



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektrických pohonů a trakce

**Vliv nabíjecích systémů pro elektromobily na napět'ové a
výkonové poměry distribuční sítě nízkého napětí**

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektronika

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Lipčák

Květen 2020

Michal Řehoř

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Řehoř** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **474455**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektrotechnologie**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vliv nabíjecích systémů pro elektromobily na napěťové a výkonové poměry distribuční sítě nízkého napětí

Název bakalářské práce anglicky:

Influence of Charging Systems for Electric Vehicles on Voltage and Power Conditions of Low-Voltage Distribution Network

Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte rešerši nabíječek elektromobilů na nízké napětí
2. Popište strukturu domácí dobíjecí stanice
3. Uveďte typy používaných konektorů pro nabíjení
4. Realizujte model reálného distribučního transformátoru s několika připojenými koncovými odběrateli v prostředí Matlab/Simulink
5. Modelujte vliv komerčně dostupných nabíječek na napěťové a výkonové poměry v distribuční síti a posudte vliv konkrétních typů vodičů

Seznam doporučené literatury:

- [1] HODINKA, Miloslav, FECKO Štefan a NĚMEČEK František. Přenos a rozvod elektrické energie. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1989.
[2] G. ABAS GOODARZI, Goodarzi a Hayes JOHN G. HAYES. Electric powertrain: energy systems, power electronics & drives for hybrid, electric & fuel cell vehicles [online]. Wiley-Blackwell, 2017.
[3] ABAD, Gonzalo. Power Electronics and Electric Drives for Traction Applications [online]. 1. GB: Wiley, 2016.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Ondřej Lipčák, katedra elektrických pohonů a trakce FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **20.09.2019** Termín odevzdání bakalářské práce: **22.05.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

Ing. Ondřej Lipčák
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení autora práce

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

V Praze dne 17. 5. 2020

Podpis autora práce

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem nabíjecích systémů pro elektromobily na distribuční síť nízkého napětí. Práce je vsazena do prostředí České republiky.

Teoretickou částí práce je zmapování systémů dobíjení elektromobilů. Jsou zde zahrnuty vlastnosti dobíjení pomocí střídavého, či stejnosměrného napětí, dobíjecí režimy specifikované Evropskou unií a souhrn typů konektorů určených k nabíjení.

Praktickou částí práce je vytvoření modelu reálné distribuční sítě a provedení simulací určujících dostatečnost dimenzování této sítě na dobíjení elektromobilů v domácnostech. Je zde také provedena simulace rekonstruované sítě a její porovnání se sítí původní.

Klíčová slova

Elektromobilita, nabíjení, wall box, EIC 62196, konektor, Type1, Type 2, Type 3, CCS Combo, dobíjecí stanice, distribuční síť, odběrný koeficient, jednofázové nabíjení, transformátor, vodiče, simulace, pokles napětí, maximální proud, počet odběratelů

Abstract

This bachelor thesis deals with the influence of electromobility charging systems on the low voltage distribution network. The work is set to the environment of the Czech Republic.

The theoretical part of the thesis is the summary of electric car charging systems. It includes the properties of charging using AC or DC voltage, charging modes specified by the European Union and a summary of the types of the charging connectors.

The practical part of the thesis is the creation of a model of a real distribution network and the implementation of simulations determining the sufficiency of the dimensioning of this network for charging electric cars in households. There is also a simulation of the reconstructed network and its comparison with the original network.

Key words

Electromobility, charging, wall box, EIC 62196, connector, Type1, Type 2, Type 3, CCS Combo, charging station, distribution network, consumption coefficient, single-phase charging, transformer, wires, simulation, voltage drop, maximum current, number of customers

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Ondřeji Lipčákovi za vedení práce a za odborné konzultace k obsahu práce a při provedení simulací. Dále bych rád poděkoval společnosti E.ON Distribuce, a.s. a to konkrétně Ing. Janu Hlavničkovi za konzultace k vlivům elektromobility na distribuční síť a za dodání podkladů pro provedení simulace.

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Nabíjení elektromobilů.....	2
2.1.	Nabíjení střídavým proudem:.....	2
2.2.	Nabíjení stejnosměrným proudem.....	3
2.3.	Norma IEC 62196 pro dobíjení elektromobilů	4
2.3.1.	Mody nabíjení.....	4
2.3.2.	Typy nabíjecích konektorů pro elektromobily.....	5
2.4.	Struktura domácí dobíjecí stanice	9
2.4.1.	Typy dobíjecích stanic	9
2.4.2.	Typy jednotlivých komponentů v dobíjecích stanicích	10
3.	Vliv elektromobility na rozvodnou síť	11
3.1.	Norma ČSN EN 50160 ED.3	11
3.2.	Změna odběrného koeficientu	12
3.3.	Vliv jednofázového nabíjení	12
4.	Popis modelu distribuční sítě pro simulaci vlivů elektromobility	13
4.1.	Distribuční transformátor	14
4.1.1.	Výpočet parametrů příčné větve	15
4.1.2.	Výpočet parametrů podélné větve	16
4.2.	Vedení elektrické energie k odběratelům.....	18
4.2.1.	Charakteristiky vodičů.....	19
4.2.2.	Popis jednotlivých větví.....	21
5.	Simulace vlivů dobíjení elektromobilů na distribuční síť.....	24
5.1.	Základní parametry simulace	25
5.2.	Nastavení odběrových výkonů	26
5.3.	Provedení simulací na aktuální síti bez rekonstrukce.....	27

5.3.1.	SIMULACE 1a	27
5.3.2.	SIMULACE 1b	28
5.3.3.	SIMULACE 1c	29
5.3.4.	SIMULACE 1d	30
5.3.5.	SIMULACE 1e	31
5.3.6.	SIMULACE 1f	32
5.4.	Simulace na síti s rekonstruovanými páteřními úseky pomocí AYKY50	33
5.4.1.	SIMULACE 2a	34
5.4.2.	SIMULACE 2b	35
5.4.3.	SIMULACE 2c	36
5.4.4.	SIMULACE 2d	37
5.4.5.	SIMULACE 2e	38
5.4.6.	SIMULACE 2f	39
5.4.7.	SIMULACE 2g	40
5.5.	Simulace na síti s rekonstruovanými páteřními úseky pomocí AYKY70	41
5.5.1.	SIMULACE 3a	42
5.5.2.	SIMULACE 3b	43
5.5.3.	SIMULACE 3c	44
5.5.4.	SIMULACE 3d	45
5.5.5.	SIMULACE 3e	46
5.5.6.	SIMULACE 3f	47
5.6.	Souhrn dat získaných ze simulace	48
6.	Závěr	49
7.	Seznam použité literatury	51
8.	Seznam obrázků	54
9.	Seznam tabulek	54

1. Úvod

V posledních letech lze na českých silnicích potkat stále větší počet elektromobilů či vozidel na alternativní pohony. Důvodem je především všeobecná podpora bezemisní dopravy Evropské unie a České republiky. V Evropě je doprava odpovědná za 23 % celkových emisí CO₂, z kterých 75 % pochází z dopravy silniční. Evropská unie pomocí kvót a norem zavádí přísnější standardy pro emisivitu dopravních prostředků. Kvůli těmto krokům jsou výrobci automobilů nuceni do své výroby a prodeje zahrnout hybridní automobily, elektromobily či vozidla na jiný bezemisní pohon.

V České republice se tento trend neprojevuje tak výrazně jako v jiných státech v Evropě. Jednoznačným lídrem na evropském kontinentu je bezpochyby Norsko, kde bylo již minulý rok prodáno více elektromobilů než automobilů se spalovacím motorem. Tato země má v plánu ukončit prodej vozidel se spalovacím motorem v roce 2025. Je tak díky této zemi možné pozorovat vliv elektromobility ve všech sférách života a průmyslu. Z provedených výzkumů vyplývá, že majitelé elektrických automobilů z 90 % nabíjí svá vozidla doma, a to v časech, kdy celková spotřeba elektrické energie dosahuje svého denního maxima. Pokud svá auta nabíjí během cesty, preferují rychlé nebo ultrarychlé nabíjení, pro které je však potřeba mít rezervovaný výkon.

V České republice tyto problémy v brzké budoucnosti nehrozí. Máme tak čas se na tuto skutečnost připravit a jednak rozšiřovat síť dobíjecích stanic, jednak připravit naši rozvodnou síť na to, až počet majitelů elektromobilů začne strmě růst. Česko má za cíl v roce 2030 produkovat o 30 % méně skleníkových plynů v porovnání s rokem 2005. Elektromobilita se jeví jako nejvhodnější nástroj pro splnění tohoto cíle.

V roce 2018 bylo v České republice zaregistrováno 703 nových elektromobilů, což tvoří 82 % nárůst v porovnání s předchozím rokem. Takto rychlý, nebo i rychlejší nárůst počtu nově registrovaných automobilů na elektrický pohon můžeme v příštích letech očekávat. [1, 2, 3, 4]

2. Nabíjení elektromobilů

Baterie je nutno nabíjet stejnosměrným proudem. Každý elektromobil je tak vybaven usměrňovačem, pomocí kterého usměrní vstupní střídavé napětí na stejnosměrné. Díky tomu je možné dobíjet elektromobil kdekoli, kde je k dispozici elektrická síť. Dobíjení elektromobilů lze tak rozdělit do dvou základních skupin, a to dobíjení střídavým proudem a dobíjení proudem stejnosměrným.

2.1. Nabíjení střídavým proudem:

Jak je výše zmíněno, mnohem dostupnější je dobíjení na střídavé napětí. U střídavého napětí lze dosáhnout maximálního nabíjecího výkonu až 43 kW. [5] Rychlost nabíjení závisí na proudovém omezení sítě a maximálním výkonu palubní nabíječky automobilu. Rychlost nabíjení si řídí automobil sám. I když má k dispozici velký dobíjecí výkon, optimalizuje rychlost dobíjení potřebám baterie pro její delší životnost. Zajímavostí v nabíjení je elektromobil Renault Zoe, který má pohonnou jednotku speciálně vybavenou pro dobíjení výkonem 22 kW. Nabíjení se provádí přes vinutí pohonné jednotky a pohonný měnič. [6]

Základním typem nabíjení je nabíjení pomocí přenosné nabíječky. Standardní jednofázová nabíječka s nabíjecím proudem 10 A, 12 A, nebo 16 A se zapojuje do zásuvky 230 V a dokáže vyvinout nabíjecí výkon až 3,7 kW. Tohoto typu nabíjení se využívá především v obytných domech. [7, 8] Existují zároveň i výkonnější typy nabíječek, které jsou schopny dosáhnout nabíjecího výkonu 22 kW. Tyto nabíječky však musí být zapojeny do průmyslové zásuvky CEE32A. [7]

Dalším typem dobíjení automobilů je pomocí wall boxů. Wall box umožňuje nabíjet ze tří fází 400 V a dosáhnout maximálního nabíjecího výkonu 22 kW. Do veřejného wall boxu je možné nainstalovat komunikační elektroniku pro platbu za dobití pomocí bankovních či firemních karet. Zároveň je možno si jejich dostupnost, přesné umístění a aktuální obsazenost zjistit pomocí mobilních aplikací.

Nejrychlejším typem nabíjení pomocí střídavého proudu jsou rychlodobíjecí stanice. Zde je možné dosáhnout nabíjecího výkonu 43 kW. [9]

2.2. Nabíjení stejnosměrným proudem

Dobíjení stejnosměrným proudem je využito na dobíjecích stanicích. Není zde potřeba palubní nabíječky s usměřovačem, který limituje výkon střídavého nabíjení. Proto je možnost dosahovat poměrně vysokých dobíjecích výkonů. Pro tento typ dobíjení je usměřovač s řídicím obvodem umístěn v samotném zařízení v rámci dobíjecí stanice. Nejčastějším typem stejnosměrného dobíjení je dobíjení při maximálním napětí 500 V a maximálním proudu 120 A. Tyto nabíječky umožňují nabíjet výkonem 50 kW a elektromobil nabíjí do jedné hodiny. Stejnosměrné napětí umožňuje nabíjení o výkonu až 350 kW. První stanicí v České republice s ultrarychlým nabíjením je stanice společnosti E.ON, která dokončila poblíž dálnice D1 ve Vystrkově dobíjecí stanici o výkonu 175 kW. Při tomto výkonu se ekvivalent 200 km nabije během 10 minut. Stanice má možnost zajistit nabíjení výkonem 350 kW. Prozatím na trhu nejsou elektromobily, které by byly schopny přijmout tento nabíjecí výkon. [39]

Dalším problémem ultrarychlého dobíjení (ultrafast charging) je oteplování vodičů. Už během nabíjení výkonem 175 kW je nutné dostatečně dimenzovat kabely, nebo zajistit jejich chlazení. V již zmíněné dobíjecí stanici se přívodní kabely chladí olejem, který zde cirkuluje. Toto opatření sice zvýší hmotnost a ohebnost kabelů, přesto manipulace s nimi není náročná. Jiným řešením je zvětšení průřezu vodiče a tím zmenšení elektrického odporu. Tyto kabely jsou pak velmi těžké a je na hranici fyzických možností s nimi pracovat. [5, 8]

2.3. Norma IEC 62196 pro dobíjení elektromobilů

Pro znormování dobíjení elektromobilů byla vydána evropská norma IEC 62196. Tato norma definuje 4 typy konektorů a jejich kombinované verze, které jsou popsány v kapitole 2.3.2. Navíc dělí nabíjení na 4 módy. [10]

2.3.1. Mody nabíjení

- **Mode 1:** Elektromobil je přímo připojen ke střídavé síti. Nabíjení probíhá v rámci jedné, až tří fází, a to maximálním proudem 16 A. Neprobíhá komunikace s vozidlem a je nutná ochrana pojistkami a proti zemnímu spojení.
- **Mode 2:** Jedná se o nabíjení střídavým proudem z jedné až tří fází. Nutná je ochrana pojistkami a proti zemnímu spojení. Nabíjecí proud dosahuje maximální hodnoty 32 A. Nabíjení je zabezpečeno systémem IC-CPD (In-Cable Control and Protection Device). Tento systém řídí komunikaci mezi vozidlem a infrastrukturou a chrání vozidlo před chybovým proudem.
- **Mode 3:** Jedná se o nabíjení střídavým proudem jednou až tří fází. Bezpečnostní systémy jsou uloženy v dobíjecí stanici, se kterou se automobil spojí pomocí speciálních konektorů. Maximální dobíjecí proud je 64 A.
- **Mode 4:** Jedná se o stejnosměrné nabíjení elektromobilu. Automobil je s dobíjecí stanicí spojen speciálním konektorem. Maximální nabíjecí proud je 400 A, maximální dobíjecí napětí 600 V.

