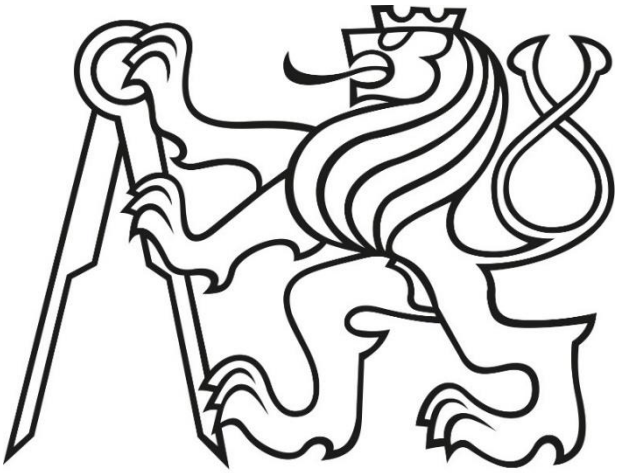
České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky

Studijní program: Elektrotechnika, elektronika a management

Obor: Elektroenergetika



Dopad provozu nabíjecích stanic pro elektromobily na DS

Charging station influence on distribution system operation

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor: Bc. Petr Blažek

Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.

Praha 2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Blažek** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **434905**

Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**

Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**

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

Studijní obor: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Dopad provozu nabíjecích stanic pro elektromobily na DS

Název diplomové práce anglicky:

Charging stations influence on distribution system operation

Pokyny pro vypracování:

1. Uveďte současný stav vývoje nabíječek elektromobilů v ČR a porovnejte ho s trendy v dalších Evropských zemích.
2. Popište zásady pro posouzení připojitelnosti nabíječek k distribuční síti s ohledem na zpětné vlivy střídavého a stejnosměrného nabíjení na distribuční síť.
3. Proveďte teoretické posouzení provozu nabíjecích stanic s ohledem na dodržení odchylek napětí dle normy ČSN EN 50 160 při kumulaci nabíječek v části distribuční sítě NN i VN.
4. Proveďte praktické posouzení provozu vybraných nabíječek v distribuční síti s ohledem na dodržení odchylek napětí dle normy ČSN EN 50 160 na základě provedených měření v síti.
5. Navrhněte technické možnosti distributora elektřiny pro stabilizaci napětí v distribuční síti a určete dopad těchto opatření na zvýšení počtu nabíječek v distribuční síti.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 50160: Charakteristiky napětí el. energie dodávané z veřejné distribuční sítě, 3. vydání 2012.
PNE 33 3430-0: Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů distribučních soustav.
Příspěvky ve sbornících Konference CIRED z let 2006 až 2018.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D., K 13115 - katedra elektroenergetiky FEL ČVUT

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

Datum zadání diplomové práce: **08.10.2018** Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2020**

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D. podpis vedoucí(ho) práce	podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Ing. Pavel Ripka, CSc. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

. | Podpis studenta

Datum převzetí zadání

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

Prohlášení:

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

V Praze dne 13.5.2019

Bc. Petr Blažek

Poděkování:

Velice rád bych poděkoval společnosti E.ON Česká republika s.r.o., která mi umožnila pracovat na tomto zajímavém tématu ve spolupráci s panem Ing. Martinem Kurfiřtem, který mi poskytl přístup k naměřeným datům reálné sítě a trpělivě odpovídal na moje dotazy a byl ochotný mi pomoci, kdykoliv jsem potřeboval. Dále bych rád poděkoval mému vedoucímu panu doc. Ing. Zdeňku Müllerovi, Ph.D. za vedení mé práce. Poslední poděkování patří mé rodině za velkou podporu a vytvoření zázemí během celé doby mého studia.

Anotace:

Cílem práce je vyhodnotit připravenost vybraných oblastí distribuční sítě společnosti E.ON Distribuce a.s. na rozvoj elektromobility. Práce je věnována stávajícím dostupným technologiím nabíjení elektrických vozidel, předpokladům rozvoje elektromobility a posouzení připojitelnosti nabíjecích stanic ke stávající distribuční síti NN. Zabývá se rozdělením nabíjení podle typu umístění, předpoklady růstu počtu odběrných míst, osobních automobilů a vytvořením scénářů elektromobility. Pomocí vytvořených scénářů elektromobility otestuje reálné modely zájmových lokalit s ohledem na dodržení požadavků na kvalitu dodávky elektrické energie dle ČSN EN 50160.

Klíčová slova:

nízké napětí, distribuční síť, vyhodnocení měření, modely sítí, návrh a vyhodnocení nabíjecích stanic, elektromobil

Annotation:

The aim of this thesis is to evaluate the readiness of selected distribution system areas of E.ON Distribuce a. s. for the development of electromobility. The work is devoted to currently available technologies of electric vehicle charging, electromobility development prerequisites and the assessment of charging stations connectivity to the existing distribution system. It deals with the distribution of charging stations according to a location type, assumptions about the increasing number of supply points and cars, and the creation of electromobility scenarios. It tests real models of the locations of interest using the created electromobility scenarios in compliance with requirements for the quality of electricity supply according to the ČSN EN 50160 norm.

Keywords:

low voltage, distribution grid, evaluation of measurement, grid models, design and evaluation of charging stations, electric car

Obsah

1. Úvod 9
2. Rozvoj elektromobility 10
2.1. Strategie rozvoje nabíjecích stanic 10
2.2. Současný stav v ČR 11
2.3. Současný stav v nejvyspělejších zemích 12
2.4. Předpoklady rozvoje v případě, že bude/nebude dotační program 13
2.5. Optimální využití technologie 14
3. Technologie nabíjení elektromobilů 15
3.1. Rozdělení technologií nabíjení elektromobilů 15
3.2. Typy nabíjecích stanic 16
3.2.1. Nabíjení střídavým proudem 17
3.2.2. Nabíjení stejnosměrným proudem 18
3.2.3. Nabíjení Superchargery Tesla 20
3.2.4. Nabíjecí stanice používané společností E.ON Distribuce a.s. 21
3.3. Problémy nabíjení elektromobilů 23
3.4. Model průměrného elektromobilu 24
4. Zásady posouzení připojitelnosti nabíječek k distribuční síti 27
4.1. Parametry kvality elektrické energie 27
4.1.1. Napětí 27
4.1.2. Kmitočet sítě 27
4.1.3. Odchylky napětí 27
4.1.4. Míra vjemu flikru 28
4.1.5. Nesymetrie napájecího napětí 28
4.1.6. Vyšší harmonické (harmonická napětí) 28
4.2. Rozbor průběhů nabíjení elektromobilů z DS 28
4.2.1. Střídavé nabíjení 29
4.2.2. Stejnosměrné nabíjení 30
4.2.3. Vyhodnocení měření 32
5. Rozdělení a definice nabíjení z hlediska umístění 33
5.1.1. Nabíjení v domácnostech 34
5.1.2. Nabíjení na sídlištích 35
5.1.3. Nabíjení v zaměstnání 36
5.1.4. Nabíjení v parkovacích domech 37

5.1.5. Nabíjení u obchodů 39
5.1.6. Nabíjení u rychlonabíjecích stanic 40
5.2. Možností kombinace typů nabíjení 41
5.2.1. Možnosti kombinace typu nabíjení v rezidentních lokalitách 43
5.2.2. Možnosti kombinací typu nabíjení v lokalitách sídlišť 43
5.3. Problematika nabíjení na hladině VN 44
6. Definice předpokladů pro sestavení vyhodnocovacího modelu 45
6.1.1. Odběrná místa 45
6.1.2. Počet osobních automobilů 46
6.1.3. Sestavení algoritmu výběru odběratelů 47
6.1.4. Scénáře rozšíření elektromobilů 47
6.1.5. Řízení nabíjecího výkonu 49
7. Praktická část 52
7.1. Aplikace na zájmové lokality 52
7.2. Zatížení sítě 53
7.2.1. Vyhodnocení měření 53
7.2.2. Výkony v odběrných místech 53
7.2.3. Provoz distribučních transformátorů 54
7.2.4. Korekce výkonového zatížení pomocí měření 54
7.3. Lokalita trafostanice Polní dvůr Háječek 55
7.3.1. Technické údaje o lokalitě 55
7.3.2. Grafické znázornění zátěže 56
7.3.3. Vyhodnocení simulace 57
7.4. Lokalita trafostanice TS EG4 58
7.4.1. Technické údaje o lokalitě 59
7.4.2. Grafické znázornění přidané zátěže 60
7.4.3. Vyhodnocení AC nabíjení 61
7.4.4. Vyhodnocení DC nabíjení 62
7.4.5. Problematická místa 63
7.4.6. Technická opatření pro provoz zvýšeného množství nabíjecích stanic 64
8. Závěr 68
9. Literatura 70
10. Přílohy 74

Seznam obrázků

Obrázek 1 Strategie rozvoje veřejné sítě nabíjecích stanic [2] 10
Obrázek 2 Mapa rozmístění páteřní nabíjecí sítě [2] 11
Obrázek 3 Možnosti nabíjení elektromobilů 15
Obrázek 4 Type 1 SAE J1772 a Type 2 Mennekes [14] 18
Obrázek 5 CHAdeMO a CCS Combo [14] 19
Obrázek 6 Nabíjecí stanice Tesla [19] 20
Obrázek 7 Nabíjecí konektor Tesla [14] 20
Obrázek 8 Nabíjecí stanice EBG Compleo Advanced [21] 21
Obrázek 9 Možnosti konfigurace nabíjecí stanice Terra 54 [22] 22
Obrázek 10 Lokalita TS Polní dvůr Háječek 55
Obrázek 11 Lokalita TS EG4 59

Seznam tabulek

Tabulka 1 Režimy nabíjení 16
Tabulka 2 Parametry a možnosti nabíjecí stanice Terra 54 [22] 22
Tabulka 3 Výsledky testu elektromobilů [24] 25
Tabulka 4 Scénáře rozvoje elektromobility 48

Seznam grafů

Graf 1 Průběhy střídavého nabíjení 30
Graf 2 Průbehy stejnosměrného nabíjení 31
Graf 3 Nabíjení v domácnosti 35
Graf 4 Nabíjení na sídlištích 36
Graf 5 Nabíjení v zaměstnání 37
Graf 6 Nabíjení v parkovacích domech 38
Graf 7 Nabíjení u obchodů 39
Graf 8 Nabíjení u rychlonabíjecích stanic 41
Graf 9 Diagram zatížení ČR 42
Graf 10 Kombinace nabíjení v rezidentních lokalitách 43
Graf 11 Kombinace typů nabíjení v lokalitách sídlišť 44
Graf 12 Vývoj počtu osobních automobilů v ČR 47
Graf 13 Výkonové zatížení TS Polní dvůr Háječek 57
Graf 14 Výkonové zatížení TS EG4 60

1. Úvod

Náplní diplomové práce je vyhodnocení připravenosti vybraných oblastí distribuční sítě na rozvoj elektromobility a pomocí vytvořených scénářů elektromobility otestovat reálné modely distribuční sítě. Nejvyšší zvolený scénář musí splňovat požadavky kvality dodávky elektrické energie dané normou ČSN EN 50160. V případě nevyhovujícího stavu je nutné navrhnout nápravná opatření.

Téma diplomové práce bylo zadáno společností E.ON Distribuce, a.s. jako studie řešení rozvoje elektromobility ve vybraných typových lokalitách distribuční sítě NN.

Teoretická část obsahuje předpoklady rozvoje elektromobility, kde se blíže zaměřuje na území České republiky a další země s výrazným podílem elektromobility. Rozebírá základní technologie nabíjení elektromobilů, které jsou aktuálně dostupné s jejich výhodami a nedostatky. Je definován model průměrného elektromobilu, ze kterého je stanovena četnost a doba nabíjení. Dále se zabývá zásadami posouzení připojitelnosti nabíjecích stanic k distribuční síti, kde je pomocí vzorových průběhů nabíjení vyhodnoceno dodržení kvality dodávky elektrické energie definované normou ČSN EN 50160. Následně dochází k rozdělení a definicím nabíjení z hlediska umístění. V typových lokalitách distribuční sítě NN jsou definovány předpokládané časy a způsoby nabíjení. Nakonec jsou rozebírány definice předpokladů pro sestavení vyhodnocovacích modelů. Je stanoven počet odběrných míst, osobních automobilů, algoritmus jejich vzájemného propojení a scénáře rozšíření elektromobility.

Praktická část aplikuje předpoklady a definice na vytvořené základní modely reálných sítí. Po provedení měření zatížení reálných sítí je provedena korekce základního modelu sítí s ohledem na změřené reálné zatížení distribuční sítě NN. Následně bylo provedeno vyhodnocení scénářů elektromobility v lokalitě rodinných domů s garážemi a lokalitě sídliště s parkovacím domem, obchody, čerpací stanicí a dealerstvím nových automobilů.

V závěru na základě praktické části je shrnuto vyhodnocení jednotlivých variant a pro vlastníka distribuční sítě je uveden maximální provozovatelný scénář rozšíření elektromobility.

2. Rozvoj elektromobility

Elektromobilita je aktuálně světově velmi zmiňovaným tématem z odvětví dopravy. Nátlak organizací na globální témata, jako je snižování skleníkových plynů a zlepšení kvality ovzduší ve městech, způsobil její velký dynamický rozvoj v poslední dekádě.

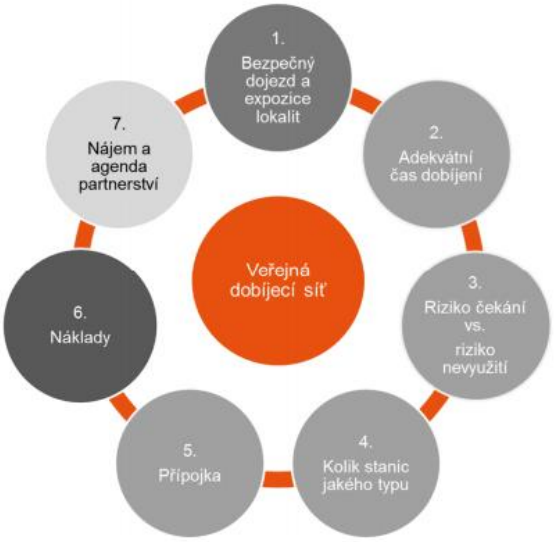
Skleníkové plyny jsou tvořeny vodními párami a mraky, oxidem uhličitým, metanem a ozónem. [1] Redukce skleníkových plynů není jednoduchá, protože s většinou prvků nelze efektivně bojovat. Ze zmíněných prvků je možno ovlivnit produkci oxidu uhličitého. Jeho hodnoty se začaly sledovat a dochází k řízenému snižování emisí CO_2.

Snížení oxidu uhličitého v dopravě lze dosáhnout dvěma možnými způsoby. První možností je zdokonalení spalovacích cyklů, které je velmi obtížné, protože za dobu jejich existence jsou velmi vylepšené. Druhou možností je zavedení nové technologie, jako je elektromobilita, kde lze lépe kontrolovat vznikající emise a dále je výrazně omezit.

2.1. Strategie rozvoje nabíjecích stanic

Základem úspěchu každé technologie je zajištění nutného technického, ekonomického a sociálního zázemí pro její start. Stěžejním faktorem rozvoje elektromobility je veřejná nabíjecí síť. Dokud nebude postavena, lidé nebudou mít motivaci a jistotu zvolit novou technologii.

Rozvoj samotných veřejně přístupných nabíjecích stanic závisí na řadě faktorů. Souvisí s aktuálním pokrytím nabíjecí infrastruktury, s jejím využitím, typem stanic a dalšími technickými parametry stávající distribuční sítě. Důležité parametry pro rozhodnutí, zda postavit veřejnou nabíjecí stanici, jsou zastoupeny v kruhovém diagramu.



Obrázek 1 Strategie rozvoje veřejné sítě nabíjecích stanic [2]

2.2. Současný stav v ČR

Při plánování rozmístění nabíjecí infrastruktury v České republice lze předpokládat, že poloha nabíjecích stanic bude kopírovat významné cesty a počet postavených nabíjecích stanic bude značně omezený. Nejčastěji bude v ČR použit koncept „charging hub“, kde bude nainstalovaná technologie několika nabíjecích stojanů v jedné stanici. Tento koncept je sice náročnější na velký rezervovaný výkon v lokalitě, ale na druhé straně zjednodušuje proces výstavby a instalace nabíjecích stanic, kdy komplikované přivedení příkonu potřebné výše lze realizovat najednou a následně lokalitu rozšiřovat o další stanice bez nutnosti realizace dalších stavebních úprav. [2]

Ze zahraničních zkušeností lze předpokládat, že rozvoj elektromobility začne ve větších městech a jejich blízkém okolí a později se bude přesouvat do zbylých částí ČR. Pro základní pokrytí hlavních dálničních a silničních komunikací a významných měst je vhodné použít technologii rychlonabíjení. Doplnění zbývající infrastruktury je plánováno běžnými nabíjecími stanicemi umístěnými nejčastěji na parkovištích.

Obrázek 2 Mapa rozmístění páteřní nabíjecí sítě [2]

Současný stav elektromobility v České republice je stále v počátcích rozvoje. Dochází ke stanovení strategie rozvoje technologie a budování veřejné nabíjecí infrastruktury. Rychlost nástupu elektrických automobilů bude záležet hlavně na následujících faktorech.

Rozhodujícím parametrem bude cena elektromobilu, která je nyní výrazně vyšší ve srovnání s vozy s konvenčními motory. Velkou část ceny elektromobilu tvoří baterie, kde se očekává pokles ceny a tím i ceny elektromobilu. [3]

Změna ekonomického trhu elektromobilů je spojená s převodem ze základny nadšenců do komerčního sektoru. S tím souvisí omezená nabídka vozidel, protože český trh je malý a není aktuálně atraktivní proti nejvyspělejším zemím EU.

Dále je potřeba zajistit podporu elektromobility jako formy čistší dopravy a zvýšení povědomí týkající se ekologických aspektů dopravy. Je třeba vyvrátit předsudky a zbavit se nedůvěry uživatelů k nevyzkoušeným technologiím.

2.3. Současný stav v nejvyspělejších zemích

Po propuknutí kauzy „Dieselgate“ v roce 2015 se celosvětově začala řešit problematika emisí skleníkových plynů vzhledem k tématu „Climate change“. Přijímání různých opatření pomalu nutí výrobce automobilů k snižování objemu motoru a k instalování dodatečných technologií. Aby výrobci předepsané limity splnili, musí přidávat do svého portfolia hybridní a čistě elektrická vozidla. Takto jsou nastaveny předpisy v EU, avšak připravenost jednotlivých států k přechodu na převážně elektrická vozidla není dořešena. Strategie jsou různé, například v některých zemích dochází k zákazu vjezdu do center velkých měst starým a dieslovým automobilům. Jiné státy naopak přímo podporují prodej nových vozidel na hybridní a čistě elektrický pohon.

Zástupcem státu, který zakazuje vjezd starých a naftových vozidel na území center velkých měst, je Spolková republika Německo. Dokonce se stát pokusil zakázat dieslové automobily celoplošně, ale legislativa to neumožnila. Proto již v roce 2018 první velká města nařídila regulaci dopravy. V případě, že dojde k zákazu starých a dieslových automobilů, automaticky je v dané lokalitě nahradí ostatní typy vozidel. Jedná se sice o nepřímou podporu, ale umožní rozšíření trhu s hybridními a čistě elektrickými pohony.

Průkopníkem elektromobility na území EU jsou severské státy, mezi které patří hlavně Norsko. Technologie elektrických automobilů zde dává největší smysl, protože téměř celý energetický mix je tvořen obnovitelnými zdroji. [4] Pak lze říci, že jejich provoz je „bezemisní”. Norské prodejní údaje z automobilového průmyslu za rok 2018 udávají, že 30 % nově prodaných automobilů jsou elektromobily a plug-in hybridní automobily dosahují podílu 19 % trhu. [5] Téměř každý druhý automobil prodaný v Norsku má nižší emise skleníkových plynů, než konvenční automobily. Důvodů, proč je v Norsku velmi rozvinutá elektromobilita, je více. Motivací pro koupi čistě elektrického automobilu je osvobození od všech daní a navíc jsou nabízeny benefity parkování zdarma a veřejná nabíjecí místa. [6] Velké rozšíření elektrických vozidel má také negativní efekt ve formě nedostatečné nabíjecí infrastruktury. *„Byrokracie nakloněná elektromobilně pochopila, že se přepočítala. „Každý rok zvyšujeme počet dobíjecích míst o 26 %, ale počet*

elektromobilů roste ročně o více než 100 %. Nůžky se rozevírají víc a víc," popsal celý problém Sture Portvik z vedení Osla. Nedostatek nabíječek je základní hrozba, protože studené klima kapacitě baterie nepřidá, ale hlavně 60 % obyvatel Osla nemá možnost nabíjet svůj elektromobil jinde, než u veřejných stanic – bydlí v bytě bez garáže." [7]

2.4. Předpoklady rozvoje v případě, že bude/nebude dotační program

Většina států z Evropské unie se pomocí svých národních strategií soustředí na podporu nových technologií. Převážně se jedná o elektromobily, plug – in hybridy a vozidla na vodíkový pohon. Propojení zainteresovaných společností s výzkumnými organizacemi a vědci zajišťuje kvalitní výsledky pro celý trh elektromobility.

Ve fázi rozvoje, jak již bylo zmíněno, je klíčová tvorba infrastruktury. Je potřeba vytvořit plán sítě nabíjecích stanic podpořený dotacemi na výstavbu. Osazovat technologie nabíjení všude, kde to lze strategicky a technicky realizovat. Legislativně je nutné stanovit podmínky, které motivují developery a firmy instalovat nebo alespoň plánovat nabíjecí stanice do nových administrativních a nákupních center. Vždy je lepší počítat s více možnostmi dopředu, než technologii řešit až po výstavbě. Plánovat dopředu je výhodnější jak po technické, tak i po ekonomické stránce.

