava
DTR	distribuční transformátor
DTS	distribuční trafostanice
ERU	Energetický regulační úřad
GPRC	general packet radio service
HDO	hromadné dálkové ovládání
KZL	kombinované zemní lano
NN	nízké napětí
OZ	opětovné zapnutí
OZE	obnovitelný zdroj energie
PDS	provozovatel distribuční soustavy
PNE	podniková norma
PPDS	pravidla provozování distribuční soustavy
SD	rozpojovací skříň s dělenou přípojnicí
SDOK	samonosný dielektrický optický kabel
SEK	státní energetická koncepce
SP	koncová přípojková skříň
SR	kabelová rozpojovací skříň
SS	smyčkovací přípojková skříň
SV	venkovní rozpojovací skříň
VN	vysoké napětí
VO	veřejné osvětlení

Označení	Popis	Jednotka
$cos\varphi$	účiník	-
I_p	výpočtový proud	A
P	míra vjemu flikru	-
P_{flik}	míra vjemu flikru	-
P_i	instalovaný výkon	W
P_{max}	hodinové maximum odběru elektrické en. v měř. období	w
P_p	výpočtové zatížení	W
P_β	soudobý příkon	W
R	elektrický odpor	Ω
SAIDI	průměrná systémová doba trvání přerušení dodávky el. energie	min
SAIFI	průměrná systémová četnost přerušení dodávky elektrické energie	rok^{-1}
THD	celkový činitel harmonického zkreslení napájecího napětí	-
U_n	jmenovitá hodnota fázového napětí	V
$V_{b,0}$	základní rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí	$m \cdot s^{-1}$
X	reaktance	Ω
Z_{1k}	vztažná impedance	Ω
Z_{1kref}	referenční imp. pro jednofáz. připojení spotřebiče. do 16 A	Ω
β	koeficient soudobosti	-
β_{AT}	koeficient soudobosti nekonečného počtu odběrů	-
β_n	koeficient soudobosti mezi n odběry	-
β_o	koeficient soudobosti jednoho odběru	-
γ	zatížení	%
γ_{DTR}	zatížení transformátoru	%
ΔU	úbytek napětí	V
Z	impedance	Ω

1 ÚVOD

Distribuční soustava je posledním článkem v dodávce elektrické energie ke koncovým odběratelům. Při podcenění jejího návrhu může dojít až ke zhoršení kvalitativních parametrů elektrické energie, čímž by se výrazně znehodnotilo úsilí vynaložené na její výrobu a přenos. Náplní této práce bude právě zkoumání problematiky související s návrhy distribučních sítí nízkého napětí a následného uplatnění získaných teoretických poznatků na existující síti.

Tato práce zároveň využívá spolupráce projektu podpory studentů Kde jinde vedený společností Skupina ČEZ, a.s. Podporu dále poskytla i společnost DAISY prostřednictvím zapůjčení licence výpočetního softwaru DAISY Bizon Projektant.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části budou nejprve popsány základní zásady pro navrhování sítí nízkého napětí, kde je okrajově rozebrána i oblast vztahující se k legislativě a normalizaci. Teoretická část se dále věnuje budoucímu technologickému vývoji distribučních sítí, nejprve z pohledu Státní energetické koncepce a následně její implementací ve společnosti ČEZ distribuce, a.s.

Praktická část uplatňuje zmíněnou problematiku na reálném případě elektrické sítě nízkého napětí nacházející se ve vybrané obci v Olomouckém kraji. Tato síť bude nejprve analyzována prostřednictvím místního šetření a softwaru DAISY Bizon Projektant. Následně bude za pomocí stejného softwaru vytvořen návrh rekonstrukce zmíněné sítě s ohledem na očekávané trendy v technologickém vývoji, které byly probrány v teoretické části. Zároveň bude provedeno srovnání stavu sítě před a po navrhované rekonstrukci pomocí zmíněného softwaru.

Hlavní zdroje, z kterých práce čerpá, jsou podnikové normy PNE, české technické normy ČSN, legislativní dokumenty související s oblastí elektroenergetiky, Státní energetická koncepce z roku 2015 a informace získané během absolvování odborné praxe v Přerovské pobočce společnosti ČEZ Distribuce, a.s.

2 ÚVOD DO REKONSTRUKCÍ NN SÍTÍ

2.1 Dodržování závazných dokumentů

Distribuce elektrické energie a elektroenergetika celkově je tak komplexní a pro moderní společnost nezbytný obor, že by nemohl existovat bez příslušné legislativy, standardizace a regulace. Za tímto účelem byla vytvořena řada zákonů, vyhlášek, norem, metodik a dalších dokumentů, které je třeba dodržovat při většině procesů vyskytujících se v energetice. Je pochopitelné, že zmíněné dokumenty budou hlavním zdrojem informací pro tuto práci.

2.1.1 Energetická legislativa

Energetická legislativa zahrnuje právní předpisy zabývající se oblastí energetiky. Jedním z ústředních orgánů státní správy, věnující se této problematice, je od roku 1992 Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. Mezi jeho kompetence patří například příprava Státní energetické koncepce, výkon státní správy v oblasti elektroenergetiky, plynárenství, kapalných paliv, teplárenství a jaderné energie. Zodpovídá také za zákony upravující energetické odvětví v ČR [1].

Mezi zmíněné zákony patří například:

- Zákon č. 458/2000 Sb.
  - tzv. energetický zákon, stanovuje podmínky pro podnikání v energetickém odvětví a definuje působení Energetického regulačního úřadu [2]
- Zákon č. 406/2000 Sb.
  - zákon o hospodaření s energií, popisuje procesy spojené s Energetickou koncepcí (státní i územní) a s opatřeními pro zvyšování hospodárnosti užití energie [3]
- Zákon č. 165/2012 Sb.
  - definuje podporu elektrické energie vyrobené z obnovitelných zdrojů, druhotných zdrojů a kombinované výroby elektřiny a tepla [4]

2.1.2 Energetický regulační úřad

Energetický regulační úřad (ERU) působí od roku 2001, podle výše zmíněného energetického zákona, jako správní úřad pro výkon regulace v oblastech energetiky. Mezi jeho nejdůležitější kompetence patří regulace cen, ochrana zájmů zákazníků a spotřebitelů, podpora hospodářské soutěže v energetických odvětvích a udělování licencí pro podnikání v energetice. Úřad také archivuje a zveřejňuje informace týkající se provozu energetické soustavy ČR prostřednictvím ročních a měsíčních zpráv. Tyto detailní informace zahrnují statistiky od výroby, spotřeby, importu nebo exportu elektrické energie až po úroveň nepřetížitelnosti přenosu nebo distribuce elektřiny za dané časové období [5].

2.1.3 České technické normy

Technická norma vyjadřuje konkrétní požadavky pro výrobky, procesy a služby. Definuje nároky na jejich kvalitu, bezpečnost, ochranu životního prostředí a další parametry. Technická norma vydaná nebo přejatá Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, spadající pod již zmíněné Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, se pak označuje jako Česká technická norma (ČSN). Dodržování ČSN není obecně vzato závazné, ale jiný právní akt, jakým je například právní předpis, smlouva nebo rozhodnutí správního orgánu může dodržování ČSN vyžadovat. Zvláště v oblasti elektrotechniky je tedy kladen velký důraz na plnění Českých technických norem. Pro přehlednost jsou normy ČSN děleny do tzv. tříd podle jednotlivých technických oborů, kde elektrotechnice a energetice se věnují třídy 33 až 38 [6].

2.1.4 Podnikové normy

Podnikové normy (PNE) jsou druhem technických norem o nižším stupni, než jsou České technické normy. Specializují se na problematiku z oblasti elektroenergetiky, která většinou není dostatečně pokryta právě zmíněnými normami ČSN. Přitom však normy PNE nadále respektují platnost ČSN a často na ně přímo odkazují [7].

PNE vznikly většinou revizí již neplatných oborových norem nebo jako požadavek provozovatelů přenosových a distribučních sítí. Jednotlivé elektroenergetické organizace si tyto normy většinou integrovaly do svých vnitřních předpisů, které jsou pak závazné i pro jejich dodavatele. Existence podnikových norem PNE však nijak neomezuje vznik dalších technických norem v rámci konkrétní organizace určené pro řešení specifických problémů [7].

Všechny platné i neplatné podnikové normy jsou volně dostupné na webových stránkách Českého sdružení regulovaných elektroenergetických společností [8].

2.1.5 Pravidla provozování distribuční soustavy

Pravidla provozování distribuční soustav (PPDS), schvalovány již zmíněným Energetickým regulačním úřadem, definují minimální požadavky (technické, informační, provozní, plánovací aj.) pro připojení uživatele do distribuční soustavy. Dodržováním těchto pravidel je tedy zajištěna koordinace mezi účastníky trhu s elektřinou. Zároveň tento materiál poskytuje uživateli distribuční soustavy (DS) komplexní informace o užívání DS bez nutnosti pracovat s dalšími podklady z oblasti práva techniky aj. [9].

2.2 Obecné zásady při navrhování sítí nn

Při navrhování sítí nn se musí přihlížet k tomu, že každá síť má svůj charakter specifikovaný například polohou, skladbou obyvatel, podnikatelských aktivit a rozmístěním elektrických prvků. Před samotným návrhem je tedy nezbytné mít komplexní informace o decenrálních zdrojích, odběrných místech a jejich předpokládaném stupni elektrizace. Nelze však zanedbat výhledové požadavky na výkon v horizontu desítek let dopředu, proto je potřeba předvídat vývoj nových odběrů a stanovit dostatečné výkonové rezervy jednotlivých prvků.

Sítě nn se dimenzují zejména z hlediska:

- očekávaného proudového nebo výkonového zatížení
- dodržení impedančních smyček
- dodržení vztažné impedance
- dodržení úbytku napětí na konci vedení
- dodržení kvality dodávky elektrické energie

2.2.1 Výpočtové zatížení

Výpočtové zatížení P_p je stěžejní bod pro dimenzování prvků rozvodné soustavy, vychází z něj totiž informace o reálném výkonovém a proudovém zatížení odběrných míst. Pro samotný výpočet (2 - 1) je třeba nejprve znát instalovaný výkon jednotlivých spotřebičů P_i a časový charakter jejich provozu v podobě tzv. soudobosti β (může být také označován jako součinitel náročnosti). V případě, že se jedná o již existující objekt, lze soudobost β určit z odběrového diagramu $P = P(t)$ podle vztahu (2 - 2). V opačném případě se vychází z informativních hodnot obsažených v normách ČSN 33 2130 ed. 3, ČSN 34 1610 (pro průmyslové objekty). V praxi se však koeficient soudobosti a výpočtové zatížení často určuje jen na základě zkušenosti s objekty podobného typu a rozměrů [10].

$$P_p = P_i \cdot \beta \tag{2 - 1}$$

$$\beta = \frac{P_{max}}{P_i} \leq 1 \tag{2 - 2}$$

Kde: P_{max} je hod. maximum odběru elektrické en. v měřeném období

P_i je instalovaný výkon všech spotřebičů v objektu

Zmíněná norma ČSN 33 2130 ed. 3 [11] popisuje stanovení výpočtového zatížení odběrných míst pomocí tzv. stupně elektrizace, který je charakterizován následujícím rozdělením:

a) stupeň elektrizace A: Byty, kde se elektrická energie používá jen pro osvětlení, domácí spotřebiče připojené pohyblivým přívodem do zásuvky nebo pevně připojené spotřebiče s příkonem nepřesahující 3,5 kVA. Maximální soudobý příkon pak nesmí překročit hodnotu P_b = 7 kW.
b) stupeň elektrizace B: Byty se stejným elektrickým vybavením jako u stupně A, ale jsou zahrnuty i spotřebiče určené k vaření a pečení o příkonu nad 3,5 kVA. Maximální soudobý příkon nesmí překročit hodnotu P_b = 11 kW.
c) stupeň elektrizace C: Byty se stejným elektrickým vybavením jako u stupně B, navýšeným o elektrické spotřebiče pro vytápění nebo klimatizaci.

Distribuční společnost si toto rozdělení může ještě více upřesnit, kdy na základě svých zkušeností z dlouhodobého měření různých druhů odběrů, stanoví další podkategorie zmíněného rozdělení. Poslední skupina C může být například rozdělena podle toho, jestli je použito přímotopné vytápění, akumulační vytápění, tepelné čerpadlo nebo jiné.

Se znalostí výpočtového zatížení lze následně určit i výpočtový proud pro trojfázový spotřebič I_p dosazením do vztahu (2 - 3)[10].

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot cos\varphi} \qquad (2 - 3)$$

Kde: U_n je jmenovité sdružené napětí spotřebiče.

$cos\varphi$ je účiník (pro obytné objekty má hodnotu 0,95 [12]).

2.2.2 Impedance smyčky

Jako zdroj pro tuto kapitolu byla použita podniková norma PNE 33 0000-1 [13].

Dalším parametrem, který se bere v úvahu při dimenzování distribučních sítí, je takzvaná impedance zkratové (nebo také poruchové) smyčky. Při nedodržení tohoto parametru může dojít až k selhání funkce nadproudových jistících prvků sloužících jako ochrana samočinným odpojením od zdroje. Tato ochrana v sítích TN pracuje jako základní ochrana před nebezpečným dotykem neživých částí rozvodných zařízení. Příliš velká impedance zkratové smyčky omezuje zkratový proud tekoucí zmíněnou smyčkou. Jistící prvky jsou však dimenzovány tak, aby vybavily až při určité velikosti nadproudu. Proto se může stát, že jistící prvek nestihne vybavit v zadaném čase (nesmí přesáhnout 30 s) nebo dokonce vůbec.

Podle [13] je nutné v dokumentaci distribuční sítě TN výpočtem prokázat, že v každém místě jištění a na konci vývodu z transformovny vn/nn je splněna následující podmínka:

$$Z_{s\,max} = \frac{c \cdot U_0}{I_a} \qquad (2 - 4)$$

Kde: $Z_{s\,max}$ je maximální impedance poruchové smyčky, kdy je zahrnuta impedance zdroje, fázového vodiče až k místu poruchy, PEN vodiče a případně další paralelní cesty mezi místem poruchy a zdrojem

I_a je proud zajišťující samočinné působení nadproudového jistícího prvku

Z vypínacích charakteristiky jistících prvků sítí TN (pojistky a jističe) lze ve výjimečných případech použít zjednodušující podmínku $I_a = 3{,}5 \cdot I_n$, kde I_n je jmenovitý proud nadproudového jistícího prvku.

c je koeficient podle ČSN 33 3021 a ČSN 33 30 22 (pro síť 230/ 400 V: c = 0,95)

U_o je jmenovité napětí distribuční sítě proti zemi

2.2.3 Vztažná impedance

Jako zdroj pro tuto kapitolu byla použita podniková norma PNE 33 34 30-0 vydání páté [14].

Vnitřní impedance elektrické soustavy hraje důležitou úlohu vzhledem k takzvaným zpětným vlivům, které se projevují zhoršováním kvalitativních parametrů elektrické energie (hlavně kolísání napětí). Úroveň těchto zpětných vlivů je ovlivněna především velikostí a charakterem zátěže koncových odběrů a dále právě impedancí soustavy v místě připojení odběratele. K zamezení vzniku zpětných vlivů byly podle [14] definovány hodnoty vztažné (nebo také referenční) impedance pro síť nn jako:

R_{Au} = 0,24 Ω X_{Au} = 0,15 Ω (pro fázový vodič)

R_{Ne} = 0,16 Ω X_{Ne} = 0,10 Ω (pro střední vodič)

Referenční impedance $Z_{1\,k\,ref}$ pro jednofázové připojení spotřebičů do 16 A je pak:

$$\overline{Z_{1\,k\,ref}} = (R_{Au} + R_{Ne}) + j(X_{Au} + X_{Ne}) \qquad (2 - 5)$$

$$\overline{Z_{1\,k\,ref}} = 0{,}4 + j0{,}25 = 0{,}47 \cdot e^{j32^{\circ}}\Omega$$

pro třífázové připojení:

$$Z_{3\,k\,ref} = R_{Au} + jX_{Au} \qquad (2 - 6)$$

$$\overline{Z_{3\,k\,ref}} = 0{,}24 + j0{,}15 = 0{,}28 \cdot e^{j32^{\circ}}\Omega$$

Podobně norma udává i limity takzvané zkušební impedance k zamezení zpětných vlivů pro připojení spotřebičů do 75 A.

Zkušební impedance při jednofázovém připojení:

$$\overline{Z_{1\,k\,test}} = 0{,}25 + j0{,}25 = 0{,}35 \cdot e^{j45^{\circ}}\Omega \qquad (2 - 7)$$

pro třífázové připojení:

$$\overline{Z_{3\,k\,test}} = 0{,}15 + j0{,}15 = 0{,}21 \cdot e^{j45^{\circ}}\Omega \qquad (2 - 8)$$

Uvedené hodnoty impedancí představují maximální možné velikosti impedance ve společných napájecích bodech sítě, při kterých ještě není zřetelné zhoršení kvalitativních parametrů elektrické energie. Vztažná impedance je pak přepočet této impedance na vybranou napěťovou úroveň U_n. Podle normy PNE 33 34 30-0 je za pomocí vztažné impedance ještě definován zkratový výkon náhradní sítě $S_{k\,ref}$ zaručující připojení spotřebiče o daném jmenovitém proudu bez nežádaných účinků zpětných vlivů.

pro třífázové připojení spotřebiče do 16 A:

$$S_{3\,k\,ref} = \frac{U_n^2}{Z_{3ref}} = \frac{400^2}{0{,}28} \approx 570 \text{ kVA} \qquad (2 - 9)$$

obdobně se určí i třífázový zkratový výkon $S_{3\,k\,ref} \approx 760$ kVA pro připojení spotřebiče do 75 A.