2.3.2. Typy nabíjecích konektorů pro elektromobily

Nabíjecí konektory slouží k připojení auta na střídavou, nebo stejnosměrnou síť. Konektor zároveň umožňuje komunikaci mezi nabíječkou a autem.

Type 1 Yazaki

Tento typ konektoru je určen pro dobíjení ze střídavé sítě o napětí 120 V až 240 V a pro maximální nabíjecí proud 32 A. V Americe je používán i pro nabíjení proudem 80 A. Konektor umožňuje nabíjet pouze z jedné fáze. Obsahuje 3 silové piny. Jeden pro fázi střídavého napětí, druhý pro nulový vodič a třetí zemnicí pin. Následně obsahuje dva komunikační piny. Jeden pro jednosměrnou komunikaci nabíječka-auto a druhý pro detekci správného zapojení. Tento pin se používá především v automobilech určených pro japonský a americký trh. Pokud je pin zasunut do vozidla, blokuje jeho jízdu. [11, 12]



Obrázek 1: 2.3.2-1 Type 1 Yazaki [34]

Type 1 CCS (Combo 1)

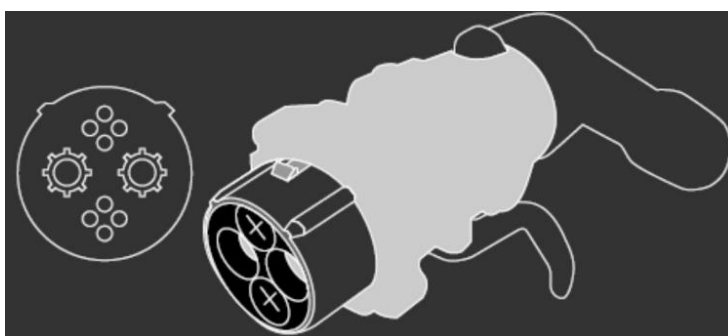
Type 1 CCS neboli Combined Charging System, je stejný jako předešlý typ, ale je rozšířen o modul pro stejnosměrné nabíjení. Pod hlavní konektor jsou připojeny dva silové piny a umožňuje tak střídavé i stejnosměrné nabíjení. Střídavé nabíjení má stejné parametry jako Type 1 Yazaki a stejnosměrné nabíjení je schopné dosáhnout na výkon 350 kW. [11, 13]



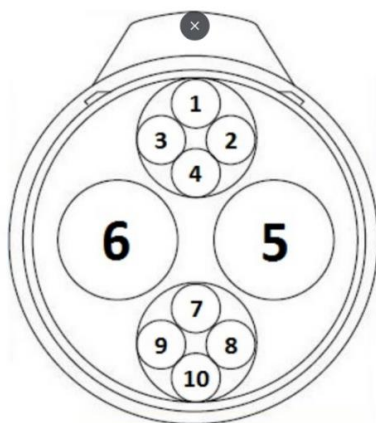
Obrázek 2: 2.3.2-2 Type 1 CCS [34]

CHAdeMO (Charge de move)

Tento typ nabíjecího konektoru je určen pouze pro stejnosměrné nabíjení. Nabíjet je možné při maximálním napětí 500 V a maximálním proudem 125 A. Co se týče komunikace, jde o nejlépe vyvinutý typ konektoru. Umí převádět jak analogovou, tak digitální komunikaci. Jelikož konektor neumožňuje střídavé dobíjení, je nutné, aby byl elektromobil osazen dalším konektorem pro AC nabíjení. Přes toto omezení je tento konektor rozšířen po Evropě, Asii a Severní Americe. První generace tohoto konektoru umožňuje nabíjení maximálním napětím 500 V, maximálním proudem 125 A a dosahuje nabíjecího výkonu 62,5 kW. Druhá generace CHAdeMO 2 je schopna nabíjet napětím o velikosti 1000 V a maximálním proudem 400 A. Dosahuje tak nabíjecího výkonu 400 kW. V budoucnosti má CHAdeMO být schopno nabíjet výkonem 900 kW. [14]



Obrázek 3: 2.3.2.3-3: CHAdeMO konektor [35]



Obrázek 4: 2.3.2-4: CHAdeMO Schéma [35]

Konektor obsahuje 2 silové piny (5) a (6). Pin (5) je záporné a pin (6) je kladné polarity. Jak již bylo výše řečeno, tento konektor umí data přenášet jak analogově, tak digitálně. Pro analogovou komunikaci slouží piny 1-4, 7 a 10. Pro digitální komunikaci slouží piny 9 a 10. [15]

Type 2 Mennekes

Tento typ konektoru je vytvořen pro elektromobily jezdící v Evropě. Oproti Typu 1 je schopen nabíjení pomocí tří fází o sdruženém napětí 400 V a maximálním proudem 63 A. Type 2 Mennekes obsahuje 5 silových a 2 komunikační piny. Jeden slouží pro komunikaci nabíječka-auto a druhý kontroluje správnost nasazení konektoru. Do pěti silových pinů se řadí tři piny pro fáze, zemnicí a ochranný vodič. Tento typ konektoru je schopen i stejnosměrného nabíjení o maximálním napětí 500 V a maximálním proudu 140 A. Tohoto využívají pouze vybrané vozy značky Tesla, které jsou určeny pro evropský trh. Zmíněná značka vyvinula vlastní konektor, o kterém bude pojednáno později. Ostatní vozy využívají pro stejnosměrné nabíjení konektor CCS Combo2. [11, 16]



Obrázek 5: 2.3.2-5 Type 2 [34]

CCS COMBO 2, Type 2

CCS Combo 2 obsahuje rozšíření pro stejnosměrné nabíjení pro Typ 2. Je schopen zajistit nabíjení o výkonu 350 kW. Podle evropské směrnice 2014/94/EU musí být konektory Combo 2 na každé veřejné dobíjecí stanici. [16, 17]



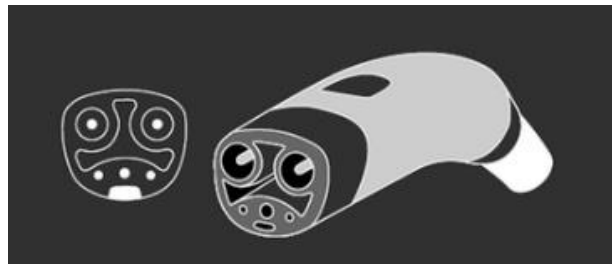
Obrázek 6: 2.3.2-6 CCS combo 2 [34]

Type 3, Scame

Tento typ konektorů je nejméně rozšířeným typem. Obsahuje stejný počet pinů jako předchozí Type 2. Jako první obsahoval bezpečnostní funkci, která zabraňuje dotyku pinů. Tato ochrana se odstraní, až když je pin zasunut. Později byl touto bezpečnostní funkcí vybaven Type 2 a Type 3 se přestal používat. [11]

Tesla supercharger US

Tento typ konektoru využívají vozy Tesla. Nabíjení probíhá ze stejnosměrného napětí o velikosti 480 V a používá se k superrychlému nabíjení. [13]



Obrázek 7: 2.3.2.-7 Tesla charger [35]

2.4. Struktura domácí dobíjecí stanice

Typů domácích dobíjecích stanic je nepřehledné množství. Nabíjecí stanice jsem rozdělil do několika skupin dle počtu funkcí a jisticích prvků. Nutno dodat, že je zde pojednáno pouze o dobíjecích stanicích na střídavý proud o fázovém napětí 230 V, tedy o napětí v domácnostech.

2.4.1. Typy dobíjecích stanic

- **Dobíjecí stanice 1. typu** je pouze adaptér umožňující se pomocí konektoru na střídavý proud připojit na domácí síť. Ochranné a jisticí prvky zde nejsou, spoléhá se na jisticí prvky objektu. Jde o nejjednodušší možnost nabíjení elektromobilů.
- **Dobíjecí stanice 2. typu** mají již zabudované chránicí prvky. Základními chránicími prvky jsou hlavní jistič a přepětová ochrana. Hlavní jistič může být v domácích dobíjecích stanicích dimenzován na 16 A. Zde záleží na velikosti hlavního jističe objektu. Hlavní jistič dobíjecí stanice se dimenzuje na stejný, či menší proud, aby nedošlo k přetížení dané fáze při používání ostatních domácích spotřebičů. Také je tato nabíječka vybavena stykačem pro spuštění, či zastavení nabíjení. Automobily jsou vybaveny pojistkou, která zabraňuje vysunutí nabíjecího konektoru během nabíjení. Tyto dobíjecí stanice jsou malé a přenosné. Zapojují se do třífázové zásuvky, nebo jednofázové zásuvky.
- **Dobíjecí stanice 3. typu** jsou vybaveny stejně jako stanice 2. typu, obsahují ale kontrolní elektroniku. Kromě základních ochranných je zde umístěn též proudový chránič. Při vybavení proudového chrániče dojde k vypnutí stykače. Dále je nabíječka doplněna monitorovací technikou. Lze tak odečítat všechny měřené hodnoty: proud, napětí, výkon a odebranou energii. Zároveň tyto dobíjecí stanice již komunikují pomocí komunikačních kanálů v nabíjecím kabelu s autem.
- **Dobíjecí stanice 4. typu** je dobíjecí stanice 3. typu doplněna o možnost komunikace a spolupráce s dalšími prvky sítě. Tyto stanice komunikují s jističem budovy, aby nepřesáhly maximální proud jističe. Pomocí komunikace s autem elektronika nabíječky nastaví autu maximální nabíjecí výkon. Dále jsou tyto nejlepší dobíjecí stanice schopny komunikovat s dispečinkem distribuční společnosti. Distributor tak může monitorovat nabíjení a v případě nutnosti i zasahovat do rychlosti nabíjení, aby v případě odběrových špiček odvrátil přetížení sítě. Tyto dobíjecí stanice jsou instalovány přímo distribučními společnostmi. [9, 18, 19]

2.4.2. Typy jednotlivých komponentů v dobíjecích stanicích

- **Hlavní jistič:**

Pro domácí nabíjení je dostačující jistič řady C16/3. Jde o třífázový tří pólový jistič dimenzován na maximální proud 16 A. Je nutno brát v potaz provozní teplotu jističe, jelikož dobíjecí stanice mohou být uloženy venku nebo v nevytápěné garáži. [20]

- **Přepětová ochrana:**

Jako svodič přepětí je nutný svodič zkušební třídy EIC T2. Svodič je uzpůsobený pro síť s vodiči PE a N. Opět bereme zřetel na provozní teplotu. [7, 21]

- **Stykač**

Stykač slouží k zapínání a vypínání nabíjení. Je uzpůsoben k vypínání proudů, na které je dimenzován. Stykač by měl být dimenzovaný podle výkonu nabíjení. Jeho proudové dimenzování by mělo být větší než u hlavního jističe. Obvyklý vypínací výkon bývá 2300 W, nebo 3600 W. [7, 21]

- **Proudový chránič**

Proudový chránič zaznamená stav, kdy část vtékajících proudů do elektromobilu uniká mimo obvod. K tomu může dojít, při dotyku člověka, nebo při poruše izolace vodivých částí. Pokud je unikající proud větší jak 30 mA, proudová ochrana vypne stykač. [20]

- **Monitorovací technika**

Monitorovací technika je podobná moderním elektroměrům. Je schopna zobrazit dobíjecí proud i výkon, či hodnotu dodané energie. Může vést i statistiku odbíjení. V případě komunikace s autem může určit čas nabíjení, nebo lze na ni nastavit rychlost dobíjení. [9]

3. Vliv elektromobility na rozvodnou síť

V Evropě má elektromobilita velkou podporu. Pro Evropu má přechod na dopravu nezávislou na fosilních palivech strategický a ekonomický význam, jelikož je na jejich dovozu závislá. [22] Česká republika se na tuto skutečnost připravuje. Výstavba dobíjecích stanic je finančně podporována, aby byla země na provoz elektromobilů připravena. V dnešní době je síť dobíjecích stanic silně naddimenzovaná. Tyto investice do dobíjecí struktury ale neumožní pokrýt kompletní nabíjení elektromobilů. V zemích, kde jsou elektromobily více rozšířeny, jako například Norsko, je dobíjení elektromobilů na dobíjecích stanicích méně populární než dobíjení aut doma v garážích, nebo na parkovacích stáních. Právě dobíjení elektromobilů v domácnostech může přinést hned několik komplikací pro distribuční síť. Velká část distribučních sítí je typu paprscitého, neboli jeden zdroj, v našem případě distribuční transformátor, napájí přilehlé budovy a ulice. Tyto transformátory jsou dimenzovány tak, aby pokryly žádaný odběr toho okrsku. Domácí nabíjení elektromobilů zvýší odebíraný výkon budov a zvýší nároky na síť. [23, 24] Provoz a parametry elektrických veličin distribučních sítí upravuje norma ČSN EN 50160.