Po vybudování základní obslužné infrastruktury přichází otázka, zda a případně jak moc dotovat další rozvoj elektromobility. Je pravda, že bez prvotní dotace se technologie bude jen velmi těžko prosazovat, ale existují názory, že dotace by měla být malá nebo žádná. Je možné, že již v blízké budoucnosti (v horizontu do 5 let) bude elektromobil vhodný pro specifickou skupinu lidí, která ho bude používat jako druhý automobil v rodině. Po detailním otestování a vylepšení stávajících technologií je vhodné zavést dotování „pro všechny" a ne pouze pro movité zákazníky.

Variantou bez dotace je myšleno nepoužití zvýhodnění ceny nabíjené energie (v extrémním případě nabíjení zdarma) a podpory při nákupu elektrických automobilů. Sice nedojde k rychlému a masivnímu rozšíření elektromobility, ale zamezí se tím možným dotačním problémům. Mohla by se opakovat situace z roku 2009, kdy v České republice došlo k výraznému poklesu ceny fotovoltaických panelů, avšak legislativně zde byly zafixované ceny dotované elektrické energie vyráběné ze sluneční energie.

Dotace na elektromobily na území ČR jsou zatím velmi omezené. Aktuální dotace na nízkouhlíkové technologie, do které spadá elektromobilita, je velmi přísně nastavena. Je určená pouze pro podnikatele a podmínky vyřazují firmy na území hlavního města Prahy. [8] Nastavení dotace je až diskriminující, protože pokud se má někde elektromobilita začít prosazovat, tak to bude právě hlavní město Praha. Další formou zvýhodnění majitelů

elektrických vozidel v Praze je parkování v modrých a fialových zónách i pro nerezidenty zdarma. Benefit je to zajímavý, v cenovém vyčíslení se jedná stále o menší částky vzhledem k pořizovací hodnotě. [9] Majitelé elektromobilů si nově mohou požádat o speciální státní poznávací značku se symboly „EL“, která do budoucna bude zajišťovat řadu výhod. „*Zatím je asi jedinou výhodou osvobození uživatelů elektrických vozidel od placení silniční daně, do budoucna se ale počítá například s osvobozením od placení dálničních poplatků nebo s možností využívání vyhrazených jízdních pruhů ve městech*“. [9] Zajímavou otázkou bude doba nabízení nebo suma dotace, protože pokud dojde k velkému rozšíření elektromobility jako např. v Norsku, benefity rychle skončí.

2.5. Optimální využití technologie

Elektromobily jsou velmi výhodné pro cestování na malé vzdálenosti při nižších rychlostech, kde pro dojetí na místo určení a zpět je dostatečný dojezd elektromobilu na jedno nabití. Jejich využití se přímo nabízí u městské, sdílené a do budoucna autonomní dopravy. Naopak vysoké rychlosti a dlouhé cesty mohou více zatěžovat bateriové systémy, které se více opotřebovávají.

Městskou dopravou je myšlena cesta do zaměstnání z okrajů velkých měst nebo přesuny v rámci pracovní doby do vzdálenosti cca 60 km. Výhodou je „bezemisní“ provoz v místě použití a při velkém počtu elektromobilů i zlepšení kvality ovzduší.

Princip sdílené dopravy ve velkých městech bude založen na myšlence, kdy rodina automobil aktivně nepotřebuje a použije ho pouze na velké nákupy, výlety atd. V tomto případě se jí nevyplatí vlastnit automobil a v případě potřeby si ho vypůjčí.

Autonomní doprava v současné době není legislativně dovolená, ale do blízké budoucnosti má největší potencionální využití v kombinaci s elektrickými vozidly. Soukromé použití bude stejné jako nyní, avšak sdílené cestování bude pravděpodobně fungovat pomocí chytré aplikace v telefonu, která po vyplnění místa nástupu a cíle vybere nejbližší autonomní automobil, který bude splňovat požadavky na plánovanou trasu.

3. Technologie nabíjení elektromobilů

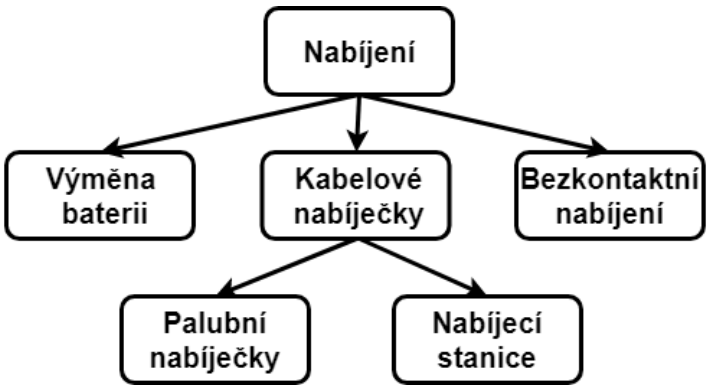
S rozvojem elektromobility dochází k definování nových výrobních postupů a možností souvisejících s vylepšením konkurenceschopnosti a jejího lepšího využití. Do jisté míry se již nyní rozhoduje o budoucí úspěšnosti technologie. Bude záležet na vybudování dostatečného množství nabíjecích stanic a dosažení nové technologie baterií. Aktuálně hraje snad většina technických i ekonomických výhod do karet spalovacím a vznětovým motorům. Do budoucna by se tato skutečnost mohla změnit ve prospěch elektromotorů.

Vezmeme-li pouhou myšlenku porovnávající konvenční automobily z hlediska paliva a jeho dostupnosti, tak dostaneme obrovský rozdíl. Benzínové stanice jsou téměř všude a jejich počet je 3894 [10] v porovnání s velmi omezeným množstvím nabíjecích stanic, kterých je nyní pouze 131. [11]

Nejvíce limitující jsou parametry kapacita baterie/objem nádrže a rychlost doplnění potřebného druhu energie/paliva. Výhoda je na straně benzínových a dieselových automobilů. Klasické automobily mají větší nájezd na jedno natankování, které trvá pouze po dobu několika minut. Zatímco u elektromobilů je doba nabíjení závislá na mnoha faktorech, ale i v nejlepších případech se jedná o násobky desetiminutových až hodinových intervalů. [12]

3.1. Rozdělení technologií nabíjení elektromobilů

Nabíjení elektromobilů lze rozdělit podle následujícího obrázku Obrázek 3 Možnosti nabíjení elektromobilů, který vychází z dokumentu Trakční vlastnosti elektromobilu. [13]



Obrázek 3 Možnosti nabíjení elektromobilů

Výměna baterií byla testována, ale v praxi se neuchytila. Je založena na principu výměny vybité baterie za novou (nabitou). Základ myšlenky je zajímavý, ale počítá s předpokladem použití standardizované baterie, která aktuálně neexistuje z důvodu rozdílných technologických procesů jednotlivých výrobců. Realizace dohod a norem

na typizovanou baterii je v nejbližší době nepravděpodobná. Dále by zde musel být navržen systém zpoplatnění půjčování baterií, kde by bylo opět složité najít kompromisy.

Nabíjení pomocí kabelů je jediný aktuálně použitelný způsob nabíjení elektromobilů založený na propojení elektromobilu a nabíjecí stanice případně elektrické zásuvky v domácnosti. Výhodou této technologie je hlavně jednoduchost a dostupnost, která z něj dělá praktický a rychlý způsob nabíjení v místě potřeby. Aktuálně se jedná o jediný způsob komerčního použití díky své nenáročnosti.

Posledním způsobem je bezdrátové nabíjení, které je zatím ve fázi vývoje a pilotních projektů. Je založeno na principu magnetické indukce. Nabíjecí systém umístěný ve speciálně upravené vozovce vytváří elektrické pole, které působí na speciální přijímače umístěné na spodku automobilu, kde dochází k magnetické indukci, při níž si elektromobil nabíjí baterii. Masivní rozvoj bezdrátové technologie nabíjení elektromobilů je možný pouze v případě obrovského rozšíření elektromobility z důvodu astronomických vstupních nákladů na „chytré“ silnice doplněné o speciálně vyvinutý elektroměr v elektromobilu.

3.2. Typy nabíjecích stanic

Typ nabíjení pomocí kabelů lze rozdělit dále podle nabíjecího proudu na nabíjecí stanice se střídavým (AC) a stejnosměrným proudem (DC). Pro každý ze zmíněných typů nabíjení jsou definovány velikosti výkonu, které jsou nabíjecí stanice schopny bezpečně dodat a přenést. Tyto hodnoty vychází z maximálních velikostí napětí a proudů. Problematika režimů nabíjení v Evropské unii není jednoznačně definovaná, proto v praxi došlo k rozdělení, které vychází z nejpoužívanějších velikostí hlavních jističů uvedených v následující tabulce Tabulka 1 Režimy nabíjení.

	AC					**DC**
	Režim 1		**Režim 2**		**Režim 3**	**Režim 4**
Max. výkon	3,7 kW	11 kW	7,4 kW	22 kW	43,5 kW	Od 50 kW
Max. proud hl. jističe	1x16 A	3x16 A	1x32 A	3x32 A	3x63 A	3x75 A

Tabulka 1 Režimy nabíjení

Reálné použití je však trochu jiné. Nabíjení střídavým proudem v 1. a 2. režimu lze sloučit, protože zatím ve většině případů je nabíjení omezeno nabíječkou v elektromobilu a výsledek je „téměř“ stejný. Tento způsob je nazýván „pomalým“, v anglicky mluvících zemích „slow“. Režim 3 je nejrychlejším zástupcem střídavého nabíjení. V literatuře

je nazývaný jako rychlý, tj. anglicky „fast“. Posledním zástupcem je stejnosměrné nabíjení ve 4. režimu, které je pojmenováno jako rychlonabíjení, tj. anglicky „rapid“.

3.2.1. Nabíjení střídavým proudem

Nabíjecí stanice pracující se střídavým proudem jsou zařazeny podle tabulky Tabulka 1 Režimy nabíjení do 1. režimu, 2. režimu a 3. režimu. Nejčastěji jsou a budou nainstalovány v rodinných domech nebo v menších nabíjecích stanicích.

Režim 1 je nenáročný na provedení, protože nabíjení lze provést pomocí standardních zásuvek v domácnostech. Nabíjení nepoužívá žádný monitoring přenášených výkonů a neobsahuje dodatečné jištění.

Druhý režim vyžaduje použití speciálního kabelu, který zprostředkovává monitoring přenášeného výkonu mezi stanicí a elektromobilem. Hlavním účelem je zajistit bezpečný provoz nabíjení, tj. ochranu proti zkratu, nadproudu a nadměrnému zahřívání baterií.

Režim 3 je nejvýkonnější střídavý systém, kde je vozidlo připojeno přímo k síti přes vyhrazený obvod s jistícími prvky jako v režimu 2. Největším rozdílem oproti předchozím typům je splnění podmínek normy pro regulace odběru. V praxi to znamená možnost snížení nabíjecího výkonu nebo odložení nabíjení elektromobilu na dobu, kdy to bude výhodné a nebude velká poptávka po elektrické energii. Tato vlastnost se stane velmi využívanou, pokud dojde k většímu rozšíření elektromobility.

Nabíjení střídavým proudem nyní probíhá nejčastěji jednofázově ze zásuvek s jističem o velikosti 16 A případně 32 A. Odsud je proud usměrněn v měniči, který je součástí elektromobilu. Po usměrnění je energie ukládánado bateriového uložiště.

Nabíjení baterií je realizováno optimálním způsobem. Nabíjecí proud dosahuje malých hodnot a celý proces trvá dlouhou dobu. Předpokládá se, že většina majitelů bude chtít mít svůj elektromobil dostatečně nabitý ideálně naplno, aby byl připraven na neplánované situace. Proto budou majitelé elektromobilů nabíjet spotřebovanou energii každodenně nebo velmi často.

Pokud je aplikován předpoklad nabíjení elektromobilů každý den na model průměrného elektromobilu, bude spotřebovaná kapacita baterie malá. Baterie bude využívaná v rozmezí 80 % až 100 % své kapacity.

Pro přenos výkonu jsou používány konektory typ 1 SAE J1772 a typ 2 Mennekes. Jejich použití se volí podle nabíjeného výkonu. Konektory používané v Evropě byly sjednoceny normou IEC 62196-2.

Na obrázku vlevo je konektor typu 1 SAE J1772, který je používán pro nabíjení omezené jističem o velikosti 16 A. Maximální nabíjený výkon může dosahovat 3,6 kW.

Obrázek vpravo zobrazuje konektor typu 2 Mennekes, který je instalován až do výkonů 43,5 kW z režimu 3. Této hodnotě odpovídá třífázový hlavní jistič o velikosti 63 A.

Obrázek 4 Type 1 SAE J1772 a Type 2 Mennekes [14]

3.2.2. Nabíjení stejnosměrným proudem

Problematika stejnosměrných nabíjecích stanic je definována podle tabulky Tabulka 1 Režimy nabíjení jako 4. režim. Stejnosměrné stanice nebo-li rychlonabíjecí stanice jsou nejvýkonnějšími technologiemi provozovanými v síti. Jejich výkony se neustále zvyšují a obsahují komplexnější řešení s použitím usměrňovače ve stojanu. U dražších výrobků můžeme nalézt i ošetření nežádoucích následků provozu usměrňovače (filtr vyšších harmonických). Výkon z nabíjecího stojanu není omezen externím usměrňovačem a může přenášet vyšší výkony přímo do stejnosměrné baterie, pokud není požadavek na omezení. Požadavky na rezervovaný příkon v distribuční síti začínají na hodnotě 50 kW.

Problematický bude provoz baterií, protože bude vlivem rychlého nabíjení docházet k degradaci baterie, snižování její kapacity a zkracování životnosti. Rychlé nabíjení bude využíváno minimálně, protože není vhodné pro stálý provoz. Nejhorší situace bude u obyvatel sídlišť, kde bude největší poptávka po nabíjecích stanicích. Nabíjení zde bude probíhat jednou za přibližně 4 dny a kapacita baterie se bude pohybovat v rozmezí 25 % až 100 %.

Přenos výkonu budou zajišťovat standardizované konektory CHAdeMO a CCS Combo.

Konektor CHAdeMO je světově nejpoužívanější standard nabíjení elektromobilů. Celosvětový počet nabíjecích stanic využívající technologii CHAdeMO je 22 600, kde nejvíce instalací se realizovalo v Evropě (7 900) a v Japonsku (7 400). [15]

Výkon nabíjecích stanic je založen na napěťové hladině 400 V a jejímu příslušnému proudu do stanoveného výkonu. Například pro nejpoužívanější výkon 50 kW je použit nabíjecí proud 75 A. Firma neustále zdokonaluje technologii, již teď testuje nabíjení o výkonu 400 kW. Pro dosažení takto velikého výkonu se musela zvýšit napěťová hladina na 1000 V.

Princip nabíjení je založen na požadavku řídící jednotky vozidla, která pomocí komunikace v reálném čase po sběrnici CAN dá požadavek na výstupní proud z nabíjecí stanice. Technologie CHAdeMO má stanovené požadavky na odezvu, napěťové a proudové zvlnění, přesnost měření napětí a proudu. Systém obsahuje bezpečnostní oddělovací transformátor a monitoring svodového proudu. Samozřejmostí je kontrolní test před každým nabíjením a blokování odpojení konektoru po dobu nabíjení. [15]

Konektor CCS Combo se skládá z horní části zásuvky, která je určená pro nabíjení ze střídavých stanic (Type 2 Mennekes), zatímco spodní část konektoru pracuje se stejnosměrným proudem. Počet používaných instalací v Evropě dosahuje počtu 5981. [16]

Střídavý nabíjecí proud využívá technologii z nabíjecího 2. režimu, kde jsou využívány převážně stanice s výkonem 22 kW (omezení hlavním jističem 32 A). Zajímavější je stejnosměrné nabíjení, kde podle zvoleného výkonu stanice je použita napěťová hladina do 1 000 V. Největší doposud nainstalované nabíjecí stanice mají výkon 350 kW tj. pracují se stejnosměrným proudem 350 A na napěťové hladině 1 000 V. [17]

Základem nabíjení je komunikace přes PLC (Power Line Control), která je společná pro oba typy nabíjení. U stejnosměrného nabíjení dochází k přenosu více informací, aby mohl být proces nabíjení řízen podobně jako u technologie CHAdeMO. Největší důraz je opět kladen na bezpečnostní prvky celého systému. Například blokovací mechanizmus, který nedovoluje vyndat nabíjecí konektor do doby, než úspěšně proběhne nabíjení a zákazník zaplatí. [18]

Obrázek 5 CHAdeMO a CCS Combo [14]

3.2.3. Nabíjení Superchargery Tesla

Kategorii nabíjení pomocí Superchargeru jsem nezahrnul do kapitoly 3.2.2 Nabíjení stejnosměrným proudem z důvodu obchodní strategie firmy Tesla. Výše uvedené typy nabíjení v přechozí kapitole jsou všechny univerzální, zatímco na nabíjecím stojanu Supercharger se mohou nabít pouze automobily jedné značky. Tento faktor je velmi limitující pro majitele automobilů ostatních značek, avšak pro majitele elektromobilů Tesla zajišťuje nejlepší možné technologické vybavení. Používané technologie Superchargeru dokáží nabíjet baterie výkony začínajícími na hodnotě 120 kW.

Obrázek 6 Nabíjecí stanice Tesla [19]

Pro přenesení zmíněných výkonů Tesla vyvinula speciální konektor, který přináší výhody i nevýhody. Mezi hlavní výhody patří velký přenášený výkon s použitými ochrannými prvky zajištujícími bezproblémový provoz. Největší nevýhodou je samostatný konektor. Pokud nabíjíme auto u stojanu Supercharger je to výhodné, ale ve všech ostatních případech musí uživatel použít redukci, aby vůbec mohl doplnit energii do baterie.

V České republice se na celém území nachází pouze 3 nabíjecí stanice s technologií Supercharger. [20]

Obrázek 7 Nabíjecí konektor Tesla [14]

3.2.4. Nabíjecí stanice používané společností E.ON Distribuce a.s.

Začátkem rozvoje elektromobility a technologií s ní spojených provedla společnost E.ON Distribuce a. s. testování jednotlivých nabíjecích stanic na trhu. Cílem testování byl výběr nejlepšího typu stejnosměrné a střídavé nabíjecí stanice. Vítězné typy nabíjecích stanic budou používány pro své strategické instalace. Stanovené parametry výběru nabíjecích stanic nejlépe splnily firmy EBG a ABB. [21]

Pro realizace střídavých nabíjecích stanic je vybrána nabíjecí stanice EBG Compleo Advance. Typické použití je nabíjení elektrických vozidel na parkovištích a polo-veřejných prostorech jako například hotely, kde je očekávaná vysoká četnost nabíjení.

Vybraný model Advance WM dokáže nabíjet výkonem 2x22 kW a disponuje pokročilými komunikačními funkcemi a bezpečnostní technologií. Podle typu nabíjení a instalovaného výkonu se jedná o kategorii tzv. pomalé nabíjení. Velkou výhodou vybrané nabíjecí stanice je univerzální použití, protože dokáže střídavým nabíjením doplnit kapacitu baterie u všech současných elektromobilů a plug-in hybridních vozidel.

Obrázek 8 Nabíjecí stanice EBG Compleo Advanced [21]

Pro stejnosměrné nabíjení byla vybrána nabíjecí stanice ABB Terra 54, která obsahuje průmyslové uspořádání a technologii rychlého nabíjení. Cíl vývojářů byl vyrobit nabíjecí stanici s podporou současných modelů elektromobilů, která bude schopna nabíjet i další generace elektrických vozidel.

Konstrukce stanice může obsahovat stejnosměrné nabíjení dle norem CCS a CHAdeMO 1.0, tak i střídavé nabíjení dle normy EN61851-1 (typ 2, nabíjení v režimu 3). Vhodným místem pro umístění nabíjecí stanice ABB Terra 54 jsou hustě osídlené lokality měst nebo frekventované čerpací stanice pohonných hmot. Jednotlivé konfigurace jsou uvedeny v tabulce Tabulka 2 Parametry a možnosti nabíjecí stanice Terra 54 [22]

Outlet specifications	C (default)	J (option)	G (option)	T (option)
Charging standard	CCS	CHAdeMO	Type 2 cable	Type 2 socket
Maximum output power	50 kW	50 kW	22 or 43 kW	22 kW
Output voltage Terra 54	200 - 500 V_{DC}	150 - 500 V_{DC}	400 V +/- 10%	400 V +/- 10%
Output voltage Terra 54HV	200 - 920 V_{DC}	150 - 500 V_{DC}	400 V +/- 10%	400 V +/- 10%
Maximum output current	125 A_{DC}	125 A_{DC}	63 A	32 A
Connector/socket type	CCS 2 / IEC 62196 Mode-4	CHAdeMO / JEVS G105	IEC62196 Mode-3 Type-2	IEC62196 Mode-3 Type 2
Cable length	3.9 m	3.9 m	3.9 m	-

Tabulka 2 Parametry a možnosti nabíjecí stanice Terra 54 [22]

Stejnosměrné nabíjení na stanici Terra 54 je realizováno pomocí konektoru C nebo J, které zajištují lepší pokrytí u zástupců elektromobilů. Charakter odběru elektrické energie je třífázový a nemůže dojít k nesymetrickému odběru.

Střídavé nabíjení je provedeno konektorem G nebo T. Charakter odběru se liší podle typu nabíjeného automobilu a může být třífázový (symetrický), dvoufázový a jednofázový (nesymetrický).

V případě obsazení stejnosměrné zásuvky lze zároveň použít jednu ze střídavých zásuvek. Provoz kombinace obou nabíjení je náročný na místo připojení, protože vyžaduje velký rezervovaný příkon 93 kW.

Obrázek 9 Možnosti konfigurace nabíjecí stanice Terra 54 [22]

Nabíjecí stanice Terra 54 umožnuje funkci dálkového řízení v případě, kdy není stanice v provozu tj. nenabíjí žádný elektromobil. Pak lze nabíjecí stanici zcela uzavřít nebo omezit její výstupní výkon. Aktuálně společnost ABB nedoporučuje ani jednu ze zmíněných variant. Jejich použití je určeno pouze pro krizové situace např. hrozby přetížení soustavy. [21]

3.3. Problémy nabíjení elektromobilů

Vždy platí, že každá technologie má své výhody, ale také nevýhody. Největším problémům, které jsou zásadní pro elektromobilitu, se věnuji v následující části. Z problematiky elektromobility je vynechána část týkající se dopadů výroby elektrických automobilů a jejich provozu po dobu životnosti (LCA). Protože v České republice se elektromobil s použitím stávajících zdrojů elektrické energie nemůže rovnat jiným zemím, které mají velkou část elektrické energie z obnovitelných zdrojů.