2.2.4 Parametry kvality elektrické energie v sítích nn

Elektrická energie je v naší době jedna ze základních komodit, bez které by se moderní společnost obešla jen stěží. Z tohoto důvodu je třeba přesně definovat měřítka pro posouzení její kvality. Tato měřítka je, dle Energetického zákona (zmíněného v kapitole 2.1.1), povinen dodržovat každý provozovatel distribuční soustavy a zajistit tak požadavky odběratelů na bezpečnost a spolehlivost provozu distribuční sítě. V případě, že tyto požadavky splněny nebudou, má odběratel právo podle Energetického zákona č. 458/2000 Sb. [2] na náhradu škody. Na druhou stranu i samotný odběratel smí používat jen taková zařízení, které splňují požadavky na bezpečnost a svými zpětnými vlivy nepřípustně neovlivňují ostatní uživatele v distribuční soustavě.

Podle Pravidel provozování distribučních soustav [15] je nutné, aby provozovatel distribuční soustavy (PDS) dodržel charakteristiky napětí elektrické energie vycházející z normy ČSN EN 50160 ed. 3 [16].

Pro sítě na napěťové hladině nn a vn jsou udávané následující parametry:

a) kmitočet sítě
b) normalizované jmenovité napětí
c) odchylky napájecího napětí
d) rychlé změny napětí, velikost rychlých změn napětí, míra vjemu flikru
e) nesymetrie napájecího napětí
f) harmonická napětí
g) meziharmonická napětí
h) napětí signálu v napájecím napětí
i) přerušení napájecího napětí
j) poklesy napájecího napětí
k) přechodná zvýšení napětí

Tato norma klade důraz především na charakteristiky a), b), c), d), j) a k), kdy jsou pro ně přesně stanoveny zaručované hodnoty, měřicí intervaly atd. Pro body i) a k) udává norma pouze hodnoty informativní a pro charakteristiku g) nejsou hodnoty stanoveny vůbec [15].

Tyto definované parametry se ale vztahují pouze k provozu za normálních podmínek. Za podmínky mimořádné jsou pak považovány například stavy, kdy je síť kvůli poruše nebo údržbě zapojena dočasně, samotné instalace odběratele nesplňuje provozní podmínky distribuční sítě, nebo v případě ostatních výjimečných stavů jako jsou extrémní povětrnostní podmínky, přírodní katastrofy, stávky a další těžko předvídatelné vnější okolnosti[17].

Z uvedeného výčtu parametrů je tedy zřejmé, že zmíněná norma ČSN EN 50160 ed. 3 klade důraz na charakteristiky napájecího napětí, které se týkají hlavně jeho kmitočtu, velikosti a tvaru časového průběhu napětí a třífázové symetrie. Je však důležité znovu zmínit, že uvedený výčet z normy se věnuje jak napěťové úrovni nn, tak i vn. V sítích nn však není nutné klást na některé z těchto parametrů důraz. Protože se tato práce zabývá převážně sítěmi nn, bude v následující části věnován prostor hlavně parametrům, které se v technické praxi v těchto sítích řeší.

Jako zdroj pro následující část kapitoly byla použita kniha Provoz distribučníh soustav [17].

Kmitočet sítě

V sítích nn a vn musí být dodržena střední hodnota frekvence základní harmonické, při měření v intervalech o délce 10 s, s následující odchylkou:

50 Hz ± 1%	49,5 – 50,5 Hz	během 99,5 % roku
50 Hz + 4%, 50 Hz - 6%	47 – 52 Hz	po 100 % času

Jelikož se ale elektrická síť na našem území dá považovat za dostatečně tvrdou, tak se v sítích nn nepředpokládá nutnost frekvenci měřit.

Velikost napájecího napětí

Za normálních provozních podmínek (nezahrnují se případy, kdy je přerušena dodávka) musí být, v intervalu o délce deset minut, během jednoho týden splněny následující meze efektivní hodnoty jmenovitého napětí:

230 V ± 10 %	během 95 % týdne
230 V + 10 %, 230 V – 15 %	po 100 % času

V případě dlouhých vedení nn se výjimečně povoluje i odchylka:

230 V + 11 %, 230 V – 20 %	po 100 % času

Pokud se tyhle limity nedaří provozovateli distribuční soustavy dodržet, lze do určité míry napětí v síti korigovat odbočkovou regulací na primárním vinutí transformátoru.

Rychlé změny napětí

V elektrické síti vznikají kvůli náhlým změnám zátěže skokové změny odebíraného proudu, na které reaguje i změna napětí ve společném napájecím bodě. Tyhle změny zátěže jsou způsobeny hlavně spotřebiči o velkých výkonech (elektromotory, svářecí stroje aj.), zařízeními se skokovou změnou zátěže (elektromotory používané pro pohon výtahů, drtičů kamení, katrů aj.) nebo změny způsobené regulací (spínání na určitý počet period napájecího napětí, termostatové řízení …). Tyhle náhlé výkyvy můžou způsobovat ale i proměnlivé dodávky elektrické energie, které zapříčiňují například větrné nebo fotovoltaické elektrárny.

Tyhle náhlé změny můžou odběratelé vnímat hlavně jako takzvaný flikr, což je subjektivní vjem kolísání světelného toku světelných zdrojů v čase (nepříjemné blikání). Každý člověk je ale kvůli různým biologickým vlastnostem na toto působení trochu jinak citlivý. Proto byla stanovena bezrozměrná veličina P_{flikr} popisující míru vjemu flikru na základě statistického průzkumu, kdy při $P_{flik} > 1$, 50 % dotázaných osob pociťovalo světelné působení jako rušivé. Norma tedy definuje mez pro tyto děje jako:

$P_{flikr} < 1$	po 95 % času v libovolném týdenním období

Zmíněným problémům se většinou zamezí dimenzování rozvodné sítě na dostatečně velký zkratový výkon (viz kapitola 2.2.3).

Nesymetrie napájecího napětí

Nesymetrii napájecího napětí lze v trojfázové síti nn pozorovat při nerovnoměrném rozdělení zatížení mezi všechny tři fáze. Toto nerovnoměrné zatížení je způsobeno hlavně velkými jednofázovými odběry, jako jsou například jednofázové domovní přípojky nebo jednofázové elektrické pece.

Tato nesymetrie pak způsobuje rozdílné velikosti fázových napětí nebo rozdílné úhly mezi fázory napětí. To může vést až k nerovnoměrnému opotřebení rozvodné soustavy (hlavně vlivem oteplování), což se projevuje například snižováním životnosti vedení nebo transformátorů. Proto norma ČSN EN 50160 Ed.3. stanovuje meze pro nesymetrii tak, že v libovolném týdenním období musí být po 95 % středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0-2 % velikosti sousledné složky.

Omezení vlivů nesymetrie se v praxi provádí hlavně souměrným rozdělením zátěže mezi všechny tři fáze. Mnoho elektrických strojů (hlavně ty výkonové a nákladné) jsou navíc ještě chráněny proti vlivům nesymetrie příslušnými ochranami podle ČSN 33 3051 .

Harmonická a meziharmonická napětí

Vyšší harmonické složky způsobují zkreslení původního sinusového průběhu napětí s frekvencí 50 Hz. Označení vyšší harmonická složka je vyvozeno z principu rozkladu podle nekonečné Fourierovy řady, kde každá další vyšší harmonická složka má frekvenci povýšenou o celočíselný násobek frekvence první harmonické složky. Podle tohoto principu lze pak libovolný průběh rozdělit na nekonečnou řadu složek s harmonickým průběhem.

V elektrické soustavě je toto zkreslení původního harmonického průběhu způsobeno hlavně odběry zařízení, jako jsou usměrňovače, frekvenční měniče, indukční stroje, zářivky atd. Protože zmíněné zkreslení v elektrické síti může způsobovat další ztráty ve vedení elektrické energie, chybnou funkci některých zařízení a elektrických ochran a dokonce i rušení komunikačních zařízení, byla normou ČSN EN 50160 ed. 3. definována mez přípustného zkreslení THD jako:

$THD \leq 8\%$

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} u_h} \qquad (2 - 10)$$

Kde: THD je celkový činitel harmonického zkreslení napájecího napětí

h je řád harmonické

u_h relativní amplituda h-té harmonické vztažená k základní

Navíc jsou zmíněnou normou definovány úrovně jednotlivých harmonických složek vyjádřených v procentech základní harmonické. Tyto hodnoty nesmí být překročeny v 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot (viz tabulka 2-1).

Tab. 2-1 Maximální dovolené úrovně harmonických složek vyjádřených v poměru k základní harmonické

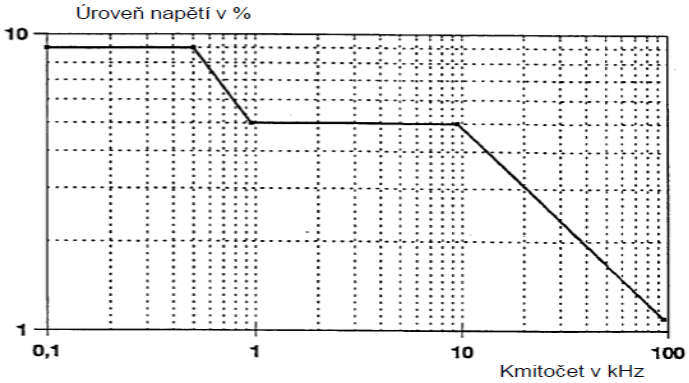
Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3			
Řád harmonické h	Harmonické napětí (u_h)	Řád harmonické h	Harmonické napětí (u_h)	Řád harmonické h	Harmonické napětí (u_h)
5	6 %	3	5 % [a])	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6…24	0,5 %
13	3 %	21	0,5 %		
17	2 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				
POZNÁMKA: Hodnoty pro harmonické vyšších řádů než 25 se neuvádějí, jelikož jsou obvykle malé, avšak vlivem rezonančních účinků obtížně předvídatelné.					

Opatření proti vlivům zkreslení se provádí hlavně za pomocí aktivních a pasivních filtrů. Ty tyto nežádoucí harmonické složky oddělují. V sítích nn se však sledují hodnoty zkreslení, pouze pokud činitel *THD* převyšuje 50 % dovolené hodnoty pro dané měřicí místo, pak se archivují i velikosti jednotlivých harmonických složek napětí převyšující dovolené hodnoty o 30 %.

S rozmachem používání měničů a další zařízení obsahující prvky výkonové elektroniky se začali pozorovat i vlivy takzvaných složek meziharmonických. Norma ČSN EN 50160 ani PPDS však zatím nijak nestanovuje mezní hodnoty pro tento jev. PDS vyhodnocuje vliv meziharmonických složek jen v případě zákazníkovy stížnosti nebo v reakci na výsledky ověřovacího měření.

Napětí signálu v napájecím napětí

Veřejná distribuční síť je využívána i pro přenos informace (například hromadné dálkové ovládání - HDO). Přenos této informace je proveden superponováním frekvence signálu informace na základní frekvenci rozvodné sítě. Aby nedošlo k rušivým jevům, musí být maximální střední hodnota napětí signálu měřeného po dobu tří sekund, menší nebo rovna hodnotám uvedeným na Obr. 2-1[17] po 99 % dne.



Obr. 2-1 Maximální dovolená střední hodnota napětí signálu pro jednotlivé kmitočty [17]

2.3 Výpočetní program DAISY Bizon Projektant

Výpočetní software Bizon Projektant od společnosti DAISY spol. s.r.o. je jedním ze standardních nástrojů pro výpočty elektroenergetických sítí. Je používán většinou jako podpůrný program pro výpočty při projektování rozvodných sítí na napěťových hladinách nn, vn a vvn. Do užití si tento software nebo i jiný se stejné produktové sady PAS DAISY Off-Line, zařadili společnosti jako ČEZ Distribuce a. s., E.ON Distribuce a. s. a další věnující se obdobné problematice [18].

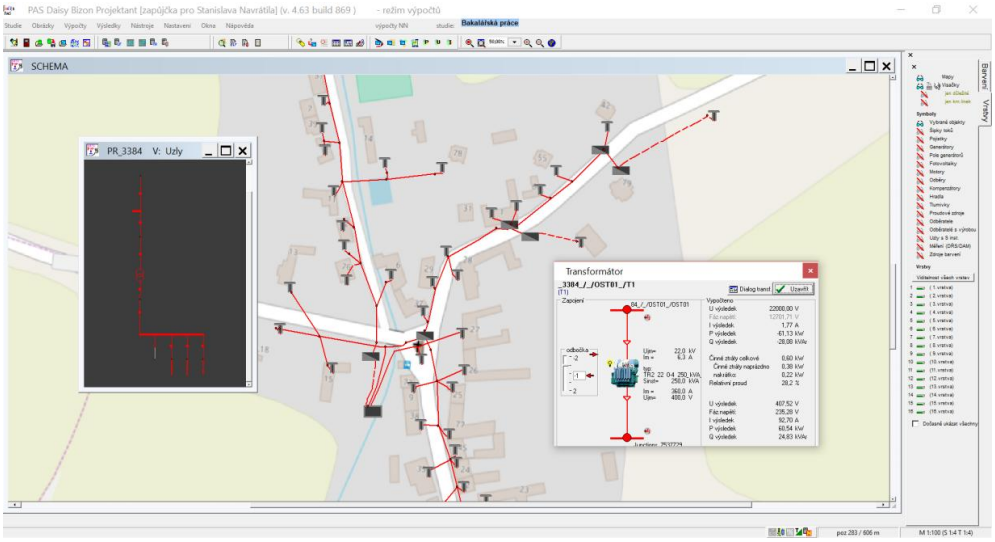
Mezi nejdůležitější funkce tohoto programu patří:

- analýza ustáleného chodu elektrické sítě
- výpočet symetrických, nesymetrických nebo vícenásobných poruch (zkraty, přerušení fází)
- výpočty pro kontrolu jištění pojistkami a jističi (včetně selektivity)
- možnost importu dat z jiných zdrojů (například Geografický Informační Systém – GIS)
- možnost použití mapových podkladů v reálném měřítku (lze použít jak rastrové tak vektorové mapy)

V rámci práce bude použit hlavně modul pro výpočet ustáleného chodu sítě. Tento modul slouží především pro poskytnutí přehledu o současném stavu sítě a následně ověření přípustnosti plánovaných zásazích do ní. Lze tedy porovnávat jednotlivé provozní varianty s ohledem například na minimalizaci ztrát, napěťové úbytky nebo z pohledu rozpočtu [19].

Uživatelské rozhraní je rozděleno nejprve podle napěťových úrovní, ve kterých plánujeme pracovat, a dále na dva pracovní režimy, tím je takzvaný režim výpočtů a editační režim. Editační režim slouží pro přidávání nebo odebírání jednotlivých datových objektů (uzly, větve atd.) a ke změně jejich polohy. Ve výpočtovém režimu lze pak zadávat vstupní hodnoty pro výpočty (parametry sítě), výpočty provádět a následně je analyzovat (například porovnávat parametry s dovolenými hodnotami) [19].

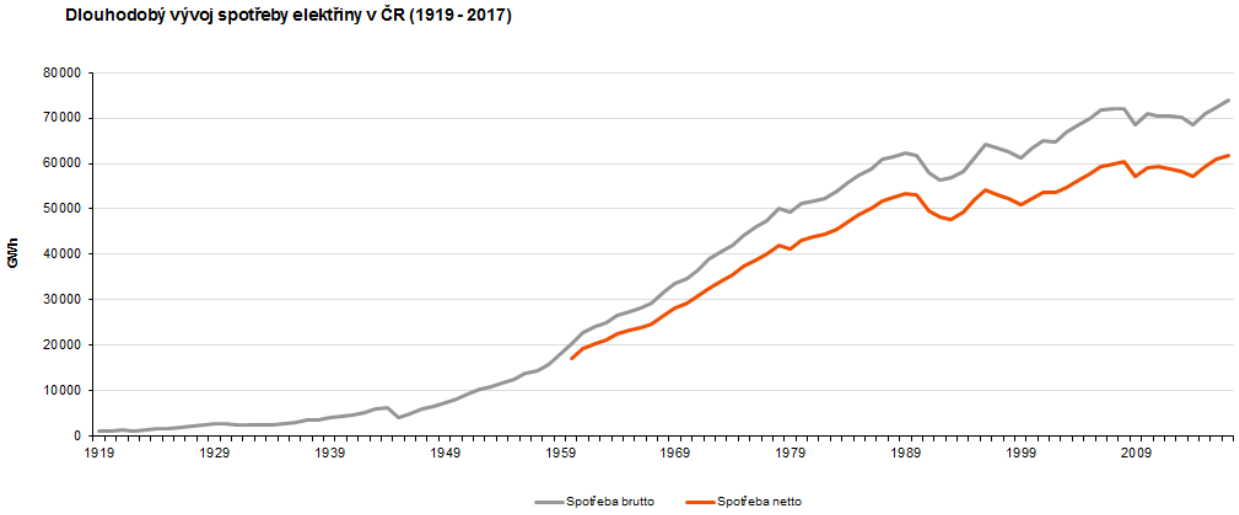
Pro zpracování této práce byla společností DAISY zapůjčena omezená verze programu DAISY Bizon Projektant modifikovaná pro účely ČEZ Distribuce.