3.1. Norma ČSN EN 50160 ED.3

Anotace textu normy: „Tato evropská norma popisuje a udává hlavní charakteristiky napětí v místech připojení uživatelů z veřejných distribučních sítí nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí za normálních provozních podmínek. Norma udává meze nebo hodnoty charakteristických hodnot napětí, jaké může za normálních provozních podmínek očekávat kterýkoliv uživatel sítě, nepopisuje průměrný stav veřejné distribuční sítě.“ [27]

Požadavků na napětí je celé množství. Pro vyhodnocení, zda síť nepodléhá vlivům dobíjení elektromobilů je důležitá část normy specifikující hladinu napětí v nízkonapěťové síti 230 V mezi fázovým a nulovým vodičem. Norma nařizuje, že 95 % naměřených napětí v deseti minutových intervalech musí být v rozmezí 207 V až 253 V, neboli v rozmezí $(230 \text{ V} \pm 10\%)$. [29]

3.2. Změna odběrného koeficientu

Distribuční společnosti mají zdroje dimenzované tak, aby pokryly všechny nasmlouvaný výkon odběratelů. Znamená to ale vysokou kontinuální zátěž na prvky soustavy, čemuž se společnosti snaží vyhnout. V obytných částech se počítá s koeficientem odběru 0,3, neboli 30 % nasmlouvaného odběru je průměrně odebíráno celkově. Toto procento může rozšíření elektromobility navýšit. 90 % lidí žijících v rodinných domech preferuje dobíjení svého elektromobilu v domácnosti. Pokud nastane situace, kdy 60 % domácností bude vlastnit elektromobil, můžeme očekávat velký nápor na distribuční soustavu. Aby bylo možno nabíjet elektromobil doma, je nutné vlastnit přenosnou nabíječku, nebo mít nainstalovaný wall box. Jak jsem již zmínil, inteligentní wall boxy umí využít maximální nasmlouvaný výkon a tím ještě zvýší odběrový koeficient. V důsledku tohoto jevu je nutné dobíjení elektromobilů v domácnostech monitorovat a analyzovat místa, kde je dobíjení možné, nebo kde bude nutné pro nabíjení vylepšit distribuční infrastrukturu. Distributorské firmy si tak vytvářejí mapy, které zobrazí stav připravenosti jejich infrastruktury na tuto skutečnost. Dalším řešením této situace je instalace wall boxů do rodinných domů přímo distributorskou firmou. Ta tak bude moci regulovat nabíjení elektromobilů a minimalizovat tak nebezpečí přetížení sítě. [9, 23] Naopak, jak ulehčit rozvodné soustavě pomocí elektromobilů, je využít automobily jako velkokapacitní úložiště. 90 % vozidel stojí zaparkovaná a může být energetické síti k dispozici. Majitel distributorovi oznámí, kdy potřebuje mít automobil nabitý a kdy může být elektromobil využitý ke zpětnému napájení. [25]

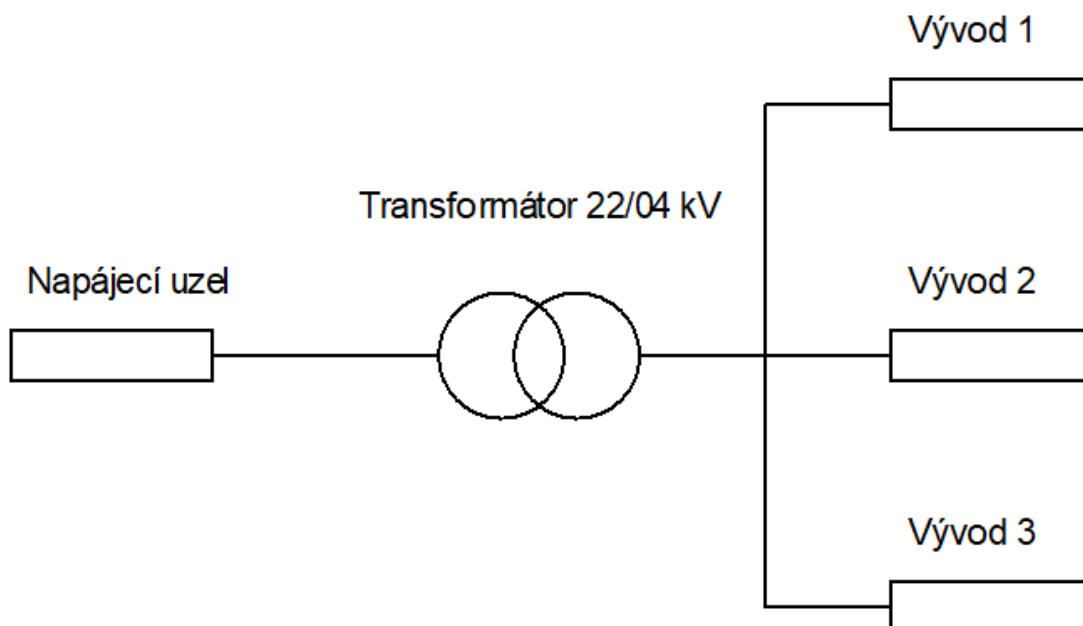
3.3. Vliv jednofázového nabíjení

Dalším a skrytým problémem, kromě přetížení distribuční sítě, je nesymetrické nabíjení elektromobilů. Levné elektromobily jsou vybaveny pouze jednofázovou palubní nabíječkou, tudíž umožní odebírat výkon pouze z jedné fáze. Toto může znamenat velký problém pro transformátor napájející aktuální oblast. Tento problém se netýká pouze těchto aut. Elektromobily umožňující třífázové nabíjení lze dobíjet z jedné fáze, pokud není k dispozici třífázová zásuvka, či nabíječka. Velký odebíraný proud z jedné fáze způsobí tepelné ztráty na vodičích a jejich oteplení. Zároveň dochází k poklesu napětí za těmito vodiči. Nerovnoměrnost zatížení fází výrazně zatěžuje magnetický obvod transformátoru, kde dochází ke ztrátám. Problematikou jednofázového nabíjení se budu věnovat ve výpočtu. [23]

4. Popis modelu distribuční sítě pro simulaci vlivů elektromobility

Pro simulaci vlivů nabíjení elektromobilů na distribuční síť jsme ve spolupráci s firmou E.ON distribuce vybrali část distribuční oblasti, která pod společnost E.ON spadá. Distribuční oblast zahrnuje jeden distribuční transformátor, který je napájen napětím 22kV sdružených, které transformuje na 400 V. Elektrická energie je následně rozvedena k odběratelům ve třech větvích (vývodech) pomocí různých vodičů. Simulace je provedena v programu Matlab Simulink a jsou použity bloky části Simscape. V rámci simulací sleduji napěťové poměry v celé síti, především v koncových bodech. Dále sleduji velikost proudů ve vodičích a výkon, který odebírá transformátor. Následně je modelován vliv případné rekonstrukce sítě, která by zahrnovala obměnu vodičů s lepšími vlastnostmi, a to především menším odporem na kilometr.

Jak již bylo uvedeno, model distribuční sítě má reálnou předlohu, která se nachází na distribučním území firmy E.ON distribuce. V následující kapitole jsou popsány všechny prvky sítě.



Obrázek 8: 4. Popis sítě

Napájecí uzel je brán jako tvrdý zdroj. V simulaci je použit blok *Three-Phase source*. Do systému dodává napětí 22 kV o frekvenci 50 Hz. Jeho zapojení je do hvězdy s uzemněným uzlem.

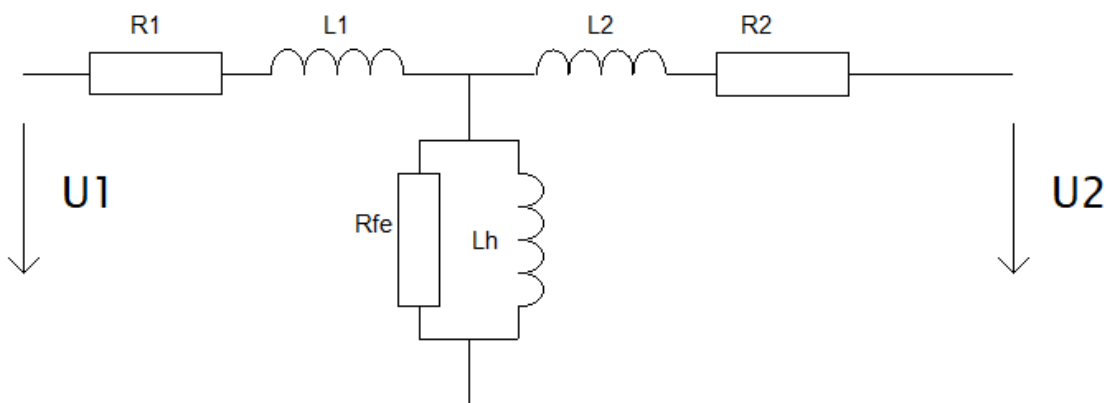
4.1. Distribuční transformátor

Distribuční transformátor v této oblasti má převod napětí 22 kV/ 400 V. Jeho nominální výkon je 400 kVA. Pro simulaci transformátoru slouží blok *Three-pase_transformer (Two windings)*. Tento blok vyžaduje dopočítat náhradní zapojení transformátoru. Jako referenční transformátor byl zvolen produkt společnosti Schneider Electric. Jedná se o třífázový jádrový transformátor typu DYn1. Sekundární vinutí je zapojené do trojúhelníku a primární vinutí je zapojené do hvězdy s uzemněným středem. Jeho parametry jsou v Tabulce 1.

Tabulka 1: 4.1 Vlastnosti transformátoru [23]

Název veličiny	Značka	Hodnota
Napětí na primárním vinutí	U_1	22 kV
Napětí na sekundárním vinutí	U_2	400 V
Normálový výkon	S_n	400 kVA
Ztráty naprázdno	ΔP_0	1200W
Ztráty nakrátko	ΔP_k	4800W
Napětí nakrátko	u_k	6%
Proud naprázdno	i_0	1,50%

Vztažené napětí U_n je bráno napětí primárního vinutí. Pro modelování transformátoru bylo využito náhradního zapojení ve tvaru T-článku.



Obrázek 9: 4.1 Náhr. schéma transformátoru

4.1.1. Výpočet parametrů příčné větve

Parametry příčné větve jsem vypočítal z fázoru admitance příčné větve. Fázor admitance je složený z konduktance (elektrické vodivosti), ze které jsem získal odpor v železe R_{Fe} a ze susceptance (jalové vodivosti) L_h , ze které jsem získal magnetizační indukčnost. Rovnice pro příčnou admitanci lze napsat takto: [26]

$$Y_m = \frac{S_n}{U_n^2} \left[\frac{\Delta P_0}{S_n} - j \sqrt{\left(\frac{i_0}{100} \right)^2 - \left(\frac{\Delta P_0}{S_n} \right)^2} \right]. \quad (1)$$

- Y_m ... Admitance příčné větve
- S_n ... Normálový výkon
- U_n ... Vztažné napětí
- ΔP_0 ... Ztráty naprázdno
- i_0 ... Poměrný proud naprázdno

Fázor příčné admitance můžeme rozložit na konduktanci a susceptanci dle vzorce [26]

$$Y_m = G_{Fe} - jB_h. \quad (2)$$

- G_{Fe} ... Konduktance příčné větve
- B_h ... Susceptance příčné větve

Pomocí rovnic (1) a (2) lze vyjádřit vztah pro konduktanci příčné větve

$$G_{Fe} = \frac{S_n \Delta P_0}{U_n^2 S_n} = \frac{\Delta P_0}{U_n^2} \quad (3)$$

a pomocí vztahu

$$R_{Fe} = G_{Fe}^{-1} \quad (4)$$

Lze vypočítat příčný odpor R_{Fe} . [26] Dosazením hodnot z Tabulky 1 do rovnice (3) jsem získal hodnotu konduktance

$$G_{Fe} = \frac{1200}{400 \cdot 10^3} = 2,479 \cdot 10^{-6} \text{ S}, \quad (V1)$$

ze které jsem dosazením do vztahu (4) vypočítal hodnotu příčného odporu

$$R_{Fe} = \frac{1}{2,479 \cdot 10^{-6}} = 433\,388 \, \Omega. \quad (V2)$$

Z rovnice (1) a pomocí vztahu (2) jsem vyjádřil vztah pro susceptanci příčné větve

$$B_h = \frac{S_n}{U_n^2} \sqrt{\left(\frac{i_0}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_0}{S_n}\right)^2}. \quad (5)$$

Vzájemný vztah pro indukčnost a susceptanci zní

$$L_h = \frac{1}{B_h 2\pi f}. \quad (6)$$

- f ... frekvence sítě $f = 50$ Hz

Do rovnice (5) jsem dosadil hodnoty z Tabulky 1 a po dosazení mi vyšla hodnota příčné susceptance

$$B_h = \frac{400\,000}{22000^2} \sqrt{\left(\frac{1,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{1200}{400\,000}\right)^2} = 1,2146 \cdot 10^{-5} \text{ S} \quad (V3)$$

a následně jsem výslednou hodnotu dosadil do rovnice (6) a s použitím síťové frekvence vyšla hodnota příčné indukce

$$L_h = \frac{1}{1,2146 \cdot 10^{-5} \cdot 2\pi \cdot 50} = 262 \text{ H}. \quad (V4)$$

4.1.2. Výpočet parametrů podélné větve

Pro možnost výpočtu beru v úvahu, že obě vinutí mají stejný odpor a indukčnost. Výpočtem jsem zjistil odpor a indukčnost celé podélné větve. Následně jsem je vydělil dvěma, abych získal odpor a indukčnost pro každé vinutí zvlášť. Rovnice pro podélnou impedanci zní [26]

$$\mathbf{Z}_{12} = \frac{U_n^2}{S_n} \left[\frac{\Delta P_k}{S_n} + j \sqrt{\left(\frac{u_k}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_k}{S_n}\right)^2} \right]. \quad (7)$$

- \mathbf{Z}_{12} ... Impedance podélné větve
- S_n ... Normálový výkon
- U_n ... Vztažné napětí
- ΔP_k ... Ztráty nakrátko
- u_k ... Poměrné napětí nakrátko

Fázor impedance můžeme rozložit na rezistanci a v našem případě na reaktanci, jelikož se v náhradním zapojení vyskytují pouze cívky. Rovnice má tvar

$$\mathbf{Z}_{12} = R_c + jX_c. \quad [26] \quad (8)$$

Pomocí rovnic (7) a (8) jsem vyjádřil vztah pro celkový odpor obou vinutí. Rovnice pro odpor zní

$$R_{12} = \frac{U_n^2 \Delta P_k}{S_n^2}. \quad (9)$$

Do rovnice (9) jsem dosadil hodnoty z Tabulky 1 a po dosazení vyšla číselná hodnota pro celkový odpor:

$$R_{12} = \frac{22000^2 \cdot 4800}{400\,000^2} = 14,52 \, \Omega. \quad (V5)$$

Z rovnic (7) a (8) jsem získal vztah pro celkovou reaktanci

$$X_{12} = \frac{U_n^2}{S_n} \sqrt{\left(\frac{u_k}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_k}{S_n}\right)^2}. \quad (10)$$