Největším aktuálním problémem nabíjení je u střídavých nabíjecích stanic přenos střídavé energie do stejnosměrné baterie. Tento přenos zajišťuje nabíječka, která dané množství usměrní a ukládá do baterií. Nejčastěji je konstruována s nízkými parametry z důvodu velikosti a ceny, a zpomaluje tak celý proces nabíjení. Výsledná rychlost nabíjení tedy není dána dostupným výkonem v nabíjecí stanici, ale pouze parametry nabíječky.

V případě stejnosměrných nabíjecích stanic nastávají převážně problémy týkající se dodávky výkonu pro nabíjecí stanice, stavu nabití baterie a klimatických podmínek. Větší výkony stejnosměrných nabíjecích stanic požadují správné místo připojení do sítě ideálně co nejblíže distribuční trafostanici, aby mohl být dodáván maximální požadovaný výkon. Průběh nabíjení je závislý na stavu baterie, kde důležitými parametry jsou stáří a technický stav v kombinaci s aktuálním stavem nabití baterie. Proces nabíjení je řízen palubní elektronikou a softwarem. Například nabíjení baterie z 0 % na 80 % trvá 30 minut, ale nabití zbývajících 20 % kapacity baterie trvá 25 min. Veškeré části nabíjení a provozu elektromobilů jsou závislé na klimatických podmínkách, hlavně teplotě.

Dalším problémem je obsazenost nabíjecích míst. V případě příjezdu k obsazenému místu není možné nabíjet do doby, než je nabíjecí místo uvolněno. V ideálním případě to není takový problém, ale obecně lidé na vyhrazeném místě pro nabíjení stojí a budou stát delší dobu, než je nutné. Často jsou vidět obsazená místa pro elektromobily vlastníky automobilů s klasickými motory, protože je zde vybudováno pěkné zázemí.

Posledním závažným problémem je symetrizace zátěže. Obecně lze říci, že většina spotřebičů připojených do distribuční sítě jsou jednofázová zařízení. Ideální je provozovat pouze symetrické třífázové spotřebiče. Předpokládá se, že s rozvojem technologie se změní použití jednofázových palubních nabíječek stanic na třífázové. Při rozvoji bude záležet na množství elektromobilů odpovídající scénáři. Čím vyšší scénář, tím větší je pravděpodobnost přechodu na třífázové odběry.

Výhody třífázových nabíječek jsou zřejmé. Navýšení nabíjecího výkonu přinese při stagnující nebo lehce rostoucí kapacitě baterie výrazně nižší nabíjecí časy.

Z hlediska provozu sítě je vždy lepší symetrický třífázový odběr než jednofázový nesymetrický odběr. Nerovnoměrné rozložení jednofázových odběrů v distribuční síti způsobí nerovnoměrné zatížení jednotlivých fází a napěťovou nesymetrii. V extrémním případě může nerovnoměrné rozložení jednofázových odběrů vést k přetížení distribučního vedení a výpadku některé z fází.

3.4. Model průměrného elektromobilu

Elektromobily mají velký potenciál rozvoje, ale zatím z důvodu vysoké ceny tvoří pouze zlomek z celkového množství osobních automobilů. Proto není na trhu velké množství typů vozidel a výrobci vytvářejí koncepty a připravují se na budoucnost sériové výroby.

Pro zpracování simulace nabíjení, je provedena analýza trhu s automobily na elektrický pohon. Průzkum části trhu zabývající se elektromobilitou ukázal, že nabídka elektromobilů je aktuálně velmi omezená a teprve se rozvíjí. Z důvodu omezené nabídky jsou posuzovány pouze nejzajímavější zástupci této kategorie.

Bylo provedeno zjednodušení, které v modelu průměrného elektromobilu nepracuje s četnostmi jednotlivých elektromobilů. Je sice nepravděpodobné, že by všechny zástupci měli stejný počet, protože většina uvedených elektromobilů patří do kategorie luxusní automobily a jsou velmi drahé. Vybrané současné elektromobily jsou výrazně dražší, než alternativní automobily a nelze je tedy přímo porovnávat. Z velké části je to způsobeno cenou baterií, která je velmi vysoká a tvoří velkou část z nákupní ceny elektromobilu. [23]

Existují dva rozdílné standardy na měření dojezdu elektromobilů. Jedná se o starší metodiku NEDC a novější upravenou metodiku WLTP. První zmíněná metodika dává nereálné hodnoty dojezdu, kterých nelze dosáhnout. Nová metodika posuzování dojezdů elektromobilů podle standardu WLTP již odpovídá reálným dojezdům. Byl hledán zdroj, který otestuje nejzajímavější modely a uvede reálné hodnoty z testu a dále zveřejní testovací podmínky.

Stanovené požadavky nejlépe splnil test společnosti AutoBest [24], který se zaměřil hlavně na kapacitu baterie, spotřebu elektrické energie na 100 km a hodnoty dojezdu NEDC, WLTP a skutečné z testu. Dále se zde nachází výkon elektromobilů, čas nabíjení pomalým způsobem a rychlonabíjením, cena, váha, maximální rychlost. Výsledky testu jsou uvedeny v tabulce Tabulka 3 Výsledky testu elektromobilů Hodnota ND pro Jaguar I-Pace ve sloupci NEDC znamená nedefinováno, protože daný elektromobil nemá starší certifikaci.

Model	Kapacita [kWh]	Spotřeba [kWh/100 km]	NEDC [km]	WLTP [km]	Reálný dojezd z testu [km]
BMW i3	33,2	14,8	300	225	231,75
Hyundai Ioniq EV	30,5	12,2	280	204	211,90
Jaguar I-Pace	90	27,5	ND	480	313,56
Kia Soul Electric	33	13,6	250	185	218,43
Nissan Leaf	40	16,3	378	285	227,99
Opel Ampera-e	60	16,1	520	380	377,20
Renault Zoe 40	41	14,6	400	300	284,27
Tesla Model S	100	20,6	632	461	422,65
Tesla Model X	100	23,4	565	430	400,07
Volkswagen e-Golf	35,8	12,4	300	219	231,76

Tabulka 3 Výsledky testu elektromobilů [24]

Pokud jsou porovnávány jednotlivé automobily na elektrický pohon, výsledkem je zjištění, že jsou jejich parametry velmi rozdílné. Stěžejními parametry jsou kapacita baterie a spotřeba elektromobilu.

Kapacita baterie jednotlivých zástupců se pohybuje v rozmezí 30,5 kWh až 100 kWh. Spodní hodnota kapacity baterie je převážně pro malé automobily určené do města s malou dojezdovou vzdáleností. Horní hranice je vyšší třída elektromobilů s výrazně lepším komfortem a prodlouženým dojezdem. Hodnota kapacity baterie průměrného elektromobilu vychází podle testu 56,35 kWh a medián je 40,5 kWh.

Spotřeba elektrické energie je v rozmezí 12,2 kWh/100 km až 27,5 kWh/100 km, což je více než dvojnásobek minima. Největší rozdíly budou konstrukční a budou záviset hlavně na velikosti baterie a její hmotnosti. V druhé řadě bude záležet na softwarové optimalizaci a využívaném způsobu rekuperace energie. Spotřeba elektrické energie průměrného elektromobilu z testu je 17,15 kWh/100 km a medián je 15,45 kWh/100 km.

Dojezd elektromobilů bude vyhodnocován pouze reálně naměřený z testu, protože tabulkové hodnoty mohou zákazníky klamat a nemusí odpovídat realitě. Nejmenší dojezd testovaných elektromobilů je 211,90 km, zatímco nejdelší dosahuje hodnoty 422,65 km. Opět se jedná téměř o dvojnásobek, pokud porovnáme krajní hodnoty dojezdů. Výsledný dojezd průměrného testovaného elektromobilu je 291,96 km a medián je 258,01 km.

V další části je proveden výpočet nabíjení vycházející z modelu průměrného elektromobilu. Bude vycházeno z průměrných hodnot kapacity baterie a spotřeby, ke kterým

bude přidán průměrný nájezd 10 000 km/rok v EU. Průměrný nájezd v České republice je nižší a dosahuje hodnoty 6880 km/rok. [25] Pokud budu uvažovat rok s 365 dny, pak je denní ujetá vzdálenost po zaokrouhlení 27,5 km.

Výpočet nabíjecí kapacity je vhodné rozdělit podle lokality, kde a jakým způsobem bude probíhat. Největší množství nabíjení bude probíhat v rodinných a sídlištních lokalitách.

Rodinné lokality budou pravděpodobně nabíjet každý den. Denní nabíjecí kapacita úměrná spotřebované energii bude menší a vychází z hodnoty průměrného denního nájezdu osobního automobilu vynásobenou spotřebou elektrické energie na ujetou vzdálenost:

$$P_{denní} = l.p = 27,5.17,15 = 4,716\ kWh$$

Dále je vypočten čas úměrný nabíjení, který dostanu vydělením denní nabíjecí kapacity výkonem nabíjecí stanice:

$$t_{denní} = \frac{P_{denní}}{P_n} = \frac{4,716}{3,6} = 1,31\ h \cong 79\ \text{min}$$

Situace pro obyvatele sídlišť je obdobná s rozdílem použití až jednou za 7 dní. Ve výpočtech je počítáno s nabíjením jednou za 4 dny, kde se 4x navýší nabíjená kapacita baterie. Použité nabíjecí stanice mají sice vyšší instalovaný výkon, ale doba nabíjení se nesníží:

$$P_{sídliště} = 4.P_{denní} = 4.4,716 = 18,864\ kWh$$

$$t_{sídliště} = \frac{P_{sídliště}}{P_{ns}} = \frac{18,864}{3,600} = 5,24\ hod \cong 314\ \text{min}$$

Nabíjení elektrických vozidel by nejvíce ovlivnilo vylepšení technologií nabíječek v elektromobilech. Většina současných elektrických automobilů nedokáže využít plný nabíjecí výkon střídavých stanic. Výsledný čas nabíjení by se v tomto případě zkrátil přibližně 6-ti násobně.

$$t_{sídliště} = \frac{P_{sídliště}}{P_{ns}} = \frac{18,864}{22,000} = 0,857\ hod \cong 52\ \text{min}$$

Pokud je počítáno s ideálním provozem baterie, pohybuje se nabíjení v pracovní oblasti od 20 % do 80 % kapacity baterie elektromobilů. Z toho je získána doba, za kterou budou muset vlastníci elektromobilů nejpozději navštívit nabíjecí stanici.

$$P_{\Delta} = P(80\,\%) - P(20\,\%) = 45,08 - 11,27 = 33,81\ kWh$$

$$t_{\max} = \frac{P_{\Delta}}{P_{denní}} = \frac{33,81}{4,716} = 7,168\ dne$$

Ideální provoz nebude častý a bude se vyskytovat pouze výjimečně.

4. Zásady posouzení připojitelnosti nabíječek k distribuční síti

Provozovatel distribuční soustavy je odpovědný za bezpečný provoz a rozvoj distribuční sítě. Jeho povinností je odběratelům poskytovat elektrickou energii v požadované kvalitě. Proto je oprávněn stanovit podmínky pro připojování jednotlivých zařízení.

Pro bezproblémový provoz distribuční sítě je nutné stanovit koncepci připojování nabíjecích stanic pro elektrická vozidla tak, aby nedošlo k negativnímu ovlivnění distribuční sítě. Při návrhu nové nabíjecí stanice se vychází z parametrů stávajících sítí, do kterých jsou pomocí softwarových programů vkládány modely zátěže simulující nabíjecí stanice. Podle nastavení koncepce rozvoje sítí jsou dány jasné předpisy pro připojení/nepřipojení žadatele. Ideálním místem připojení nových nabíjecích stanic vyšších výkonů je těsná blízkost distribuční trafostanice z důvodu nejvyššího možného zkratového výkonu souvisícího s tvrdostí sítě a dostatečného příkonu.

Na základě měření již instalovaných nabíjecích stanic byla proto stanovena koncepce pro připojování nabíjecích stanic. Na základě parametrů (velikost a typ nabíjecí stanice) je proveden výpočet, zda je možné nabíjecí stanici v daném místě připojit.

Další část této kapitoly je zaměřena na parametry kvality elektrické energie vyhodnocované v rámci měření nabíjecích stanic a následované rozborem typických průběhů střídavého a stejnosměrného nabíjení.

4.1. Parametry kvality elektrické energie

Problematika kvality elektrické energie je řešena závaznou normou ČSN EN 50 160 „Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí“. Důležité parametry pro vyhodnocení měření jsou uvedeny v následujících podkapitolách.

4.1.1. Napětí

„Normalizované jmenovité napětí U_n pro veřejnou síť nízkého napětí je $U_n = 230\,V$, buď mezi fází a uzlem nebo $U_n = 400\,V$ mezi fázemi“.[26]

4.1.2. Kmitočet sítě

„*Jmenovitý kmitočet napájecího napětí je 50 Hz. Za normálních provozních podmínek musí být střední hodnota kmitočtu harmonické měřena v intervalu 10 s v následujících mezích* $50\,Hz \pm 1\,\%$ *během 99,5 % roku a* $50\,Hz + 4\,\% / - 6\,\%$ *během 100 % času.“ [26]*

4.1.3. Odchylky napětí

„*Za normálních provozních podmínek musí být během každého týdne* $95\,\%$ *průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut v rozsahu*

$U_n \pm 10\,\%$ a všechny průměrné efektivní hodnoty napájecího napětí v měřících intervalech 10 minut musí být v rozsahu $U_n + 10\,\% / -15\,\%$.“ [26]

Dodržení odchylek napětí je základním předpokladem spolehlivého provozu sítí na všech napěťových hladinách. Odchylka napětí je závislá na velikosti impedance sítě a odebíraném proudu. Pokud lze předpokládat nedodržení odchylky napětí, není zde možné připojit nabíjecí stanici.

4.1.4. Míra vjemu flikru

„Za normálních provozních podmínek musí být po 95 % času, v libovolném týdenním období, dlouhodobá míra vjemu flikru $P_{lt} \leq 1$.“ [26]

Problémy míry vjemu flikru se většinou neprojevují, protože nabíjecí stanice a celkově všechna nabíjení nejsou připojována skokově. Dochází k pozvolnému růstu nabíjecího proudu.

4.1.5. Nesymetrie napájecího napětí

„Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % času desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky (základního) napájecího napětí v rozsahu 0 až 2 % sousledné složky.“ [26]

4.1.6. Vyšší harmonické (harmonická napětí)

„Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období $95\,\%$ *desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě dle normy ČSN EN 50 160. U jednotlivých harmonických mohou rezonance způsobit napětí vyšší. Mimoto celkový činitel harmonického zkreslení THD_U napájecího napětí (zahrnující všechny harmonické až do řádu 40) musí být menší nebo roven 8 %“ [26]*

Vyšší podíl harmonických v odebíraném proudu je nežádoucí vliv nabíjecích stanic. V případě výrazného ovlivňování distribuční sítě by muselo být zařízení ošetřeno filtrem.

4.2. Rozbor průběhů nabíjení elektromobilů z DS

Společnost E.ON Distribuce a. s. provedla měření zpětných vlivů nabíjení elektromobilů v termínu od 14. 11. 2017 do 15. 12. 2017 na nabíjecí stanici v Jihlavě u nákupního centra Patrol ulice Romana Havelky. Pro získání kompletních informací o nabíjení požádala společnost E.ON Distribuce a. s. o data z nabíjecí stanice společnost ABB. Například získala přehled o využití nabíjecí stanice a typu použitého nabíjení. Celkově za sledované období proběhlo přes sto nabíjení, kde v 19 % případů se jednalo o střídavé nabíjení a v 81 % o stejnosměrné nabíjení. Je vycházeno z výsledků měření dané

problematiky prezentované v interním dokumentu *Měření zpětného vlivu nabíjení elektromobilů na distribuční síť. [21]*

Měření probíhalo na nabíjecí stanici ABB Terra 53 v nejvyšší konfiguraci C,J,G. Tato stanice obsahuje dva stejnosměrné výstupy, jeden s konektorem CHAdeMO, druhý s konektorem Combo-2 a jeden střídavý výstup Mennekes Type 2. Nabíjecí stanice Terra 53, stejně jako Terra 54, umožňuje současně nabíjet ze střídavého a jednoho stejnosměrného konektoru.

Nabíjecí stanice je připojena do distribuční sítě přímo v rozvaděči NN distribuční trafostanice, kde má rezervovaný samostatný pojistkový odpínač. Vzdálenost kabelového vedení k nabíjecí stanici je malá pouze v rozsahu několika metrů. Proto se předpokládá, že nebude docházet k poklesu napětí mimo povolenou toleranci danou závaznou normou ČSN EN 50160. Dále lze předpokládat, že společný chod stejnosměrného a střídavého nabíjení nemůže způsobit nesymetrii napětí v jednotlivých fázích.

Předpoklad dodržení tolerancí pro napěťové poklesy se potvrdil, protože ani v jednom případě nabíjení elektromobilů neopustilo napětí předepsané meze. Zároveň nedošlo v žádném případě k napěťové nesymetrii, a to ani v případě nabíjení více elektromobilů současně.

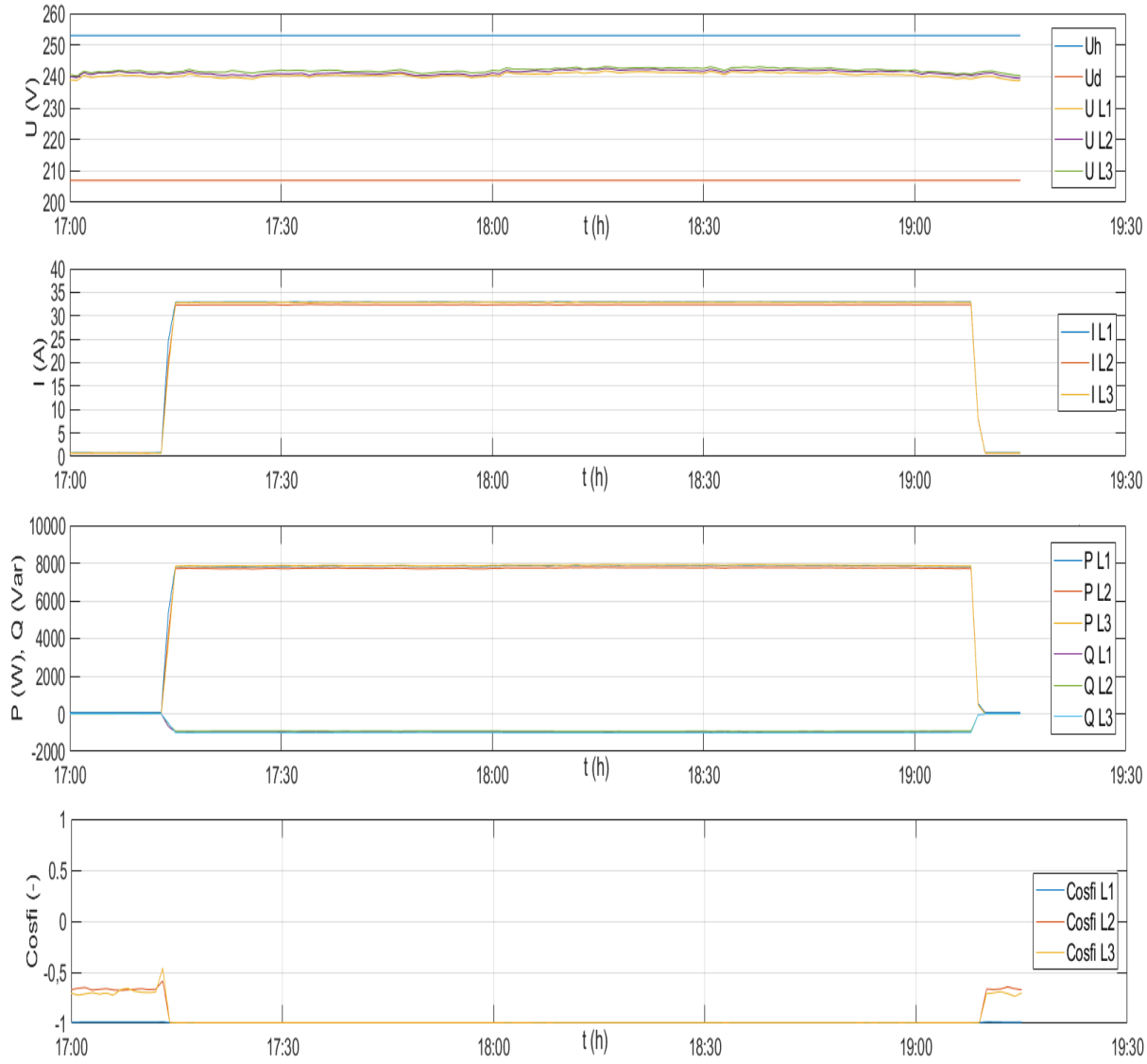
V následujících podkapitolách jsou popsány typické průběhy změřených nabíjecích cyklů. Největší rozdíl mezi stejnoměrným a střídavým nabíjením je v průběhu proudu. Při měření (mimo nabíjení elektromobilů) se účiník pohybuje kolem hodnoty -0,6. Jedná se o zkreslené hodnoty vlivem malého odebíraného proudu. Při zatížení měřící sondy již zaznamenávaly správné hodnoty. Začátek nabíjení je charakteristický skokovým nárůstem účiníku ve všech fázích na hodnotu 0, následovaný okamžitým návratem na hodnotu -1. Tento děj s největší pravděpodobností způsobil specifický postup při zahájení nabíjení a to zejména u stejnosměrného nabíjení.

4.2.1. Střídavé nabíjení

Průběh střídavého nabíjení byl změřen dne 21. 11. 2017 v čase od 17:10 do 19:20. Střídavé nabíjení bylo typické pro elektromobily Tesla nebo elektromobily bez možnosti stejnosměrného nabíjení. Nabíjecí proud při střídavém nabíjení je po celou dobu prakticky konstantní, což je způsobeno celkově nižší hodnotou proudu a měniči v elektromobilu, které drží proud na stále stejné hodnotě. Velkou výhodou při standartním střídavém nabíjení vyšších výkonů je symetrický odběr ve všech 3 fázích.