Obr. 2-2 Ukázka uživatelského rozhraní programu DAISY Bizon Projektant

3 DLOUHODOBÉ KONCEPCE ROZVOJE DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ

Technologie výroby, přenosu a distribuce elektrické energie se neustále rychle vyvíjí. Jen pro představu, v období vzniku Československé republiky existovalo na našem území přibližně 1500 kilometrů elektrického vedení, plná elektrifikace byla dosažena až v roce 1960 a v dnešní době je vybudováno kolem 250 000 kilometrů elektrického vedení (zahrnuty všechny napěťové úrovně elektroenergetiky). Je tedy zřejmé, že plánování budoucího rozvoje má v oboru elektroenergetiky velmi vysokou prioritu. Ať už z důvodu vzniku nových technologií, růstu spotřeby elektrické energie (viz Obr 3-1[20]) nebo mechanické stárnutí stávajících elektrických sítí. V následující části se proto práce bude věnovat zmíněné problematice v souvislosti s distribučními sítěmi [21].



Obr. 3-1 Dlouhodobý vývoj spotřeby elektrické energie v ČR [20]

3.1 Státní energetická koncepce

Státní energetická koncepce (SEK) je dokument stanovující strategické cíle a priority státu vzhledem k energetickému hospodářství v období na budoucích 30 let. Tím se snaží zajistit spolehlivou, bezpečnou a k životnímu prostředí šetrnou dodávku energie pro potřeby obyvatelstva a ekonomiky ČR, zároveň však musí být zaručena bezpečnost, konkurenceschopnost a přijatelná cena za standardních podmínek [22].

Naplňování cílu daných státní energetickou koncepcí vyhodnocuje Ministerstvo průmyslu a obchodu minimálně jednou za pět let, o výsledcích poté informuje vládu. V případě potřeby pak toto ministerstvo může zpracovat návrhy na změnu SEK a předložit ji ke schválení vládou. V době psaní této práce pochází nejaktuálnější verze SEK z prosince 2014 [22].

Jako zdroj pro následující část této kapitoly byla použita aktuální SEK [23]

Mezi konkrétní cíle zařazené do SEK z oblasti distribuce elektrické energie patří:

- Zabezpečit rozvoj systémů a nástrojů pro řízení elektrizační soustavy s využitím jak nových technologií (např inteligentní sítě), tak i rozšířením regionální spolupráce v oblasti řízení soustav a posílení rezerv.
- Podporovat rozvoj distribuovaných i centralizovaných systémů akumulace.
- S ohledem na strategický význam sektoru elektroenergetiky nadále zachovat dominantní vliv státu ve společnosti ČEZ, a.s.
- Do roku 2025 zajistit dostatečnou kapacitu a flexibilitu distribučních soustav pro splnění požadavků na připojení obnovitelných zdrojů s ohledem na plánovaný podíl OZE (18-25%) na struktuře výroby elektřiny. To by mělo být provedeno prostřednictvím rozvoje kapacit distribučních sítí a jejich efektivním řízením.
- Zajistit integraci obnovitelných zdrojů energie OZE do mechanismů řízení rovnováhy elektrické soustavy, hlavně prostřednictvím inteligentních distribučních sítí a řízením OZE připojených do DS.
- Provést obnovu a rozvoj distribučních sítí zajišťující udržení bezpečnosti a spolehlivosti DS. Tím i zajistit kapacitní rezervy sítě pro využití v krizových situacích (nárazové zatížení).
- Podpora rozvíjení energetické odolnosti sítě a schopnost zvládat vícenásobné výpadky kritických prvků infrastruktury, a dokonce i selhání přenosové sítě. Minimální úroveň dodávek elektrické energie by v tomto případě měla být zaručená pro nezbytnou infrastrukturu obyvatelů. To se plánuje formou posilování ostrovních provozů (především u velkých městských aglomerací).
- Realizovat národní akční plán rozvoje inteligentních sítí, které umožní decentralizované řízení spotřeby i distribuované výroby (řízení malých domácích a lokálních zdrojů, řízení akumulačních možností elektromobilů …).

Ve shrnutí lze tedy říct, že státní energetická koncepce plánuje v rámci distribučních sítí přípravu na budoucí rozvoj decentralizovaných obnovitelných zdrojů elektrické energie, elektromobility a s tím související navýšení kapacit distribuční soustavy. Ke stabilizaci DS mají pak sloužit akumulační prvky centralizované i decentralizované povahy v kombinaci s regulací pomocí prvků technologie smart grid (více v kapitole 3.3). Aktuální SEK dále rozvíjí i myšlenku ostrovních provozů během kritických situací na úrovni městských aglomerací a dalších oblastí s vhodným poměrem výroby a spotřeby elektrické energie. Samozřejmě se počítá i se zachováním dosavadní spolehlivosti a kvality dodávky elektrické energie, která je podle SWOT analýzy (Strenghts, Weaknesses, Oportunities, Threats) uvedené v dokumentu SEK velmi silnou stránkou stávající elektrické soustavy.

3.2 Koncepce rozvoje distribuční soustavy ČEZ Distribuce, a. s.

Jako každý provozovatel distribuční soustavy musí i ČEZ Distribuce, a. s. podle energetického zákona [2] a PPDS [9] každoročně zpracovávat a zveřejňovat informace o plánovaném rozvoji distribuční soustavy, a to nejméně na budoucích 5 let. To se týká hlavně informací o výstavbě nových vedení, transformoven a rozvoden nebo o rekonstrukcích těch stávajících. Uváděny jsou však i informace o budoucích záměrech z oblasti technologického rozvoje. Na vybrané technologické záměry, které ovlivní chod sítí nn, se bude zaměřovat následující část práce.

3.2.1 Inteligentní dálkově ovládané prvky

Pro rychlejší a efektivnější provádění manipulačních a automatizačních činností v distribučních sítích se do roku 2020 plánuje rozšíření použití dálkově ovládaných prvků (DOP). To efektivně povede ke snížení manipulačních časů, například při řešení poruch, čímž budou vylepšeny ukazatele nepřetržitosti distribuce elektrické energie (SAIDI, SAIFI). Tyto prvky mohou být navíc vybaveny i měřícími a ochrannými funkcemi, což umožňuje další automatizaci například v konceptu inteligentních sítí[24].

Příkladem jednoho z těchto prvků může být linkový vypínač (recloser) používaný na venkovních vedeních vn. Toto zařízení je umísťováno většinou na výstupu z rozvodny, v kmenovém vedení, dlouhých odbočkách a v dalších místech, kde je nutné okamžité odpojení části vedení bez omezení distribuce elektrické energie ostatním klientům. Recloser dále zvládá vypínat a zapínat poruchové proudy, takže umožňuje funkci takzvaného opětovného zapnutí (OZ), která v případech přechodných poruch dokáže okamžitě a automaticky obnovit distribuci elektrické energie [24].

3.2.2 Osazení měření kvality elektrické energie v koncových distribučních trafostanicích

Další z plánovaných projektů se zabývá technologií měření elektrických veličin v koncových distribučních trafostanicích (DTS). Konkrétně se jedná o přístrojové vybavení umožňující monitoring sítě a následný dálkový přenos naměřených dat v reálném čase. To výrazně pomůže distributorovi zvýšit spolehlivost a kvalitu dodávky elektrické energie, které by mohli být ohroženy plánovaným rozvojem decentralizovaných zdrojů. Zároveň tato technologie ušetří čas pracovníků, kteří by jinak museli stahovat naměřená data přímo na pozici DTS [25].

V rámci sítí ČEZ Distribuce, a. s. již bylo provedeno testovací nasazení zmíněných zařízení na 19 DTS, které pomocí technologií mobilní sítě GPRS (general packet radio service) a digitálního rádiového přenosu odesílali naměřené údaje s dostatečnou kvalitou a konzistencí. Na základě tohoto testovacího nasazení bylo rozhodnuto o rozšíření zmíněné technologie i na další koncové DTS, které by mělo začít probíhat do roku 2020 [25].

3.2.3 Výstavba optické infrastruktury

Pro budoucí potřeby dispečerského řízení distribučních soustav, integrace decentrálních zdrojů elektrické energie a zavádění technologie inteligentních sítí se do roku 2030 počítá s velkým rozšířením optické infrastruktury [26].

Podle Koncepce rozvoje optické infrastruktury společnosti ČEZ Distribuce, a.s. z roku 2017 [27] bude realizace tohoto projektu rozdělena do následujících kroků:

- Výstavba hlavní přístupové telekomunikační infrastruktury s cílem
  - pokrytí všech transformoven 110 kV/vn alespoň jednou optickou trasou a následně zajištění i záložní optickou trasou
- Výstavba páteřní telekomunikační infrastruktury s cílem
  - pokrytí všech transformoven vn/vn, spínacích stanic a vybraných DTS obcí a měst s počtem obyvatel nad 2500 (asi 70 % všech odběrných míst)

Konkrétné se má optická infrastruktura realizovat ve venkovních sítích prostřednictvím kombinovaného zemního lana (KZL) se 48 vlákny na napěťové hladině vvn. Na hladině venkovních vedení vn se počítá hlavně s nasazením samonosných dielektrických optických kabelů (SDOK) se 48 vlákny a případně i s KZL. U venkovních sítí nn se zatím neuvažuje o použití stávajících podpěrných bodů k rozvoji optické infrastruktury (to souvisí hlavně s plánovanou kabelizací na této napěťové úrovni) [27].

3.3 Inteligentní sítě

Téma inteligentních sítí (smart grids) už v této práci bylo zmíněno několikrát, jelikož je to jeden z hlavních trendů, kterým se pravděpodobně v budoucích letech bude ubírat národní elektroenergetika. S implementací některý prvků tohoto souborů technologií už například počítá Státní energetická koncepce [23] a z ní vycházející Národní akční plán pro chytré sítě z roku 2015 [28]. Následující část práce tedy bude věnována této problematice vztažené hlavně k elektrickým sítím nízkého napětí. Kvůli komplexnosti tohoto souboru technologií a jeho těžko předpokládanému budoucímu vývoji bude zmíněné téma probráno jen velmi obecně.

3.3.1 Elektroměry

Jelikož je koncept inteligentních sítí stojí na obousměrném přenosu energetických dat v reálném čase, bude jedním z prvních základních kroků k rozvinutí této technologie nasazení inteligentních elektroměrů (se systémem AMM – Advanced Metering Managment). Na základě dat z těchto elektroměrů bude mít distributor přesnější přehled o jednotlivých odběrech a může tak vybranou síť lépe spravovat nebo například odhalovat takzvané „černé“ odběry. Další z výhod pro distributora je ušetření nákladů za manuální odečty stavů elektroměrů, jelikož budou moci probíhat dálkově. Mezi výhody na straně zákazníka následně může patřit komplexnější přehled o jeho spotřebě (například prostřednictvím internetových stránek). Tyto informace by následovně mohl použít k optimalizaci jeho spotřeby nebo k přesunu spínání výkonových spotřebičů do jiných časových pásem. K dalším finančním úsporám na straně zákazníka by mohlo dojít v důsledku zavedení dalších cenových tarifních pásem, které by inteligentní elektroměry umožňovaly. To by pomohlo i k lepší stabilitě sítě, což bude s plánovaným rozvojem decentralizovaných zdrojů potřeba [22].

V rámci pilotního projektu společnosti ČEZ Distribuce, a.s. bylo již osazeno kolem 35 000 elektroměrů s technologií AMM, aby se posoudily technologické, logistické, bezpečnostní a ekonomické předpoklady pro budoucí plné nasazení této technologie. Výsledkem bylo doporučení odkladu plného nasazení těchto měřicích systémů. Hlavními důvody pro toto rozhodnutí byly komplikace při implementaci zahraničních systémů v podmínkách ČR a neschopnost plného nahrazení řízení pomocí hromadného dálkového ovládání [29].

3.3.2 Elektromobilita

Elektromobilita je jedním z dalších rychle rostoucích trendů, který se nesmí pro budoucí rozvoj elektroenergetických sítí opomenout. Musí například brát v úvahu zvýšené nároky na dimenzování distribučních sítí, které budou způsobeny vlivem přibývajících dobíjecích stanic. Velkou výhodu by však elektromobilita poskytla v oblasti řízení elektrizační soustavy. Akumulátorové baterie elektromobilů by mohly být využity pro svůj akumulační výkon a přispět tak ke stabilitě celé soustavy. Ke stejnému výsledku by mohly dále napomoci i cenové tarify cílené konkrétně na elektromobily. K myšlence používání elektromobilů jako akumulační výkon pro elektrickou síť je ale třeba zachovat kritický přístup, jelikož stávající technologie akumulátorů má poměrné omezený počet nabíjecích cyklů, což by vedlo k výraznému snížení životnosti elektromobilů, aniž by je jejich majitelé používali [22].

3.3.3 Akumulace elektrické energie

Vlivem plánované decentralizace elektrických sítí a implementace většího podílu obnovitelných zdrojů na výrobě elektrické energie bude zapotřebí zajistit požadovanou stabilitu elektrizační soustavy jejím pokročilejším řízením v kombinaci s využíváním technologií k akumulaci elektrické energie.

Národní akční plán pro chytré sítě [28] rozděluje potenciální technologie pro akumulaci elektrické energie následovně:

- Fyzikální princip
  - využití změn potenciálové a kinetické energie k akumulaci (přečerpávací vodní elektrárny, setrvačníky, systémy uchování stlačeného vzduchu aj.)
- Chemický princip
  - akumulace energie pomocí vratných chemických reakcí elektrodového materiálu s ionty elektrolytu
  - do této kategorie je zařazena i technologie superkondenzátorů
- Elektromobilita jako akumulace
  - v první fázi rozvoje elektromobility se předpokládá využití konceptu, při kterém bude zákazník využívat kapacitu akumulátoru elektromobilu k uložení přebytků vlastní výroby (například z domácí fotovoltaické elektrárny)
  - velký akumulační potenciál dále nabízí stanice pro výměnu elektromobilových baterií

Použití akumulačních prvků má dále potenciál i při oddalování investic do posilování distribučních sítí. Místo investice do posílení infrastruktury, která například nevyhovuje jen po určitý časový úsek během odběrových špiček, je možné tento výkon dodat z akumulačních stanic umístěných poblíž objektu odběratele [28].

3.3.4 Projekt Smart region ve Vrchlabí

V roce 2010 započal velký pilotní projekt zaměřující se na hromadnou implementaci prvků technologie inteligentních sítí do reálného provozu. Projekt byl realizován v rámci celoevropské spolupráce GRID4EU pod vedením společnosti ČEZ Distribuce, a. s. a se zapojením společností jako CISCO, Siemens, ABB a Current International Technologies. Lokace Vrchlabí byla vybrána záměrně vzhledem k její velikosti a možnosti začlenění obnovitelných zdrojů elektrické energie [30].

Mezi hlavní zavedené prvky patří technologie pro automatizovanou a online monitorovanou distribuční sít, umožní okamžitou reakci na případné poruchy, a omezí tak výpadky dodávek elektrické energie. Dále byly vybudovány dobíjecí stanice pro elektromobily (konkrétně 2 standardní a jedna rychlonabíjecí) a následně byl pozorován jejich vliv na celkový chod sítě. V rámci schopnosti fungování regionu v ostrovním režimu byly do sítě začleněny tři kogenerační jednotky o celkovém elektrickém výkonu 3920 kW a tepelném výkonu 4220 kW. Počítá se i s instalací 5000 inteligentních elektroměrů ke koncovým odběratelům [31].

V současné době probíhá vyhodnocování dat a zkušeností získaných z tohoto projektu. Na jejich základě bude rozhodnuto, v jaké míře se budou technologie použité v tomto projektu implementovat i do zbytku elektroenergetické soustavy[30].

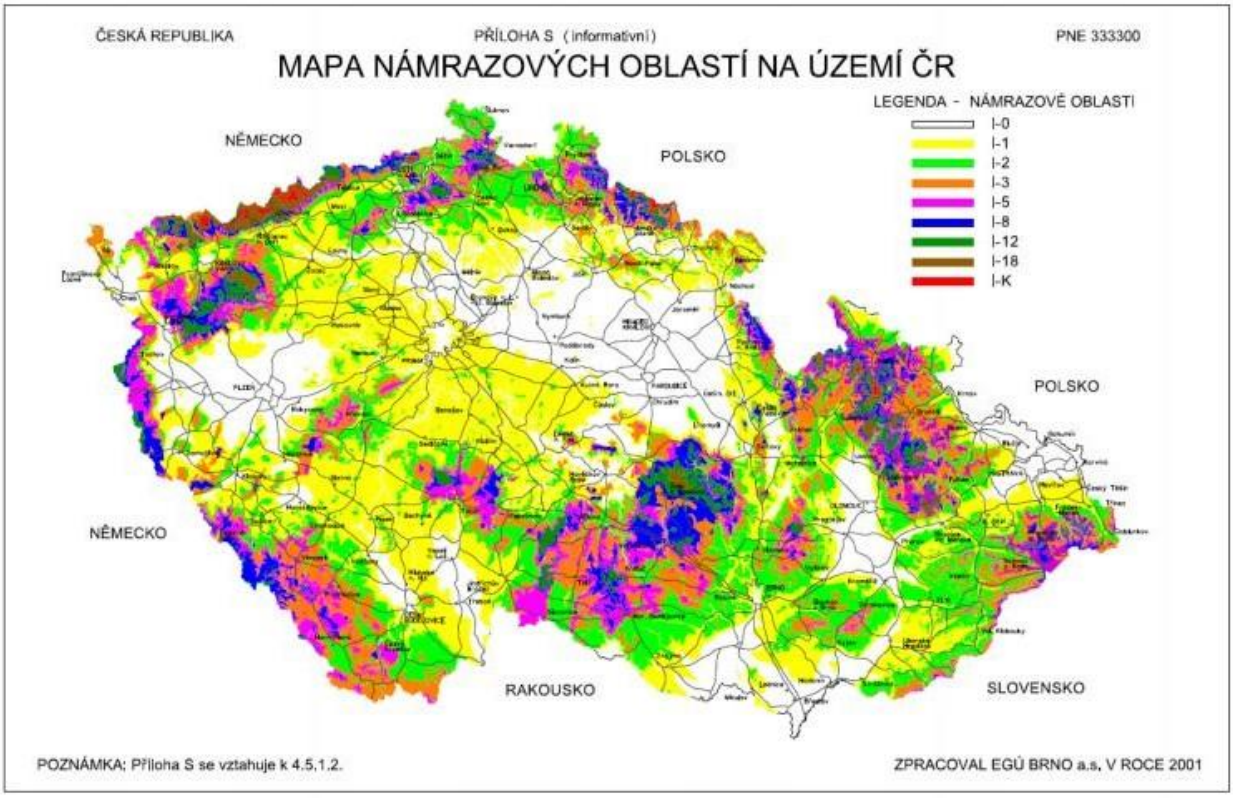
4 POPIS VYBRANÉ SÍTĚ NN

V následující kapitole bude charakterizována vybraná síť nízkého napětí, tzn., že bude popsána její geografická poloha a informace s ní související, struktura rozvodné sítě a analýza kvalitativních parametrů pomocí softwaru DAISY Bizon Projektant.