Vzájemný vztah pro reaktanci a indukčnost zní

$$L_{12} = \frac{X_{12}}{2\pi f}. \quad (11)$$

Do rovnice (10) jsem dosadil hodnoty z Tabulky 1 a vyšla hodnota

$$X_{12} = \frac{22\,000^2}{400\,000} \sqrt{\left(\frac{6}{100}\right)^2 - \left(\frac{4800}{400\,000}\right)^2} = 71,133 \, \Omega \quad (V6)$$

celkové indukčnosti. Z hodnoty indukčnosti jsem dopočítal celkovou podélnou indukčnost

$$L_{12} = \frac{71,133}{2\pi \cdot 50} = 226 \, \text{mH}. \quad (V7)$$

Nakonec je třeba dopočítat indukčnosti a odpory obou vinutí. V úvodu této části jsem zmínil předpoklad, že obě vinutí mají stejné hodnoty, tudíž hodnotu pro každé vinutí získám podělením předchozích hodnot dvěma. Získávám následující vztahy

$$R_1 = R_2 = \frac{R_{12}}{2} \quad (12)$$

a

$$L = L_2 = \frac{L_{12}}{2}. \quad (13)$$

Do rovnice (12) jsem dosadil hodnotu (V5) a získal jsem hodnoty podélných odporů

$$R_1 = R_2 = \frac{14,52}{2} = 7,26 \, \Omega. \quad (V8)$$

Do rovnice (13) jsem dosadil hodnotu (V7) a získal jsem hodnoty podélných indukčností

$$L = L_2 = \frac{226}{2} = 113 \text{ mH.} \quad (\text{V9})$$

4.2. Vedení elektrické energie k odběratelům

Distribuce energie je po celém distribučním územím realizována třemi základními větvemi. Každá větev je rozdělena do úseků o různé délce a každý úsek je realizován určitým typem vedení podle Tabulky 2. Všechna vedení jsou simulována jako třífázová. Pro simulaci byl vybrán blok *Pi Section Line*, který simuluje vodič pomocí náhradního zapojení tvaru π . Jako parametry vodiče volíme odpor na kilometr a indukčnost na kilometr. Hodnoty odpor na kilometr a reaktance na kilometr byly dodány společností E.ON distribuce a jsou sepsány v Tabulce 2. Indukčnost pro každý typ vedení jsem dopočítal podle rovnice (11). Frekvence sítě je opět 50 Hz. Další parametr vedení je svod neboli susceptance vedení. Pro výpočet byla dodána hodnota $1 \mu\text{S/km}$ pro všechny vodiče, ze které byla určena velikost kapacity na kilometr. Rovnice pro vztah svodu na kilometr a kapacity na kilometr vodiče zní

$$C = \frac{B}{2\pi f}. \quad (14)$$

Do rovnice 14 jsem dosadil hodnotu svodu a frekvence sítě $f = 50 \text{ Hz}$ a vychází hodnota kapacity vodičů

$$C = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{2\pi \cdot 50} = 3,18 \text{ nF/km.} \quad (\text{V10})$$

Dalším důležitým dodaným údajem je maximální proudová zatížitelnost pro každý vodič. Souhrn všech vodičů s vlastnostmi je v následující tabulce.

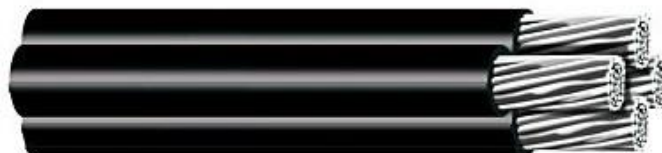
Tabulka 2: 4.2: Vlastnosti vodičů [23]

Soupis vlastností použitých vodičů					
Typ vodiče	Průřez vodiče	Odpor na kilometr	Reaktance na kilometr	Indukčnost na kilometr	Maximální proud
	[mm]	[Ω /km]	[Ω /km]	[mH/km]	[A]
AES	70	0,443	0,068	0,216	202
AYKY	16	1,935	0,082	0,261	70
AYKY	35	0,885	0,079	0,251	125
AYKY	120	0,258	0,069	0,220	245
AYKYz	10	3,096	0,086	0,274	45
AYKYz	16	1,935	0,09	0,286	61
AYKYz	35	0,885	0,079	0,251	125
AlFe	16	1,882	0,329	1,047	83
AlFe	25	1,390	0,313	0,996	128
AlFe	35	0,970	0,302	0,961	161
1-NAYY-J	16	1,900	0,089	0,283	63
1-NAYY-J	50	0,641	0,085	0,271	144

4.2.1. Charakteristiky vodičů

Kabely AES

Kabely typu AES jsou samonosné kabely. Používají se na rozvody napětí 0,4 - 1 kV na kmenová a odbočná vedení distribuční sítě, nebo na vedení veřejného osvětlení. Kabely jsou zavěšeny na nosních, nebo kotevních svorkách na sloupech veřejného osvětlení, či na samotných sloupech. Samotný kabel je tvořen splátkou čtyř vodičů, a to tří fází a jednoho ochranného vodiče PEN. Jádro vodiče je komprimovaného kruhového profilu a je slané z hliníkových drátů EAL 99,5. Vodič je izolován vrstvou lineárního polyetylenu černé barvy. [28]



Obrázek 10: 4.2.1-1: Kabel AES [28]

Kabely AYKY a AYKYz

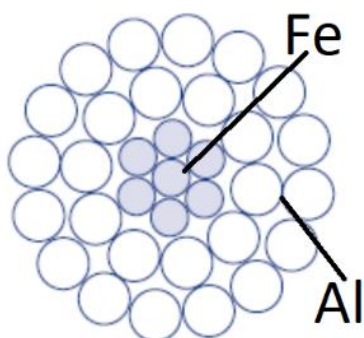
Kabely AYKY jsou určeny pro pevné uložení jak ve vnitřním prostoru, tak v betonu, či pod zemí. Naopak kabely AYKYz jsou určeny pro zavěšení ve volném prostoru. Oby typy kabelů mají vodiče z hliníku, či mědi. Vodiče jsou obaleny barevnou PVC izolací pro určení fáze, či ochranného vodiče. Všechna jádra jsou propletena a splítka je obalena plastovou páskou, či zapuštěna pryží. Celý kabel je chráněn v plášti z měkčeného polyvinylchloridu (PVC) černé barvy. [30, 31]



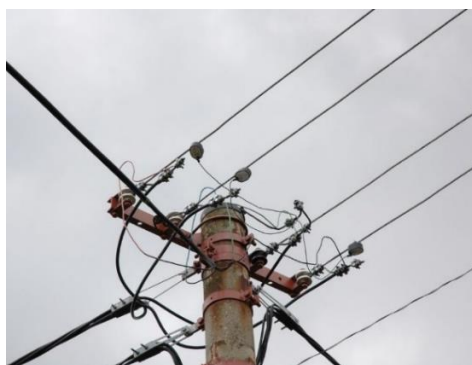
Obrázek 11: 4.2.1-2: Kabel AYKY [36]

Vodiče AlFe

Vodiče AlFe se používají pro vedení velmi vysokého a vysokého napětí. V distribučních oblastech o napětí 400 V se nahrazují jinými typy, a to zejména kvůli vysoké hodnotě odporu na kilometr. Jelikož na úrovni napětí 400 V tečou vedením velké proudy, dochází na vodičích k velkým tepelným ztrátám. Střed vodiče je tvořen železnými pruty, které mají nosnou a pevnostní funkci. Toto železné, či ocelové jádro je obaleno hliníkovými pruty, které mají vodivostní funkci. V distribučních sítích na napětí 400 V jsou použity jako čtyřvodičové vedení. [23, 26]



Obrázek 12: 4.2.1-3: Průřez vodičem AlFe [37]



Obrázek 13: 4.2.1-4: Vedení AlFe [38]

Vodiče NAYY

NAYY vodiče se používají pro rozvod elektrické energie v zemi. Jádra mají stejnou konstrukci jako u kabelu AYKY. Rozdíl oproti kabelu AYKY je v obalu všech jader, kdy se v tomto případě používá extrudovaný obal. Plášť kabelu tvoří měkčené PVC. [32]

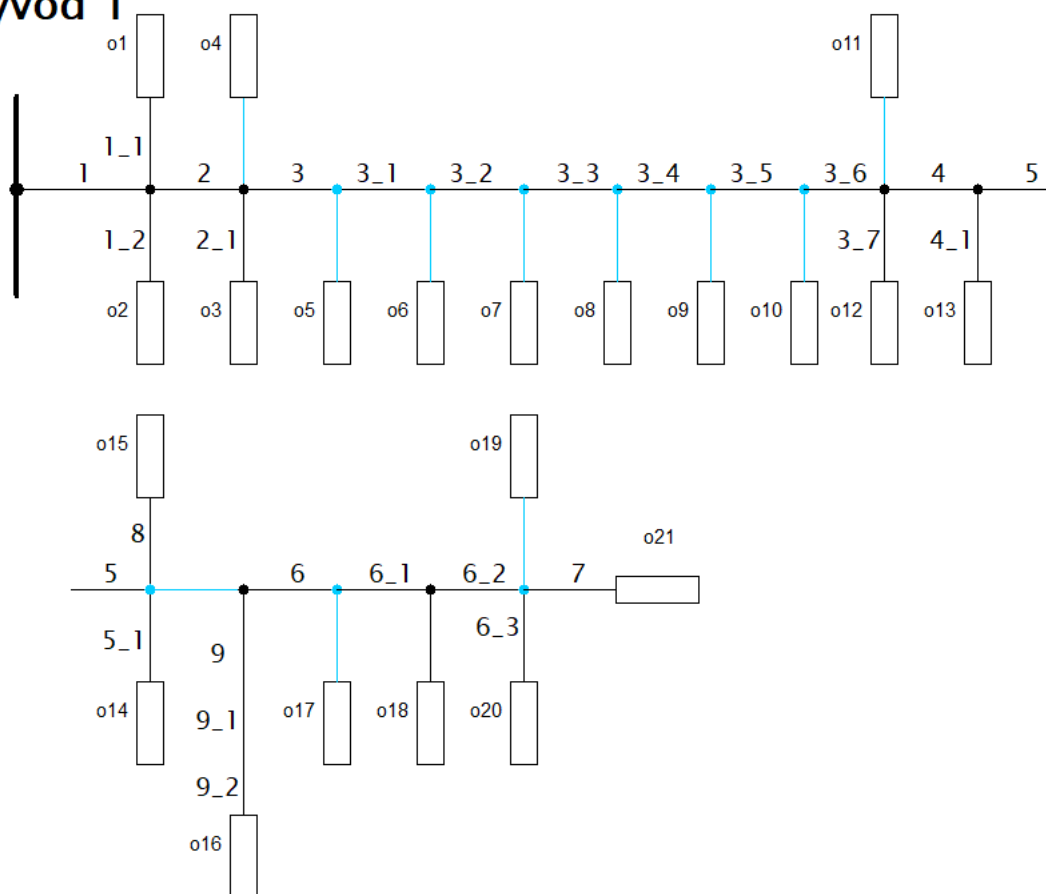
4.2.2. Popis jednotlivých větví

Náhradní schémata větví 1 a 2 jsou níže. Na větví 1 se především simulují napěťové rozdíly na začátku a na konci. Dále slouží i ke sledování velikosti protékajících proudů jednotlivými vodiči. Větev 2 slouží pro zatížení transformátoru. Díky jeho malé délce a malému počtu odběratelů se neočekávají problémy s hladinou napětí. Větev 3 je brána jako odběrné místo 30-ti odběratelů (rodinných domů). Slouží pouze k měření zátěže transformátoru a pro měření proudů na sekundárním vinutí.

Vysvětlivka ke schémátům:

Tlustým vodičem je naznačeno rozvětvení u výstupu sekundárního vinutí transformátoru. Zde se vedení rozvětjuje do tří vývodů, které pokračují větvemi. Každá větev je rozdělena do úseků. Úseky jsou nakresleny černou čarou a každý má své číslo. Modré úseky jsou pouze pomocné úseky pro přehlednost schématu. Jsou součástí uzlu a nedochází na nich ke ztrátám. Pomocí úseků vedení je tak elektrická energie dovedena do odběrných bodů o1 až o21 v prvním vývodu a do bodů o2-1 až o2-4 ve druhém vývodu.

Vývod 1

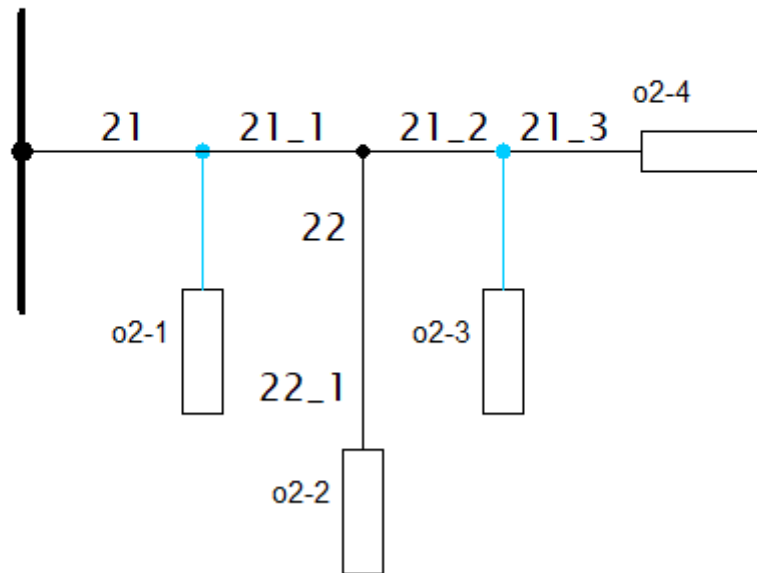


Obrázek 14: 4.2.2-1: Schéma první větve

Tabulka 3: 4.2.2-1: Seznam úseků první větve [23]