V tomto konkrétním případě nabíjení společnost ABB naměřila dodanou energii 41,94 kWh. Po celou dobu nabíjení nabíjecí stanice dodávala zpět do sítě malé množství

jalového výkonu. Je nutné množství jalového výkonu sledovat a v případě nutnosti ho vykompenzovat.

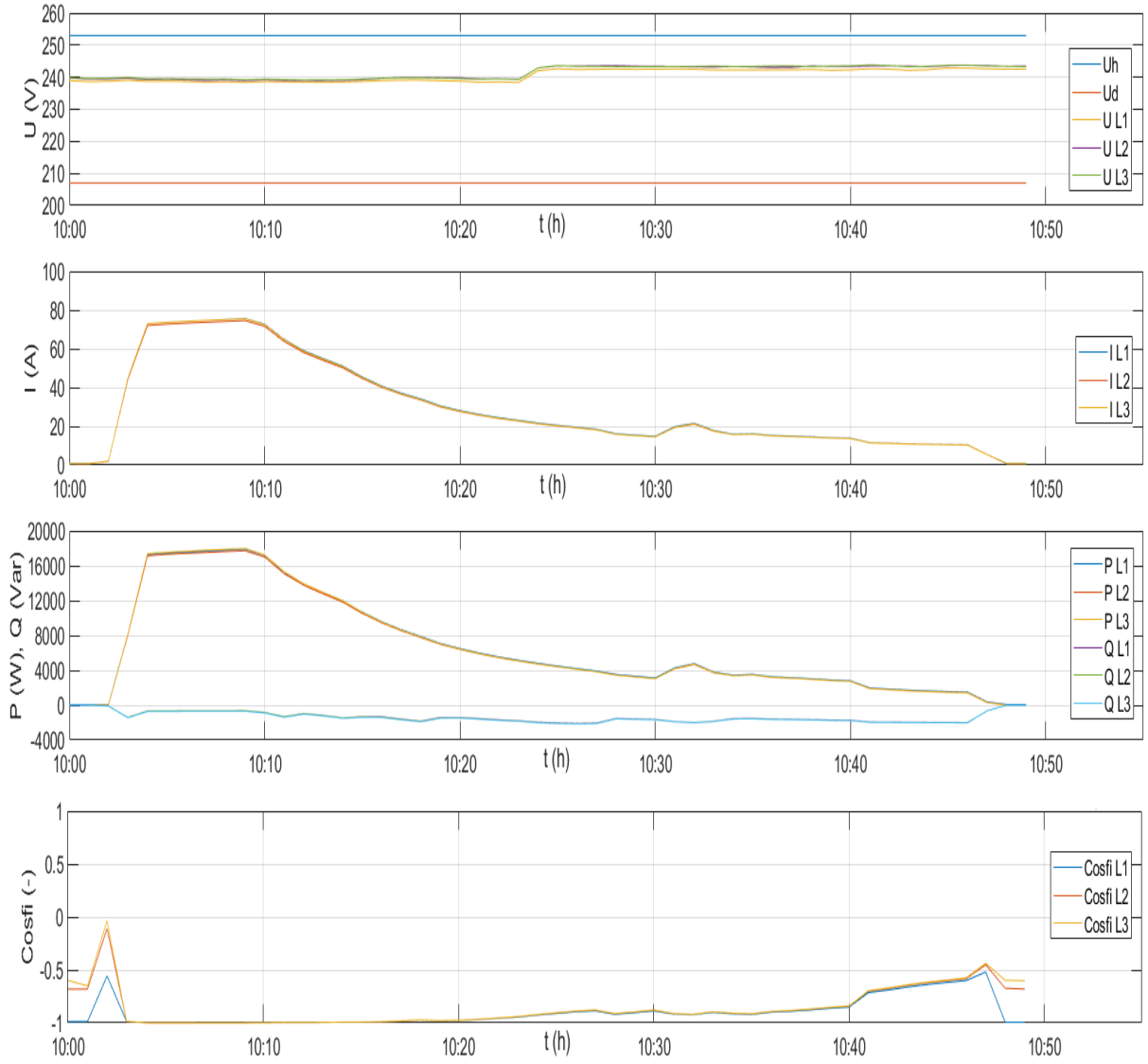


Graf 1 Průběhy střídavého nabíjení

4.2.2. Stejnosměrné nabíjení

Průběh stejnosměrného nabíjení byl změřen dne 17.11. 2017 v čase od 10:01 do 10:45. Stejnosměrné nabíjení bylo v převládající většině využito vlastníky elektrického vozidla Nissan Leaf s celkovou kapacitou akumulátoru 24 nebo 30 kWh.

Rychlý nárůst stejnosměrného proudu je charakteristický pro tento způsob nabíjení, kde velikost proudu je závislá na stavu nabití baterie. Obecně lze říci, že při stejnosměrném nabíjení po rychlém nárůstu proud klesá až na nulovou hodnotu. Tento postup je zvolený pro zachování životnosti a vlastností baterie. V případě použití vysoké hodnoty nabíjecího proudu by došlo ke změně chemického složení akumulátoru a následně k jeho zničení.



Graf 2 Průbehy stejnosměrného nabíjení

S klesající hodnotou nabíjecího proudu dochází ke zhoršování hodnoty účiníku. Dodávaný činný výkon klesá, ale množství jalového výkonu zůstává pořád stejné. Proto se ke konci nabíjení účiník dostává až k hodnotě 0,4 kapacitního charakteru. Z důvodu delšího poklesu hodnoty účiníku v řádu několika minut je nutné při připojování nabíjecích stanic do VN sítě požadovat dodržení stanovené hodnoty účiníku. Do budoucna je pravděpodobné, že v případě připojení nabíjecích stanic do VN sítě (např. z důvodu potřeby vyššího nabíjecího výkonu stanice) bude nutné instalovat kompenzaci jalového výkonu.

4.2.3. Vyhodnocení měření

V místě měření ve sledovaném období kvalita napětí splňovala podmínky stanovené technickou normou ČSN EN 50160 „Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě“ viz. Příloha 1 Měření střídavého nabíjení a Příloha 2 Měření stejnosměrného nabíjení.

Z výsledků měření vyplývá, že nabíjecí stanice připojené přímo do distribuční trafostanice (podobné té v Jihlavě), nemají negativní vliv na kvalitu elektrického napětí v distribuční síti NN. Způsobují pouze minimální úbytek napětí a harmonické zkreslení. Do budoucna při velkém rozvoji elektromobility mohou představovat nabíjecí stanice riziko přetížení soustavy. Aktuálně je jejich počet malý, ale je nutné výhledově se na problematiku nabíjecích stanic připravit a budovat je pouze na místech, kde je dostatečný rezervovaný příkon. Další problém může nastat při hromadné výstavbě nabíjecích stanic, kde zpětná dodávka jalového výkonu (kapacitního charakteru) do distribuční sítě NN způsobuje deformaci účiníku. Tento fakt musí být zohledněn při výstavbě nabíjecích stanic do sítě VN a v případě nutnosti musí být navrženo vhodné řešení kompenzace účiníku.

5. Rozdělení a definice nabíjení z hlediska umístění

Cílem této části je definování charakteristických nabíjecích lokalit, které jsou typickými příklady z distribuční sítě. Pro sestavení problematiky je nutné zapojit technické i sociální parametry jednotlivých míst. Zájmová území, pro která je tato analýza vyhotovena, se nachází na Vysočině ve městě Pelhřimov. Tento předpoklad je velmi důležitý, protože analýza zohledňuje místní podmínky a zvyklosti.

Aplikace charakteristických nabíjecích lokalit v místech s jinými zvyky by způsobila nerelevantní údaje, protože energetika je velmi závislá na svých odběratelích a jejich diagramech zatížení. Pro použití na jiném místě by bylo nutné přepracovat zvyklosti obyvatel na danou lokalitu.

Nejzásadnějším parametrem je pracovní doba, protože nejvíce ovlivňuje diagram zatížení v zájmových lokalitách. Podle pracovní doby jsou lidé zvyklí na svůj denní časový harmonogram. Pro všechny lokality se vychází z doby, kdy a v jakém množství se lidé pohybují na daných místech. Z toho pak dále vyplývá typ nabíjecí stanice. Pokud se například budeme zabývat nabíjením u obchodů, bude nejdůležitějším parametrem otevírací doba v kombinaci s volným časem mimo pracovní dobu.

Pro zjednodušení je počítáno pouze s jedním typem pracovní doby. Jsou vyloučeny práce ve směnných provozech z důvodu výzkumu problematické odpolední a večerní části dne. Je předpokládána standartní 8 hodinová pracovní doba. Začátek pracovní doby bude určen v rozmezí časů od 6:00 do 9:00 hodin a konec pracovní doby bude od 14:00 do17:00 hodin podle typu práce a jemu příslušnému času příchodu na pracoviště.

Předpokládá se, že budou elektromobily převážně nabíjeny v místě bydliště, kde bude uskutečněno přibližně 70 % nabíjení. Bude probíhat v domácnostech nebo na sídlištích. Zbývajících 30 % nabíjení se uskuteční na veřejných místech. Provozovatelé veřejných nabíjecích stanic se budou snažit zaujmout zákazníky především ze sektoru sídlišť, kde bude nabíjení hůře dostupné.

Největší problémy způsobené elektromobilitou budou vznikat v pracovním týdnu. Důvodem bude hromadný odchod z práce a následné nabíjení svých aut, zatímco o víkendu bude nabíjení rovnoměrněji rozprostřeno do celého dne. Zaměřím se proto v praktické části pouze na oblast pracovního týdne.

Je velmi nepravděpodobné, že by všichni lidé přijeli najednou a chtěli nabíjet, proto jsem rozdělil množství elektromobilů na části odpovídající konci pracovní doby.

Nejvíce pravděpodobný čas nabíjení je 1 hodinu po skončení pracovní doby, ve které je zahrnut čas na nákup a cestu ze zaměstnání domů.

Distribuční síť odběrných míst jsem si rozdělil na charakteristické lokality, kde mohou být nainstalovány nabíjecí stanice na nabíjení domácí, sídlištní, v zaměstnání, parkovací domy a komerce (obchody).

Každá z vyjmenovaných lokalit bude mít svoje specifické parametry, proto je nutné provést analýzu typických průběhů pro každou lokalitu zvlášť. Dále můžeme uvažovat ještě o samostatné kategorii rychlých nabíječek, protože bude odlišná od všech ostatních.

5.1.1. Nabíjení v domácnostech

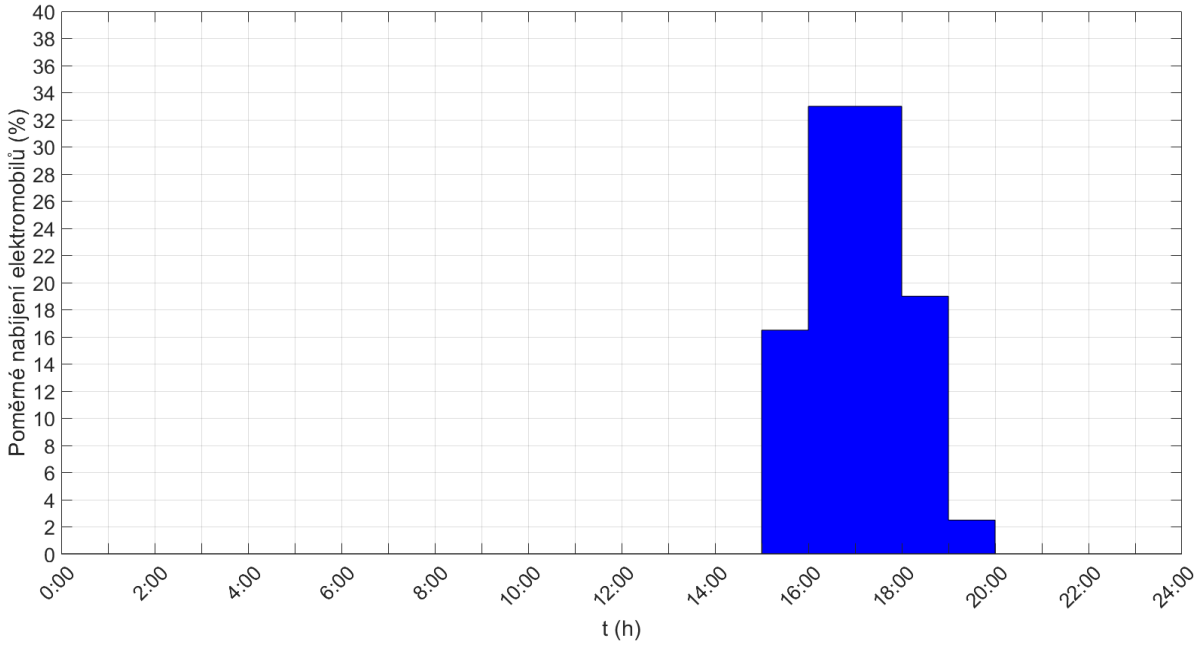
Nabíjení probíhající v této lokalitě bude prováděno pomocí 1. režimu - pomalého nabíjení. Tento způsob je časově náročný, ale při využití předpokladu každodenního nabíjení pouze vyčerpané kapacity baterie se jedná o dostatečný způsob. Každý řidič bude chtít mít vždy ráno plně nabitý a připravený elektromobil. Případně být připraven na nepřepokládané události, kdy bude muset využít automobil i večer.

Nabíjení bude probíhat v garážích nebo u rodinných domů ze stávajícího hlavního jističe. Maximální odebíraný výkon bude úměrný velikosti hlavního jističe tj. 16 nebo 25 A. V roce 2018 se jedná o jednofázové odběry, kde doba dobití baterie je v průměru 2 hodiny. Při rozšíření elektromobility v roce 2040 a rozšíření třífázových palubních nabíječek bude nabíjecí doba přibližně poloviční tzn. 1 hodina.

Harmonogram nabíjení elektromobilů v domácnostech bude realizován podle následujícího grafu. Na grafu můžeme nalézt vrchol od 16:00 do 18:00, kdy končí nabíjení prvních a přijíždí poslední velká skupina elektromobilů.

Výhody nabíjení v domácnostech jsou založené především na pohodlí domova. Po příjezdu domů dá majitel nabít svůj elektromobil a o nic se nestará. Až bude elektromobil nabitý, tak se proces nabíjení sám ukončí a ráno odpojí nabíječku a s plně nabitým autem může vyrazit do práce. Druhou velmi podstatnou výhodou je cena energie, která je nejnižší možná a závisí pouze na používaném tarifu domácnosti.

Hlavní nevýhoda tohoto způsobu nabíjení je náročnost na dimenzování sítě NN ze strany distributora. Distributor musí zajistit dodání dostatečného výkonu. Kritický okamžik bude nastávat od 16:00 do 18:00 hodin, kdy se setkají nově nabíjející s již probíhajícími nabíjeními. Čím větší počet elektromobilů bude, tím větší problémy nastanou a budou se muset řešit.



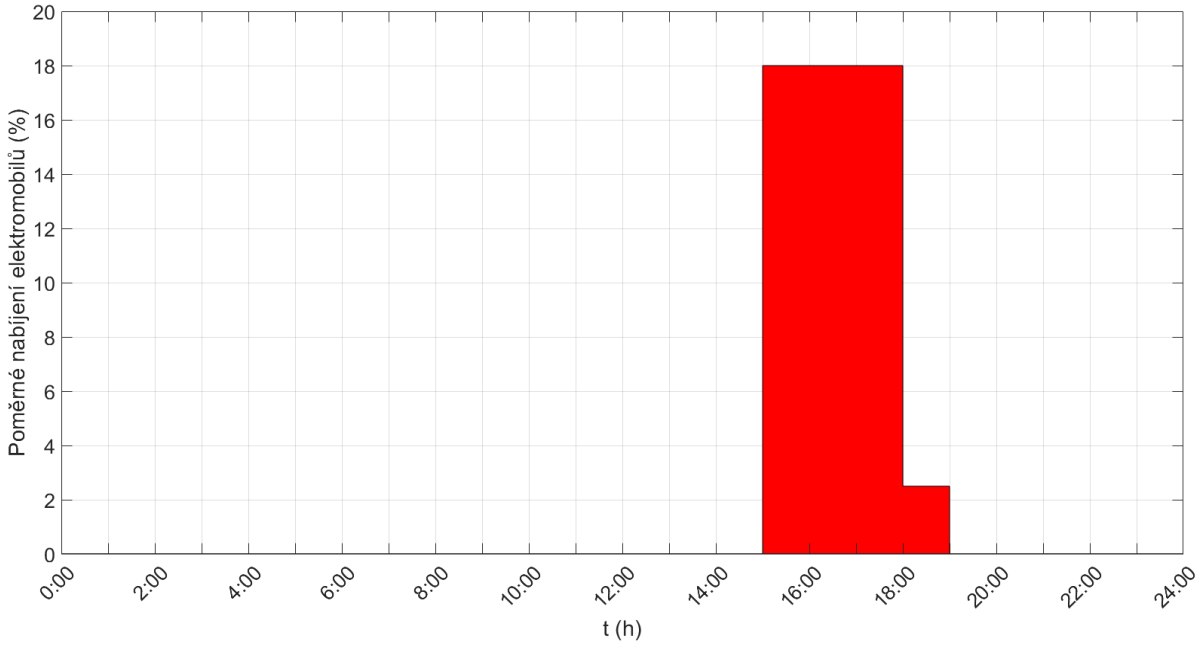
Graf 3 Nabíjení v domácnosti

5.1.2. Nabíjení na sídlištích

Typické nabíjení pro tuto lokalitu bude provedeno pomocí výkonnějších nabíjecích stanic z 2. a 3. režimu z důvodu velké koncentrace elektromobilů. Nabíjení bude v průměru probíhat každý čtvrtý den po dobu tří hodin a do roku 2040 by se mohlo snížit i pod jednu hodinu. Pokud bude člověk potřebovat nabíjet častěji, bude pravděpodobně muset čekat fronty na nabíjecí stojany, protože bude ovlivňován faktorem omezeného množství nabíjecí infrastruktury.

Nové nabíjecí stojany budou zapojovány nejpravděpodobněji do speciálně přidaných sítí, které budou patřit soukromým podnikatelům. Obyvatelé sídlišť se budou sdružovat do spolků vznikajících na sídlištích s cílem levného nabíjení pro všechny. Nutnost zřízení této sítě bude z důvodu přenosové kapacity. Dále bude sloužit pro lepší řízení sítě, neboť velký počet výkonných nabíjecích stanic bude způsobovat problémy. Na síti pro elektromobilitu budou zřizována nová odběrná místa s velkým rezervovaným příkonem. Aktuálně na parkovištích na sídlištích ještě žádné nabíjecí stojany nestojí. Do budoucna budou nejprve instalovány třífázové nabíjecí stanice s hlavním jističem 32 A z důvodu ceny. Později budou nahrazeny třífázovými systémy s hlavním jističem o velikosti 63 A.

Harmonogram nabíjení elektromobilů na sídlištích bude vypadat přibližně podle následujícího grafu, který bude podobný jako u nabíjení v domácnostech. Bude rozdílný typem vyššího výkonu a kratší dobou nabíjení. Na grafu můžeme vidět konstantní úsek od 15:00 do 18:00, kdy se střídají při nabíjení elektromobily jeden za druhým.



Graf 4 Nabíjení na sídlištích

Tento typ nabíjení nemá moc výhod, ale pro obyvatele sídlišť nebude jiná možnost, jak nabíjet svá auta. Mezi největší problémy zde patří hlavně malý a omezený počet stojanů, nabíjení pouze velkými výkony a v neposlední řadě i vyšší cena za kWh. V případě provozu sítě soukromým vlastníkem je cílem vlastníka dosáhnout zisku.

Z pohledu energetiků provozujících distribuční sítě budou vznikat v lokalitách sídlišť problémy se zajištěním dodávky požadovaného výkonu. Pokud dojde k souběhu většího počtu nabíjecích stanic velkých výkonů, bude nereálné všechny zákazníky najednou obsloužit.

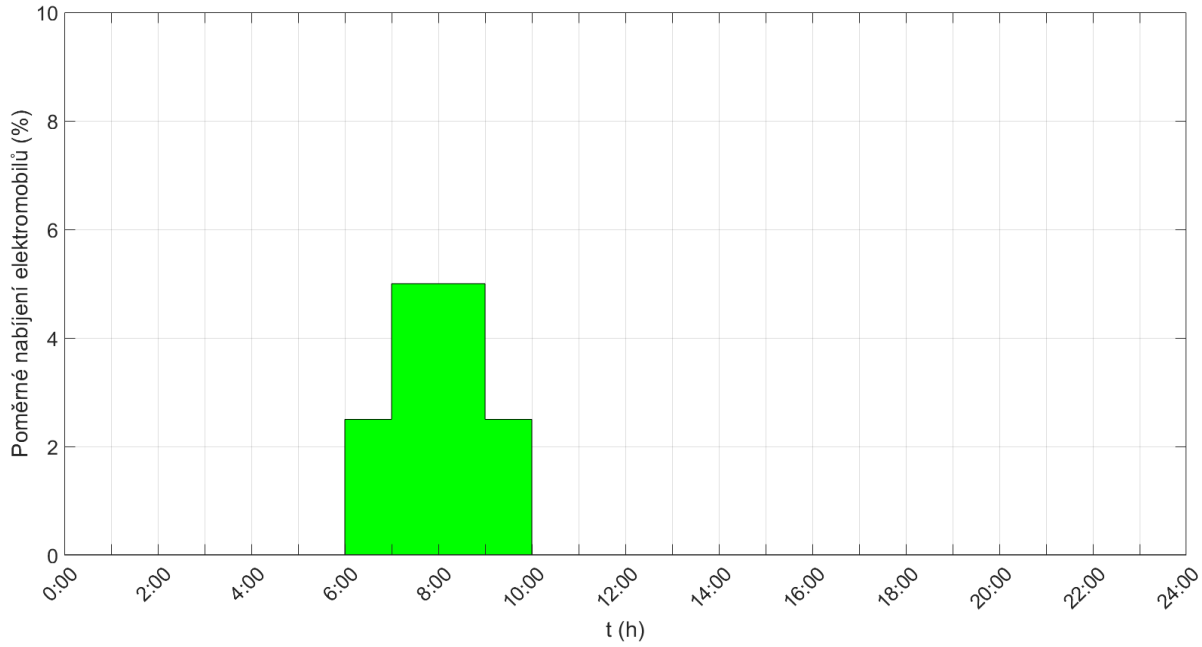
5.1.3. Nabíjení v zaměstnání

Nabíjení v zaměstnání bude realizováno pomocí 1. režimu. Dostatečný nabíjecí výkon poskytnou stanice pomalého způsobu nabíjení, protože v zaměstnání lidé stráví v průměru kolem osmi hodin. Nabíjení baterií bude probíhat denně, a proto bude trvat kratší dobu.