4.1 Poloha sítě nn

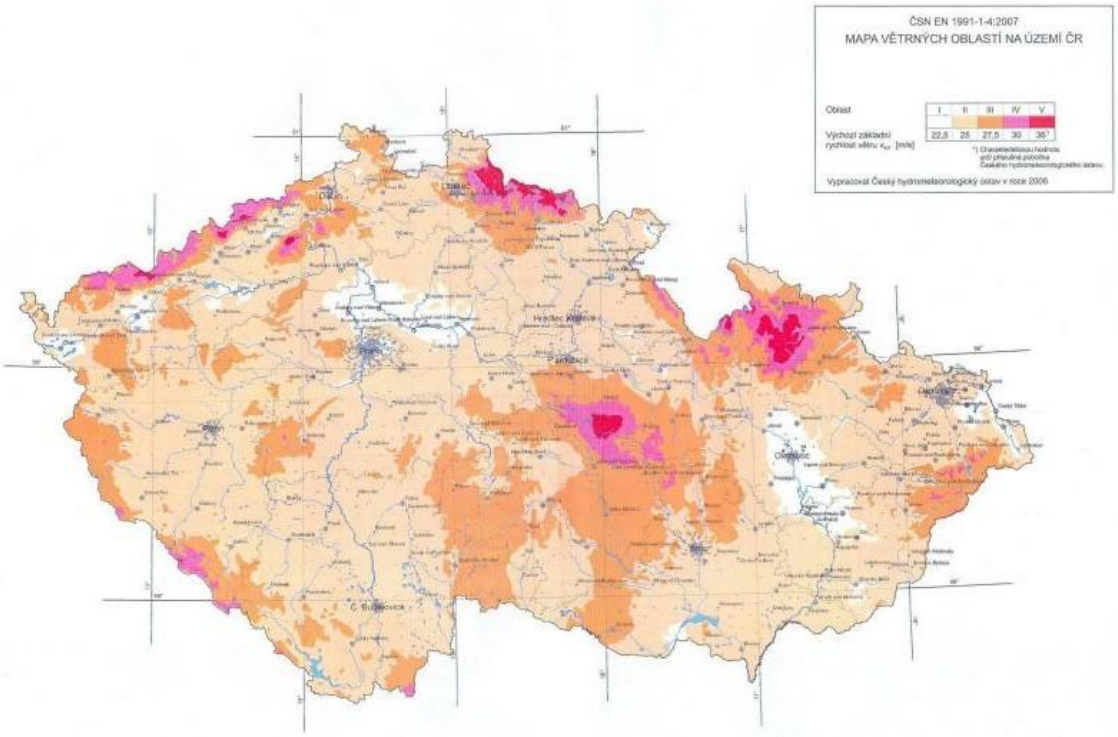
Vybraná obec leží v Olomouckém kraji, rozloha zastavěného území obce činí asi 3 km^2. Podle Českého statistického úřadu zde žije kolem 200 obyvatel [32] (vzhledem k anonymitě dále používaných dat nemůže být tyto informace více specifikovány).

Z polohy obce jsou odvozovány důležité informace, které můžou ovlivnit dimenzování prvků samotné elektrické sítě (hlavně venkovní část). Z hlediska povětrnostních vlivů lze tuto oblast popsat podle zatížení námrazou, zatížení větrem a účinků okolní teploty. Podle mapy námrazových oblastí (Obr. 4-1 [33]), na kterou odkazuje PNE 33 3302, se tato obec nachází v námrazové oblasti N2 (I-2 v obrázku). Tato informace je důležitá zejména při dimenzování prvků venkovního vedení, kdy se musí počítat s přídavným zatížením ve formě námrazy.



Obr. 4-1 Mapa námrazových oblastí na území ČR [33]

Dalším vnějším vlivem, který může ovlivnit dimenzování částí venkovního vedení, je zatížení větrem. To je podle PNE 33 3302 definováno rychlostí větru a kategorie terénu. Podle mapy větrných oblastí převzaté ČSN EN 1991-1-4 (Obr. 4-2 [34]) lze tedy popisovanou obec zařadit do II. větrné oblasti, kde je definovaná základní rychlost větru $v_{b,0}$ = 25 m·s^{-1} ve výšce 10 m nad zemí. Terén dané obce lze popsat jako kategorii III. - předměstské a průmyslové plochy a trvale zalesněná území a část i jako kategorii II. - zemědělské plochy s rozptýlenou zástavbou a porosty. Podle zmíněné normy PNE 33 3302 se však zatížení větrem uvažuje u venkovního vedení do 1 kV jen ve vybraných případech (například úseky ve volném terénu) [35].



Obr. 4-2 Mapa větrných oblastí na území ČR [34]

Účinky teploty stanovuje norma PNE 33 3302 [35] hromadně pro celé území České republiky. Nejdůležitějšími parametry u dimenzování venkovního vedení je minimální teplota okolí
t_{min} = -5 ^{o}C a maximální teplota okolí t_{max} = 40 ^{o}C, které jsou používány hlavně pro výpočty roztažnosti vodičů. Dále je definována teplota pro výpočty související se zatížením námrazou, která je určena na t_{nam} = -5 ^{o}C (jelikož při nižší teplotě už námraza nevzniká) [35].

Podle PNE 330000-2 [36] by se daly zahrnout i další vnější vlivy prostředí jako třeba výskyt cizích pevných těles, seismické účinky, působení vody, výskyt korozivních nebo znečišťujících látek a další, kvůli zjednodušení byly popsány jen zmíněné tepelné účinky, zatížení námrazou a zatížení větrem.

4.2 Struktura sítě nn

Jako zdroj pro tuto kapitolu byla využita studie elektrické sítě nn vybrané obce [37] vytvořená v programu DAISY Bizon projektant pro účely ČEZ Distribuce, a.s. a poznatky získané z místního šetření.

Značení silových vodičů, které je použito v této práci vychází z národních norem ČSN užívaných od poloviny 70. let. I když tento typ značení není harmonizován s mezinárodními normami jako nový způsob značení podle ČSN 34 7409 [38], je tento starší typ značení v praxi stále často používán pro svou jednoduchost a přehlednost [39].

Elektrická síť v obci připojuje celkové množství osmdesáti odběratelů, z nichž většinu tvoří rodinné domy a zbylou část objekty jako obecní úřad, obchod s potravinami, hasičská zbrojnice, kaple a veřejné osvětlení. Do sítě je připojena i jedna výrobna OZE v podobě fotovoltaické elektrárny o instalovaném výkonu P_i = 5 kVA na střeše jednoho rodinného domu.

Místní elektrická síť nn je tvořena paprskovou topologií, kde většina vedení je realizována jako venkovní. Napájení celé místní sítě zajišťuje jedna distribuční trafostanice (22 kV / 0,4 kV) stožárového typu, umístěná v centru obce. Tato trafostanice je osazena transformátorem o jmenovitém výkonu S_n = 250 kVA. Zmíněná trafostanice má 3 vývody, provedené kombinací venkovního a kabelového vedení AYKY 3 x 120 + 70, AlFe6 4 x 70 a AES 4 x 35. Tyto vývody následně tvoří 3 vzájemně nezávislé paprsky, kde dva z nich jsou hlavní rozvod po obci a poslední zmíněný napájí jen blízkou kapli s přilehlým domem (viz Příloha B).

V obci je celkem 11 rozpojovacích skříní a 74 skříní přípojkových (viz Příloha A). Pro páteřní rozvod je použito venkovní vedení AlFe6 3 x 70 + 50, AlFe 4 x 50 a kabelizované vedení AYKY 3 x 120 + 70 na jihovýchodě obce. Odbočky z páteřního vedení jsou realizovány většinou pomocí venkovních AlFe lan AlFe3 4x25 a kabelových vedení AYKY 4x25. Přípojky jednotlivým odběratelů jsou provedeny především venkovním závěsným kabelem AYKYz 4 x 16, nebo samonosným izolovaným vodičem AES 4x16 (viz Příloha B).

Na jihu obce lze nalézt zbytky nn a vn sítě, která dříve sloužila jako napájení zemědělského družstva. Nyní je tato síť už odpojena úsekovým odpínačem a zbylo z ní jen několik desítek metrů venkovního vedení a příhradový stožár trafostanice bez transformátoru. Během nadcházející rekonstrukce se plánuje toto místo připojení na síť vn opět obnovit z důvodu zlepšení kvalitativních parametrů a provozních vlastností sítě nn.

Stáří většiny prvků elektrické sítě nn odpovídá době poslední celkové rekonstrukce, která probíhala mezi lety 1983 až 1988. Z toho vyplývá, že tyto prvky se už blíží ke své hranici životnosti, jelikož se sítě nízkého napětí standardně dimenzují na budoucích 40 let. Poměrně výrazné mechanické opotřebení lze pozorovat zejména na venkovním vedení, kde se projevuje například prasklinami v některých betonových opěrných bodech nebo na izolátorech.

Obr. 4-3 Schéma topologie sítě nn ve vybrané obci [37]

4.3 Analýza stávajícího stavu sítě nn prostřednictvím sw DAISY Bizon Projektant

Výpočty vycházející z analýzy elektrických sítí v ustáleném stavu jsou jedním z prvních prostředků používaných pro hodnocení aktuálního stavu sítě. Na jejich základě je totiž většinou rozhodnuto o použití komplexnějších analýz, jako je například měření v terénu, které už může být časově a finančně náročnější.

Ustáleným stavem rozvodných sítí se rozumí stav, kdy neprobíhají krátkodobé přechodné děje jako poruchy (přetížení, zkrat, atmosférické přepětí), dále připojování a odpojování vedení, zdrojů, odběrů, kompenzátorů atd. Už kvůli neustálé změně zatížení související s například s denním zatěžovacím diagramem je tedy jasné, že ustálený stav v síti nikdy skutečně nenastane. I přes to jsou vycházející z ustáleného stavu hojně používány, jelikož se jimi dá určit přibližné hodnoty proudů a napětí všech prvků dané sítě. Pomocí těchto hodnot lze následně s poměrně dobrou přesností posoudit správnost chodu případně návrhu sítě [40].

Pro provedení analýzy elektrické sítě nn v obci byl použit výpočetní software DAISY Bizon Projektant, jehož hlavním nástrojem je právě výpočet ustáleného stavů sítě. Jako hlavní vstup pro výpočty byly použity parametry jako počet odběrových míst a jejich charakteristika (instalovaný výkon P_i, koeficient soudobosti β, spotřeba (kWh) nebo účiník $cos\varphi$), parametry jednotlivých úseků vedení (délka, rezistence R, reaktance X a kapacitance B) a parametry DTS a distribučních zdrojů (instalovaný jmenovitý výkon S_{inst}).

Prvním z výstupu, který použitý software umožňuje, je takzvaná celková bilance zatížení (viz Tab. 4-1). Jedná se spíše o informativní výstup dodávající představu o výkonových tocích a ztrátách v síti. Důležitým parametrem vycházející z těchto údajů je využití transformátoru $\gamma = 28{,}2\ \%$.

Tab. 4-1 Energetická bilance zatížení před rekonstrukcí

$P_{dodávka}$ (kW)	$P_{odběr}$ (kW)	$P_{ztráty}$ (kW)	$Q_{dodávka}$ (kVAr)	$Q_{odběr}$ (kVAr)	$Q_{ztráty}$ (kVAr)
75,902	73,500	2,402	28,079	24,158	3,921

Velmi podstatným výstupem je kontrola úbytku napětí ve všech uzlech sítě, kdy se za uzel považuje místo připojení zdrojů, odběrů, jistících prvků nebo místo, kde se dělí či propojují vedení.

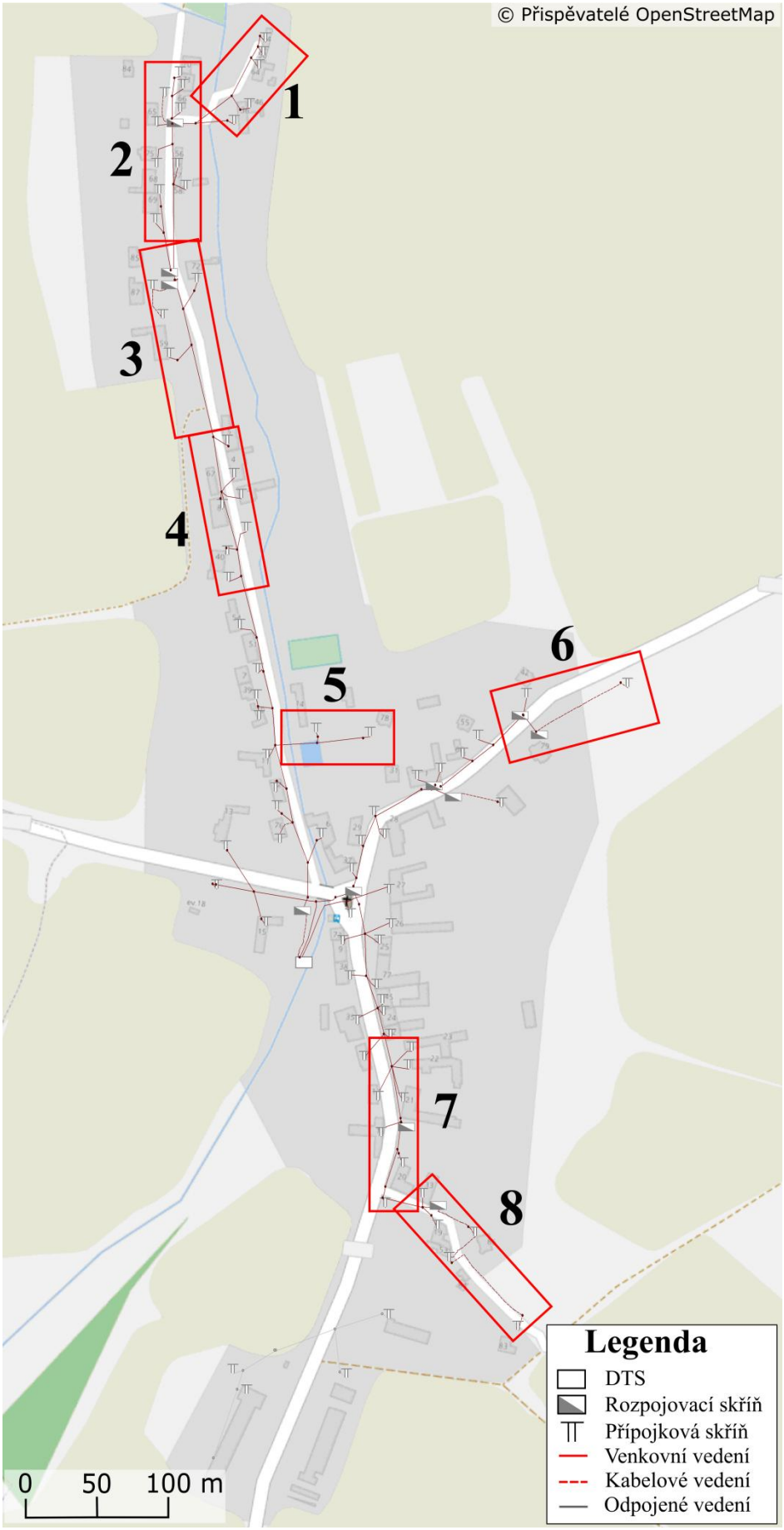
Podle tabulky vypočtených hodnot napětí pro všechny uzly v dané síti (Příloha D) je ve všech místech dodržena podmínka maximálního dovoleného úbytku napětí $\Delta U \leq 10\ \%\ U_n$ danou normou ČSN 50 160. Největší pokles napájecího napětí je podle předpokladu v částech sítě nejvíce vzdálených od DTS (oblasti 1, 2, 6, 8 v obrázku 4-4 [41]), kdy největší úbytek napětí je na konci oblasti 1 (ΔU = 6,4 V, uzel označený 1 v příloze D). Při výpočtu byla uvažována regulace výstupního napětí transformátoru pomocí přepnutí odbočky na jeho primárním vinutí do polohy 1 (výstupní napětí DTR je navýšeno na hodnotu 102,5 % U_n). Takhle je transformátor provozován i ve skutečnosti. Maximální dovolený úbytek napětí by však nebyl v síti překročen ani v případě, kdy by odbočková regulace nebyla použita.