Seznam úseků první větve				
Číslo úseku	Typ vedení	Typ vodiče	Průřez vodiče	Délka úseku
			[mm]	[m]
1	nadzemní izolované	AES	70	13,265
1_1	podzemní	AYKY	35	1,260
1_2	podzemní	AYKY	16	30,837
2	podzemní	AYKY	35	25,000
2_1	podzemní	AYKY	35	39,462
3	nadzemní holé	AlFe	35	34,002
3_1	nadzemní holé	AlFe	35	33,700
3_2	nadzemní holé	AlFe	35	27,767
3_3	nadzemní holé	AlFe	35	19,000
3_4	nadzemní holé	AlFe	35	24,752
3_5	nadzemní holé	AlFe	35	23,032
3_6	nadzemní holé	AlFe	35	31,073
3_7	nadzemní kabel	AYKYz	10	13,530
4	nadzemní holé	AlFe	35	107,100
4_1	podzemní	AYKY	16	59,253
5	nadzemní holé	AlFe	25	199,821
5_1	podzemní	1-NAYY-J	16	10,167
6	podzemní	1-NAYY-J	50	26,228
6_1	podzemní	1-NAYY-J	50	23,552
6_2	podzemní	1-NAYY-J	50	15,863
6_3	podzemní	1-NAYY-J	16	8,100
7	podzemní	1-NAYY-J	50	26,228
8	podzemní	AYKY	16	12,060
9	nadzemní holé	AlFe	16	36,434
9_1	nadzemní holé	AlFe	16	32,000
9_2	podzemní	AYKY	16	29,150

Vývod 2



Obrázek 15: 4.2.2-2: Schéma druhé větve

Tabulka 4: 4.2.2-1: Seznam úseků první větve [23]

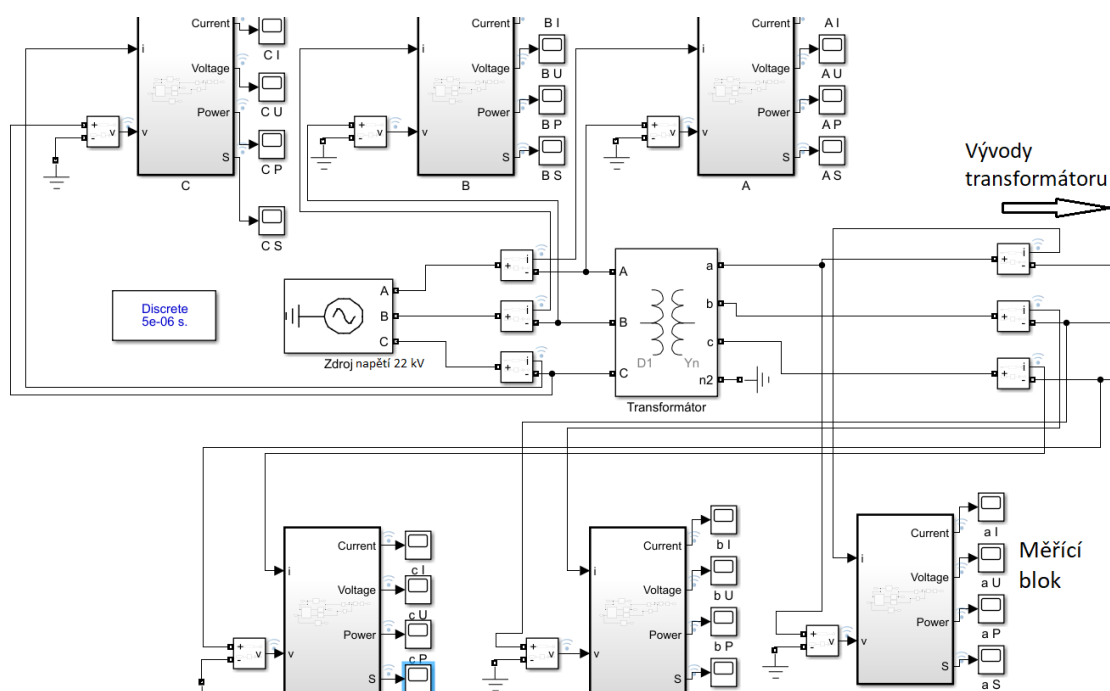
Seznam úseků druhé větve				
Číslo úseku	Typ vedení	Typ vodiče	Průřez vodiče [mm]	Délka úseku [m]
21	podzemní	AYKY	120	87,354
21_1	nadzemní kabel	AYKYz	35	304,315
21_2	nadzemní kabel	AYKYz	16	12,88
21_3	nadzemní kabel	AYKYz	10	18,206
22	nadzemní kabel	AYKYz	35	35,389
22_1	podzemní	AYKYz	16	27,9

5. Simulace vlivů dobíjení elektromobilů na distribuční síť

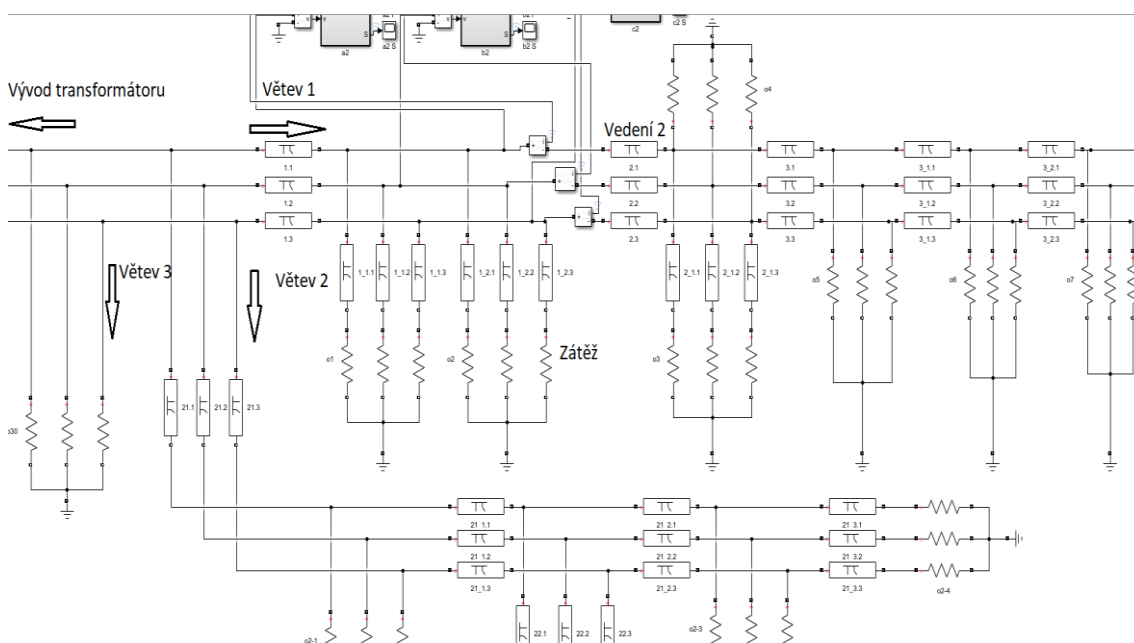
Provedené simulace mají za úkol zjistit, zda síť je schopna pojmout větší zatížení způsobené nabíjením elektromobilů. Napětí v síti porovnávám s požadavky normy ČSN EN 50160 popsané v kapitole 3.1. Představenou část distribuční sítě zatěžuji odběry uživatelů sítě. Každý odběratel je realizován pomocí tří bloků *Serries RLC Load*. Každý blok představuje zátěž pro jednu fázi a odebíraný výkon pomocí těchto bloků bude pouze činný. Síť jsem zatížil různými kombinacemi zátěží. Bylo realizováno především nesymetrické zatížení sítě. Následně jsem vyhodnotil, zda je síť vhodná pro tyto typy odběru pomocí tří ukazatelů. Nejdůležitějším ukazatelem je vyhodnocení napětí v síti, zda odpovídá požadavkům norem. Dalším ukazatelem je proudové zatížení vodičů a zda efektivní hodnota proudu nepřekračuje maximální povolené proudové zatížení I_{MAX} . Hodnoty maximálních proudových zatížení jsou vypsány v tabulce 2. Třetím ukazatelem jsou výkonové poměry pro transformátor a to, zda dimenzování transformátoru je dostačující. Simulaci provedu též pro případ rekonstrukce páteřního vedení vývodů 1 a 2 nahrazením vedení pomocí kabelů AYKY50 a AYKY70 a výsledky porovnám.

5.1. Základní parametry simulace

Délku simulace jsem nastavil na 0,06 sekund, což je délka tří period. Dle mého pozorování se všechny efektivní hodnoty parametrů sítě ustálily do 0,04 s. Délka kroku simulace je nastavena na $5 \cdot 10^{-6}$ s. Simulovaný model vypadá takto>



Obrázek 16: 5.1 Model sítě 1



Obrázek 17: 5.1-2 Model sítě 2

5.2. Nastavení odběrových výkonů

Všechny simulace jsou provedeny v režimu stálého odběru všech odběratelů. Hodnota stálého odběru byla zvolena 600 W na fázi pro jednoho odběratele. K této hodnotě jsme dospěli s distributorskou společností E.ON, jelikož odpovídá koeficientu odběru $k = 0,3$, pokud má odběratel k dispozici jistič o velikosti 10 A, může tak maximálně odebírat výkon 2300 W. O koeficientu odběru je více napsáno v Kapitole 3.2. K těmto odebíraným výkonům jsou poté připočteny další odebírané výkony způsobené dobíjením elektromobilů. Simulováno je především nabíjení z jedné fáze a pomocí kombinací jsem vytvořil simulace jak problémového nesymetrického, tak symetrického odběru výkonu ze sítě. Vícefázové nabíjení bylo simulováno, pokud to síť umožňovala. Pro zjištění vhodnosti sítě pro dobíjení elektromobilů jsem určil možný počet odběratelů, kteří si mohou nabíjet elektromobil s určitým příkonem. Pro srovnání všech simulací jsem z každé situace určil:

- a) počet odběratelů, kteří si mohou nabíjet elektromobil a jsou seřazeni od konce sítě
- b) počet odběratelů, kteří si mohou nabíjet elektromobil a jsou seřazeni od začátku sítě.

Počty odběratelů s dobíjením jsou hraniční hodnoty pro síť. Pokud by přibyli další odběratelé v síti, přestanou vyhovovat nastavená buď proudová, nebo napěťová kritéria.

Rychlost dobíjení elektromobilů, neboli maximální odebíraný výkon odběratelem, jsem též rozdělil do dvou skupin:

- 1) Maximální odebíraný proud ze sítě je 10 A, tudíž odebíraný výkon z jedné fáze je 2300 W.
- 2) Maximální odebíraný proud ze sítě je 16 A, tudíž odebíraný výkon z jedné fáze je 3680 W.

První možnost odpovídá situaci, kdy odběratel má nainstalovaný jistič o velikosti 10 A. Druhá možnost odpovídá situaci, kdy odběratel má k dispozici jistič o velikosti 16 A a jeho maximální odebíraný výkon může být 3680 W. V simulaci jsem použil výkon 1600 W.

5.3. Provedení simulací na aktuální síti bez rekonstrukce

Transformátor má k dispozici pět odboček. Napětí vývodu z transformátoru lze tudíž zvýšit, či snížit. Napětí na začátku větve jsem tudíž zvýšil na 240 V, což umožní větší úbytek na vodičích, než napětí na konci sítě klesne na 210 V. Napětí 240 V se nepřekračuje. [23] Simulace se zaměřuje především na větev 1, jelikož se zde očekává největší dopad velkého odběru na napětí na konci sítě a zároveň lze zde očekávat proudové přetížení vodičů.

Ze simulace jsem získal napětí, proud a zdánlivý výkon. Všechny veličiny jsou měřeny na primární a sekundární straně transformátoru, na úseku číslo 2 na straně transformátoru ve vývodu jedna a před odběrným bodem o21 na konci vývodu 1. Písmeno Aa značí 1. fázi, písmeno Bb značí 2. fázi a písmeno Cc značí 3. fázi. Hodnoty s indexy A, B a C jsou hodnoty na přívodu (primární straně transformátoru). Hodnoty s indexy a, b a c jsou hodnoty na vývodu (sekundární straně) transformátoru. Hodnoty s indexy 2a, 2b a 2c jsou hodnoty na úseku č. 2 a hodnoty s indexy o21a, o21b a o21c jsou hodnoty před odběrným bodem o21. S_{cel} je celkový zdánlivý výkon odebíraný transformátorem

5.3.1. SIMULACE 1a

Základní stav – všichni odběratelé odebírají 600 W na každé fázi

Tabulka 5: 6.3.1: Simulace 1a

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	240 V	U_{o21a}	223 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	240V	U_{o21b}	223 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	240 V	U_{o21c}	223 V
Proudy							
I_A	6,8 A	I_a	147,5 A	I_{2a}	49,5 A	I_{o21a}	2,5 A
I_B	6,8 A	I_b	147,5 A	I_{2b}	49,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	6,8 A	I_c	147,5 A	I_{2c}	49,5 A	I_{o21c}	2,5 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	86,9 kVA	S_C	86,6 kVA				
S_B	86,9 kVA	S_{cel}	260,4 kVA				

Z hodnot v tabulce vyplývá, že všechny hodnoty napětí odpovídají normovaným hodnotám a hodnoty proudu nepřesahují maximální hodnoty. Výkon transformátoru je využíván na 65 %.

5.3.2. SIMULACE 1b

Určení maximálního počtu odběratelů nabíjejících směrem od konce sítě výkonem 2300 W

Tabulka 7: 5.3.2: Simulace 1b

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	240 V	U_{o21a}	211 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	240V	U_{o21b}	223 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	240V	U_{o21c}	223 V
Proudy							
I_A	6,8 A	I_a	166,5 A	I_{2a}	68,5 A	I_{o21a}	9,0 A
I_B	7,0 A	I_b	147,5 A	I_{2b}	49,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	6,8 A	I_c	147,5 A	I_{2c}	49,5 A	I_{o21c}	2,5 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	86,6 kVA	S_C	86,6 kVA				
S_B	89 kVA	S_{cel}	262,2 kVA				

V této simulaci bylo nasimulováno jednofázové nabíjení z fáze A o výkonu 2300 W u tří koncových odběratelů. Jedná se o odběrná místa o19, o20 a o21. Aby nekleslo napětí na konci sítě pod 210 V, lze z jedné fáze nabíjet pouze ve 3 posledních objektech. Díky velkému odebíranému proudu, který teče celou větví, dochází na vodičích s velkým odporem k úbytku napětí. Napětí na konci větve tak výrazně klesne, tato hodnota je výrazněna v tabulce oranžovou barvou. Výkon transformátoru je využíván na 65,6 %. Počet odběratelů, kteří mohou elektromobil dobíjet postupně od začátku sítě z jedné fáze, je 3.