Nabíjecí stojany budou nainstalovány na parkovištích u firem ze stávajících hlavních jističů případně z rezervovaného výkonu na hladině VN. Maximální odebíraný výkon bude úměrný jednofázovému jističi o velikosti 16 A a do budoucna se přemění s rozvojem třífázových palubních nabíječek na třífázové odběry o stejné hodnotě hlavního jističe. Nabíjecí doba se poté sníží z aktuálních 2 hodin přibližně na poloviční dobu.

Velmi důležitým parametrem bude cena, za kterou zaměstnavatelé a zaměstnanci budou nabíjet. Pokud budou ceny zajímavé, je pravděpodobné, že lidé budou

soukromé elektromobily nabíjet raději v zaměstnání, než na sídlištích, v parkovacích domech a obchodech. V extrémním případě při státním dotování nabíjení u zaměstnavatelů by došlo k zmenšení kritického výkonového vrcholu u lokalit domácností a sídlišť. Velký problém distributorů by byl zmírněn, ale dopoledne by se zvýšilo zatížení sítě.



Graf 5 Nabíjení v zaměstnání

Výhody nabíjení v zaměstnání budou výrazně menší než u domácností. Základní výhodou pro vlastníky elektromobilů bude připojení na stojan před firmou, kdy dojde k nabití akumulátoru za pracovní dobu. Zajímavou motivací může být i zvýhodněná cena od firmy za nabitou kWh. V případě problémů v síti by tento způsob mohl být zvýhodněn, protože pro energetiky by snížení špičky vzniklé nabíjením elektromobilů v přelomu odpoledne a večera bylo velmi výhodné.

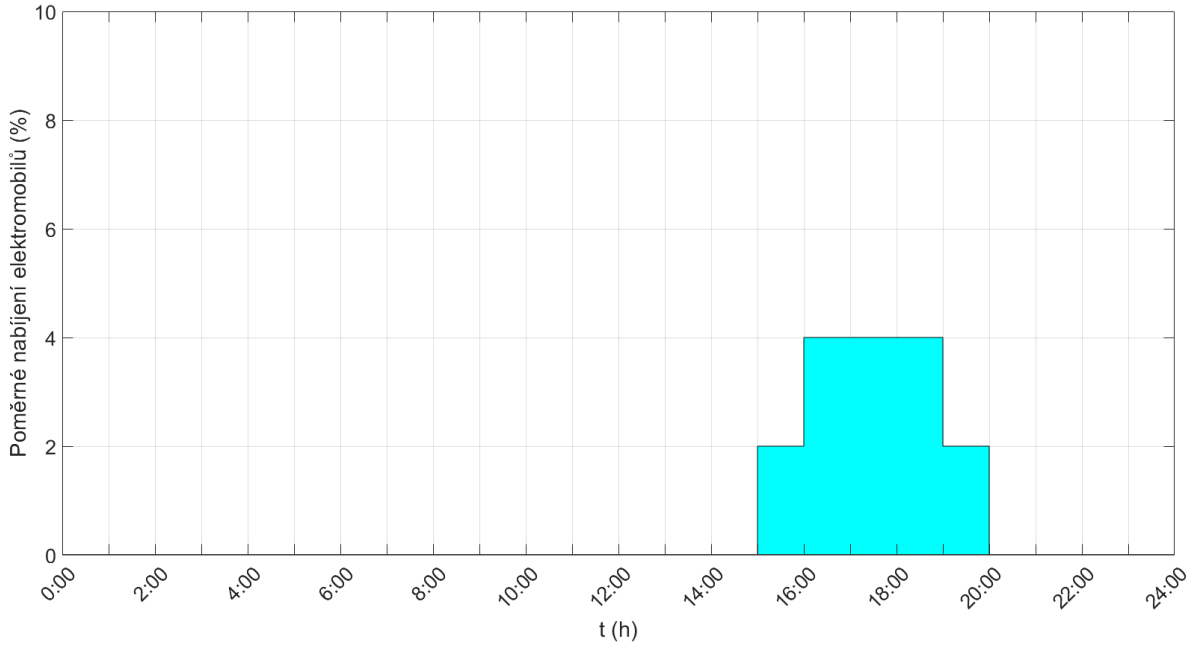
5.1.4. Nabíjení v parkovacích domech

Typické nabíjení využité v lokalitě parkovacích domů bude provedeno nabíjecími stanicemi z 2., 3. a případně 4. režimu. V parkovacích domech bude menší množství elektromobilů, které budou moci být nabíjeny po delší dobu nebo naopak budou požadovat nabití za co nejkratší čas. Nabíjení bude probíhat přibližně každý den po dobu 2 hodin s výhledem výrazného zkrácení do roku 2040, kdy by se jednalo o dobu jedné hodiny. V případě použití stejnosměrných nabíjecích stanic bude nabíjení méně časté a bude trvat do jedné hodiny. Opět dojde k problému omezeného množství nabíjecích stojanů, které způsobí v době největšího zájmu fronty na nabíjení. Pokud lidé budou chtít používat

svůj elektromobil více, než je průměr, tak dojde k výraznému nárůstu doby čekání na nabíjecí stanice. Situace bude ale lepší než v případě sídlišť.

V Pelhřimově existují pouze parkovací domy v režimu umístění automobilů přes noc. Ve větších městech by se častěji objevovaly parkovací domy zaměřené hlavně na provoz podle pracovní doby firem z okolí. Jejich umístění je poblíž center, kde budou přebírat funkci nabíjení z firem. Průběh a typ by byl stejný jako u nabíjení v zaměstnání. Hlavním důvodem existence parkovacích domů v centrech je efektivní využití prostoru v lokalitách, kde velmi chybí parkovací místa a není možné vytvořit nová z důvodu obsazení ostatních ploch.

Harmonogram nabíjení elektromobilů v parkovacích domech bude probíhat přibližně podle následujícího grafu Graf 6 Nabíjení v parkovacích domech. Na grafu opět vidíme dvouhodinový nabíjecí cyklus, kdy se setkávají již nabíjející a nově přijíždějící majitelé elektromobilů.



Graf 6 Nabíjení v parkovacích domech

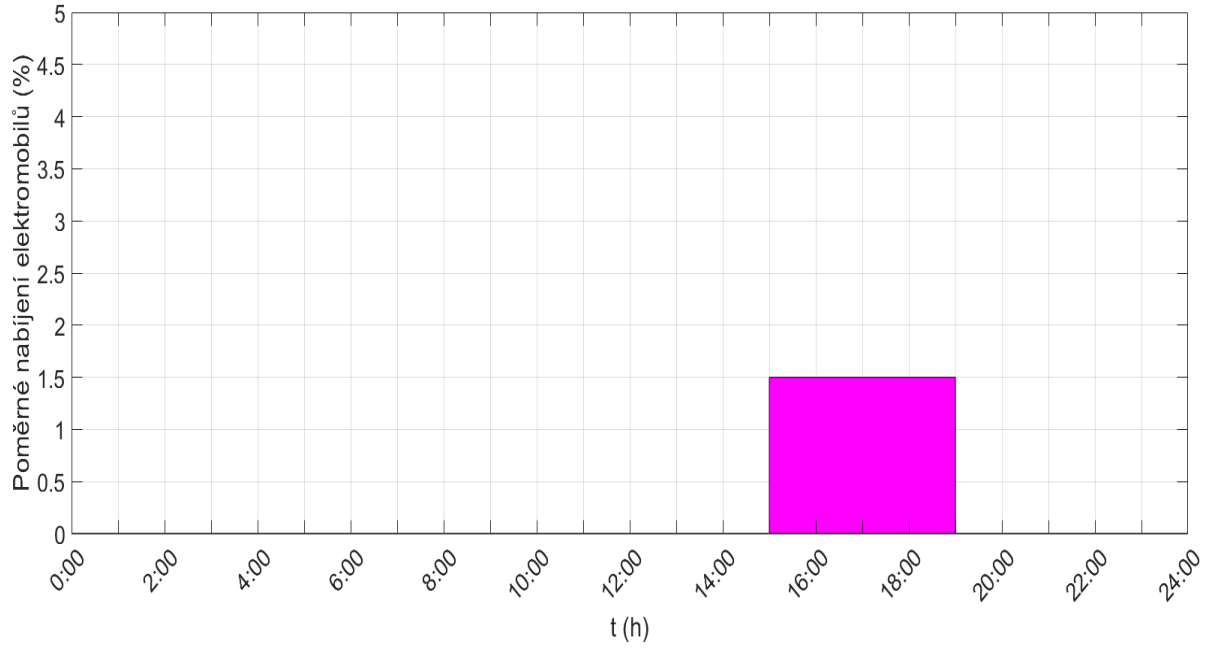
Největším problémem budou nutné úpravy stávajících přípojek a s nimi související rezervované příkony parkovacích domů. Dnes je rezervovaný příkon parkovacích domů velmi malý, protože většina používá elektrickou energii pouze na osvětlení. Rozšíření elektromobility by vedlo k nárůstu požadovaného příkonu, na který zde nikdo nebude připravený. Většině parkovacích domů by se vyplatil přechod z NN na hladinu VN. Majitel by vybudoval svoji distribuční trafostanici s novými rozvody NN pro vlastní výstavbu nabíjecích stanic.

Budou provozovány nabíjecí stanice jednofázové s jističem 16 A, který nyní vychází finančně nejvýhodněji. Do budoucna by došlo k výměně za třífázové systémy s jističem o velikosti 32 A. V případě VN zákazníků by se jednalo o výkony úměrné uvedeným jističům.

Uložení automobilů v parkovacích domech bude mít výhodu hlavně v případě prosazení elektromobility, kdy vlastníci parkovacích míst budou mít přidělený počet nabíjecích míst. Typickým vlastníkem parkovacího místa bude obyvatel sídliště, kde budou nejvíce vznikat nové parkovací domy.

5.1.5. Nabíjení u obchodů

Parkoviště ležící u obchodních domů a obchodů budou do budoucna jedním z nejzajímavějších míst pro umístění nabíjecích stojanů. Instalovány budou nabíjecí stojany z 2., 3. a 4. režimu, které zajišťují vyšší nabíjecí výkony a jim úměrně kratší nabíjecí časy. Základní myšlenka bude založena na předpokládané době nákupu v obchodě. Většina nakupujících efektivně využije čas nabíjení, který stráví nakupováním. Množství nabíjecích stanic na přilehlých parkovištích u obchodů bude omezené, proto budou zajímavou alternativou hlavně pro lidi bydlící na sídlištích.



Graf 7 Nabíjení u obchodů

Harmonogram nabíjení elektromobilů u obchodů bude probíhat podle předchozího grafu. Nabíjení bude charakteristické vyššími výkony a krátkou dobou. Převážně bude probíhat v odpolední špičce, podle ukončení pracovní doby.

Typické nabíjení bude realizováno stejnosměrnými nabíjecími stanicemi s hodnotou výkonu 50 kW, které bude případně později nahrazeno výkonnějšími systémy. Provozovatelé obchodních center a větších obchodů by neměli mít problémy, protože již nyní většina funguje v režimu velkoodběru a je připojena na hladině VN. V praxi budou obchody navyšovat svoje stávající odběry elektrické energie a vyjednávat výhodnější ceny.

Nejdůležitějším faktorem úspěchu nabíjení v těchto lokalitách bude snaha přilákat zákazníky obchodních center a obchodů, aby nakoupili právě u nich. Pokud majitelé obchodů přijdou se zajímavým obchodním plánem, určitě pak budou nabíjecí stanice obsazeny. Například by se mohlo jednat o poskytnutí výhody za nákup ve formě nabití elektromobilu zdarma. Pokud nebude nabíjení zvýhodněno, nedojde k jeho rozšíření.

5.1.6. Nabíjení u rychlonabíjecích stanic

Typické rychlonabíjení bude provedeno pomocí nejrychlejších DC nabíjecích stanic ze 4. režimu, doplněných o nejvýkonnější AC nabíjení z 3. režimu. Jejich počet bude omezený, protože realizace není možná všude a pořizovací náklady jsou vysoké. Umístění bude situováno kolem hlavních silničních tahů, kde bude velká koncentrace elektromobilů. Použití nejvýkonnějších technologií zajistí nejnižší nabíjecí časy, které budou při cestování na delší vzdálenosti stěžejní.

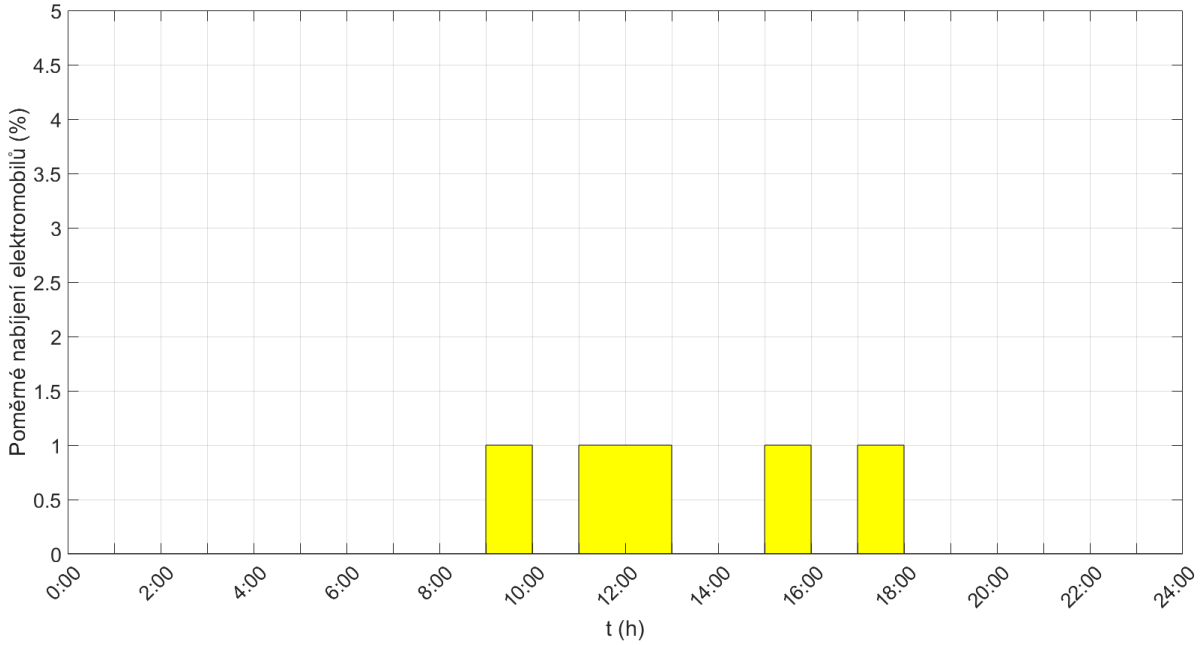
Problematika připojování rychlonabíjecích stojanů v České republice zatím není podrobně řešena, protože jsou instalovány hlavně stanice s nižšími výkony. Projekty na nejvýkonnější stanice a velká nabíjecí centra jsou vypracovávány individuálně přesně pro zájmovou lokalitu.

Provoz rychlých nabíjecích stanic je náročný na dimenzování v místě připojení, jak z hlediska impedance sítě/zkratového výkonu, tak z hlediska rezervovaného výkonu. Většinou se jedná o VN vývody pouze pro nabíjecí stanice.

Jedno z největších nabíjecích center ve střední Evropě je provozováno u dálnice D1 na exitu 89 Humpolec. Nachází se zde nabíjecí stanice společnosti E.ON, která je osazena šesti stojany Tesla Supercharger, čtyřmi rychlonabíjecími stojany a dvojicí nabíjecích sloupků pro střídavé nabíjení.

Typické nabíjení je realizováno stejnosměrnými stanicemi o výkonu 50 kW nebo případně výkonnějšími systémy. Celkové výkony se pak pohybují ve stovkách kW. Problematice připojení rychlonabíjecí stanice se budu více věnovat v praktické části, kde provedu vyhodnocení připojení nových stejnosměrných nabíjecích stanic do distribuční sítě.

Harmonogram nabíjení elektromobilů u rychlonabíjecích stanic bude proměnlivý, ale v průměru bude probíhat převážně podle následujícího grafu. Na průběhu se budou objevovat úseky v přibližně půlhodinových intervalech.



Graf 8 Nabíjení u rychlonabíjecích stanic

Hlavní výhodou rychlonabíjení je velmi krátká doba nabíjení. Jedná se o nejefektivnější možnost nabíjení, která dodá do elektromobilu nejvíce energie za čas. Nevýhodou je vyšší namáhání baterie, které může více snižovat její životnost.

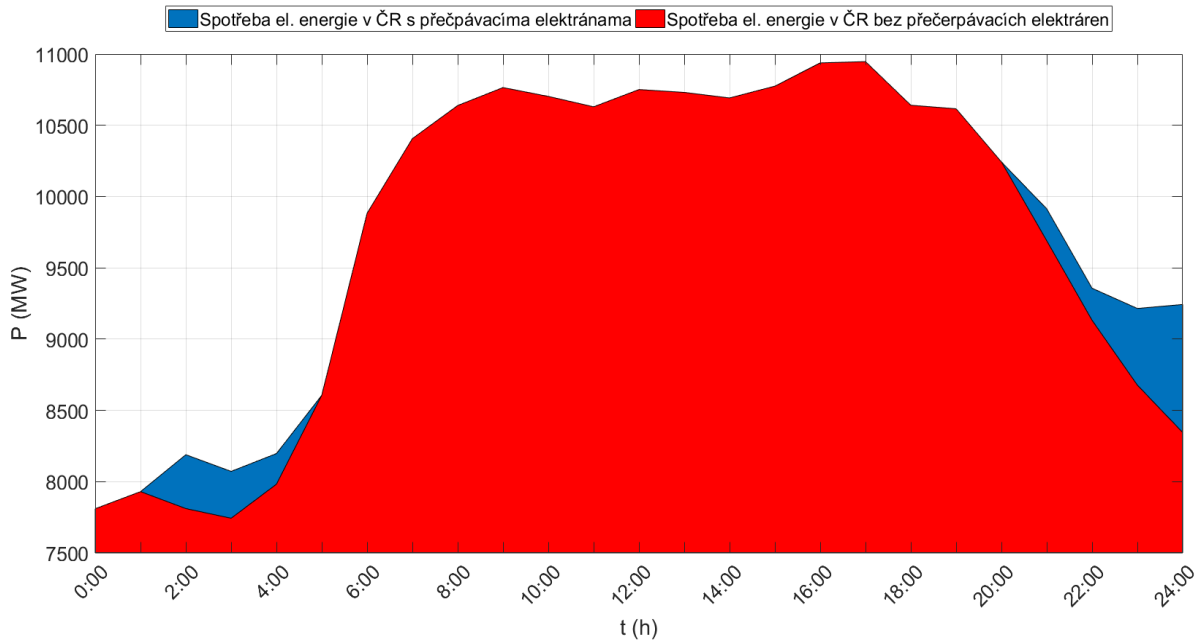
5.2. Možností kombinace typů nabíjení

Základním parametrem pro sestavování možných kombinací typů nabíjení je denní diagram zatížení v České republice, který graficky zobrazuje požadavky odběratelů elektrické energie v čase. Aktuální denní diagram zatížení je dostupný na stránkách firmy ČEPS a. s. [27]

Denní diagram je vykreslen pro datum 22. 11. 2018. Teplota během dne se pohybovala mezi 2 až 3°C. [28] Teplota má zásadní vliv na spotřebu elektrické energie, protože mnoho lidí používá elektrické topení.

Červená plocha ukazuje spotřebu elektrické energie v České republice bez započtení spotřeby přečerpávacích elektráren. Modré plochy zobrazují spotřebu přečerpávacích elektráren pracujících převážně v nočních hodinách. Způsobují spotřebu přes noc, kdy je přebytek elektrické energie, a ve dne pomáhají ke stabilizaci rychlých výkonových špiček.

Graf má klasický průběh, kdy ráno přibližně ve 4:00 dochází ke strmému nárůstu spotřeby trvající do 9:00 hodin. V tento okamžik dochází k dopolednímu maximu, které se drží přibližně konstantní do 15:00 hodin. Spotřeba elektrické energie v domácnostech pomalu začíná růst a okolo 16:00 hodiny dosahuje svého denního maxima, které trvá do 17:00 hodin. Velmi často dochází k poklesu denního maxima zatížením až kolem 18:00 hodin. Od této chvíle pak spotřeba klesá do půlnoci, kde má svoje denní minimum.



Graf 9 Diagram zatížení ČR

Pro sestavení možných kombinací typů nabíjení je zásadní, jestli nárůst vyvolaný elektromobilitou je ve špičce denního diagramu zatížení. Kritický úsek bude od 15:00 do 18:00, kdy většina majitelů elektromobilů bude chtít nabíjet. Kombinace typových nabíjení tento problém ještě vystupňují.