Posledním zkoumaným výstupem v rámci této práce je dodržení maximálních hodnot vztažných impedancí podle PNE 33 34 30-0 vydání páté [14]. Zkoumat se bude jen podmínka pro připojení jednofázových spotřebičů do 16 A ($Z_{1\,k} < 0{,}47\ \Omega$). Spotřebiče o větším odběru není vzhledem k charakteru této sítě nutné brát v úvahu.

Podle tabulky výsledných hodnot vztažných impedancí pro jednotlivé uzly (Příloha D) nebyla zmíněná podmínka dodržena v oblastech 1 až 8 na obr. 4-4 [41] (červeně zvýrazněné hodnoty ve zmíněné příloze). Opět se jedná o místa s velkou vzdáleností od DTS. Nejvyšší hodnota vztažné impedance je na konci úseku 1, kde $Z_{1\,k} = 1{,}274\ \Omega$ (uzel č. 1) což je více jak dvojnásobek doporučené maximální hodnoty.

V závěru této analýzy lze tedy konstatovat, že největšími nedostatky sítě je nedodržení maximální hodnoty vztažné impedance na velké části elektrického vedení a celkové stáří sítě. S dalším rozšiřováním sítě (hlavně vlivem připojování mikrozdrojů) by se z těchto důvodů mohly začít projevovat zpětné vlivy, což by se projevilo na výkyvech kvalitativních parametrů dodávky elektrické energie podle ČSN 50 160. Na druhou stranu však síť splňuje s rezervou podmínky na maximální úbytky napětí, s tím že místní distribuční transformátor umožňuje v případě potřeby ještě dodatečné navýšení výstupního napětí pomocí odbočkové regulace na 105 % U_n.

Na základě výstupů této softwarové analýzy a místního šetření lze doporučit elektrickou síť nn vybrané obce na celkovou rekonstrukci vedení. Další odůvodnění kompletní rekonstrukce spočívá v rostoucím trendu v připojování mikrozdrojů, kdy vyhláška č. 16/2016 Sb. [42] uděluje PDS povinnost splnit podmínky pro jejich připojení v případě žádosti. Jednou z těchto podmínek pro připojení je právě dodržení mezní hodnoty vztažné impedance, která byla ověřována v rámci analýzy. Rekonstrukce je doporučena i vzhledem k vyhlášce č. 501/2006 Sb. [43], která ukládá požadavek na postupnou kabelizaci vedení všech elektrických sítí nn na zastavěném území obcí.



Obr. 4-4 Schéma topologie sítě s vyznačenými problémovými oblastmi[41]

5 NÁVRH REKONSTRUKCE SÍTĚ NN VYBRANÉ OBCE

Obsahem následující kapitoly je provedení návrhu rekonstrukce sítě nn ve vybrané obci. Rozsah tohoto návrhu se bude blížit prvotnímu odbornému odhadu prováděným ve společnosti ČEZ distribuce a. s. při požadavku na rekonstrukci. Jeho součástí bude schéma nové topologie sítě, dimenzování distribučních transformátorů a návrh typu a průřezu všech úseků vedení. Korektnost návrhu bude následně ověřena výpočtovým programem DAISY Bizon Projektant. Vzhledem ke komplexnosti a charakteru této práce nebude součástí návrh jištění sítě.

5.1 Návrh napájení

Návrh napájení vybrané sítě bude proveden v souladu s metodikou společnosti ČEZ distribuce a. s. [44] a s teoretickými poznatky o problematice výpočtového zatížení popsaných v kapitole 2.2.1.

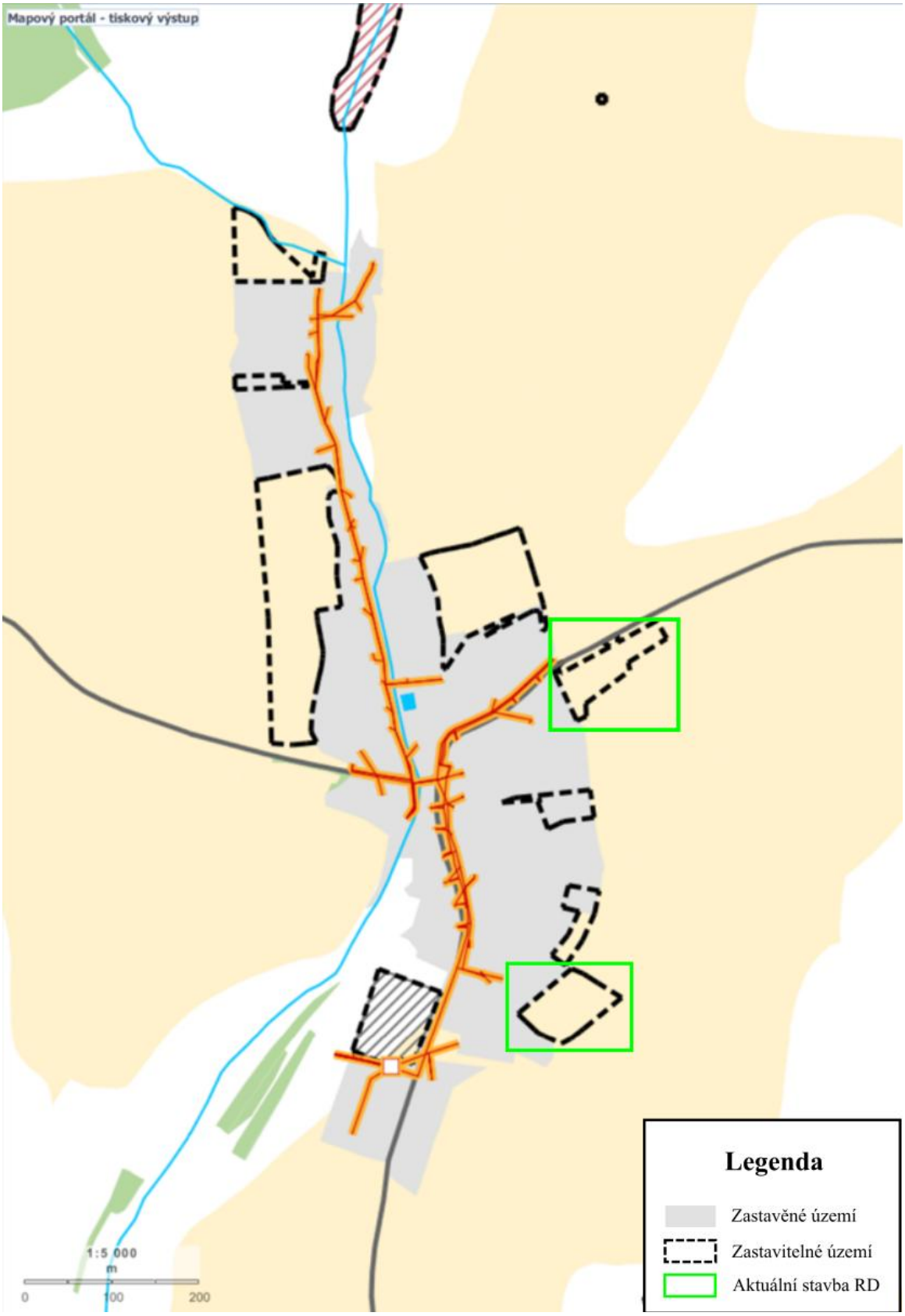
5.1.1 Ohled na pozemkový rozvoj obce

Při návrhu nebo rekonstrukci technické infrastruktury (rozvody el. energie, rozvody vody, telekomunikační sítě aj.) je třeba dbát na předpokládaný pozemkový rozvoj vybraného území. Tím se výrazně zamezí nutnosti dalších investic do nové infrastruktury, která je teprve na začátku své životnosti. Příkladem této situace může být třeba nutnost posílení linky sítě nn rekonstruované jen před několika lety z důvodu výstavby nových obytných domů, se kterými původní projekt rekonstrukce nepočítal.

Jedním z nástrojů používaných za tímto účelem je tzv. územní plánování. Je to soubor dat, podrobně popisující uspořádání a budoucí podobu veškerých pozemků na území dané obce. Dají se v něm najít informace například o tom, které plochy jsou už zastavěné, zastavitelné, nebo nezastavitelné, dále jsou zde popsány trasy stávající i plánované technické infrastruktury, dopravních trasy aj. Povinnost územní plánování vést, pravidelně aktualizovat a zveřejňovat, uděluje obcím zákon č. 183/2006 Sb. (stavební zákon) [45]. Data o územním plánování obce zkoumané v této práci byly převzaty z Portálu územního plánování Olomouckého kraje[46].

Pro návrh rekonstrukce, kterým se zabývá tato práce, byl použit výkres záměrů z územně analytických podkladů obce (Obr. 5-1 [47]). Z tohoto dokumentu jsou pro potřeby rekonstrukce rozvodné sítě nn nejdůležitější informace o rozloze zastavěného území (intravilán), jelikož má provozovatel DS podle energetického zákona [2] povinnost zřídit na svoje náklady elektrickou přípojku zákazníkovi (a to i do 50 m mimo zastavěné území). Výkres zvýrazňuje dále plochy zastavitelné, s kterými by se mělo počítat jako s budoucí možností rozšíření elektrické sítě. Zelenou čarou jsou pak zvýrazněny zastavitelné plochy, na kterých v době tvorby této práce už probíhá výstavba nových rodinných domů.

V samotném návrhu rekonstrukce sítě se zmíněné skutečnosti projeví především započtením předpokládaných odběrů právě stavěných rodinných domů do celkového výpočtového zatížení a rozmístěním rozpojovacích skříní tak, aby z nich případně bylo možné vyvést odbočky na zastavitelné území.



Obr. 5-1 Výkres záměrů z územního plánování[47]

5.1.2 Přidání druhé DTS

V rámci nové koncepce návrhů elektrických sítí [23] kladoucí důraz na větší stabilitu dodávky energie, lepší parametry její kvality a možnost budoucího rozšiřování sítí, bude do návrhu zařazeno i posílení soustavy obce o další DTS. K tomuto rozhodnutí bylo přistoupeno i na základě skutečnosti, že v obci už v minulosti druhá DTS osazená byla a zůstala zde po ní vn přípojka s úsekovým odpínačem, které se dají použít pro připojení nové trafostanice. Nová DTS by tedy byla umístěna na jihu obce poblíž bývalého zemědělského družstva, kde jsou zmíněné pozůstatky staré trafostanice (Obr. 4-3 [41]).

Síť s dvěma a více trafostanicemi se standardně provozuje buď odděleně, nebo paralelně. Oddělený chod spočívá v tom, že každá DTS má svůj napájený úsek, který je oddělený od druhé DTS. Výhodou tohoto zapojení je rychlá lokalizace případných poruch a možnost manipulačních prací, kdy se 1 DTS například zcela odstaví a její zátěž může být přepojena na druhou trafostanici. Při paralelním chodu jsou jednotlivé trafostanice v síti propojeny, a tudíž je zabezpečena větší spolehlivost dodávky (při výpadku jednoho zdroje okamžitě a bez potřeby manipulace přebírá zátěž druhá DTS). Další výhodou je zvýšení kvalitativní parametrů elektrické energie v částech sítě napájených „z obou stran“.

Je však nutné, aby byly v síti splněny následující podmínky pro paralelní chod dvou transformátorů [48]:

1. stejný sled fází
2. stejné hodinové číslo
3. stejný převodový poměr
4. stejné napětí nakrátko
5. poměr výkonů použitých DTR menší než 3,2:1

Podmínky 1 a 2 je nutné dodržet vždy, jelikož jinak by došlo ke zkratu. Hrubé nedodržení podmínek 3 a 4 by zapříčinilo vznik vyrovnávacích proudů mezi jednotlivými DTS, což by způsobilo větší zatížení vedení a tím i větší ztráty. Podmínka 5 pak zaručuje rovnoměrnější zatížení obou DTR.

Nevýhodou paralelního chodu je obtížnější vyhledávání poruch než u odděleného provozu a nutnost kontroly zmíněných podmínek.

Pro tento návrh byla vybrána varianta odděleného provozu s možností plánovaného odstavení jednoho transformátoru. Oba transformátory budou tedy dimenzovány tak, aby byly schopny samostatně napájet celou obec. Tato možnost je většinou preferována i při návrzích ve společnosti ČEZ Distribuce, a.s. (pro případ malých obcí), jelikož se zde dává přednost spíše jednodušším manipulačním pracím a rychlejšímu vyhledávání poruch. V případě, že by provozovatel distribuční sítě (PDS) chtěl v budoucnu za účelem zlepšení kvalitativních parametrů nebo spolehlivosti provozovat transformátory vybrané sítě paralelně, musel by dohlédnout na dodržení výše zmíněných podmínek. Změna zapojení by byla ve skutečnosti provedena propojením sítě takzvanými pojistkami slabé vazby v oddělovací rozpojovací skříni (SD) v centru obce.

5.1.3 Návrh parametrů transformátorů

Dimenzování jednotlivých DTR bylo provedeno na základě určení celkového výpočtového zatížení P_p (viz kapitola 2.2.1.). Vzhledem k charakteru tohoto návrhu bylo při výpočtech přijato několik následujících zjednodušení:

1. všechny odběry byly uvažovány jako rodinné domy (zanedbání nebytových odběrů)
2. každý odběrový objekt byl charakterizován jedním ze 4 stupňů elektrizace
3. všechny odběry jsou uvažovány jako třífázové
4. součinitel náročnosti byl pro každý odběr stanoven jako β_o = 0,3 – 0,5
5. součinitel náročnosti mezi odběry byl stanoven jako β_n = 0,31 a 0,36

První zjednodušení využívá toho, že v obci jsou pouze 4 nebytové odběry (obchod s potravinami, obecní úřad, hasičská zbrojnice dobrovolných hasičů a kaple). Vzhledem k této malé četnosti a skutečnosti, že instalované příkony P_i těchto objektů se pohybují podobně jako instalované příkony rodinných domů, tak lze tyto rozdíly zanedbat. Výjimkou je uvažování veřejného osvětlení jako jednoho odběru o instalovaném výkonu P_i = 15 kW.

Druhá nepřesnost spočívá v rozčlenění všech odběrů do čtyř stupňů elektrizace, které byly určeny na základě skladby elektrických spotřebičů v běžných domácnostech a jejich instalovaných příkonů P_i podle [49]. Ve skutečnosti by tyto kategorie odběrů mohly být ještě rozmanitější, jelikož při charakterizaci odběru v praxi jsou uvažovány konkrétní informace o rozčlenění spotřebičů v jednotlivých objektech (viz dotazník v Žádosti o připojení elektrického zařízení k distribuční soustavě z napěťové hladiny nn společnosti ČEZ Distribuce, a.s. [50]). V rámci analýzy odběrů stávajících objektů pak často dochází k osazování nadřazených trafostanic měřicími přístroji, jako je například univerzální monitor MEg40 [51].

V rámci tohoto návrhu však byly uvažovány jen čtyři nejběžnější typy odběrů podle následujících stupňů elektrizace [11]:

Stupeň elektrizace A – využití elektrické energie jen na osvětlení a spotřebiče o P_i < 3,5 kW

$$P_{IA} = P_{osvětlení} + P_{ostatní} = 1 + 8 = 9 \text{ kW}$$

Stupeň elektrizace B1 – využití elektrické energie jako u stupně A a navíc k přípravě pokrmů

$$P_{IB1} = P_{IA} + P_{vaření} = 9 + 8 = 17 \text{ kW}$$

Stupeň elektrizace B2 – využití elektrické energie jako u stupně B1 a navíc k ohřevu vody

$$P_{IB2} = P_{IB1} + P_{boiler} = 17 + 2 = 19 \text{ kW}$$

Stupeň elektrizace C – využití elektrické energie jako u stupně B2 a navíc k vytápění přímotopy

$$P_{IC} = P_{IB2} + P_{vytápění} = 19 + 10 = 29 \text{ kW}$$

Dalším zjednodušení vychází z předpokladu, že v obci je zanedbatelné množství jednofázově připojených odběrů (jen 4 z celkových 80). V praxi totiž bývají jednofázově připojeny hlavně objekty, jako jsou například samostatné garáže, zahrádkářské kolonie nebo malé chaty. Tyto objekty se ve zkoumané oblasti nevyskytují.

Poslední dva zjednodušující předpoklady se týkají určení součinitele náročnosti. Problematika určování těchto koeficientů je v praxi často náročný proces zahrnující měření zatěžovacího diagramu nebo jiný sběr dat. Při nedostatku těchto informací se přistupuje k určení soudobosti na základě zkušeností vycházejících z porovnání s již známými objekty podobného typu. Pro tyto účely jsou vytvářeny seznamy informativních hodnot soudobosti, pro účely této práce byly použity hodnoty z podnikové normy KA 101 [12]. Podle tohoto zdroje se soudobost jednotlivých objektů pohybuje v rozmezí $\beta \in < 0{,}3\,;0{,}5 >$ v závislosti na stupni elektrizace. Soudobost mezi objekty β_n byla určena v souladu s normou ČSN EN 33 2130 ed. 3 [11]. Jedná se však pouze o informativní hodnoty, proto výsledný návrh bude mít spíše úroveň odhadu.