5.3.3. SIMULACE 1c

Určení maximálního počtu odběratelů nabíjejících směrem od začátku sítě
výkonem 2300 W

Tabulka 8: 5.3.3: Simulace 1c

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	239 V	U_{o21a}	214 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	240 V	U_{o21b}	223 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	240 V	U_{o21c}	223 V
Proudy							
I_A	6,8 A	I_a	234,5 A	I_{2a}	121,5 A	I_{o21a}	2,5 A
I_B	7,7 A	I_b	147,5 A	I_{2b}	49,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	6,8 A	I_c	147,5 A	I_{2c}	49,5 A	I_{o21c}	2,5 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	87 kVA	S_C	87 kVA				
S_B	97 kVA	S_{cel}	271 kVA				

V této simulaci probíhá nabíjení elektromobilů z jedné fáze od začátku sítě. Opět byl jejich počet postupně zvyšován, dokud nedošlo k překročení mezních hodnot.

Elektromobil nabíjelo o výkonu 2300 W z jedné fáze 12 odběratelů, a to o1 až o12. Jak lze vidět z předchozí tabulky, mezní hodnotou je hodnota proudu ve vodiči druhého úseku (označeno oranžovou barvou). Maximální povolený proud pro vodič v tomto úseku je 125 A. Při přidání dalšího nabíječícího uživatele by byl maximální proud překročen. Lze si také všimnout nízké hodnoty napětí na konci sítě. Výkon transformátoru je využíván na 68 %. Počet odběratelů, kteří mohou elektromobil dobíjet postupně od začátku sítě z jedné fáze, je 12.

5.3.4. SIMULACE 1d

Určení maximálního počtu odběratelů nabíjejících směrem od konce sítě
výkonem 3600 W

Tabulka 9: 5.3.4: Simulace 1d

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	240 V	U_{o21a}	216 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	240 V	U_{o21b}	223 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	240 V	U_{o21c}	223 V
Proudy							
I_A	6,8 A	I_a	159,0 A	I_{2a}	61,0 A	I_{o21a}	15,0 A
I_B	7,0 A	I_b	147,5 A	I_{2b}	49,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	6,8 A	I_c	147,5 A	I_{2c}	49,5 A	I_{o21c}	2,5 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	86,8 kVA	S_C	86,8 kVA				
S_B	88,2 kVA	S_{cel}	261,8 kVA				

Nyní je simulována stejná situace jako v 5.3.2, ale koncoví uživatelé odebírají výkon 3600 W, což přibližně odpovídá odebíranému proudu 16 A. Je to příklad situace, kdy má odběratel k dispozici proudový jistič 16 A. Tímto výkonem z jedné fáze může nabíjet pouze jeden odběratel na konci sítě. Při přidání dalšího uživatele klesne napětí pod 210 V. Výkon transformátoru je využíván na 66 %. Počet odběratelů od konce sítě, kteří mohou nabíjet elektromobil z jedné fáze výkonem 3600 W, je 1.

5.3.5. SIMULACE 1e

Určení maximálního počtu odběratelů nabíjejících směrem od začátku sítě
výkonem 3600 W

Tabulka 10: 5.3.5: Simulace 1e

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	239 V	U_{o21a}	219 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	240 V	U_{o21b}	223 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	240 V	U_{o21c}	223 V
Proudy							
I_A	6,8 A	I_a	239,5 A	I_{2a}	115,0 A	I_{o21a}	2,5 A
I_B	7,7 A	I_b	147,5 A	I_{2b}	49,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	6,8 A	I_c	147,5 A	I_{2c}	49,5 A	I_{o21c}	2,5 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	87,0 kVA	S_C	87,0 kVA				
S_B	97,8 kVA	S_{cel}	261,8 kVA				

Nyní je simulována, jako v případě 5.3.3, pouze odběratelé odebírají výkon 3600 W. Aby nebyl překročen maximální proud kabelu v úseku 125 A, může nabíjet na jedné fázi počátečních 7 odběratelů. Výkon transformátoru je využíván na 66 %. Počet odběratelů od začátku sítě, kteří mohou nabíjet elektromobil z jedné fáze výkonem 3600 W, je 7.

5.3.6. SIMULACE 1f

Určení, zdali je síť dimenzovaná na dobíjení všech uživatelů
výkonem 2300 W

Tabulka 11:5.3.6: Simulace 1f

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	239,5 V	U_{2a}	239 V	U_{o21a}	211 V
U_B	12,7 kV	U_b	239,5 V	U_{2b}	239 V	U_{o21b}	209 V
U_C	12,7 kV	U_c	239,5 V	U_{2c}	239 V	U_{o21c}	208 V
Proudy							
I_A	8,6 A	I_a	308,0 A	I_{2a}	90,5 A	I_{o21a}	2,5 A
I_B	8,6 A	I_b	307,0 A	I_{2b}	89,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	8,6 A	I_c	306,5 A	I_{2c}	97,0 A	I_{o21c}	9,0 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	109,6 kVA	S_C	109,6 kVA				
S_B	109,6 kVA	S_{cel}	328,8 kVA				

Předchozí situace nebyly pro distribuční síť ideální. Nyní je simulována situace ideální, a to případ kdy každý odběratel nabíjí elektromobil z jiné fáze než předchozí. Odběratel o1 nabíjí z fáze A, o2 z fáze B, o3 z fáze C, o4 znovu z fáze A. Ostatní fáze, na kterých nebude elektromobil nabíjen, budou mít standardní odběr 600 W. Na ostatních větvích je odběr rozdělen tak, aby odpovídal poměrům, že každý třetí odběratel nabíjí elektromobil na stejné fázi. Síť rovnoměrné rozložení dobíjení elektromobilů na všechny fáze zvládá s problémy. Napětí na konci sítě se sice vejde do tolerance $230 \text{ V} \pm 10 \%$, ale mnoho spotřebičů při napětí menším než 210 V není schopno fungovat. Distributorské společnosti se snaží k této hranici nepřibližovat. Hodnoty proudů jsou v limitech. Výkon transformátoru je využíván na 82 %. Distributorská společnost E.ON má snahu zatížení transformátoru držet pod hranicí 70 %. [23] Simulaci pro rozložené dobíjení 3600 W nemá smysl realizovat.

5.4. Simulace na síti s rekonstruovanými páteřními úseky pomocí AYKY50

Schéma celé sítě je shodné se sítí původní. Pouze bylo vyměněno páteřní vedení přívodů za kabel AYKY50. Konkrétně byly vyměněny úseky v prvním vývodu: 2, 3, 3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 4, 5, 6, 6_1 a 6_2. Dále byly vyměněny kabely v druhém vývodu a to v úsecích 21, 21_1, 21_2 a 21_3. Výstupní fázové napětí transformátoru bude nastaveno na hodnotu 240 V. Pomocí simulace budou uvedeny stejné hodnoty jako v předchozích simulacích a indexy hodnot napětí, proudů a výkonů odpovídají zavedenému značení z kapitoly 5.3.

Tabulka 12: 5.4: Parametry AYKY50

Parametry AYKY50	
Průřez vodiče	50 mm
Odpor na kilometr	0,619 Ω /km
Reaktance na kilometr	0,077 Ω /km
Indukčnost na kilometr	0,245 mH/km
Maximální proud	147 A

5.4.1. SIMULACE 2a

Základní stav – všichni odběratelé odebírají 600 W na každé fázi

Tabulka 13: 5.4.1: Simulace 2a

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	239 V	U_{o21a}	230 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	239 V	U_{o21b}	230 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	239 V	U_{o21c}	230 V
Proudy							
I_A	6,9 A	I_a	160,7 A	I_{2a}	50,5 A	I_{o21a}	2,5 A
I_B	6,9 A	I_b	160,7 A	I_{2b}	50,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	6,9 A	I_c	160,7 A	I_{2c}	50,5 A	I_{o21c}	2,5 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	88,2 kVA	S_C	88,2 kVA				
S_B	88,2 kVA	S_{cel}	264,6 kVA				

Můžeme si všimnout menšího napěťového úbytku na vodičích. Rozdíl napětí na konci a na začátku větve je 10 V. Při stejné simulaci na původním vedení byl zjištěn rozdíl 17 V. Všechny hodnoty jsou v normovaných mezích. Výkon transformátoru je využíván na 66 %.

5.4.2. SIMULACE 2b

Určení maximálního počtu odběratelů nabíjejících směrem od konce sítě
výkonem 2300 W

Tabulka 14: 5.4.2: Simulace 2b

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	239 V	U_{o21a}	211 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	240 V	U_{o21b}	230 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	240 V	U_{o21c}	230 V
Proudy							
I_A	7,0 A	I_a	161,0 A	I_{2a}	102,5 A	I_{o21a}	9,0 A
I_B	7,4 A	I_b	161,0 A	I_{2b}	50,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	6,9 A	I_c	161,0 A	I_{2c}	50,5 A	I_{o21c}	2,5 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	88,3 kVA	S_C	88,3 kVA				
S_B	94,5 kVA	S_{cel}	271,1 kVA				

Z této simulace vychází, že od konce sítě může nabíjet 8 odběratelů výkonem 2300 W z jedné fáze, aby napětí na konci sítě nekleslo pod 210 V. Jejich počet v porovnání s původním vedením vzrostl o 5, což zvýšilo protékající proud a celkový odebíraný výkon o 10 kVA. Zatížení transformátoru tak vzrostlo na 68 %.

5.4.3. SIMULACE 2c

Určení maximálního počtu odběratelů nabíjejících směrem od začátku sítě
výkonem 2300 W

Tabulka 15: 5.4.3: Simulace 2c

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	239 V	U_{o21a}	218 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	240 V	U_{o21b}	230 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	240 V	U_{o21c}	230 V
Proudy							
I_A	6,9 A	I_a	266,5 A	I_{2a}	143,5 A	I_{o21a}	2,5 A
I_B	7,8 A	I_b	161,0 A	I_{2b}	50,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	6,8 A	I_c	161,0 A	I_{2c}	50,5 A	I_{o21c}	2,5 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	87,3 kVA	S_C	86,9 kVA				
S_B	99,7 kVA	S_{cel}	273,9 kVA				

Odběratelé, kteří mohou postupně od začátku sítě odebírat výkon 2300 W ze stejné fáze, jsou o1 až o15. Celkově 15 odběratelů si může nabíjet elektromobil na stejné fázi, což je o 3 více než u stejné situace na původním vedení. Limitem byla velikost proudu ve druhém úseku. Výkon transformátoru je využíván na 70 %, což je hraniční hodnota, kterou se distribuční společnosti snaží nepřekračovat.

5.4.4. SIMULACE 2d

Určení maximálního počtu odběratelů nabíjejících směrem od konce sítě
výkonem 3600 W

Tabulka 16: 5.4.4: Simulace 2d

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	239 V	U_{o21a}	212 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	240 V	U_{o21b}	230 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	240 V	U_{o21c}	230 V
Proudy							
I_A	7,0 A	I_a	207,0,5 A	I_{2a}	96,5 A	I_{o21a}	14,5 A
I_B	7,4 A	I_b	161,0 A	I_{2b}	50,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	6,9 A	I_c	161,0 A	I_{2c}	50,5 A	I_{o21c}	2,5 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	88,3 kVA	S_c	88,2 kVA				
S_B	93,8 kVA	S_{cel}	270,3 kVA				

Simulace je podobná situaci 5.4.2 se změnou, že mají odběratelé možnost odebrat výkon 3600 W z jedné fáze. Pro udržení normovaných napěťových poměrů mohou nabíjet svůj elektromobil čtyři odběratelé a jejich počet ve srovnání s původním vedení vzrostl o 3. Po přidání dalšího odběratele napětí na konci sítě klesne pod 210 V. Výkon transformátoru je využíván na 68 %.

5.4.5. SIMULACE 2e

Určení počtu nabíječících odběratelů od začátku sítě výkonem 3600 W

Tabulka 17: 5.4.4: Simulace 2d

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	239 V	U_{o21a}	224 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	240 V	U_{o21b}	230 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	240 V	U_{o21c}	230 V
Proudy							
I_A	7,1 A	I_a	276,5 A	I_{2a}	141,5 A	I_{o21a}	2,5 A
I_B	6,9 A	I_b	161,0 A	I_{2b}	50,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	6,8 A	I_c	161,0 A	I_{2c}	50,5 A	I_{o21c}	2,5 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	87,4 kVA	S_C	86,9 kVA				
S_B	100,9 kVA	S_{cel}	275,2 kVA				

Tato simulace vychází ze situace 5.4.3, odebíraný výkon se zvýšil na 3600 W. Při přidání dalšího odběratele, který by nabíjel, by došlo k překročení maximálního možného proudu $I_{MAX} = 147$ A. Napětí na konci sítě tentokrát přidávání odběratelů umožnilo. Výkon transformátoru je využíván na 72 %. Počet odběratelů od začátku sítě, kteří mohou nabíjet elektromobil z jedné fáze výkonem 3600 W, je 9, což je o dva více v porovnáním s původním vedením.

5.4.6. SIMULACE 2f

Určení parametrů sítě při rozložení nabíjení výkonem 2300 W u všech odběratelů do všech fází

Tabulka 18: 5.4.6: Simulace 2f

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	239 V	U_{o21a}	222 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	239 V	U_{o21b}	223 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	239 V	U_{o21c}	220 V
Proudy							
I_A	8,3 A	I_a	285,5 A	I_{2a}	93,0 A	I_{o21a}	2,5 A
I_B	8,3 A	I_b	278,5 A	I_{2b}	86,0 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	8,3 A	I_c	285,0 A	I_{2c}	100,0 A	I_{o21c}	9,5 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	105,7 kVA	S_c	104,8 kVA				
S_B	105,6 kVA	S_{cel}	316,1 kVA				

U předchozích měření bylo na vývodech 2 a 3 počítáno pouze s odběrem 600 W na fázi u každého uživatele. Nyní bude započítáno dobíjení elektromobilů i v těchto vývodech pro určení dostatečnosti dimenzování transformátoru. Je určeno, že každý třetí uživatel nabíjí z dané fáze elektromobil výkonem 2300 W a ostatní odebírají 600 W. Pro zjednodušení byl brán pro vývody 2 a 3 odběr na jedné fázi 1166 W na odběratele, což je průměr odběrů. Na vývodu 1 je stejná situace jako při simulaci 1f.

V tabulce lze vidět, že jsou všechny hodnoty napětí v normě a proudové hodnoty se neblíží maximálním hodnotám. Výkon transformátoru je využíván na 79 %. Provozovat takto zatížený transformátor lze pouze krátkodobě. Lze konstatovat, že pokud se nabíjení rovnoměrně rozvrství mezi fáze, síť i transformátor tuto konfiguraci umožní.