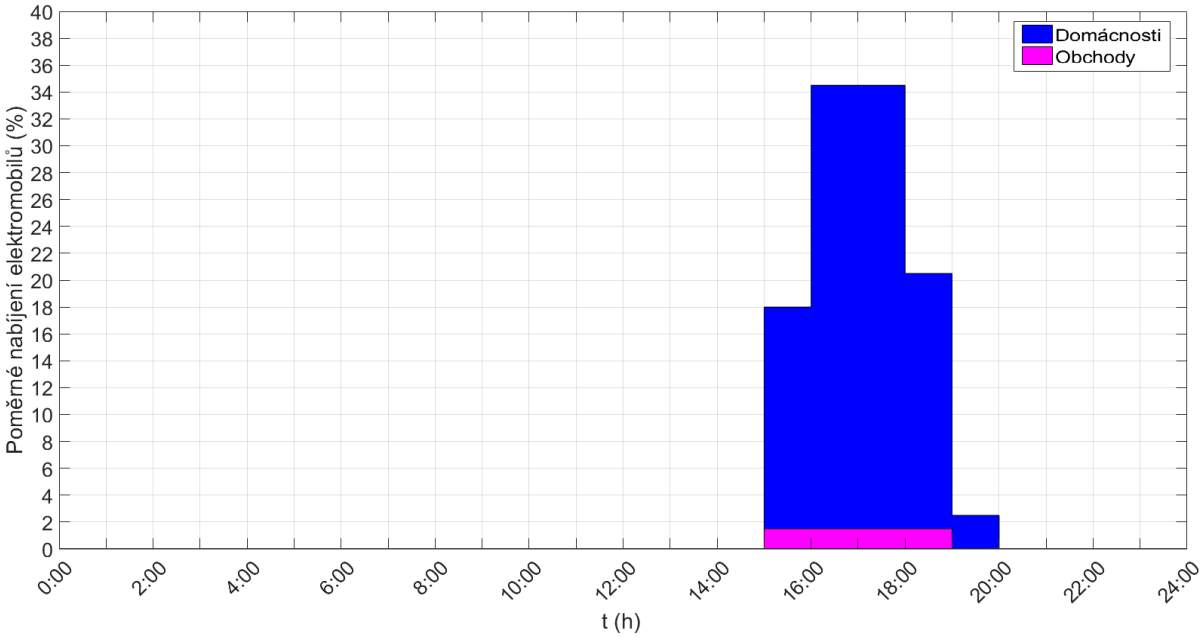
Zbývající nabíjení, která by měla probíhat v dopoledních nebo odpoledních hodinách, nabíjení budou odložena na noční hodiny a tím budou pomáhat při provozu sítí. V nočních hodinách bude velké množství volné energie a dostatek přenosové kapacity vedení. Ještě se musí počítat s malým množstvím rychlonabíjecích stanic, které budou mít vliv nahodile po celý den na danou distribuční trafostanici.

Nejdůležitější budou lokality, kde bude probíhat většina soukromého nabíjení elektrických automobilů. Podle předpokladů by se mělo jednat přibližně o 70 % nabíjení. Základní rozdělení bude mezi dvě lokality, které se navzájem vylučují. Obě místa jsou specifická a liší se typy nabíjení. Nabíjení v domácnostech bude svým charakterem spíše

pomalé s malým výkonem a bude probíhat každý den. Zatímco nabíjení na sídlištích bude rychlejší pomocí výkonnějších systémů a zákazníci budou nabíjet přibližně jednou za 4 dny.

5.2.1. Možnosti kombinace typu nabíjení v rezidentních lokalitách

V lokalitách rodinných domů je z výše uvedených typů nabíjení pravděpodobné pouze nabíjení u obchodů. Tento způsob bude méně častý, ale ve starších zástavbách bývají středně veliké obchody, které se zaměřují na místní obyvatele a mohly by realizovat tuto možnost.



Graf 10 Kombinace nabíjení v rezidentních lokalitách

Kombinace nabíjení u obchodů a v domácnostech by měla svoji výkonovou špičku v problematické části dne, kde podle stáří stávající distribuční sítě se budou objevovat rozdílné výkonové rezervy. Při vysokém scénáři elektromobility pravděpodobně stávající síť nebude schopna přenést požadované výkony.

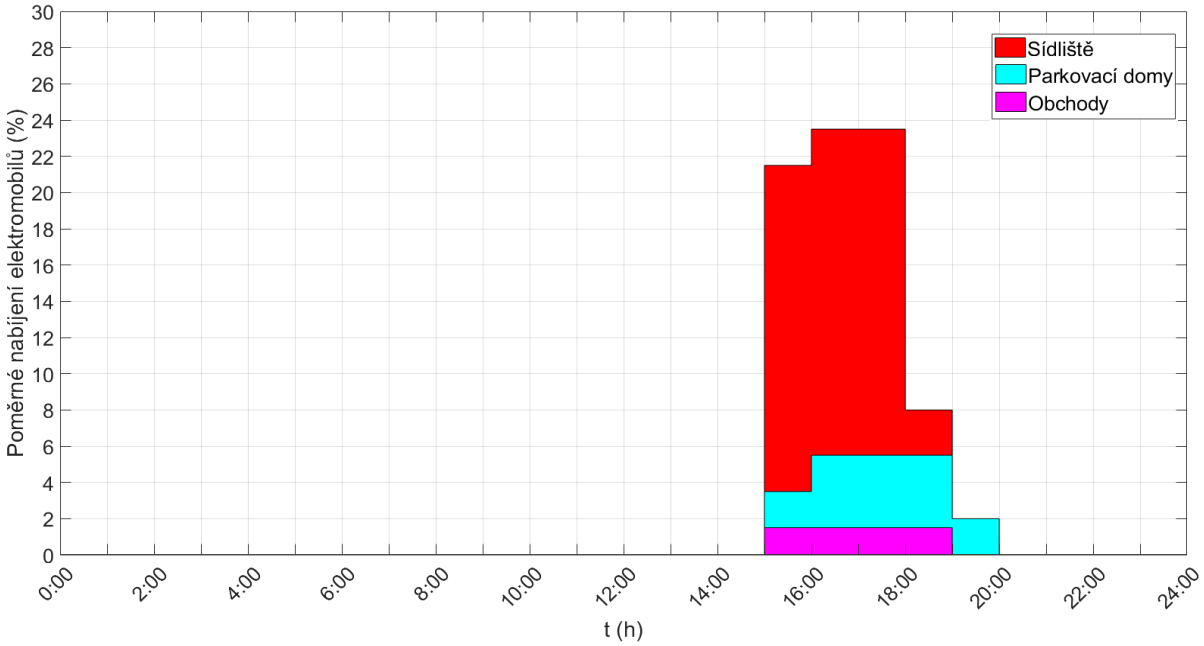
5.2.2. Možnosti kombinací typu nabíjení v lokalitách sídlišť

Nejzajímavější z hlediska možných kombinací a zároveň nejproblematičtější budou lokality sídlišť. Objeví se zde nabíjecí stanice na ulicích sídlišť, nabíjení v parkovacích domech a u větších obchodů.

Velké množství elektromobilů nabíjecích se ve stejný čas bude potřebovat přenést po stávajících sítích obrovské výkony, čehož nebude distribuční síť schopna. Výkonový vrchol této kombinace bude nastávat v problematické části dne a bude muset být omezován.

Stávající technologie si neumí poradit s tímto problémem. Proto jsou aktuálně naistalovány nabíjecí stanice pouze tam, kde je zajištěn bezproblémový chod. Pokud dojde

k výraznějšímu rozvoji elektromobility, budou muset nové technologie zásadním způsobem omezovat zákazníky. Cíl bude maximálně efektivně provozovat síť bez krizových situací.



Graf 11 Kombinace typů nabíjení v lokalitách sídlišť

5.3. Problematika nabíjení na hladině VN

Do problematiky nabíjecích stanic na hladině VN budou zařazeny firmy, nákupní centra a velké parkovací domy, kde většina zákazníků bude mít vlastní distribuční trafostanice. Ve výjimečných případech se objeví zákazníci, kteří si budou rezervovaný výkon kupovat od soukromých subjektů. Z hlediska dopadů na provoz sítí NN nebudou distributoři řešit soukromé instalace a v nich vzniklé problémy.

Chování nabíjecích stanic připojených do napěťové hladiny VN nebude mít tak veliký vliv jako odběry provozované na úrovni distribuční sítě. Napěťové hladiny VN se vyznačují vyšším zkratovým výkonem a z něj vyplývající stabilní hodnoty napětí. Dalším důležitým parametrem bude dostatečný výkon v síti VN.

Na hladině NN není soudobost řešena, zde reálně hrozí soudobost 1. Na hladině VN již bude k soudobosti nabíjení docházet, instalovaný výkon bude vyšší a bude potřeba s ní při uvažování zatížení počítat. Bude zde připojeno až několik stovek elektromobilů současně, a proto je nutno s tímto parametrem pracovat při dispečerském řízení sítě.

6. Definice předpokladů pro sestavení vyhodnocovacího modelu

Nejprve je nutné stanovit výchozí předpoklady pro sestavení výpočetního modelu. Výchozí data pro praktickou část pochází z reálných sítí provozovaných společností E.ON Distribuce a. s. umístěné ve městě Pelhřimov, které se nachází v kraji Vysočina. Vybrané sítě jsou typickými příklady možných míst, kde se předpokládá rozvoj elektromobility. Cílem tohoto bodu je sestavení výpočetního modelu, podle kterého bude simulováno rozmisťování nabíjecích stanic ve vybraných lokalitách.

Výpočetní model neřeší prostorové rozložení nabíjecích stojanů ani v jedné řešené lokalitě. V simulačním programu E-vlivy model pracuje pouze s aktuálními údaji o odběrných místech (velikost hlavního jističe, distribuční sazba) a stávajícím stavem sítě (velikost transformátoru, délky a průřezy kabelů, schéma provozu sítě).

Základní údaje vstupující do modelu jsou použity ze statistiky uvádějící předpokládaný počet osobních automobilů a počet odběrných míst v roce 2019 na území České republiky.

6.1.1. Odběrná místa

Množství odběrných míst je veřejně uvedeno ve statistice na stránkách Energetického regulačního úřadu v dokumentu Roční zpráva o provozu ES ČR. Aktuálně je zpracován pouze dokument za rok 2017. [29] Výsledky za rok 2018 budou prezentovány v I. pololetí roku 2019.

Vývoj počtu odběrných míst má rostoucí charakter. Například v roce 2017 přibylo nových 40 390 odběrných míst. V procentuálním vyjádření je nárůst 0,681 % na celkový počet 5 966 605 odběrných míst. Pro další postup bylo zvoleno jako výchozí počet 6 milionů odběrných míst.

Razantní navýšení počtu odběrných míst z důvodu rozvoje nabíjecích stanic není pravděpodobné. Nyní poplatek za provoz odběrného místa není zrovna malý a dále, pokud se elektromobilita rozšíří, tak poplatek jistě bude růst, nebo se změní celý systém platby za odběr elektrické energie.

Situace odběrných míst bude stejná ve většině případů s výjimkou lokalit, kde budou nainstalovány výkonnější technologie. Lze předpokládat, že soukromí provozovatelé nebo případně bytová družstva budou mít zájem provozovat nabíjecí infrastrukturu na sídlištích a přilehlých parkovištích. Za tímto účelem budou zřizována nová odběrná místa. Dále je předpokládáno, že ostatní způsoby nabíjení (domácí, pracovní, v parkovacích domech nebo obchodech) budou založeny pouze na navyšování hlavního jističe, případně

využívání současného rezervovaného příkonu na maximum. Tento přístup je pro stávající odběratele mnohem ekonomicky výhodnější.

6.1.2. Počet osobních automobilů

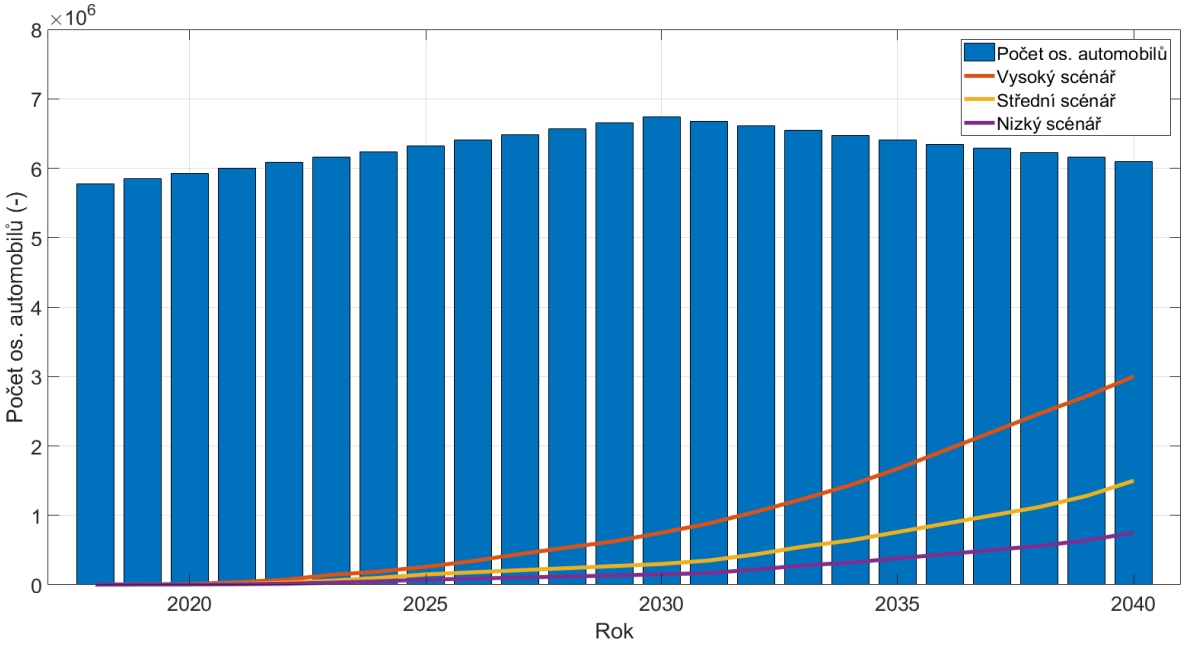
Druhým předpokladem je počet osobních automobilů v blízké budoucnosti, který by mohl dosáhnout 6 milionů. Statistiky o těchto automobilech jsou dostupné na internetových stránkách Svazu dovozců automobilů. [30] Pro simulování počtu osobních automobilů jsem provedl analýzu ročního růstu, který v posledních letech přesahuje 4 %, ale jinak dlouhodobě je v průměru nad hodnotou 3 %. Toto číslo je velmi dobré hlavně pro český HDP, ale do budoucna tento růst není udržitelný.

V horizontu let 2019 až 2040 je více než pravděpodobné, že dojde alespoň jednou ke světové krizi, která velmi ovlivní danou dekádu po stránce ekonomické a zpomalí technologický vývoj v průmyslu. Proto je použit roční nárůst automobilů pouze 1,3 % do roku 2030 následovaný 1% poklesem do roku 2040. Dále je v tomto čísle zohledněn předpoklad, že legislativní předpisy a normy Evropské unie způsobí globální zdražení výrobků v automobilovém průmyslu a zhorší se tak dostupnost osobních automobilů. V následující tabulce jsou vypsány důležité roky, ve kterých později budu predikovat vývoj elektromobility v různých scénářích.

Další faktor, který výrazně ovlivní vývoj automobilového průmyslu, bude stáří osobních automobilů v České republice. Po zavedení různých omezení budou občané donuceni vyměnit své osobní automobily za novější s vyšší certifikací EURO. Certifikace je daná s uvedením modelu na trh. Pokud tedy v České republice je stáří osobních automobilů rok od roku vyšší a již brzy dosáhne hodnoty 15 let, pak vyprodukované emise jsou výrazně vyšší než u nových moderních automobilů. Tato skutečnost není vůbec příjemná, ale podtrhuje fakt, že nové osobní automobily jsou pro občany ČR drahé, až nedostupné a příchod elektromobilů to nebude mít jednoduché. Nákup nebo výměna automobilu je většinou realizována po autobazarech, kde jsou osobní automobily starší a zároveň výrazně levnější. [30] Proto doba, něž se elektromobily jako starší ojetá vozidla rozšíří mezi všechny lidi, bude o několik let zpožděná.

Vytvořený Graf 12 Vývoj počtu osobních automobilů v ČR přibližně odpovídá výsledkům ze studie Predikce elektromobility v ČR. [33] Důležitý je průběh grafu, který zobrazuje růst počtu osobních automobilů do roku 2030. V tomto roce bude trh osobních automobilů nasycen a v letech následujících bude počet osobních automobilů pomalu klesat.

Pro přehlednost je Graf 12 Vývoj počtu osobních automobilů v ČR doplněn o znázornění scénářů vytvořených v kapitole 6.1.4 Scénáře rozšíření elektromobilů.



Graf 12 Vývoj počtu osobních automobilů v ČR

6.1.3. Sestavení algoritmu výběru odběratelů

Dalším úkolem, bylo propojit počet odběrných míst v distribučních sítích s počtem automobilů. Hodnoty počtu automobilů a počet odběrných míst se rovnají. Vychází tak poměr 1 osobní automobil na 1 odběrné místo v roce 2019. Z poměru jsou jako hlavní výchozí veličiny vybrána odběrná místa, kam budou umisťovány nabíjecí stanice. Vznikl algoritmus založený na počtu odběrných míst a k němu přiřazené počty automobilů. Na vytvořený model jsem později aplikoval tři typy odhadovaných průběhů elektromobility v jednotlivých zvolených letech.

6.1.4. Scénáře rozšíření elektromobilů

Pro simulaci nabíjení je použit vytvořený algoritmus výběru odběratelů elektrické energie pracující s propojením odběrných míst a počtem osobních automobilů. Stanovením a dosazením čísel za každé x-té odběrné místo do algoritmu jsem získal počet elektromobilů v České republice ve vybraných letech. Dále je zde uvedeno vypočítané procentuální zastoupení elektrických vozidel v dopravě.

Pro vyhodnocování jednotlivých scénářů elektromobility jsou vybrány 4 roky, které jsou považovány za důležité. První je rok 2018, protože popisuje současný stav. Druhým významným datem bude rok 2020, který je považován za blízkou budoucnost.

Dalším v pořadí bude rok 2030, kde se jedná o predikci na středně dlouhý horizont. Poslední bude rok 2040, který je považován jako velmi vzdálený pro predikci elektromobility.

Je třeba zdůraznit, že stanovené varianty jsou pouze předpokládané, protože nelze spolehlivě určit počet elektromobilů v budoucnosti. Reálné počty elektromobilů budou záviset na legislativě, podpoře nových technologií, nabíjecí infrastruktuře, ceně elektrického automobilu a ceně elektrické energie pro nabíjení.

Uvedu vzorový příklad pro střední scénář v roce 2040 tj. variantu V4, která vychází z následující tabulky Tabulka 4 Scénáře rozvoje elektromobility. Každý čtvrtý odběratel elektrické energie (V4) bude vlastnit elektrické vozidlo. Elektromobilů bude v České republice 1 500 000 kusů tj. v procentuálním vyjádření 24,90 %.

Rok	**Nízký scénář**			**Střední scénář**			**Vysoký scénář**		
	Varianta	Počet EV	% z o.a.	Varianta	Počet EV	% z o.a.	Varianta	Počet EV	% z o.a.
2018		1800	0,03		1800	0,03		1800	0,03
2020	V1200	5000	0,09	V800	7500	0,13	V600	10000	0,17
2030	V40	150000	2,25	V20	300000	4,50	V8	750000	11,26
2040	V8	750000	12,45	V4	1500000	24,90	V2	3000000	49,80

Tabulka 4 Scénáře rozvoje elektromobility

Nízký scénář elektromobility

Nízký scénář popisuje postupný rozvoj elektromobility podobný dnešnímu stavu. Meziročně roste počet prodaných elektrických automobilů, kdy se postupně dostavuje a rozšiřuje veřejná nabíjecí síť napříč celou Českou republikou.

Elektromobilita bude podpořena dotacemi převážně na vybudování sítě nabíjecích stanic. Výrobci elektrických vozidel a technologií pro nabíjecí infrastrukturu postupně osloví svojí nabídkou čím dál více zákazníků.

Základní nabíjecí infrastruktura si s malým počtem elektrických automobilů poradí bez problémů, protože většina majitelů bude vlastnit rodinný dům s garáží. Občasné využití veřejné stanice pak nebude způsobovat problémy.

Střední scénář elektromobility

Kompromisem mezi nízkým a vysokým scénářem je právě střední scénář. Rozvoj elektromobility pro tento scénář bude dotován jak na straně výstavby nabíjecí infrastruktury, tak při pořízení nového elektrického vozidla. Forma podpory bude vhodně zvolena tak, aby motivovala potencionální zákazníky a zároveň nebyla přehnaná.

Velmi rozhodující bude postoj a nátlak Evropské unie k automobilovému průmyslu týkající se redukce skleníkových plynů. Možná některé země zjistí, že provoz elektrických automobilů není čistý a už vůbec ne bezemisní, pokud je bude pohánět elektrická energie vyráběná v uhelných elektrárnách. Nedojde tak k žádnému pokroku z hlediska životního prostředí a možná se bude jednat o krok zpět.

Cena elektrických vozidel bude klesat a čím dál víc, se přibližovat ceně klasických automobilů. Kolem roku 2030 by obě technologie mohly být stejně investičně náročné při koupi nového automobilu ve stejné výbavě. V tomto okamžiku pak půjde pouze o porovnání provozních nákladů, kde by mohl dominovat automobil na elektrický pohon.

Vysoký scénář elektromobility

Vysoký scénář je založen na obrovském úspěchu elektromobility jako technologie. Samotný rozvoj by musel být podporován z dotačních programů, kde by elektrická vozidla získala velká cenová zvýhodnění a konvenční automobily by byly znevýhodněny formou daní při koupi a provozu (zvýšení daně z pohonných hmot).

Při vysokém scénáři jsou počty elektrických vozidel tak obrovské, že nabíjecí stanice by musely být „téměř všude“. To ovšem není technicky ani ekonomicky zvládnutelné. Důvodů je více, ale největší problém by nastal při výrobě a přenosu výkonu pro nabíjení elektromobilů po stávajících vedeních.

Nová výstavba kabelových vedení by byla velmi problematická z důvodu, že sítě nebudou odepsané a distributoři je nebudou chtít vyměnit. Dalším velkým problémem by bylo projednání nových sítí a umístění do již obsazených tras technické infrastruktury.

Stav, kdy se počet elektromobilů bude blížit vysokému scénáři by neměl nastat z výše uvedených důvodů týkajících se nabíjecí infrastruktury provozované v distribučních sítí NN.