V tabulkách 5-1 a 5-2 jsou jednotlivé odběry rozděleny podle stupně elektrizace a napájecí DTS. Následně bylo na základě těchto dat určeno celkové výpočtové zatížení P_{p1} a P_{p2}.

Tab. 5-1 Určení soudobého příkonu P_{n1} pro DTR1

Stupeň elektrizace	Počet odběrů	Instalovaný příkon	Koeficient soudobosti	Soudobý příkon	Součet všech soudobých příkonů
	n	P_i	β_o	P_β	$\sum_1^n P_\beta$
	(-)	(kW)	(-)	(kW)	(kW)
A	34	9	0,3	2,7	91,8
B1	15	17	0,4	6,8	102,0
B2	6	19	0,4	7,6	45,6
C	3	29	0,5	14,5	43,5
VO		15	1,0	15,0	15,0
celkem	58	-	-	-	**297,9**

Tab. 5-2 Určení soudobého příkonu P_{n2} pro DTR2

Stupeň elektrizace	Počet odběrů	Instalovaný příkon	Koeficient soudobosti	Soudobý příkon	Součet všech soudobých příkonů
	n	P_i	β_o	P_β	$\sum_1^n P_\beta$
	[-]	[kW]	[-]	[kW]	[kW]
A	11	9	0,3	2,7	29,7
B1	4	17	0,4	6,8	27,2
B2	7	19	0,4	7,6	53,2
C	2	29	0,5	14,5	29,0
celkem	24	-	-	-	**139,1**

Pro určení celkové hodnoty výpočtového zatížení P_p je dále třeba připočíst koeficient soudobosti mezi odběry β_n. Tím bude brána v úvahu skutečnost, že na současnost spínání jednotlivých odběrů se vztahuje určitá pravděpodobnost. To je odůvodněno rozdílnými časovými harmonogramy obyvatel v jednotlivých objektech. V praxi to tak umožní mnohem ekonomičtější návrh rozvodné soustavy.

Koeficient soudobosti β_n podle normy ČSN EN 33 2130 ed. 3. [11] byl určen pomocí následujícího vztahu:

$$\beta_n = \beta_{At} + \frac{1 - \beta_{At}}{\sqrt{n}} \qquad (5 - 1)$$

Kde: β_{At} soudobost pro nekonečný (velmi velký) počet objektů $\beta_{At} = 0{,}2$

n počet objektů ve skupině (nebylo uvažováno VO)

Výpočet β_n pro daná množství odběrů dle vztahu (5 - 1):

$$\beta_{58} = 0{,}2 + \frac{1 - 0{,}2}{\sqrt{58}} = 0{,}31$$

$$\beta_{24} = 0{,}2 + \frac{1 - 0{,}2}{\sqrt{24}} = 0{,}36$$

Výpočet P_p pro dané DTS dle vztahu (2-1):

$$P_{p1} = 297{,}9 \cdot 0{,}31 = 92{,}35 \text{ kW}$$

$$P_{p2} = 139{,}1 \cdot 0{,}36 = 50{,}08 \text{ kW}$$

Potřebný instalovaný výkon DTR se pak určí dle vztahu:

$$S_t = \frac{P_p}{\gamma \cdot cos\varphi} \qquad (5 - 2)$$

Kde: P_p je výpočtové zatížení

γ je využití transformátoru vzhledem k možnému nárůstu zatížení se běžně volí v rozmezí 50 - 80 % [12]

$cos\varphi$ je účiník (pro obytné objekty má hodnotu 0,95 [12])

Určení instalovaného výkonu pro DTR1 a DTR 2 dle vztahu (5 – 2):

$$S_{t1} = \frac{92{,}35}{0{,}6 \cdot 0{,}95} = 162 \text{ kVA}$$

$$S_{t2} = \frac{50{,}08}{0{,}6 \cdot 0{,}95} = 88 \text{ kVA}$$

Nyní by se na základě teorie postupovalo vybráním DTR s nejbližším vyšším instalovaným výkonem S_n ze standardní řady (50, 100, 160, 250, 400 a 650 kVA) [44]:

Pro DTS1 by byl vybrán S_{n1} = 250 kVA a pro DTS2 S_{n2} = 100 kVA. V praxi však společnost ČEZ Distribuce, a.s. při návrzích DTR využívá v malých obcích především transformátory o instalovaných výkonech S_i = 160 kVA a 250 kVA. To je zapříčiněno hlavně nevýrazným cenovým rozdílem transformátorů o různých výkonech vzhledem k celkovému rozpočtu rekonstrukcí. Distribuční transformátory o menších S_i jsou využívány jen zřídka, a to v oblastech jako jsou samoty nebo zahrádkářské kolonie.

Na základě zmíněných poznatků bude v DTS 1 ponechán stávající transformátor o S_{n1} = 250 kVA, jelikož je teprve v polovině plánované životnosti. Druhá trafostanice pak bude osazena transformátorem o S_{n2} = 160 kVA.

Skutečné zatížení γ_{DTRn} obou DTR v ustáleném stavu se určí vyjádřením ze vztahu (5 - 2):

$$\gamma_{DTRn} = \frac{P_p}{S_n \cdot cos\varphi} \qquad (5 - 3)$$

$$\gamma_{DTR1} = \frac{92{,}35}{250 \cdot 0{,}95} = 38{,}9\%$$

$$\gamma_{DTR2} = \frac{50{,}08}{160 \cdot 0{,}95} = 32{,}9\%$$

Vzhledem ke zjednodušením, které byly pro potřeby práce přijaty (viz začátek kapitoly 5.1.3.), je třeba tento návrh brát spíše jako odborný odhad určený především pro prvotní nastínění skutečného technického řešení. V praxi je proces určení výpočtového zatížení značně náročnější především v určování soudobostí. Podle [12] se například při stanovení soudobostí zohledňují i skutečnosti jako nejzatíženější časový úsek dne, vliv HDO, hustota zástavby, primární typ energie využité pro výtápění nebo tzv. měrné zatížení bytových jednotek.

Pro názornost lze porovnat vypočtené hodnoty zatížení obou DTR se zatížením, které bylo určeno výpočetním softwarem DAISY Bizon Projektant. Konkrétně se studií, jejíž vstupní hodnoty pro jednotlivé odběry vychází z údajů ČEZ Distribuce, a.s. získaných na základě údajů jako je roční spotřeba elektrické energie nebo velikost hlavního jističe (tyhle hodnoty nemohly být použity přímo pro návrh, protože se na ně vztahuje ochrana citlivých údajů). Při použití těchto dat a zmíněného výpočetního programu je v ustáleném stavu DTR1 o S_{n1} = 250 kVA zatížen na γ_{DTR1} = 27,2 % a DTR2 o S_{n2} = 160 kVA zatížen na 16,3 %.

Z těchto hodnot zatížení může návrh působit neekonomicky. Je však nutné brát v úvahu, že tento návrh byl uskutečněn pro ustálený stav. Ve skutečnosti nastanou během dne intervaly, kdy bude zatížení i několikanásobně větší (například poledne nebo večer). Navíc návrh počítá i s možností manipulačních prací, kdy může být celá síť připojena jen na 1 z DTS.

Při návrhu DTR je podle metodiky společnosti ČEZ Distribuce a. s. [44] dalším podstatným parametrem převod transformátoru. Ten je volen na základě úbytku napětí v nadřazené soustavě vn, které by v síti nn mohlo zapříčinit podpětí. Konkrétně zmíněná metodika doporučuje osazení DTR o převodu 22/0,42 kV nad vzdálenost 15 km od transformovny vvn/vn (nad 25 km pro 35/0,42 kV). Do těchto vzdáleností, nebo v případě ověření dovolených úbytků napětí měřením či výpočty, lze použít běžné převody 22/0,4 kV a 35/0,4 kV. Na základě těchto poznatků a vzhledem k poloze vybrané sítě bude zvolen převod transformátoru 22/0,4 kV.

5.2 Návrh elektrických rozvodů

5.2.1 Kabelizace

Jednou z největších změn uplatňovanou během návrhu rekonstrukcí nebo nových elektrických sítí je kabelizace vedení, která je daná vyhláškou 501/2006 Sb. [43]. Konkrétně je to § 24 bod 1, který zní: „Rozvodná energetická vedení a vedení elektronických komunikací se v zastavěném území obcí umisťují pod zem.“ Toto opatření povede ke zvýšení stability dodávky elektrické energie, jelikož venkovní vedení jsou mnohem více náchylné k poruchám (například kvůli povětrnostním vlivům). Zároveň kabelizace poskytne vyšší ochranu před úrazem elektrickým proudem. Velkou nevýhodou uložení vedení pod zem mohou být ale procesy spojené se zásahem do dopravní nebo jiné infrastruktury, například při řešení poruch a rekonstrukcí. Tento problém je ještě výraznější ve velkých městech a jiných hustě osídlených oblastech. Proto například PDS [12] PREdisribuce používá při návrzích sítí automaticky často větší průřezy kabelů, než by bylo třeba (3 x 185 + 95 mm^2 nebo 3 x 240 + 120 mm^2), aby se co nejvíce předešlo nutnosti posilování stávajících úseků vlivem růstu a přibývání odběrů.

Na druhou stranu dochází k udělování výjimek pro výstavbu venkovních vedení v případech, kdy je kabelizace příliš technicky komplikovaná nebo je problém v majetkoprávních vztazích. Takovými příklady může být třeba úzká ulice, kde není dostatek prostoru pro výkop nebo by výkopem mohlo dojít k narušení základů blízkých staveb. Dalším příkladem může být místo křížení s vodním tokem, kde by bylo technologicky náročné provedení protlaku. Velké komplikace v praxi také způsobuje křížení s plynovým potrubím, neboť se u starších rozvodů nezaznamenávala přesná hloubka uložení potrubí (protlak by tedy byl velmi rizikový). Nejvíc takových výjimek je udělováno právě v menších obcích. Venkovní vedení je v tomto případě realizováno většinou prostřednictvím samonosných izolovaných vodičů AES. Ty svojí zvýšenou ochranou a provozní spolehlivostí odstraňují nedostatky dříve používaných AlFe lan.

V rámci návrhu, který je předmětem této práce, byla na základě zmíněných principů snaha o kabelizaci většiny rozvodů (především ve středu obce). V severní a východní části obce by však kabelizaci velmi komplikovaly úzké ulice nebo křížení s plynovým potrubím, tudíž zde návrh počítá s venkovním vedením. Celkové schéma nově navržených přívodů je obsaženo v samostatných přílohách E a F.

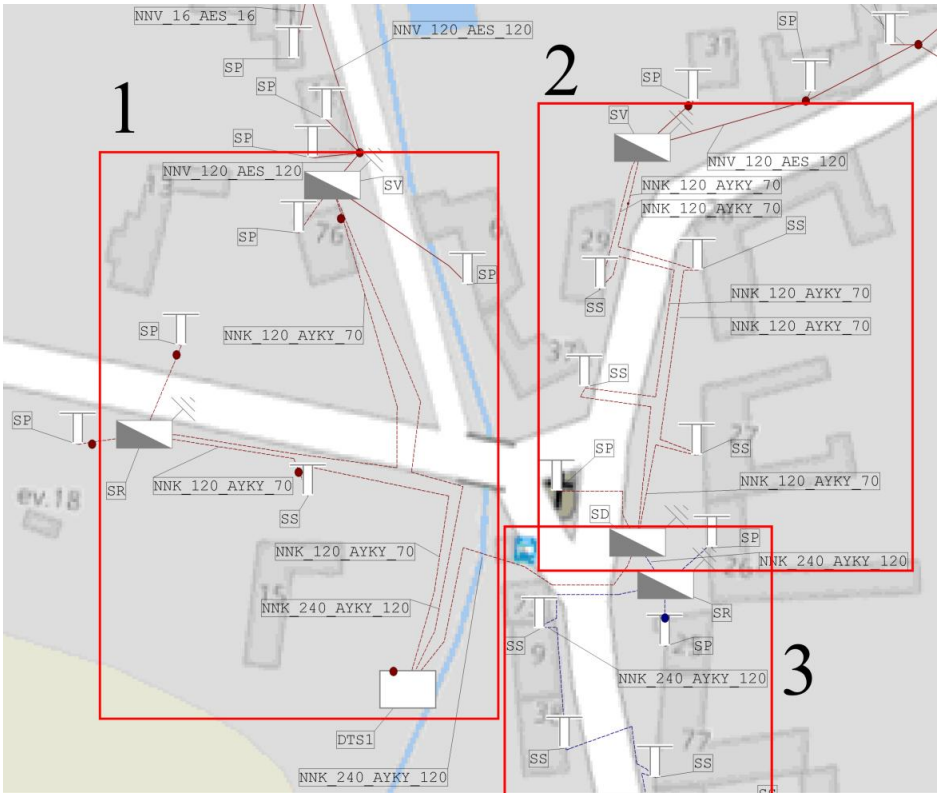
5.2.2 Redukce PEN vodiče

Zajímavým trendem uplatňující se při návrzích nových distribučních sítí nn je postupné upouštění od používání tzv. „redukované nuly“, kdy byl z ekonomických důvodů zmenšen průřez nulového vodiče oproti vodičům fázovým. To je možné, jelikož nulovým vodičem z principu třífázových sítí tečou výrazně menší proudy. Menším průřezem nulového vodiče se však zhoršuje parametr vztažné impedance Z_{1k} (definované v kapitole 2.2.3.), která se kontroluje jako jeden z ukazatelů „tvrdosti“ sítě ve spojení s účinky zpětných vlivů. Z důvodu dodržení mezních hodnot vztažné impedance Z_{1kref} se často používají kabely se stejným průřezem nulového a fázového vodiče. Během návrhu byl tento princip uplatněn například při použití kabelu AYKY 4x70 místo AYKY 3x70 + 50. U vodičů většího průřezu se už zlepšení parametru vztažné impedance tolik neprojeví a je proto výhodnější z ekonomických důvodů redukovaný PEN vodič použít.

5.2.3 Struktura sítě

Nové distribuční sítě nn v malých obcích jsou tvořeny standardně rozvodem paprskovým (venkovní sítě), průběžným a částečné i okružním (kabelové sítě). U kabelových sítí je většinou snaha o napájení ze dvou stran prostřednictvím okružního rozvodu, jelikož poruchy u kabelových sítí jsou často náročnější na řešení než sítě venkovní. Při přerušení okružní kabelové sítě tedy nemusí ještě dojít k odpojení odběrných míst, protože tyto odběry budou napájeny z druhé strany [44].

V návrhu, který je předmětem této práce, sice není nikde použit trvalý okružní rozvod, ale je zde možnost zapojit jednotlivé paprsky v rozpojovacích skříních tak, aby okružní rozvod vznikl. Konkrétně je takhle zokruhováno vedení ve dvou úsecích. V oblasti 1 (obr. 5-2 [41]) je okruh proveden mezi DTS1, kabelovou rozpojovací skříní (SR) a venkovní rozpojovací skříní (SV), přitom v normálním stavu není vodič AYKY 3 x 120 + 70 připojen na vývod ze skříně SV (označeno červenou tečkou). Obdobě je řešen i rozvod v oblasti 2 mezi rozpojovací skříní s dělenou přípojnicí (SD) a SV. U kabelového vedení AYKY 3 x 240 + 120 (obr. 5-2 [41] oblast 3) je v případě poruchy možné přepojit v rozpojovací skříni SD na napájení z DTS1, čímž bude zajištěno napájení ze dvou stran.



Obr. 5-2 Zokruhované úseky vedení v centru vybrané obce [41]

Pro zbytek sítě byl v návrhu použit rozvod paprskový nebo průběžný (viz příloha E a F). U kabelizovaných úseků jsou jednotlivé odběry připojeny především tzv. zasmyčkováním do smyčkovacích přípojkových skříní SS. Nabízí se i možnost připojení pomocí T-spojek (tzv. téčkování). Metodika ČEZ Distribuce, a. s. [52] však tento typ odboček doporučuje jen jako doplňkový rozvod, a to v případě, kdy je smyčkování neekonomické (odbočka z hlavní trasy k přípojkové skříni je vzdálenější než 15 m). Umísťování T-spojek je v praxi totiž většinou technologicky náročnější a výsledný rozvod má větší pravděpodobnost poruchy než v případě smyčkování.

V případě venkovního byly jednotlivé přípojky navrhnuty odbočením v místě podpěrných bodů do přípojkových skříní. Jelikož venkovní vedení je provedeno pomocí izolovaných samonosných vodičů AES, byly by tyto odbočky v praxi realizovány pomocí izolovaných propichovacích svorek.

Rozvody veřejného osvětlení (VO) nejsou součástí tohoto návrhu, protože tato problematika podle zákona č. 128/2000 Sb. [53] nespadá do povinností PDS. Při návrhu bylo VO uvažováno jen jako odběr o daném výpočtovém zatížení P_p. V praxi jsou rozvody VO standardně napájeny z vlastního elektroměrového rozvaděče, kde je umístěno i spínání. Vedení je pak často přidruženo k energetickým rozvodům nn. To je většinou provedeno uložením kabelových rozvodů do stejného výkopu, nebo zavěšením venkovního vedení na stejné podpěrné body. Některé kabely z tohoto důvodu již ve svazku mají zakomponovány 1 nebo 2 vodiče pro VO (např. AES 4x120+25). Je však nutné brát v úvahu, že i u rozvodů VO musí být dodrženy podmínky ochrany před úrazem elektrickým proudem dle normy ČSN 33 2000-4-41 ed. 3 [54].

5.2.4 Přípojkové a rozpojovací skříně

Pro možnost provádění manipulací, jištění a rozbočování je nutné do elektrické sítě umístit elektrické stanice obsahující rozvaděče. V sítích nn za tímto účelem slouží rozpojovací a přípojkové skříně.