5.4.7. SIMULACE 2g

Určení parametrů sítě při rozložení nabíjení 3600 W u všech odběratelů do všech fází

Tabulka 19: 5.4.7: Simulace 2g

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	238 V	U_{o21a}	216 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	238 V	U_{o21b}	218 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	238 V	U_{o21c}	212 V
Proudy							
I_A	9,8 A	I_a	389,0 A	I_{2a}	124,5 A	I_{o21a}	2,5 A
I_B	9,7 A	I_b	377,0 A	I_{2b}	112,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	9,6 A	I_c	387,0 A	I_{2c}	136,0 A	I_{o21c}	14,5 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	124,0 kVA	S_C	122,5 kVA				
S_B	123,6 kVA	S_{cel}	370,1 kVA				

Modernizovaná síť umožňuje provést stejnou simulaci, jako je 5.4.6, ale s vyšším dobíjecím výkonem 3600 W. Tato situace nastane, pokud nabíjení elektromobilů bude rovnoměrně rozvrstveno do všech tří fází a většina odběratelů bude mít proudový jistič dimenzovaný na 16 A.

Jak lze v tabulce vidět, pro napěťové poměry je toto hraniční situace. Na konci sítě se napětí přibližuje hodnotě 210 V. Proudy protékající vodiči jsou v optimálních hodnotách, ale výkon transformátoru je využit na 93 %. Takové zatížení by síť zvládla pouze krátkodobě.

5.5. Simulace na síti s rekonstruovanými páteřními úseky pomocí AYKY70

Při těchto simulacích je schéma sítě opět původní. Vodiče v úsecích 2, 3, 3_1, 3_2, 3_3, 3_4, 3_5, 3_6, 4, 5, 6, 6_1 a 6_2 vývodu 1 a v úsecích 21, 21_1, 21_2 a 21_3 vývodu 2 byly vyměněny za vodič AYKY70. Očekává se, že napěťové poměry budou na konci sítě vývodu 1 dostatečné i při odběru o výkonu 2300 W všech odběratelů na jedné fázi.

Tabulka 20: 5.5: Parametry AYKY70

Parametry AYKY70	
Průřez vodiče	70 mm
Odpor na kilometr	0,442 Ω /km
Reaktance na kilometr	0,073 Ω /km
Indukčnost na kilometr	0,232 mH/km
Maximální proud	183 A

5.5.1. SIMULACE 3a

Základní stav – všichni odběratelé odebírají 600 W na každé fázi

Tabulka 21: 5.5.1: Simulace 3a

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	240 V	U_{o21a}	233 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	240 V	U_{o21b}	233 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	240 V	U_{o21c}	233 V
Proudy							
I_A	6,8 A	I_a	148,5 A	I_{2a}	50,5 A	I_{o21a}	2,5 A
I_B	6,8 A	I_b	148,5 A	I_{2b}	50,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	6,8 A	I_c	148,5 A	I_{2c}	50,5 A	I_{o21c}	2,5 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	86,9 kVA	S_C	86,9 kVA				
S_B	86,9 kVA	S_{cel}	260,7 kVA				

Z předchozí tabulky si lze všimnout malých napěťových rozdílů na začátku a na konci sítě. Rozdíl v napětí je zde pouze 7 V, zato u sítě s AYKY50 byl rozdíl napětí 10 V. Lze tedy konstatovat, že při průměrném namáhání sítě by transformátor nemusel nastavovat napětí na vyšší hladinu. Pro možnost porovnání nastavené napětí ponechám. Výkon transformátoru byl využit na 65 %.

5.5.2. SIMULACE 3b

Určení hodnot při rozložení nabíjení 2300 W u všech odběratelů do všech fází

Tabulka 22: 5.5.2: Simulace 3b

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	239 V	U_{o21a}	226 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	239 V	U_{o21b}	227 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	239 V	U_{o21c}	225 V
Proudy							
I_A	8,3 A	I_a	287,0 A	I_{2a}	94,5 A	I_{o21a}	2,5 A
I_B	8,3 A	I_b	280,0 A	I_{2b}	87,0 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	8,3 A	I_c	286,5 A	I_{2c}	101,5 A	I_{o21c}	10 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	105,9 kVA	S_C	105,0 kVA				
S_B	105,8 kVA	S_{cel}	316,7 kVA				

Tato simulace je stejná jako 5.4.6, pouze s lepším páteřním kabelem. Každý odběratel odebírá z jedné fáze výkon 2300 W. Odběratelé jsou rozděleni tak, aby byl odběr z fází rozdělen co nejsymetričtěji. Z tabulky lze vidět, že všechny parametry mají optimální hodnotu a síť tuto situaci zvládá bez problémů. Napětí na vývodu z transformátoru by mohlo být opět sníženo. Výkon transformátoru je využit na 79 %, což způsobí jeho větší oteplení.

5.5.3. SIMULACE 3c

Určení hodnot při rozložení nabíjení 3600 W u všech odběratelů do všech fází

Tabulka 23: 5.5.3: Simulace 3c

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	239 V	U_{o21a}	222 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	239 V	U_{o21b}	223 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	239 V	U_{o21c}	219 V
Proudy							
I_A	9,8 A	I_a	391,0 A	I_{2a}	126,5 A	I_{o21a}	2,5 A
I_B	9,8 A	I_b	379,0 A	I_{2b}	114,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	9,7 A	I_c	390,0 A	I_{2c}	139,0 A	I_{o21c}	15,0 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	124,5 kVA	S_c	122,9 kVA				
S_B	124,0 kVA	S_{cel}	371,4 kVA				

Tato simulace je podobná situaci 5.5.2 s rozdílem, že každý odběratel z fáze A odebírá výkon 3600 W.

V tabulce lze vidět, že jsou hodnoty napětí a proudů v požadovaných hodnotách. Aby každý odběratel mohl nabíjet elektromobil výkonem 3600 W, dojde k velkému zatížení transformátoru. Výkon transformátoru je využit na 93 %. Takovýto výkon lze odírat krátkodobě kvůli oteplení transformátoru.

5.5.4. SIMULACE 3d

Určení hodnot při nabíjení 2300 W u všech odběratelů z jedné fáze

Tabulka 24: 5.5.4: Tabulka 3d

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	238 V	U_{2a}	238 V	U_{o21a}	212 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	240 V	U_{o21b}	233 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	240 V	U_{o21c}	233 V
Proudy							
I_A	8,0 A	I_a	556,0 A	I_{2a}	183,0 A	I_{o21a}	9,5 A
I_B	10,9 A	I_b	149,0 A	I_{2b}	50,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	6,8 A	I_c	149,0 A	I_{2c}	50,5 A	I_{o21c}	2,5 A
Zdánlivé výkony transformátoru							
S_A	101,6 kVA	S_C	86,9 kVA				
S_B	138,0 kVA	S_{cel}	326,5 kVA				

V této simulaci všichni odběratelé nabíjí své elektromobily z fáze A, a odběr je 2300 W. Z fází B a C odebírají 600 W. Tato situace je nepravděpodobná.

Jak si lze všimnout, síť by toto zatížení zvládla jen s velkými obtížemi. Proudové zatížení vodičů dosahuje svého maxima. Zároveň dochází k toku velkých proudů fází A na sekundární straně transformátoru. Limity bohužel není možné dohledat. Magnetický obvod je též přetížen, jelikož zde dochází k přenosu výkonu mezi jednotlivými fázemi, a to především mezi fází B a fází A. Toto zatížení by bylo možné pouze krátkodobě. Co se týče napětí na konci sítě, jeho hodnota se blíží ke své hraniční hodnotě. Výkon transformátoru je využit na 81 %. Tato síť je schopná umožnit všem odběratelům odebírat výkon 2300 W z jedné fáze.

5.5.5. SIMULACE 3e

Určení maximálního počtu odběratelů nabíjejících směrem od konce sítě výkonem 3600 W

Tabulka 25: 5.5.5: Simulace 3e

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	239 V	U_{o21a}	211 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	240 V	U_{o21b}	233 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	240 V	U_{o21c}	233 V
Proudy							
I_A	6,9 A	I_a	230,0 A	I_{2a}	132,0 A	I_{o21a}	14,5 A
I_B	7,6 A	I_b	149,0 A	I_{2b}	50,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	6,9 A	I_c	149,0 A	I_{2c}	50,5 A	I_{o21c}	2,5 A
Zdánlivé výkony							
S_A	87,1 kVA	S_C	86,9 kVA				
S_B	96,6 kVA	S_{cel}	270,6 kVA				

Ze simulace 5.5.4 je zřejmé, že nabíjení elektromobilů výkonem 3600 W všem uživatelům z jedné fáze neumožní. Z tohoto důvodu opět určím počet odběratelů seřazených od konce sítě, kteří mohou nabíjet elektromobil výkonem 3600 W, aby nedošlo k překročení maximálních proudů či velkému poklesu napětí. Odběratelé na ostatních vývodech odebírají 600 W ze všech fází.

Počet odběratelů je omezen nízkým napětím na konci sítě. Odběratelé, kteří mohou odebrat výkon 3600 W od konce sítě z jedné fáze, jsou o15 až o21. Počet odběratelů od konce sítě, kteří mohou nabíjet elektromobil z jedné fáze výkonem 3600 W, je 7, což je o 6 více než u původní sítě.

5.5.6. SIMULACE 3f

Určení maximálního počtu odběratelů nabíjejících směrem od začátku sítě
výkonem 3600 W

Tabulka 26: 5.5.6: Simulace 3f

Napětí							
U_A	12,7 kV	U_a	240 V	U_{2a}	238 V	U_{o21a}	224 V
U_B	12,7 kV	U_b	240 V	U_{2b}	240 V	U_{o21b}	233 V
U_C	12,7 kV	U_c	240 V	U_{2c}	240 V	U_{o21c}	233 V
Proudy							
I_A	7,0 A	I_a	304,5 A	I_{2a}	180,0 A	I_{o21a}	2,5 A
I_B	8,3 A	I_b	149,0 A	I_{2b}	50,5 A	I_{o21b}	2,5 A
I_C	6,8 A	I_c	149,0 A	I_{2c}	50,5 A	I_{o21c}	2,5 A
Zdánlivé výkony							
S_A	88,4 kVA	S_C	86,9 kVA				
S_B	105,7 kVA	S_{cel}	281,0 kVA				

Aby proud úsekem 2 nepřesáhl hodnotu 183 A, mohou na jedné fázi odbírat 3600 W odběratelé o1 až o12. Výkon transformátoru je využit na 70 %. Počet odběratelů od začátku sítě, kteří mohou nabíjet elektromobil z jedné fáze výkonem 3600 W, je 12, což je o tři více ve srovnání se sítí původní.

5.6. Souhrn dat získaných ze simulace

Základní a důležitá data získaná ze simulace jsou shrnuta v následující tabulce.

Tabulka 27: 5.6: Souhrn simulací

Souhrnná tabulka s výsledky simulací				
		Původní síť	Síť s AYKY50	Síť s AYKY70
Nabíjení 2300 W	Možný počet odběratelů na konci sítě	3 (14 %)	8 (38 %)	21 (100 %)
	Možný počet odběratelů na začátku sítě	12 (57 %)	15 (71 %)	21 (100 %)
	Koncová napětí při rozloženém nabíjení A, B, C	211 V	222 V	226 V
		209 V	223 V	227 V
208 V		220 V	225 V	
Nabíjení 3600 W	Možný počet odběratelů na konci sítě	1 (5 %)	4 (19 %)	6 (29 %)
	Možný počet odběratelů na začátku sítě	7 (33 %)	9 (43 %)	12 (57 %)
	Koncová napětí při rozloženém nabíjení A, B, C	nerealizováno	216 V	222 V
		nerealizováno	218 V	223 V
nerealizováno		212 V	219 V	
Úbytek napětí na mezi začátkem a koncem sítě při základní zátěži bez nabíjení		17 V	10 V	7 V

Data v tabulce výše jsou rozdělena do tří základních sloupců. První sloupec s názvem Původní síť obsahuje naměřená data ze simulace reálné sítě. Jedná se o simulace 1a až 1f. Druhý sloupec s názvem Síť s AYKY50 obsahuje data ze simulací sítě se zrekonstruovaným páteřním vedením kabelem AYKY50. Jedná se o simulace 2a až 2g. Poslední sloupec s názvem Síť s AYKY70 obsahuje data ze simulací sítě se zrekonstruovaným páteřním vedením kabelem AYKY70. Jedná se o simulace 3a až 3f.

Řádky jsou rozděleny do tří oddílů: Nabíjení 2300 W, Nabíjení 3600 W a Úbytek napětí na mezi začátkem a koncem sítě. Pro každý typ nabíjení byly zjištěny pomocí simulací počty odběratelů, kteří mohou nabíjet elektromobil na začátku a na konci sítě a koncová napětí při rozložení odběrů mezi fáze. Modře zbarvené buňky znamenají, že bylo přidávání odběratelů zastaveno z důvodu velikého poklesu napětí na konci sítě. Zeleně zbarvené buňky znamenají, že bylo přidávání odběratelů zastaveno z důvodu proudového přetížení vodičů. Počty odběratelů jsou též vyjádřeny procentuálně

6. Závěr

V teoretické části bakalářské práce jsem popsal různé nabíjecí režimy elektromobilů, typy konektorů pro nabíjení a strukturu dobíjecí stanice. V minulosti existovalo velké množství konektorů, které Evropská unie znormovala a určila primární konektory používané v Evropě.

V praktické části jsem vytvořil model reálné distribuční sítě, která se nachází na distribučním území firmy E.ON Distribuce, a. s. S touto firmou jsem na tvorbě simulace spolupracoval. Firma mi poskytla potřebná data a informace pro vytvoření modelu. Na distribučním modelu jsem simuloval scénáře, kdy ke klasické spotřebě odběratelů přibyla spotřeba způsobená nabíjením elektromobilů, a to především nabíjením z jedné fáze. Síť byla testována na možnost dobíjení výkonem 2300 W a 3600 W.

Dle získaných dat lze říci, že pro současnou dobu je modelovaná distribuční síť pro nabíjení elektromobilů dostatečná. Z první větve odebírá elektrickou energii celkem 21 odběratelů. Síť umožňuje nabíjení třem až dvanácti odběratelům z jedné fáze, což je 14 až 57 % z celkového počtu. Počet odběratelů je závislý na jejich rozmístění.