Podle dosavadního stavu vybudované infrastruktury pro elektrická vozidla, která je zatím pouze ve fázi rozvoje, se předpokládá vývoj elektromobility někde mezi nízkým a středním scénářem. Velkou roli v České republice bude hrát cenová politika výrobců a legislativní omezení. Pokud ale v sousedním Německu dojde k revolučnímu přechodu z konvenčních automobilů na elektromobily, hrozí, že se Česko stane „skládkou starších automobilů“. V tomto případě by se rozšíření elektromobility opět posunulo.

6.1.5. Řízení nabíjecího výkonu

Hodnota nabíjecího výkonu bude záležet na množství elektromobilů, se kterými si distributoři budou muset poradit. Trh ovlivní i legislativní omezení pomocí řídící elektroniky a softwaru, který bude nainstalován v nabíjecích stanicích. Velmi zde bude

záležet na typu sítě, který bude charakteristický svým způsobem nabíjení. Je pravděpodobné, že nastane jeden ze tří scénářů podle omezení odebíraného výkonu.

První scénář bude benevolentní ze strany distribučních sítí a nebude omezovat nabíjení elektromobilů. Tato varianta je možná pouze v případě, že nedojde k velkému rozvoji elektromobility (nízký scénář), nebo když provozovatelé distribučních sítí nedovolí připojovat nabíjecí stojany všude, kde je zákazníci požadují. V praxi by se distributoři omezili pouze na místa, ve kterých jsou si jistí, že nabíjecí stanice nebudou způsobovat problémy.

Další scénář je naopak velmi netolerantní ze strany distribučních společností a bude zde docházet k podstatným omezením zákazníků nabíjecích stanic ze strany distributora. Tato prognóza odpovídá velkému rozvoji elektromobility (vysoký scénář), kde distributoři budou muset pro zachování energetické bilance regulovat nabíjení elektromobilů. V praxi by to mohlo fungovat následovně, že provozovatel distribuční sítě má dostatek elektrické energie, tak odběrné místo funguje do výkonového omezení hodnotou hlavního jističe. Pokud jsem vlastníkem hlavního jističe o velikosti 3x32 A tj. odpovídající výkon 22 kW a aktuálně využívám pouze výkon 1 kW, pak zbývající výkon může být využit na nabíjení elektromobilu pomocí chytrého elektroměru. Pokud ale v distribuční síti bude připojen již velký počet nabíjecích stanic, dojde k omezení odběrného místa na odběr elektrické energie pro základní použití (nesouvisející s nabíjením elektromobilů), nebo dojde k výpočtu odběru nabíjecími stanicemi a rozložení stávajícího výkonového odběru do nového počtu nabíjených elektromobilů a ostatních odběrných zařízení, která budou omezena.

Třetí možný scénář je kombinací dvou předchozích případů, kdy dojde ke kompromisu a k omezení bude docházet pouze v kritických okamžicích pro distribuční síť. Distribuční sít bude monitorována chytrými elektroměry a většinu času budou odběratelé elektrické energie bez omezení. V případě rizika ohrožení stability distribuční sítě bude moci distributor provést omezení odběratelů na všech napěťových hladinách. Tento princip by byl použit při vyšším nárůstu počtu elektromobilů (vysoký scénář).

V dnešní době většina odběrných míst neobsahuje chytré prvky, které by předávaly v reálném čase informace o odběru. Dnes lze řídit odběry pomocí HDO, kde se především jedná o topné systémy a bojlery s teplou vodou. Není zajištěno měření spotřeby v jednotlivých částech distribuční sítě u klasických odběrných míst. Do budoucna se počítá s použitím chytrých elektroměrů, u kterých by neměl být problém řídit spotřebu elektrické

energie a měřit důležité parametry. Již nyní běží pilotní projekty v Evropě, které testují nové technologie. Nejvýznamnějším projektem na území České republiky je Smart region Vrchlabí.

Byl určen nabíjecí výkon, který bude používán pro simulace v lokalitě panelové zástavby P = 22 kW. Výkon odpovídá hodnotě třífázového jističe se jmenovitou hodnotou 32 A (pomalé nabíjení). Nabíjení na frekventovaných místech bude realizováno rychlonabíjecími stanicemi kombinující stejnosměrné a střídavé nabíjení. Maximální odebíraný výkon je P = 93 kW, kde stejnosměrné nabíjení využívá výkon 50 kW a střídavé nabíjení maximálně odebírá P = 43 kW. Při maximálním odběru odpovídá výkon hodnotě třífázového jističe s jmenovitou hodnotou 125 A. Pro druhou lokalitu rodinných domků je počítáno s hodnotou nabíjecího výkonu (pomalým způsobem) P = 3,6 kW, která odpovídá hodnotě jednofázového jističe s jmenovitou hodnotou 16 A.

7. Praktická část

Praktická část se zaměřuje na dvě zájmové lokality, kde jsou posuzovány pomocí simulačních modelů reálných sítí možnosti připojení nabíjecích stanic pro elektromobily. Každá z vybraných částí sítě reprezentuje možnost nejrozšířenějšího nabíjení elektromobilů v budoucnosti a ukazuje aktuální připravenost společnosti E.ON Distribuce a. s. Výsledky ze zájmových lokalit půjde aplikovat na místa s podobným charakterem sítě a složením odběratelů. Výsledkem je aplikace vytvořených scénářů na modely skutečné sítě. Následně bude stanoveno, na které scénáře je distribuční síť připravena. V ostatních případech budou označena kritická místa a navržena nápravná opatření.

Vstupní informace do simulačních modelů jsou reálná data existujících sítí na distribučním území společnosti E.ON Distribuce a. s., jako jsou délky a průřezy kabelových vedení, velikosti transformátorů, distribuční sazby odběrů elektrické energie. Vyhodnocení simulačních modelů je provedeno pomocí softwaru E-Vlivy verzí 2.5.21.

7.1. Aplikace na zájmové lokality

Výběr lokalit pro zkoumání vlivu elektromobility je zaměřen na místa, u kterých je předpoklad, že budou zajímavá a zároveň stěžejní pro nabíjení. Vychází se z předpokladů nejčastějších nabíjení elektrických vozidel. Většina nabíjení bude prováděna v domácnostech nebo na sídlištích. Zároveň byla vybrána odlišná místa, která budou různě problematická.

Jako první lokalita byla zvolena vilová část města Pelhřimova. Je pravděpodobné, že elektrická vozidla budou nejdříve u movitější klientely vlastnící rodinné domy a vily. Typ nabíjení je domácí a bude probíhat převážně pomalým způsobem. Předpokládá se, že tato lokalita bude připravena na elektromobilitu velmi dobře, protože se jedná o novou síť vybudovanou v letech 2004 až 2009.

Druhé zájmové území bylo vybráno komplikovanější. Bylo zvoleno místo, kde se nachází velké sídliště, supermarket, stanice s pohonnými hmotami a dealerství nových automobilů. Základní zasíťování kabelovými vedeními je zde z roku 1977. Jedná se již o sítě přibližně na konci své životnosti. Očekává se, že nabíjení elektrických vozidel zde bude potřebovat obrovské množství elektrické energie, kterou mu stávající síť nebude schopna zajistit. Instalace nabíjecích stanic bude omezená a jejich provoz bude vyžadovat technická a legislativní opatření, aby při provozu distribučních sítí nedocházelo k výpadkům.

7.2. Zatížení sítě

7.2.1. Vyhodnocení měření

Pro ověření stávajícího zatížení v zájmových lokalitách byla nainstalována měření. Měření ve sloupové trafostanici TS Polní dvůr Háječek proběhlo v termínu od úterý 18. 9. 2018 do pondělí 24. 9. 2018 a ve zděné trafostanici TS EG4 bylo měřeno v termínu od pondělí 10. 9. 2018 do úterý 18. 9. 2018.

Obě místa měření ve sledovaném období splňovala podmínky kvality napětí stanovené technickou normou ČSN EN 50160 „Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě“. Detailní výsledky měření kvality napětí z programu DAM jsou v přílohách Příloha 3 Měření TS Polní dvůr Háječek, Příloha 4 Měření TS EG4 T1 a Příloha 5 Měření TS EG4 T2.

7.2.2. Výkony v odběrných místech

Pro sestavení modelů provozovaných sítí bylo čerpáno z interního dokumentu „*Koncepce sítě NN - Výkonové podklady pro návrh sítí NN“.* [32] Podklady sloužily k určení orientačních zatížení bytových odběrů dle stupně domácnosti a charakteru zástavby.

Členění bytových odběrů podle elektrifikace se dělí na 3 hlavní skupiny, kde je celkem možných 6 základních typů. Skupina A je tvořena osvětlením a drobnými spotřebiči. Skupina B je v případě typu B1 doplněna o elektrické vaření a případ typu B2 navíc obsahuje ještě elektrický ohřev teplé vody. Skupina C se zaměřuje na vytápění, kde typ C1 je doplněn o akumulační vytápění, C2 využívá přímotopné vytápění a typ C3 obsahuje vytápění nebo klimatizaci.

Zatížení bytových odběrů je určeno pro 4 typy zástaveb podle rozsahu počtu bytových jednotek, charakteristikou a hustotou bytové zástavby. Rozdělení je mezi města a obce. Trojice typů patří do měst, kde rozlišují centrální oblasti do 5 000 bytových jednotek, vilové čtvrti, okrajové obce do 1 500 bytových jednotek a sídliště až do 10 000 obytných jednotek. Zbývající zástavbou jsou venkovské obce, kde je hranice do 5 000 obyvatel.

Z databáze společnosti E.ON jsem získal potřebné informace o aktuálních distribučních sazbách v daných lokalitách, pomocí kterých jsem určil jednotlivé spotřeby domácností/panelových domů.

7.2.3. Provoz distribučních transformátorů

Návrh a provoz distribučních transformátorů je ve společnosti E.ON Distribuce a. s. řešen interním dokumentem Koncepce sítí NN. [33]

Optimální provoz distribučních transformátorů zajistí minimální výkonové ztráty. Obecně lze říci, že distribuční transformátory jsou právě díky minimalizaci ztrát málo zatížené. V místech, kde je zatížení distribučního transformátoru větší, musí být splněna podmínka maximálního zatížení. Jako mezní zatížení je zvolena hodnota 66 % jmenovitého výkonu transformátoru z důvodu bezpečného provozu sítě.

V případě poruchy a správného koncepčního návrhu distribuční sítě jsou distribuční transformátory navrženy tak, aby mohly převzít napájení odběrů sousedního distribučního transformátoru s výskytem poruchy. Dojde k dočasné změně provozního schématu pomocí skříní rozpojovacích a rozpojovacích s dělenou pracovní přípojnicí. Vhodnou změnou velikostí pojistek v síti nízkého napětí dojde k pomyslnému rozdělení sítě NN a jejímu napájení z jiných distribučních trafostanic. Proto je nutné dodržet předepsané podmínky Koncepce sítě NN, aby byl zákazník bez elektrické energie co nejkratší dobu a nezhoršovaly se ukazatele SAIFI a SAIDI.

7.2.4. Korekce výkonového zatížení pomocí měření

Srovnáním výsledků měření a odhadovaných velikostí výkonů odběratelů z podkapitoly 7.2.2 Výkony v odběrných místech byla získána velmi odlišná čísla. Obě zájmové lokality měly skutečné zatížení podstatně nižší než odhadované. Pro získání co nejpřesnějších vstupních dat do simulačních modelů byla provedena korekce výkonového zatížení na základě měření.

Maximální naměřené výkonové zatížení bylo použito jako maximální výpočtové zatížení. Na základě poměru odhadovaného a měřeného zatížení byly sníženy příkony jednotlivých odběrných míst. Korigovaná data odpovídají aktuálnímu skutečnému zatížení těchto distribučních trafostanic.

Výsledná vstupní data do simulačních modelů jsou složena z korigovaných dat a přidaných nabíjecích výkonů, které se liší podle varianty rozšíření elektromobility. Jednotlivé varianty odpovídají sadě vstupních dat, které jsou sestaveny pouze pro zájmové roky 2020, 2030 a 2040.

7.3. Lokalita trafostanice Polní dvůr Háječek

Zájmové území napájené z distribuční trafostanice Polní dvůr Háječek je zobrazeno na obrázku Obrázek 10 Lokalita TS Polní dvůr Háječek. Jedná se o typický příklad domácího nabíjení. V lokalitě bydlí převážně rodiny s dětmi. Zástavba je charakteristická moderními rodinnými domy, které jsou z velké části jednopatrové s vybudovanými garážemi, kde obyvatelé parkují svoje automobily. Z hlediska spotřeby elektrické energie jsou domy vyrobeny z nových materiálů a vybaveny moderní technologií. Energetická náročnost na provoz je zde menší než u starších zástaveb.

Obrázek 10 Lokalita TS Polní dvůr Háječek

Elektromobilita v této lokalitě a místech jí podobných má velký potenciál. Právě oblasti rodinných domů z nově vzniklých okrajových částí větších měst budou díky možnosti nabíjení ve své garáži nejzajímavější. Mladší a střední generace movitější klientely bude nejpravděpodobněji rozvíjet trh elektrických vozidel a technologie s nimi spojené.

Nabíjení elektrických vozidel je realizováno tzv. pomalým způsobem. Nabíjecí výkon střídavé nabíjecí stanice není potřeba veliký, protože k nabíjení bude docházet každý den a bude se nabíjet pouze část baterie. Nabíjení elektrického vozidla bude trvat po dobu 2 až 4 hodin. Nejčastěji se bude vyskytovat nabíjení po dobu 2 hodin. Výkon využitý z hlavního jističe bude *3,6* kW po celou dobu nabíjení.

7.3.1. Technické údaje o lokalitě

Lokalita TS Polní dvůr Háječek je napájena z jednoho distribučního transformátoru o zdánlivém výkonu 200 kVA. Jeho velikost je aktuálně dostačující, ale do budoucna

by bylo vhodné z důvodu potřeb elektromobility zvýšit jeho výkon. Stávající podpěrný bod dovoluje použití transformátoru do zdánlivého výkonu 400 kVA. Z tohoto faktu je vycházeno a všechny simulované případy jednotlivých variant byly vypočítány s transformátorem o zdánlivém výkonu 400 kVA.

Distribuční sít byla vybudována v letech 2004 až 2009. Rozsah kabelového vedení má délku 3 658 m. Převážně jsou použita kabelová vedení NAYY 4x150 mm^2 doplněná na kratších úsecích o kabelové vedení NAYY 4x50 mm^2. Výjimečně se zde objevuje starší kabelové vedení AYKY 120+70 mm^2. Distribuční síť splňuje požadavky na impedanci sítě v intravilánu dané Koncepcí sítě NN.

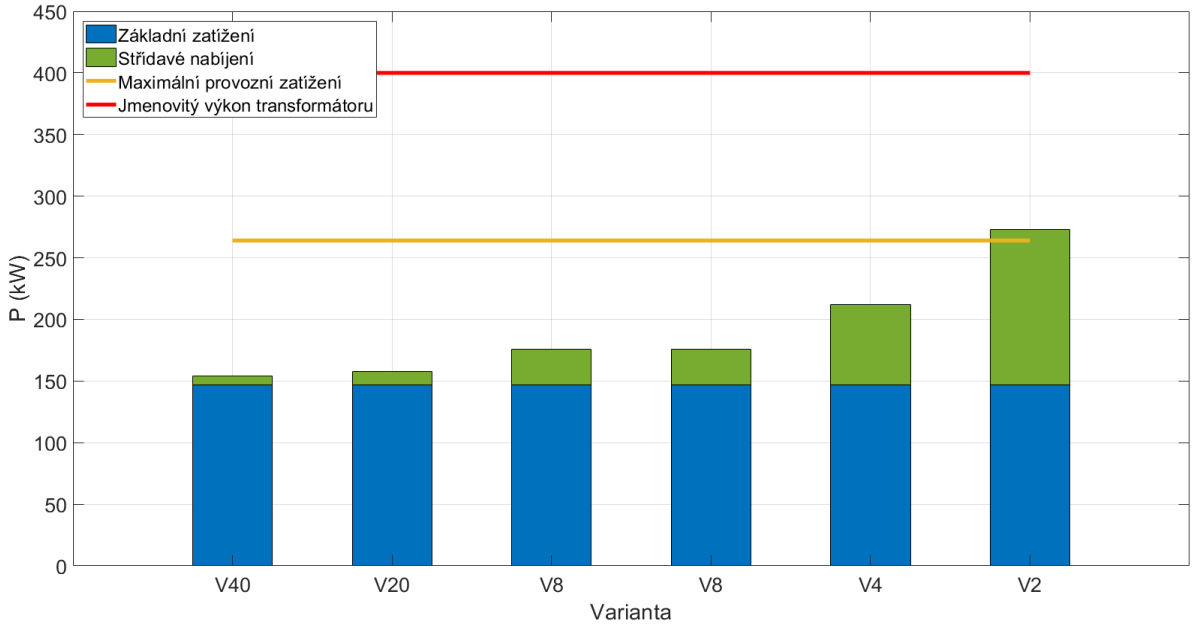
Celkový počet odběrných míst je 64 s celkovou rezervovanou kapacitou hlavních jističů 1720 A. Z toho je 39 odběrů v kategorii B1 využívající elektrickou energii pro osvětlení, drobné spotřebiče a vaření. Kategorie B2 má pouze 7 odběratelů, kteří využívají elektřinu navíc pro ohřev teplé vody. Další skupina C, zaměřující se na vytápění, obsahuje 9 odběratelů C1 s akumulačním ohřevem a 9 odběratelů C3 používající vytápění nebo klimatizaci.

7.3.2. Grafické znázornění zátěže

Graf prezentuje výsledky celkového výkonového zatížení distribuční trafostanice v lokalitě TS Polní dvůr Háječek. Jedná se o součet jednotlivých výkonů, které tvoří vstupní údaje do simulačního modelu.

Jednoduchá analýza dokáže dopředu odhadem stanovit, od jakého zatížení má smysl testovat simulační model. Výhodné je vybrat simulační variantu nejbližší maximálnímu provoznímu zatížení a provést její vyhodnocení. Poté je možné vybrat si vyšší/nižší variantu a zkoumat jednotlivé dílčí problémy.

Graf 13 Výkonové zatížení TS Polní dvůr Háječek zobrazuje maximální výkonové zatížení na distribuční trafostanici v zájmové lokalitě. Modrou barvou je znázorněno základní zatížení, které je pro zjednodušení ponecháno jako konstantní. Zelenou barvou je vykreslen nárůst výkonu způsobený střídavým nabíjením. Oranžová barva udává výkonovou hranici provozu distribuční trafostanice z Koncepce sítě NN a červenou barvou je vyznačen jmenovitý výkon trafostanice.



Graf 13 Výkonové zatížení TS Polní dvůr Háječek

Podle předchozího grafu je patrné, že distribuční síť v této lokalitě je dostatečně připravena na elektromobilitu. Platí zde, že pokud jsou splněny podmínky provozu nejvyššího scénáře, pak i všechny nižší varianty jsou bezproblémové.

Varianta V2 je lehce za hranicí maximálního provozního zatížení distribuční trafostanice. Protože se jedná o maximální hodnoty výkonového zatížení, nepředpokládají se zde žádné komplikace. Pravděpodobnost, že dojde k provozu všech nabíjecích stanic současně, je malá a distribuční síť je tak pro nabíjení připravena.

7.3.3. Vyhodnocení simulace

Schéma simulačního modelu zájmové lokality je uvedeno v příloze Příloha 6 Simulační schéma TS Polní dvůr Háječek. Simulace nabíjení elektrických vozidel byla provedena pro nejvyšší scénář elektromobility V2 v roce 2040. Distribuční síť zvládla celkové připojení všech nabíjecích míst dle předpokládaného scénáře.

V další části jsou popsány detailněji výsledky simulačního modelu. Zaměřuje se na úbytky napětí a proudové zatížení vodičů.

Maximální povolené úbytky napětí na vedení jsou definované závaznou normou ČSN EN 50 160. Jejich hodnota nesmí být větší než 10 %. V simulovaném případě největší úbytek napětí dosahuje hodnoty $\Delta U_M = 7,003\,\%$ na konci vedení v bodě U38.

Proudové zatížení je určeno výrobcem kabelového vedení, od kterého je zaneseno do Koncepce sítě NN. Nejvyšší proud v simulaci se objevuje na vedení V2 a dosahuje hodnoty 65 % maximálního proudového zatížení kabelu.

V simulovaném případě scénáře elektromobility V2 v lokalitě TS Polní dvůr Háječek byly splněny všechny potřebné veličiny. Hlavním důvodem splnění požadavků na odebíraný výkon nabíjecích stanic v budoucnosti je přísný přístup ze strany distributora elektrické energie a jím vydávané Koncepce sítě NN. Distribuční síť je projektovaná s dostatečnou rezervou a dokáže si s přírůstkem výkonu poradit. Není potřeba zde aplikovat dodatečná technická opatření pro připojení stanoveného počtu nabíjecích stanic. Provozovatel distribuční sítě E.ON Distribuce a.s. je v zájmové lokalitě připraven na navýšení odběrů způsobených rozvojem elektromobilů a technologií s nimi spojených.

Výsledek simulačního modelu lze aplikovat na podobné oblasti distribuční sítě. Při aplikaci jsou důležité parametry stávající sítě, charakter a typ odběrů, napájení z jednoho distribučního transformátoru.

7.4. Lokalita trafostanice TS EG4

Zájmová lokalita napájená z dvojice paralelních distribučních transformátorů v trafostanici TS EG4 je zobrazena na obrázku Obrázek 11 Lokalita TS EG4. Jedná se o typického zástupce nabíjení na sídlištích. Dále trafostanice napájí poměrně vzdálený supermarket, čerpací stanice pohonných hmot a dealerství nových automobilů. Zástavba je charakteristická panelovými domy a malým počtem parkovacích míst. Obyvatelé v této lokalitě nevlastní garáže s výjimkou jednoho parkovacího domu. Spotřeba elektrické energie v panelových domech je menší než u rodinné zástavby z důvodu menší vybavenosti a omezenému prostoru v jednotlivých bytech.