Přípojková skříň

V přípojkové skříni je zakončena přípojka z distribuční sítě a pokračuje z ní hlavní domovní vedení (HDV) k elektroměrovému rozvaděči daného odběru. Účelem této skříně je především jištění HDV. V případě přípojky provedené venkovním rozvodem se přípojková skříň běžně umisťuje na objekt odběratele v blízkosti hranice nemovitosti ve výšce 2,5 – 3 m nad definitivním terénem. Přípojkové skříně pro kabelové přípojky se umísťují standardně na hranici odběratelova pozemku do obvodové zdi nebo oplocení. Pro kabelovou i venkovní přípojkovou skříň musí platit, že má být přístupná i bez přítomnosti odběratele [55].

V návrhu je použito dělení přípojkových skříní na typ SP a SS. Typ SP se používá pro koncové připojení objektů vodičem do průřezu do 50 mm^2. Pro potřeby distribučních sítí ČEZ Distribuce, a.s. se instalují skříně SP 100 (s vývodem pro 1 odběr) a SP200 (s vývody pro 2 odběry). Typ SS slouží jako smyčkovací přípojková skříň pro připojení vodičů do průřezu 240 mm^2.

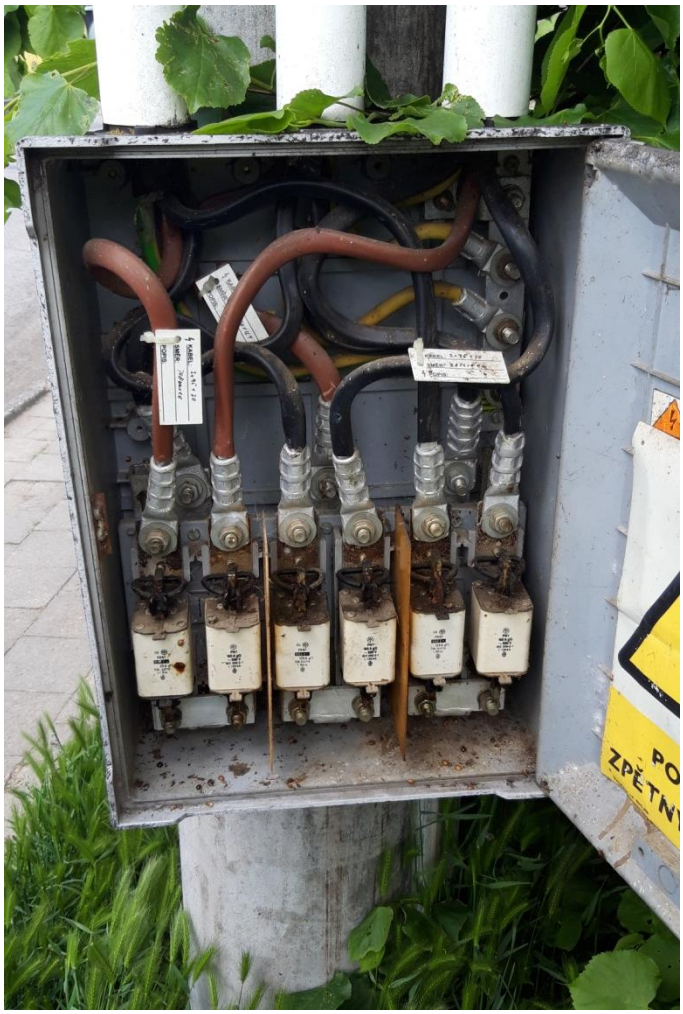
Rozpojovací skříň

Rozpojovací skříně je v distribučních sítích nn nutné umístit do částí, kde dochází k rozpojování, rozbočování, změně průřezu nebo v místech přechodu mezi venkovním a kabelovým vedením. Rozpojovací skříň je také možno použít na vyvedení přípojky k danému objektu. To je však doporučeno dělat jen v přídech, kdy je i po vyvedení přípojky dostatek místa v rozvaděči na manipulační práce.

V návrhu bylo použito dělení rozpojovacích skříní na typy SR, SV a SD. Skříň SR je používána pro kabelové rozvody s předpokládaným umístěním do pilířů (Obr. 5-3). Typ SV pak slouží pro venkovní rozvody a je umísťován na sloupy elektrického vedení (Obr. 5-4). Skříň provedení SD má dělenou přípojnici, takže umožňuje rozsáhlejší manipulační práce. V návrhu je tento typ rozpojovací skříně použit v místě setkání úseků napájených z DTS1 a DTS2, kde slouží k jejich oddělení.

Návrh rozmístění přípojkových a rozpojovacích skříní je obsažen v samostatné příloze E.

Obr. 5-3 Příklad provedení kabelové rozpojovací skříně SR



Obr. 5-4 Příklad provedení venkovní rozpojovací skříně SV

5.2.5 Návrh elektrického vedení

Poslední část návrhu, který je předmětem této práce, spočívá v určení parametrů vodičů použitých pro rozvody distribuční sítě nn. Jako zdroje pro následující kapitolu budou sloužit především metodiky společnosti ČEZ Distribuce, a.s. pro návrhy kabelových sítí nn [52] a pro návrhy venkovních sítí nn [56].

Metodika [44] nejdříve uvádí členění elektrických vedení z pohledu struktury sítě na hlavní (páteřní) vedení, odbočky a přípojky. Hlavní vedení je zde charakterizováno jako úsek vyvádějící výkon z rozvaděče trafostanice, který se do ní může případně vracet, nebo se propojí s další DTS. Odbočka je definována jako část o menším průřezu než hlavní vedení, sloužící pro napájení několika odběratelů. Přípojky jsou koncové části vedení s nejmenším průřezem sloužící pro připojení jednoho odběratele (v ojedinělých případech i dvou). Dle tohoto rozdělení dále zmíněná metodika doporučuje na základě praxe velikosti průřezů a typy vodičů.

Pro páteřní vedení uvádí metodika [44] tabulku doporučeného počtu a typu kabelových vývodů z DTS o daném instalovaném výkonu S_i. V rámci návrhu byly k DTS1 o S_{n1} = 250 kVA přiřazeny 2 kabelové vývody AYKY 3 x 240 + 120. Navíc byl přidán ještě třetí vývod kabelem AYKY 3 x 120 + 70 pro vytvoření okružního rozvodu. Obdobně byl navrhnut vývod z DTS2 o S_{n2} = 160 kVA, kde byl použit jeden vývod kabelem AYKY 3 x 240 + 120. Pro ostatní části hlavního rozvodu metodika doporučuje použití průřezu 120 mm^2. V případě, že se jedná o oblasti s velkou hustotou odběrů (především města), je doporučeno použít průřez 240 mm^2.

V případě odboček zmíněná metodika doporučuje volit průřezy v rozmezí 25 – 95 mm^2. Zde volba závisí hlavně na počtu odběrů v dané odbočce, a z toho vyplývajícím výpočtovém zatížení. V návrhu byly na odbočky použity především průřezy 50 mm^2 a 70 mm^2, ať už se jednalo o kabely AYKY, nebo samonosné izolované venkovní vodiče AES.

Minimální velikost průřezu koncových přípojek je dána přímo normou ČSN 33 3320 [57]. Konkrétně jsou to průřezy 10 mm^2 pro venkovní Al izolované vodiče, 4 x 16 mm^2 pro Al kabelovou přípojku a 4 x 10 pro Cu kabelovou přípojku. Dále je v normě zmíněno, že pro přípojku, která vznikla odbočením T-spojkou, je z důvodu zvýšené poruchovosti nutný minimální průřez 25 mm^2 pro Al kabel a 16 mm^2 pro Cu kabel. Norma také udává povinnost zřizovat všechny přípojky plným počtem vodičů. I v případě jednofázových odběrů bude muset být přípojka provedena jako třífázová.

Na základě těchto metodikou doporučených parametrů vedení byl vytvořen prvotní návrh, který byl následně ověřen ve výpočtovém programu DAISY Bizon Projektant. Toto ověření spočívalo v provedení výpočtů na dimenzování vedení z pohledu výkonového zatížení, dodržení impedanční smyčky Z_{kref}, dodržení parametru vztažné impedance a dodržení dovoleného úbytku napětí dle ČSN 50160 ed. 3[16]. Vzhledem k tomu, že návrh jištění není předmětem této práce, nebylo provedeno dimenzování na účinky zkratových proudů. Nejvýraznější změnou, která byla po těchto výpočtech provedena, je zvětšení průřezu kabelu v jižní části obce z AYKY 3 x 120 + 70 na AYKY 3 x 240 + 120 z důvodu dodržení parametru vztažné impedance. Dalším odůvodněním pro tuto změnu je i možnost, že v případě poruchy bude přes tento úsek napájena celá obec (napájení jen z DTS2). Dále bylo provedeno několik dalších navýšení průřezu u vybraných odboček a přípojek, kde také nebyla splněna mezní hodnota vztažné impedance. Celé schéma navržených rozvodů je obsaženo v příloze F.

5.2.6 Jištění

Protože není návrh jištění předmětem této práce, budou v následující kapitole uvedeny jen okrajově základní principy pro jištění distribučních sítí nn podle metodiky ČEZ Distribuce, a.s [44].

- podle PNE 33 0000-1[13] musí předřadné jistící prvky při jakémkoli typu zkratu v kterémkoliv místě rozvodné sítě zareagovat nanejvýš do 30 s
- musí být zajištěná selektivita po sobě následujících jisticích prvků
- jištění musí zaručit, že nebude překročena povolená teplota jader vodičů (případně povolená teplota izolace)
- přípojky jsou jištěné jisticími prvky sítě pouze proti zkratu, proti přetížení jsou jištěny u odběratelů hlavními jističi v elektroměrových rozvaděčích
- jistící prvek v přípojkové skříni musí být alespoň o jeden stupeň vyšší než jištění před elektroměrem (běžně se navyšuje o 2 stupně)
- jako jisticí prvky se používají tavné pojistky s charakteristikou Gg
- jisticí prvky sítě jsou umístěny v rozvaděčích trafostanic a rozpojovacích skříních

V rámci návrhu, kterým se zabývá tato práce, je ještě nutné zmínit, že v případě přepojení všech odběrů na jednu DTS nebude stávající jištění splňovat podmínku selektivity. Bude tedy nutné alespoň část sítě správně přejistit, což v praxi může být ekonomicky i technicky náročný proces.

5.3 Kontrola parametrů v Daisy Bizon

V této části bude provedena analýza ustáleného chodu nově navržené sítě ve výpočtovém programu DAISY Bizon Projektant. Obdobná analýza byla uskutečněna pro původní elektrickou síť v kapitole 4.3.

5.3.1 Energetická bilance

Analýza se, stejně jako v případě původní sítě, bude nejprve věnovat celkové energetické bilanci. Tato data poskytují přehled především o celkovém zatížení sítě a o podílu ztrát (viz Tab. 5-3). Při těchto výpočtech nebyly zahrnuty instalované výkony mikrozdrojů.

Tab. 5-3 Energetická bilance sítě po rekonstrukci

	$P_{dodávka}$ (kW)	$P_{odběr}$ (kW)	$P_{ztráty}$ (kW)	$Q_{dodávka}$ (kVAr)	$Q_{odběr}$ (kVAr)	$Q_{ztráty}$ (kVAr)
DTR1	64,903	62,400	2,503	24,344	20,510	3,835
DTR2	23,133	22,650	0,483	9,264	7,445	1,820
celkem	88,036	85,050	2,986	33.608	27,955	5,654

Oproti energetické bilanci sítě před rekonstrukcí (Tab 4-1) lze pozorovat nárůst spotřeby o 14 %, který byl zapříčiněn připočtením několika nových odběrů v podobě rodinných domů. Dalším rozdílem vzhledem k původnímu stavu sítě je zmenšení výkonových ztrát v síti. To bylo způsobeno především zvětšením průřezů vodičů elektrického vedení. Ve skutečnosti lze přepokládat ještě větší rozdíl, protože původní rozvody jsou zatíženy navíc ztrátami způsobenými „únavou materiálu“ (například výskytem přechodových odporů) vlivem stáří původní sítě. Tyto vlivy totiž výpočetní program neuvažuje.

Z údajů energetické bilance dále vychází zatížení jednotlivých transformátorů γ_{DTRn} v dané síti. To bylo určeno i pro stav, kdy je celá síť napájena jen z jedné DTS (viz Tab. 5-4).

Tab. 5-4 Zatížení transformátorů v dané síti po rekonstrukci

	Běžný stav		V chodu jen jedna DTS	
	DTR1	DTR2	DTR1	DTR2
γ_{DTRn} (%)	27,3	16,3	38,0	61,5

Na základě uvedených hodnot zatížení obou DTR v ustáleném chodu bylo ověřeno použití transformátorů o navrhnutých instalovaných výkonech S_{n1} a S_{n2}, a to i v případě zmíněných manipulačních prací.

5.3.2 Úbytky napětí

V další části analýzy se ověřuje, jestli je ve všech předávacích bodech sítě dodržena dovolená odchylka od jmenovité hodnoty napětí U_n. Norma ČSN 50 160[16] tuto odchylku stanovuje na $U_n \pm 10$ %. Podniková norma [12] mez ještě zpřísňuje na maximální dovolený úbytek -7 % U_n. To je odůvodněno jako opatření proti kolísání napětí v síti vn, které by se následně projevilo i na úrovni nn. Z tohoto důvodu bude analýza zohledňovat i přísnější podmínku.

Dle výstupu výpočtu ustáleného chodu (viz Příloha H) lze konstatovat, že u všech uzlů sítě byla během normálního provozu dodržena dovolená odchylka ΔU. Podle předpokladu se oblast s největším úbytkem napětí nachází v části obce nejvíce vzdálené od DTS. Konkrétně se jedná o uzel č.1 (viz Příloha G) kde napětí kleslo přibližně na 94 % U_n. Pro lepší parametry je doporučeno pomocí odbočkové regulace transformátoru DTR1 zvýšit jeho výstupní napětí na 102,5 % U_n. Po této úpravě vzroste i napětí ve zmíněném uzlu na 97 % U_n. Při zvyšování výstupního napětí je však nutné dbát i na dodržení horní meze dovelené odchylky od U_n (přepětí), a to především v blízkosti u DTS. Napětí bylo takto navýšeno nejvíce v uzlu č. 32, kde se blížilo k hodnotě 101 % U_n.

Jelikož návrh v rámci manipulačních prací umožňuje napájení celé sítě jen z jedné DTS, měl by se z pohledu úbytků napětí ověřit i tento stav. V případě napájení z DTS1 je dovolený úbytek $\Delta U = 10$ % U_n splněn pro všechny uzly (viz Příloha H). Pro napájení z DTS2 však podmínka není splněna pro nejsevernější částí obce (uzly č.1 až 22 viz Příloha G), kde napětí kleslo až pod mez danou normou ČSN 50 160 [16] (konkrétně byl maximální úbytek síti -11,8 % U_n v uzlu č. 1). V tomto stavu bylo pomocí odbočkové regulace na DTR2 navýšeno výstupní napění na nejvyšší možnou hodnotu 105 % U_n. V rámci návrhu je, na základ těchto údajů, upozornit PDS na tuto skutečnost.

5.3.3 Vztažná impedance

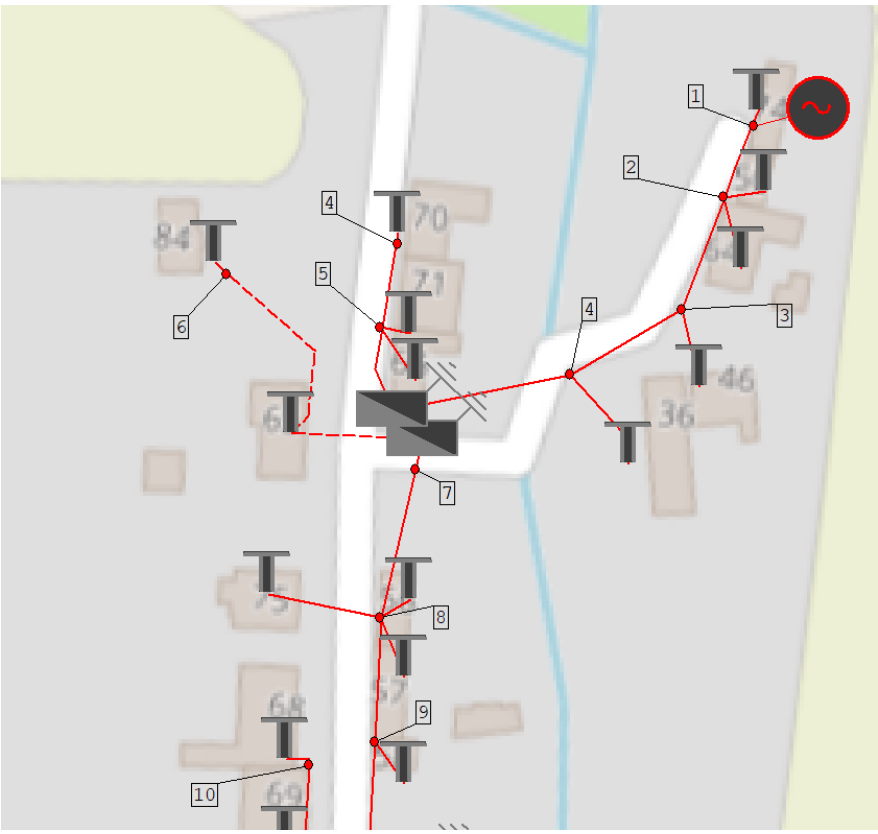
Poslední část analýzy byla věnována parametru vztažné impedance, jehož nedodržení v původní síti bylo jednou z příčin rekonstrukce. Konkrétně byla ověřována podmínka ($Z_{1\,k} < 0{,}47\,\Omega$) pro připojitelnou jednofázové zátěže o maximálním proudu 16 A (viz kapitola 2.2.3). Vzhledem k charakteru vybrané obce by dimenzování na přísnější mezní hodnoty bylo neekonomické.