Dále jsem testoval síť rekonstruovanou vodičem AYKY 50. Ta by umožňovala dobíjet výkonem 2300 W ze stejné fáze osmi až patnácti uživatelům, což je 38 až 71 % z celkového počtu.

Za situace, kdy by proběhla rekonstrukce sítě a páteřní vedení by bylo nahrazeno kabelem AYKY 70, by tato větev umožnila nabíjení všem uživatelům a též by umožnila i třífázové nabíjení s výkonem 6900 W pro všechny odběratele. Pro třífázové dobíjení by bylo nutné vyměnit transformátor, který umožní větší odběr výkonu v síti. Aktuální transformátor by stěží zvládal nabíjení všech uživatelů na jedné fázi. V případě této rekonstrukce by nehrozilo přerušení dodávky elektrické energie, pokud by všichni odběratelé nabíjeli elektromobily maximálním výkonem 2300 W z libovolné fáze.

Odběr 3600 W pro nabíjení je pro rozvod mnohem náročnější. Aktuální rozvod umožňuje nabíjet tímto výkonem z jedné fáze jednomu až sedmi uživatelům, což je 5 až 33 %. Poté dochází k proudovému přetížení vodičů, nebo k poklesu napětí pod 210 V, kdy už většina spotřebičů není schopna fungovat. Aktuální síť nezvládá situaci, kdy je nabíjení elektromobilů rovnoměrně rozděleno mezi fáze a nabíjeli by všichni odběratelé.

Rekonstrukce sítě kabelem AYKY50 by umožnila nabíjet elektromobil čtyřem až devíti odběratelům, což je 19 až 43 %. V případě rekonstrukce sítě pomocí AYKY70 by bylo umožněno nabíjet elektromobil ze stejné fáze šesti až dvanácti odběratelům, což je 29 až 57 % z celkového

počtu. Znamená to tedy, že pokud by byl zájem o nabíjení výkonem 3600 W, bylo by nutno pohlídat, ze kterých fází budou odběratelé tento výkon odebírat.

Tato konkrétní distribuční síť je schopna mírný nárůst počtu dobíjejících elektromobilů obsáhnout. Pokud dojde k výraznému rozšíření elektromobility, nebo odběratelé budou požadovat navýšení dodávaného výkonu pro zkrácení doby nabíjení, bude nutné tuto síť modifikovat ať obměnou rozvodných kabelů na méně ztrátové, či výměnou transformátoru za výkonnější. I tak bude nutné monitorovat případné přetížení fází.

7. Seznam použité literatury

- [1] KETELAER, T. et al. The potential of carbon dioxide emission reductions in German commercial transport by electric vehicles. *International Journal of Environmental Science and Technology : (IJEST)* [online]. 2014, vol. 11, no. 8, s. 2169-2184. ISSN 17351472. MORÁVEK, Miroslav. BETONAU a energie pro elektromobilitu. *Elektro*: [online]. 2019, vol. 29, no. 8-9, s. 26-27. ISSN 1210-0889. [cit. 2020-5-9]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer/Elektro/2019/08/Elektro_08_2019/index.html#p=27
- [2] MORÁVEK, Miroslav. Betonau a energie pro elektromobilitu. *Elektro* [online]. 2019, vol. 29, no. 8-9, 26-28. ISSN 1210-0889. [cit. 2020-5-9]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer/Elektro/2019/08/Elektro_08_2019/index.html#p=27
- [3] FÜRST, Eva. Smart Mobility – řešení pro Elektromobilitu a aktuální vývoj projektů. Marketing E.ON Česká republika [online]. 2013. [cit. 2020-5-9]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/konference_cista_mobilita/OTM-EON_smart_mobility_ing_furst-21102013.pdf
- [4] Jaké jsou výhody a nevýhody elektromobilů?, *E.ON Rádce* [online]. [cit. 2020-5-9]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/alternativni-doprava/elektromobily-a-jejich-vyhody/jake-jsou-vyhody-a-nevyhody-elektromobilu>
- [5] LILLY, Chris. EV connector types. *Zap-Map* [online]. 2020. [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: <https://www.zap-map.com/charge-points/connectors-speeds/>
- [6] REDAKCE. Elektromobil Renault Zoe: dojezd 300 km, 22kW palubní nabíječka a cena od 829 900 Kč. *Hybrid.cz* [online]. 2015. [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/elektromobil-renault-zoe-dojezd-300-km-22kw-palubni-nabijecka-cena-od-829-900-kc>
- [7] Nabíjecí stanice, Elektromobilita. In: *Schrack technik* [online]. [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: https://www.schrack.cz/fileadmin/f/cz/Bilder/Ke_stazeni/Katalogy/elektromobilita/p-tankcz17.pdf
- [8] KNAPČÍKOVÁ, Lucie. Electromobility in the Slovak republic: A Green approach. *International Scientific Journal about Logistics* [online]. 2019, vol. 6, no. 2, s. 29-33. ISSN 1339-5629. [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: http://actalogistica.eu/issues/2019/II_2019_01_Knapcikova.pdf
- [9] Nabíjecí infrastruktura pro elektromobily: Služby ABB Connected [online]. [cit. 2020-1-3]. Dostupné z:

- https://library.e.abb.com/public/4c72ce700430ef32c1257d3a006064d9/Nabijeci%20infrastruktura%20pro%20elektromobily_Sluzby%20ABB%20Connected_%20CZ.pdf
- [10] Technické informace. In: *Elexim* [online]. [cit. 2020-1-5]. Dostupné z: <https://www.circontrol.cz/technicke-informace/>
- [11] IEC 62196. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 2020, San Francisco (CA): Wikimedia Foundation. [cit. 2020-1-5]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_62196
- [12] SAE J1772. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 2020 San Francisco (CA): Wikimedia Foundation. [cit. 2020-1-5]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772
- [13] Supercharging, *Tesla* [online]. [cit. 2020-1-5]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/support/supercharging>
- [14] Technology overview. *Chademo* [online]. [cit. 2020-1-5]. Dostupné z: <https://www.chademo.com/technology/technology-overview/>
- [15] High power. *Chademo* [online]. [cit. 2020-1-5]. Dostupné z: <https://www.chademo.com/technology/high-power/>
- [16] Electromobility: Thinking ahead and moving forward - emobile by Bals, *Bals* [online]. [cit. 2020-1-5]. Dostupné z: <https://www.bals.com/en/electromobility>
- [17] EVROPSKÁ UNIE. *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2014/94/EU: o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva*. 2014. Příloha 2, odstavec 1.2. [cit. 2020-5-2]. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=SK>
- [18] HOŘČÍK, Jan. Neviditelná síla infrastruktury - problematika dobíjecích stanic pro elektromobily. *Hybrid.cz* [online]. 2011. [cit. 2020-4-25]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/neviditelna-sila-infrastruktury-problematika-dobijecich-panic-pro-elektromobily>
- [19] Připojení systému k nabíjecí stanici – klíčový prvek pro elektromobily. *Schneider electric* [online]. 2011 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: http://www.smartev.cz/wp-content/uploads/2017/02/Schneider_teorie.pdf
- [20] SUCHOMEL, Zdeněk. Jističe a proudové chrániče OEZ. *Elektro* [online]. 2020, 12 .2 .2020, vol. 30, no. 2, s. 33-34. ISSN 1210-0889. [cit. 2020-4-25]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer/Elektro/2020/02/Elektro_02_2020/index.html#p=33

- [21] NABÍJECÍ STANICE ELEKTROMOBILŮ, *Elnex* [online]. [cit. 2020-4-25]. Dostupné z: <https://www.elnex.cz/154-nabijeci-stance-elektromobilu>
- [22] BARTUŠKA, Václav. Energetická bezpečnost, [soubor přednášek]. 2020.
- [23] ÚSTNÍ KONZULTACE S Ing. Janem Hlavničkou ze společnosti E.ON Distribuce, a.s.
- [24] Wallbox nebo zásuvka? Co se vyplatí a proč?, *E.ON Energy globe* [online]. [cit. 2020-1-8]. Dostupné z: <https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/bio-a-eko-materialy-budoucnosti>
- [25] VORLÍČEK, Štěpán. Jak česká rozvodka utáhne elektromobily? *Bysnys - energie* [online]. 2020. [cit. 2020-1-8]. Dostupné z: <https://www.bysnys-energie.cz/clanek/jak-ceska-rozvodka-utahne-elektromobily>
- [26] FEJT, Zdeněk a Jaroslav ČERMÁK. *Elektroenergetika*. 1. vyd. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1981. ČSN EN 50160, 2011. *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí: (330122)*. ED.3. [cit. 2020-3-23]
- [27] Anotace textu normy ČSN EN 50160 ED.3 (330122), In: *Technor* [online]. 2011. [cit. 2020-4-15] Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/330122-csn-en-50160-ed-3_4_87467.html
- [28] 1–AES: Samonosné vodiče s PE izolací. In: *Prakab.cz* [online]. [cit. 2020-5-8]. Dostupné z: https://www.prakab.cz/upload/1_AES.pdf
- [29] ČEMÁK, Jiří, Kvalita elektrické energie. *oEnergetice.cz* [online]. 2015. [cit. 2020-4-15]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/kvalita-elektricke-energie>
- [30] 1–AYKY: Zemní kabely s PVC izolací a PVC pláštěm, In: *Prakab* [online]. [cit. 2020-5-8]. Dostupné z: https://www.prakab.cz/upload/1_AYKY.pdf
- [31] Kabel AYKY 4x16: Technická specifikace, In: *Ielektra* [online]. [cit. 2020-5-8]. Dostupné z: <https://www.ielektra.cz/kabel-ayky-4x16>
- [32] NAYY-J/-O: Hliníkový silový kabel 0,6/1 kV, In: *Dda* [online]. [cit. 2020-5-8]. Dostupné z: http://www.kabelyvodice.cz/kabely-vodice/09_NAYY-J.php
- [33] Transformers 60 - 1200 kVA: Technical Specifications, In: *Schneider electric* [online]. [cit. 2020-3-23]. Dostupné z: http://mt.schneider-electric.be/main/tfo/catalogue/an_iec.pdf
- [34] Průvodce možnostmi nabíjení elektromobilu, *E.ON Energy Globe* [online]. [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: <https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/pruvodce-moznostmi-nabijeni-elektromobilu>
- [35] Kabely a nabíjecí standardy, *Autonabíječka.cz* [online]. [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: <https://www.autonabijecka.cz/kabely-a-nabijeci-standardy/>
- [36] Jak vybrat kabely a vodiče?, *Heureka* [online]. [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: <https://kabely-vodice.heureka.cz/poradna/jak-vybrat-kabely-a-vodice/>
- [37] Parametry vedení RLG, *Powerwiki* [online]. sl. 7. [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: https://www.powerwiki.cz/attach/EN2/EN2_pr01_parametryRLG.pdf
- [38] Svodiče přepětí, omezovače přepětí, ometovače nízkého napětí, *Acer voltage* [online]. s. 29. [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/68596319-Svodice-prepeti-omezovace-prepeti-omezovace-nizkeho-napeti.html>
- [39] ZEMKOVÁ, Barbora. Dobití elektromobilu za 10 minut? Díky ultrarychlé dobíjecí stanici je to možné i v Česku. *Elektřina.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/ultrarychle-dobijeci-stance>

8. Seznam obrázků

Obrázek 1: 2.3.2-1 Type 1 Yazaki [34]	5
Obrázek 2: 2.3.2-2 Type 1 CCS [34].....	5
Obrázek 3: 2.3.2.3-3: CHAdeMO konektor [35].....	6
Obrázek 4: 2.3.2-4: CHAdeMO Schéma [35]	6
Obrázek 5: 2.3.2-5 Type 2 [34]	7
Obrázek 6: 2.3.2-6 CCS combo 2 [34]	7
Obrázek 7: 2.3.2.-7 Tesla charger [35]	8
Obrázek 8: 4. Popis sítě	13
Obrázek 9: 4.1 Náhr. schéma transformátoru.....	14
Obrázek 10: 4.2.1-1: Kabel AES [28]	19
Obrázek 11: 4.2.1-2: Kabel AYKY [36]	20
Obrázek 12: 4.2.1-3: Průřez vodičem AlFe [37]	20
Obrázek 13: 4.2.1-4: Vedení AlFe [38]	20
Obrázek 14: 4.2.2-1: Schéma první větve	21
Obrázek 15: 4.2.2-2: Schéma druhé větve	23
Obrázek 16: 5.1 Model sítě 1.....	25
Obrázek 17: 5.1-2 Model sítě 2	25

9. Seznam tabulek

Tabulka 1: 4.1 Vlastnosti transformátoru [23]	14
Tabulka 2: 4.2: Vlastnosti vodičů [23].....	19
Tabulka 3: 4.2.2-1: Seznam úseků první větve [23]	22
Tabulka 4: 4.2.2-1: Seznam úseků první větve [23]	23
Tabulka 5: 6.3.1: Simulace 1a	27
Tabulka 7: 5.3.2: Simulace 1b	28

Tabulka 8: 5.3.3: Simulace 1c	29
Tabulka 9: 5.3.4: Simulace 1d	30
Tabulka 10: 5.3.5: Simulace 1e	31
Tabulka 11:5.3.6: Simulace 1f.....	32
Tabulka 12: 5.4: Parametry AYKY50.....	33
Tabulka 13: 5.4.1: Simulace 2a	34
Tabulka 14: 5.4.2: Simulace 2b	35
Tabulka 15: 5.4.3: Simulace 2c	36
Tabulka 16: 5.4.4: Simulace 2d	37
Tabulka 17: 5.4.4: Simulace 2d	38
Tabulka 18: 5.4.6: Simulace 2f.....	39
Tabulka 19: 5.4.7: Simulace 2g	40
Tabulka 20: 5.5: Parametry AYKY70.....	41
Tabulka 21: 5.5.1: Simulace 3a	42
Tabulka 22: 5.5.2: Simulace 3b	43
Tabulka 23: 5.5.3: Simulace 3c	44
Tabulka 24: 5.5.4: Tabulka 3d.....	45
Tabulka 25: 5.5.5: Simulace 3e	46
Tabulka 26: 5.5.6: Simulace 3f.....	47
Tabulka 27: 5.6: Souhrn simulací	48