Z výstupu ustáleného chodu (viz Příloha H) plyne, že zmíněná podmínka byla dodržena pro všechny odběrové uzly v síti. Nejhorších parametrů bylo dosaženo v uzlu č. 13 kde $Z_{1\,k} = 0{,}454\,\Omega$. To je způsobeno menším průřezem kabelové odbočky v tomto úseku a velkou vzdáleností od DTS1.

V případě napájení celé sítě jen z jedné DTS, nebyly stanovené meze vztažné impedance dodrženy v okrajových oblastech obce. Jelikož tento stav nebude běžný způsob provozu sítě (pouze pro manipulační práce), bylo při návrhu přihlédnuto spíše k ekonomičnosti. Oproti původnímu stavu sítě však i při tomto stavu došlo ke zlepšení parametru vztažné impedance (viz Příloha H). Na základě těchto údajů lze konstatovat, že celková „tvrdost“ sítě se po rekonstrukci výrazně zlepší.

5.3.4 Připojitelnost mikrozdrojů

V rámci demonstraci vlivu navrhované rekonstrukce bylo provedeno ve výpočetním programu zjednodušené ověření možnosti připojení mikrozdroje (maximální instalovaný výkon $P_i \leq 10$ kW). Bude uvažován případ třífázového připojení fotovoltaické elektrárny o $P_i = 10$ kW v předpokládané problémové oblasti sítě (uzel č. 1 – Obr 5-5 [41]). Následně budou kontrolovány podmínky připojitelnosti dané v PPDS [55]. Konkrétně zmíněné podmínky udávají maximální možnou změnu napětí ΔU v ostatních uzlech sítě, která je způsobena připojením nebo odpojením daného mikrozdroje. Tato mez je stanovena na $\Delta U \leq 3\ \%\ U_n$ pro společný napájecí bod v síti nn.



Obr. 5-5 Umístění mikrozdroje ve vybrané síti [41]

Na základě výstupních hodnot vycházejících z ustáleného chodu, lze konstatovat, že v případě původní sítě by připojení daného zdroje nebylo možné. V přípojném uzlu č. 1, totiž dojde k navýšení napětí po připojení výrobny o 3,55 % U_n. Při porovnání stavu po navrhované rekonstrukci dojde v uzlu 1 k navýšení napětí pouze o 1,58 % U_n. Žádosti o připojení mikrozdroje by v tomto případě mohl PDS vyhovět. Je třeba ale dbát na to, že tento příklad má pouze demonstrační povahu. Ve skutečnosti by bylo třeba ještě brát ohled na další parametry jako je například typ regulace zdroje, účiník atd.

6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo aplikovat zpracované teoretické poznatky o dlouhodobém koncepčním rozvoji distribučních sítí nn na návrhu rekonstrukce sítě skutečné obce v Olomouckém kraji. Je však třeba dbát ohled na to, že vývoj budoucích technologií se nedá nikdy úplně předpokládat, protože se může často velmi rychle měnit na základě aktuální situace ve společnosti nebo revolučních technologických pokroků.

Před návrhem rekonstrukce byla nejprve provedena analýza stávající sítě ve vybrané obci. Tato analýza spočívala především v použití softwaru DAISY Bizon Projektant pro výpočty vycházející z ustáleného chodu sítě. Na základě tohoto softwarového zhodnocení (viz Příloha D) byl ověřen prvotní předpoklad pro celkovou rekonstrukci vybrané sítě. Hlavním odůvodněním bylo nedodržení parametru vztažné impedance Z_{1k}, která byla v určitých oblastech sítě překročena i o více než 170 % vzhledem k mezní hodnotě Z_{1kref} = 0,47 Ω. V těchto úsecích lze na základě zmíněných výsledků doporučit provozovateli distribuční sítě kontrolu kvalitativních parametrů u jednotlivých odběrů. S dalším rozšiřováním sítě (zejména připojováním mikrozdrojů a nestandardních odběrů) by nedostatky v dodržování kvalitativních parametrů byly ještě výraznější, což by mohlo vést až ke stížnostem jednotlivých zákazníků.

Na druhou stranu je ve vybrané síti s rezervou dodržena maximální dovolená mez úbytku napětí $\Delta U \leq 10\ \%\ U_n$, kdy největší úbytek v síti činí $\Delta U = 3{,}4\ \%\ U_n$. Navíc použitý distribuční transformátor umožňuje dodatečné navýšení výstupního napětí pomocí odbočkové regulace o 2,5 % U_n. Posledním výstupem softwarové analýzy bylo určení zatížení transformátoru γ ve vybrané obci. To bylo stanoveno na γ = 28,2 %. Jelikož se jedná o hodnotu vycházející jen z výpočtu ustáleného stavu, bylo by vhodné ověřit ji skutečným měřením, kdy by byla trafostanice osazena univerzálním monitorem (ideálně v zimních měsících). Na základě tohoto měření by následně mohla být zhodnocena skutečná energetická bilance vybrané sítě, která by následně byla použita i pro účely rekonstrukce.

Dalším odůvodněním celkové rekonstrukce je postupná kabelizace všech vedení v intravilánech obcí daná vyhláškou 501/2006 Sb a celkové stáří prvků sítě, které bylo ověřeno místním šetřením.

Návrh rekonstrukce byl proveden v souladu s postupy uplatňovanými ve společnosti ČEZ Distribuce, a. s. vycházejících z platných technických norem ČSN a PNE. Samotný návrh rekonstrukce spočíval v určení parametrů nových distribučních transformátorů, návrhu topologie sítě a dimenzování typu a průřezu elektrického vedení.

Opětovnou analýzou sítě po rekonstrukci (viz Příloha H) bylo ověřeno výrazné zlepšení parametru vztažné impedance Z_{1k}, kdy byla mezní hodnota Z_{1kref} = 0,47 Ω dodržena pro všechny uzly sítě. V nejproblémovějším uzlu se tento parametr oproti původnímu stavu sítě zlepšil o 65,6 %. Síť po rekonstrukci navíc disponuje možností dalších manipulačních prací, jelikož návrh nově počítá s odděleným napájením vybrané obce ze dvou distribučních transformátorů. To může v budoucnu výrazně zlepšit úroveň spolehlivosti dodávky, především při nutnosti zásahů do sítě za účelem údržbových prací či řešení poruch. Zatížení zmíněných transformátorů bylo nově stanoveno na γ_{DTR1} = 27,3 % a γ_{DTR2} = 16,3 %. V rámci koncepčního rozvoje distribučních sítí je navíc provozovateli DS doporučeno osadit tyto trafostanice trvalým univerzálním monitorem elektrických veličin, s přenosem dat v reálném čase. Toto opatření poskytne větší přehled o chodu sítě a navíc umožní další zhodnocení vlivu rekonstrukce.

V závěru lze konstatovat, že při realizaci rekonstrukce, která je předmětem této práce, by elektrická sít byla schopna, na základě uvedených softwarových výstupů, mnohem lépe plnit budoucí požadavky na rozšiřování. Zároveň by byla připravenější na další vývoj trendů a technologií, které jsou popsány v rámci Státní energetické koncepce z roku 2014 (především připojování mikrozdrojů a rozšíření elektromobility).

7 POUŽITÁ LITERATURA

[1] Energetika. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Praha: MPO, c2005-2001 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/cz

[2] ČESKÁ REPUBLIKA. Energetický zákon. In: *Sbírka zákonů*. b.r., ročník 2000, 458/2000 Sb.

[3] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon o hospodaření energií. In: *Sbírka zákonů*. b.r., ročník 2000, 406/2000.

[4] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů*. In: . b.r., ročník 2012, 165/2012.

[5] *Energetický regulační úřad* [online]. Jihlava: Energetický regulační úřad, c2014-2018 [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: https://www.eru.cz/cs/

[6] Co je to technická norma?. *Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví* [online]. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, neznámé [cit. 2018-11-17]. Dostupné z: http://www.unmz.cz/urad/co-je-to-technicka-norma-

[7] Podnikové normy pro energetiku PNE. *Elektrika* [online]. Praha, c1998-2018 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: https://elektrika.cz/data/clanky/podnikove-normy-pro-energetiku-pne/view

[8] *České sdružení regulovaných elektroenergetických společností* [online]. Praha: ČSRES, c2005-2018 [cit. 2018-11-28].

[9] Pravidla provozování DS. *Čez Distribuce* [online]. Děčín, 2018 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds.html

[10] Výpočtové zatížení sítí nn. *Provoz distribučních soustav*. Vydání první. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, s. 130-135. ISBN 978-80-01-04935-8.

[11] ČSN 33 2130. *Elektrické instalace nízkého napětí: Vnitřní elektrické rozvody*. Ed. 3. 2015.

[12] KA 101. *ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ SÍTÍ NN*. Praha: PREdi, 2006.

[13] PNE 33 0000- 1. *Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribuční soustavě dodavatele*. Třetí vydání. ČSRES, 2003.

[14] PNE 33 3430-0. *Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav*. Páte vydání. ČSRES, 2015.

[15] *Pravidla provozování distribuční soustavy*. Děčín: ČEZ Distribuce, a.s, 2016.

[16] ČSN EN 50160 (330122). *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. 3. Praha: Český normalizační institut, 2000.

[17] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-800-1049-358.

[18] DAISY Bizon Projektant. *Daisy* [online]. Praha: DAISY spol. s r.o., 2017 [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: https://daisy.cz/web/produkty/daisy-bizon-projektant/

[19] *Uživatelská příručka PAS DAISY Off-Line v. 4 Bizon*. Praha: DAISY spol. s r.o., 2016.

[20] Dlouhodobý vývoj spotřeby elektrřny v ČR (1919-2017). In: *Skupina ČEZ* [online]. Praha: ČEZ, a. s., 2019 [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/pro-media/cisla-a-statistiky/energetika-v-cr.html

[21] Za poslední století bylo na území ČR vybudováno 250 tisíc km elektrického vedení. *OENERGETICE* [online]. b.r. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: http://oenergetice.cz/elektrina/za-posledni-stoleti-bylo-na-uzemi-cr-vybudovano-250-tisic-km-elektrickeho-vedeni/

[22] TLUSTÝ, Josef. *Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-800-1049-396.

[23] ČESKÁ REPUBLIKA. *Státní energetická koncepce České republiky*. In: . Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2014. Dostupné také z: https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/52841/60959/636207/priloha006.pdf

[24] Dálkově ovládané prvky. *ČEZ distribuce* [online]. Děčín: ČEZ Distribuce, a. s., 2019 [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/cs/dalkove-ovladane-prvky.html

[25] Měření v DTS. *ČEZ distribuce* [online]. Děčín: ČEZ Distribuce, a. s., 2019 [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/cs/mereni-v-dts.html

[26] Rozvoj distribuční soustavy ČEZ Distribuce, a. s. *ČEZ distribuce* [online]. Děčín: ČEZ Distribuce, a. s., 2019 [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/cs/distribucni-soustava/rozvoj-distribucni-soustavy.html

[27] *Koncepce rozvoje optické infrastruktury společnosti ČEZ Distribuce, a. s.* První vydání. Děčín: ČEZ Distribuce, a.s, 2017.

[28] *Národní akční plán pro chytré sítě*. První vydání. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2015.

[29] Technologie pro AMM. *ČEZ distribuce* [online]. Děčín: ČEZ Distribuce, a. s., 2019 [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/cs/technologie-pro-amm.html

[30] Projekt Smart Region ve Vrchlabí: Projekt smart grid ve Vrchlabí — automatizovaná a soběstačná distribuční síť. *ČEZ distribuce* [online]. Děčín: ČEZ Distribuce, a. s., 2019 [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-media/smart-region.html

[31] MOLEK, Tomáš. Smart region Vrchlabí - první česká chytrá síť. *OENERGETICE* [online]. b.r. [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: http://oenergetice.cz/elektrina/smart-region-vrchlabi-prvni-ceska-chytra-sit/

[32] Počet obyvatel v obcích - k 1.1.2017. *Český statistický úřad* [online]. Praha: ČSÚ, b.r. [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112017

[33] PNE 33 3300. *Navrhování a stavba venkovních vedení nad AC 45 kV*. 1. vydání. 2016.

[34] ČSN EN 1991-1-4. *Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

[35] PNE 33 3302. *Elektrická venkovní vedení s napětím do 1 kV AC*. 2. vydání. 2010.

[36] PNE 33 0000-2. *STANOVENÍ ZÁKLADNÍCH CHARAKTERISTIK VNĚJŠÍCH VLIVŮ PŮSOBÍCÍCH NA ROZVODNÁ ZAŘÍZENÍ DISTRIBUČNÍ A PŘENOSOVÉ SOUSTAVY*. 5.

Praha: České sdružení regulevaných elektroenergetických společností, 2016.

[37] *Studie vybrané obce v softwaru DAISY bizon projektant*. Přerov, 2015.

[38] ČSN 34 7409 (347409). *Systém značení kabelů a vodičů*. Vydání 1. Praha: Český normalizační institut, 1999.

[39] DOC. ING. ORSÁGOVÁ, Ph.D.,. *Rozvodná zařízení*. Vydání 1. Brno: VUT FEKT, 2015.

[40] BLAŽEK, Vladimír a Petr SKALA. *Distribuce elektrické energie*. První vydání. Brno: VUT FEKT, 2015.

[41] *OpenStreetMap: https://www.openstreetmap.org/copyright*. Praha: OpenStreetMap Foundation, 2010.

[42] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška o podmínkách připojení k elektrizační soustavě. In: *2016 Sb*. Praha: Energetický regulační úřad, 2016, ročník 2016, č. 16. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-16

[43] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška č. 501/2006 Sb.: Vyhláška o obecných požadavcích na využívání území*. In: . Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj, 2006, ročník 2006, 501/2006. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-501

[44] *DSO_ME_0083r06z02: Všeobecné zásady pro technické návrhy sítí vn a nn*. Děčín, 2007.

[45] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 183/2006 Sb.: Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)*. In: . Praha: Parlament České republiky, 2006, ročník 2006, 183/2006. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183#cast3

[46] *Portál územního plánování Olomoucký kraj* [online]. Olomouc, 2019 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: http://uap.olkraj.cz/dmvs-gateway/

[47] *Výkres záměrů z územního plánování* [1:5000]. Olomouc: Portál územního plánování Olomouckého kraje, 2018.

[48] ORSÁGOVÁ, Jaroslava a Jan NOVOTNÝ. *Paralelní spolupráce dvou transformátorů*. Brno: VUT FEKT, 2013.

[49] Typické příkony běžných spotřebičů. *ČEZ distribuce* [online]. Děčín: ČEZ Distribuce a. s., 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/dip/cs/zadost-pripojeni/prikony-spotrebicu.html

[50] *ŽÁDOST o připojení elektrického zařízení k distribuční soustavě z napěťové hladiny nízkého napětí*. Děčín: ČEZ Distribuce, a.s., 2019.

[51] Univerzální monitor MEg40. *MEgA: Měřící Energetické Aparáty* [online]. Třebíč: MEgA, 2007 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: http://www.e-mega.cz/meg-40

[52] *DSO_ME_0051r00/01: KONCEPCE KABELOVÝCH SÍTÍ NN*. Děčín: ČEZ Distribuce, a.s., 2006.

[53] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 128/2000 Sb.: Zákon o obcích (obecní zřízení)*. In: . Praha: Parlament České republiky, 2000, ročník 2000, 28/2000. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-128

[54] ČSN 33 2000-4-41 ED. 3 (332000). *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti - Ochrana před úrazem elektrickým proudem*

Objednat. 3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

[55] ČESKÁ REPUBLIKA. *PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV: STANDARDY PŘIPOJENÍ ZAŘÍZENÍ K DISTRIBUČNÍ SOUSTAVĚ*. In: . Praha: ČEZ Distribuce, a.s., 2018, ročník 2018. Dostupné také z: https://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds06-6-priloha.pdf

[56] *DSO_ME_0051r00/02: KONCEPCE VENKOVNÍCH SÍTÍ NN*. Děčín: ČEZ Distribuce, a.s., 2006.

[57] ČSN 33 3320 ED. 2 (333320). *Elektrotechnické předpisy: Elektrické přípojky*. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

8 SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH

1. Příloha A schéma topologie sítě č. 1 – Rozvaděčové skříně před rekonstrukcí
2. Příloha B schéma topologie sítě č. 2 – Typy vedení před rekonstrukcí
3. Příloha C schéma topologie sítě č. 3 – Označení uzlů před rekonstrukcí
4. Příloha D výstupní hodnoty z výpočetního programu DAISY Bizon Projektant č. 1 – Stav sítě před rekonstrukcí
5. Příloha E schéma topologie sítě č. 4 – Rozvaděčové skříně po rekonstrukci
6. Příloha F schéma topologie sítě č. 5 – Typy vedení po rekonstrukci
7. Příloha G schéma topologie sítě č. 6 – Označení uzlů po rekonstrukci
8. Příloha H výstupní hodnoty z výpočetního programu DAISY Bizon Projektant č. 2 – Stav sítě po rekonstrukci