Elektromobilita v místech podobných této lokalitě je velmi problematická. V oblasti panelové zástavby budou obyvatelé velmi omezeni z hlediska malého počtu nabíjecích stanic. Hlavním důvodem bude velká koncentrace obyvatel s automobily na malém území a nedostatek výkonové kapacity stávajících vedení. Pro obsloužení všech majitelů elektrických vozidel by muselo být vybudováno velké množství nabíjecích stanic, které pro svůj provoz potřebují velké množství elektrické energie. Tento problém je aktuálně řešen například v Norsku.

Nabíjení elektromobilů v zájmové lokalitě bude prováděno střídavým, případně stejnosměrným způsobem. Pro střídavé nabíjení bude použit výkon 22 kW jednou za 4 dny (za předpokladu vývoje palubních nabíječek v automobilech). Stejnosměrné nabíjení bude realizováno rychlonabíjecími stanicemi, jako je Terra 54 od firmy ABB, které se budou nacházet u parkovacího domu, supermarketu, čerpací stanice a u dealerství nových automobilů. Výkonové zatížení rychlonabíjecí stanice bude 93 kW.

Obrázek 11 Lokalita TS EG4

7.4.1. Technické údaje o lokalitě

Lokalita TS EG4 je napájena ze dvou distribučních transformátorů o zdánlivém výkonu 630 kVA. Transformátory jsou provozovány v paralelním zapojení. Jedná se o největší možný výkon distribuční trafostanice podle Koncepce sítě NN, tj. 2x630 kVA zapojených paralelně. Tento speciální případ se využívá pouze výjimečně v centrech nebo na sídlištích velkých měst. Jako zajímavost je uvedeno, že oba stejně velké transformátory mají rozdílné napětí nakrátko. Proto rozdělení zatížení v provozu není rovnoměrné, ale jeden transformátor je zatěžován více.

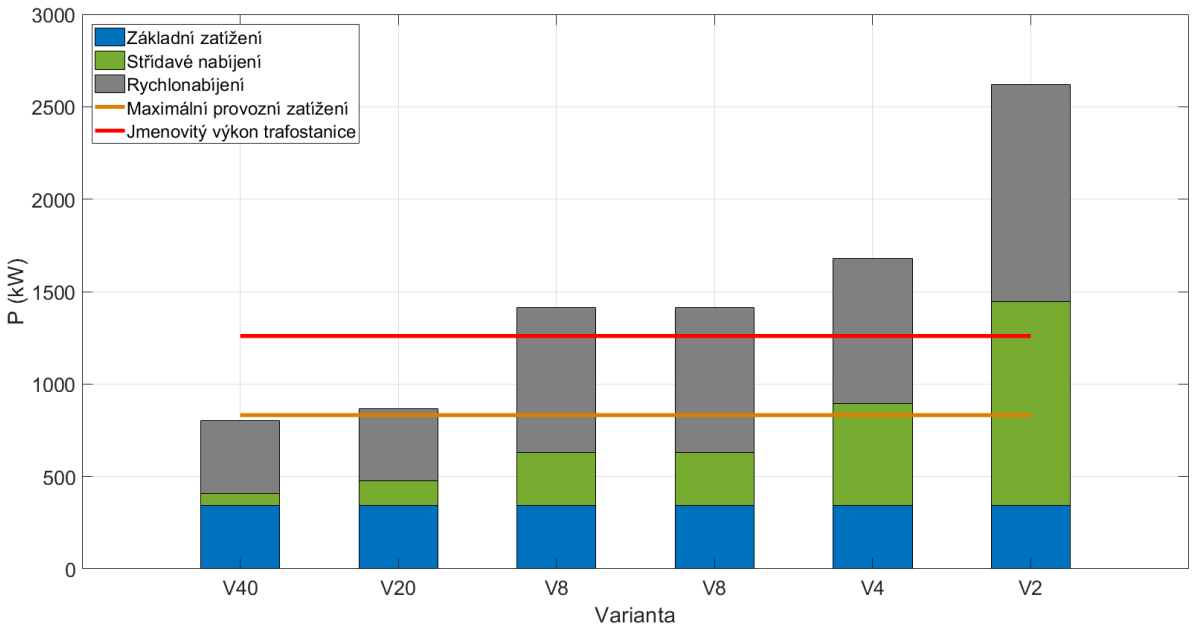
Distribuční síť byla postavena v roce 1977 a je již na hranici své minimální životnosti. V zájmové lokalitě sídliště je celkem 4 241 m distribuční kabelové sítě NN. Kabelové trasy jsou realizovány kabely AYKY 3x120+70 mm^2 a AYKY 3x185+95 mm^2. U starších kabelů AYKY byl využíván redukovaný průřez nulového vodiče. Do budoucna by tato kabelová vedení mohla způsobovat problémy vzhledem k rostoucímu zatížení nulového vodiče. Dále se zde nachází dodatečně postavena dvě kabelová vedení AYKY 4x25 mm^2 a jedno NAYY 4x150 mm^2. Impedance sítě splňuje požadavky pro provoz distribuční sítě v intravilánu podle Koncepcí sítě NN.

Distribuční trafostanice TS EG4 napájí 412 odběrných míst, která mají rezervovanou kapacitu hlavních jističů 9 796 A. Kapacita hlavních jističů tvoří z velké části 13 panelových domů. Odběry v lokalitě sídliště však mají velmi malou soudobost, takže v maximálním výkonovém odběru je distribuční transformátor zatížen pouze z 11 %.

Složení odběrných míst je téměř ve všech případech tvořeno základním typem odběru z kategorie B1 využívající elektrickou energii pro osvětlení, drobné spotřebiče a vaření. Výjimečně se objevuje kategorie B2, kde obyvatelé využívají elektřinu navíc pro ohřev teplé vody. Dále se zde nachází výše uvedené specifické odběry supermarketu, čerpací stanice a dealerství nových vozů.

7.4.2. Grafické znázornění přidané zátěže

Graf 14 Výkonové zatížení TS EG4 zobrazuje celkové zatížení sledované distribuční trafostanice TS EG4. Modrou barvou je znázorněno základní zatížení, které je pro zjednodušení ponecháno konstantní. Zelenou barvou je vykreslen nárůst výkonu způsobený střídavým nabíjením. Šedou barvou je vykreslen výkonový nárůst rychlonabíjecích stanic. Oranžová barva popisuje maximální výkonovou hranici pro provoz distribuční trafostanice a červená hodnotu jmenovitého výkonu transformátorů. Vykreslená data jsou upravena podle systému popsaného v kapitole 6.2.4 Korekce výkonového zatížení pomocí měření. Jednotlivé dílčí odběry jsou využity jako vstupní data pro simulace.



Graf 14 Výkonové zatížení TS EG4

V lokalitě distribuční trafostanice TS EG4 budou provedeny dvě oddělené analýzy. První část se bude zabývat stěžejní oblastí panelové zástavby v kombinaci se střídavým nabíjením. Druhá část bude vyhodnocovat samotné rychlonabíjecí stanice (kombinace stejnosměrného a střídavého nabíjení). Graf 14 Výkonové zatížení TS EG4 ukazuje, že většina zatížení bude do budoucna tvořena rychlonabíjecími stanicemi.

Z grafu vychází, že distribuční síť v této lokalitě je připravena pouze pro scénáře V40 a V20. Ostatní jsou nad výkonový limit stávající distribuční sítě NN.

Vyhodnocení základního zatížení a střídavého nabíjení bude provedeno pro scénář V4 s vynecháním výkonu rychlonabíjení. Rychlonabíjení bude vyhodnoceno samostatně pro stejný scénář V4. Možnost jejich připojení bude vyhodnoceno podle nového dokumentu Interní připojovací podmínky pro nabíjecí stanice [34] popisující požadavky a podmínky na jejich připojení. Tento dokument vznikl po prezentaci výsledků studie Predikce elektromobility v ČR [33] jako bezpečnostní opatření pro bezproblémový provoz sítě.

7.4.3. Vyhodnocení AC nabíjení

Simulační model zájmové lokality je v příloze Příloha 8 Simulační schéma TS EG4. Střídavé nabíjení elektromobilů bylo simulováno pro střední scénář V4 v roce 2040. Do distribuční sítě je připojené hraniční množství nabíjecích stanic, které stávající dvojice transformátorů je schopna napájet tak, aby byla zajištěna alespoň částečná zálohovací funkce.

Vypočítané veličiny simulačního modelu jsou uvedeny v příloze Příloha 9 Výsledky simulačního modelu v lokalitě TS EG4. Mezi vyhodnocovací parametry patří úbytky napětí na vedení a proudové zatížení vodičů.

V simulačním modelu jsou úbytky napětí velmi blízko maximální dovolené hodnotě $\Delta U_M = 10\,\%$. Problematické body jsou ve vzdálených místech sítě U14, U15, U16, U17, U18, U19 a U21.

Dovolené proudové zatížení kabelového vedení je překročeno pouze na úseku V12. Provozní proud vedením AYKY 3x120+70 mm^2 je na 105 % maximálního dovoleného proudu. Protože hodnota provozního proudu není splněna pouze v jednom kabelovém vedení, bude doporučena výměna kabelu v trase vedení za NAYY 4x240 mm^2. Po výměně kabelového vedení V12 bude proudově zatížené na 72 % maximálního dovoleného proudu.

Nabíjení elektrických vozidel podle scénáře V4 v lokalitě TS EG4 se dostává na mezní parametry provozu dané sítě. Úbytky napětí na vedení jsou těsně pod mezní hranicí stanovené normou ČSN EN 50 160. Proudové zatížení kabelových vedení není splněno v úseku V12, kde je nutná výměna kabelového vedení. Po realizaci obnovy úseku V12 budou splněny všechny důležité parametry provozu.

Velká hustota obyvatel na sídlišti způsobuje obrovský nárůst požadovaného výkonu pro nabíjení elektrických vozidel. Přesto jsou sítě NN dostatečné robustní a z velké části dokážou pokrýt požadavky na elektromobilitu.

Pro bezproblémový provoz je vhodné aplikovat technická opatření pro zvýšení počtu nabíjecích stanic. Provozovatel distribuční sítě E.ON Distribuce a. s. je v zájmové lokalitě připraven maximálně na scénář V4. Vyšší rozšíření elektromobilů a technologií s nimi spojených nelze provozovat na stávající distribuční síti.

Výsledek simulačního modelu lze aplikovat na podobné oblasti distribuční sítě. Při aplikaci jsou důležité parametry stávající sítě, charakter a typ odběrů, napájení z dvojice distribučních transformátorů zapojených paralelně.

7.4.4. Vyhodnocení DC nabíjení

Simulace stejnosměrného nabíjení v lokalitě TS EG4 je zobrazena v příloze Příloha 8 Simulační schéma TS EG4 odběrnými místy 2161 parkovací dům, 2029 čerpací stanice pohonných hmot, 2017 supermarket, 2030 dealerství nových vozů. Vyhodnocení rychlonabíjení elektrických vozidel je provedeno pro střední scénář V4 v roce 2040.

Distribuční síť je maximálně zatížena střídavými nabíjecími stanicemi sídliště. Schopnost distribuční trafostanice plně zálohovat výpadek je mírně snížena z důvodu provozu nad hranicí maximálního povoleného výkonu. I v případě, že by byl zajištěn požadovaný výkon, distribuční síť není schopna ho přenést na místa instalací rychlonabíjecích stanic.

Výsledky vyhodnocení veličin simulačního modelu jsou uvedeny v příloze Příloha 9 Výsledky simulačního modelu v lokalitě TS EG4. Maximální úbytky napětí na vedení nesplňují v místech instalace rychlonabíjecích stanic (odběrná místa 2161, 2029, 2017 a 2030) závaznou normu ČSN EN 50 160. Proudové zatížení kabelového vedení není splněno na úsecích V3 (odběrné místo 2161), V33 a V34 (odběrná místa 2029 a 2030).

Simulovaný scénář V4 rychlonabíjení v lokalitě TS EG4 není schopný provozu. Nejsou splněny meze maximálních předepsaných úbytků napětí a pouze jeden odběr s rychlonabíjecí stanicí proudově nepřetěžuje stávající kabelové vedení. Hlavním důvodem nesplnění požadavků je obrovský nárůst výkonu pro rychlonabíjecí stanice. Kabelová vedení na přenos takto velikých výkonů nejsou a nemohou být dimenzována. V případě požadavku na rychlonabíjecí stanice umístěné na konci distribuční sítě, je potřeba výstavba nové trafostanice a připojení tak přímo do hladiny VN.

7.4.5. Problematická místa

V lokalitě TS EG4 se nachází dvě místa, kde stávající kabelové vedení není schopno přenést požadovaný výkon pro připojení rychlonabíjecích stanic. Konkrétně se jedná o odběrná místa zobrazená v příloze Příloha 8 Simulační schéma TS EG4: 2161 parkovací dům, 2029 čerpací stanice pohonných hmot, 2017 supermarket a 2030 dealerství nových automobilů.

Obtížná predikce nabíjení na rychlonabíjecích stanicích ve zmíněných případech požaduje mít k dispozici permanentně rezervovaný výkon. Rezervace výkonu jedné nabíjecí stanice je 93 kW pro kombinaci stejnosměrného a střídavého nabíjení. Předpokládá se, že většina nabíjení bude realizována stejnosměrným proudem o výkonu 50 kW a nabíjení oběma způsoby naráz nebude tak časté.

První problematické místo je u parkovacího domu, který je připojen pouze kabelem AYKY 4x25 mm^2. V současnosti je v celém objektu nainstalováno pouze základní osvětlení, které není náročné na rezervovaný výkon. Proto distributor zvolil na připojení objektu pouze tento průřez kabelu.

Druhé problematické místo je v oblasti obchodu, benzínové stanice a dealerství nových vozů. Jsou připojeny dlouhým kabelovým vedením AYKY 3x185+120mm^2, které není schopné přenést požadovaný výkon. Rychlonabíjecí stanice v této lokalitě tak není možné připojit do stávající sítě NN.

Vyhodnocení připojení nabíjecích stanic

Na náměty výsledků studie Predikce elektromobility v ČR [33] byl ve společnosti E.ON Distribuce a. s. přijat dokument Interní připojovací podmínky pro nabíjecí stanice [34] specifikující podmínky připojení nových nabíjecích stanic do distribuční sítě. Velmi nekompromisně upravuje stávající podmínky dané interním dokumentem „Posouzení připojitelnosti pohonů řízených usměrňovači a měniči kmitočtu z hlediska harmonických“ posuzující nabíjecí stanice. Důvodem jsou obavy z neřízeného dynamického rozšíření elektromobility.

Proto každá distribuční trafostanice bude mít vyhrazen určitý podíl ze jmenovitého výkonu pro připojení nabíjecích stanic pro elektromobily a dále musí být ještě splněna maximální hodnota úbytku napětí pro všechny nabíjecí stanice na daném vývodu z trafostanice.

Aplikací dokumentu Interní připojovací podmínky pro nabíjecí stanice na problematická místa bylo zjištěno, že všechny odběry budou nuceny přejít na hladinu vysokého napětí. Prioritou bude v zájmové lokalitě TS EG4 zajistit maximální počet

střídavých nabíjecích stanic o výkonu 22 kW. Stejně jejich počet po zohlednění nového dokumentu nebude odpovídat ani nejnižšímu scénáři V40. Rychlonabíjecí stanice vůbec nepřipadají v úvahu, protože jedna stanice by zabrala téměř 2/3 veškerého výkonu rezervovaného pro potřeby elektromobility.

7.4.6. Technická opatření pro provoz zvýšeného množství nabíjecích stanic

Pokud se elektromobily a s nimi spojené technologie masivně rozšíří, bude nutné nastavit přísné podmínky, aby byl zajištěn bezproblémový provoz sítě na všech napěťových hladinách, převážně však na hladině NN. Jednotlivé možnosti opatření technologického řešení v soukromých instalacích budou různě náročné, jak po stránce technické, tak ekonomické.

Nová nabíjecí infrastruktura bude postavena a provozována soukromými vlastníky. Oddělení provozovatele distribuční sítě a majitelů nabíjecích stanic je legislativně ošetřeno tak, aby nedocházelo ke střetu zájmů. Majitel a provozovatel nabíjecí infrastruktury nemůže být zároveň distributorem. Výsledný právní vztah mezi distributorem elektrické energie a vlastníkem nabíjecí infrastruktury bude založen na smlouvě o připojení nového odběrného místa s definovaným rezervovaným příkonem. Podle pravidel budou existovat dvě základní regulace odbíraného výkonu.

První možný způsob omezení výkonu řeší distributor elektrické energie ve fázi žádosti o připojení nového odběrného místa. Provozovatel distribuční sítě stanovil podle dokumentu Interní připojovací podmínky pro nabíjecí stanice maximální procentuální nabíjecí výkon nainstalovaný do jedné distribuční stanice. Nová žádost je vyhodnocena podle rezervovaného výkonu pro nabíjecí stanice v zájmové lokalitě. Pokud je v síti NN volná kapacita pro připojení a je splněn požadavek na maximální změnu napětí, dostane smlouvu o připojení nového odběrného místa a může realizovat svůj plánovaný záměr. V druhém případě, kdy bude již rezervovaná kapacita na hladině NN v zájmové lokalitě vyčerpána, dostane žadatel smlouvu o připojení z nadřazené hladiny VN. Tento způsob není technického charakteru, ale jedná se o koncepční omezení, proto bude věnována větší pozornost druhé kategorii řešení regulací výkonu ze strany provozovatele nabíjecí infrastruktury.

V praxi distributor elektrické energie zvolí způsob regulace nabíjecího výkonu koncepčně. Provozovatelé nabíjecí infrastruktury obdrží nasmlouvané množství výkonu a budou muset s jeho velikostí pracovat. Jejich instalace budou osazeny technologiemi podporujícími regulaci výkonu nabíjecích stanic.

Možností regulace výkonu je více. Mezi nejzajímavější patří možnosti nabíjecí stanice s bateriovým uložištěm, nabíjení ve frontě, regulované nabíjení skupiny nabíjecích stanic a nabíjení řízeným výkonem podle nastaveného času na požadované nabití.

Nabíjecí stanice s bateriovým úložištěm

Zajímavý způsob regulace odebíraného výkonu lze realizovat kombinací nabíjecí stanice s bateriovým úložištěm. Maximální nabíjecí výkon je určený rezervovaným příkonem od distributora elektrické energie. Výhodou je možnost použití menšího rezervovaného příkonu, než je celkový výkon nabíjecí stanice. Samotné nabíjení může být tvořeno z části z distribuční sítě a z bateriového úložiště. Instalace takovéto nabíjecí stanice má smysl na strategických místech s velkou hustotou obyvatel a frekvencí nabíjení. Kromě toho může být využita nejen k nabíjení, ale například ke stabilizaci sítě v případě přebytku/nedostatku elektrické energie.

Investice do technologie nabíjecí stanice s bateriovým úložištěm je extrémně veliká. Hlavním důvodem jsou velmi drahé baterie, komplexní řídící systémy na zakázku a prvky osazené měřícími členy. Přesto taková nabíjecí stanice může mít nenahraditelné místo v případě požadavku na instalaci nabíjecí stanice v místě, kde není dostatek výkonu z distribuční sítě. Aktuální realizace je pouze v pilotních projektech, ale do budoucna s poklesem ceny bateriových systémů by mohlo jít o zajímavou možnost. Přepokládaný nedostatek elektrické energie může výrazně pomoci výstavbě podobných staveb.

Nabíjení ve frontě

Nejjednodušší způsob regulace je metodou nabíjení ve frontě. Maximální nabíjecí výkon je určený rezervovaným výkonem u distributora elektrické energie. Systém dovolí zapnutí nabíjecí stanice do maxima stanoveného výkonu a další nabíjecí stanice musí čekat, než bude mít k dispozici volný nabíjecí výkon. Zákazník bude postaven do pomyslné fronty o nabíjecí výkon a až na něj dojde řada, jeho elektromobil se začne nabíjet.

Cena za nabitou kapacitu baterie elektromobilu nebude mít rozdílnou cenu za nabíjení. Po dobu nabíjení bude stanovena částka za 1 kWh doplněná o krátký časový úsek na vyzvednutí elektromobilu po skončení nabíjení.

Systém je jednoduchý na realizaci, protože nepotřebuje složité řízení odběrů. Nabíjecí stanice stačí osadit měřením a komunikací. Pomocí jednoduché komunikace mezi nabíjecími stanicemi bude ověřen stávající stav zatížení, kde nově obsazená nabíjecí stanice dostane/nedostane povolení k odběru výkonu.

Nabíjecí stanice pro elektromobily se osadí realtime měřením a elektronikou řídící dodávaný výkon. Bude se jednat o součtové měření jednotlivých výkonů tak, aby nebyla překročena maximální hodnota.

Dynamické regulované nabíjení ve skupině

Středně náročný způsob nabíjení je dynamické regulované nabíjení ve skupině. Princip pracuje na základě realtime parametrů, které se dynamicky mění podle požadavků na výkon odběrných míst. Maximální nabíjecí výkon opět odpovídá rezervovanému příkonu od distributora elektrické energie. Při zapnutí další nabíjecí stanice dojde ke komunikaci se řídícím systémem a rezervovaný výkon se rovnoměrně rozdělí mezi všechny nabíjecí stanice. Výhodou je, že všichni zákazníci mají k dispozici stejný nabíjecí výkon.

Cena za nabitou kapacitu baterie elektromobilu bude mít stálou cenu za 1 kWh. Nabíjení bude mírně dražší z důvodů větší finanční náročnosti na pořízení a provoz technologie. Protože doba nabíjení bude velmi ovlivněna využitím nabíjecích stanic, musí v tomto případě být prodloužena doba na bezplatné vyzvednutí automobilu od nabíjecí stanice. Po dané době bude započítáván čas parkování na nabíjecím místě. Cena za minutu parkování bude vysoká, aby motivovala majitele elektromobilů k opuštění vyhrazeného místa.

Technologie bude závislá na správných vstupních datech z měření zatížení nabíjecích stanic a komunikací s řídícím systémem. Vyhodnocovací systém zpracuje všechny dostupné informace a nastaví nabíjecí výkon do všech nabíjecích stanic.

Použití systému bude vhodné pro specifické sítě s velkým počtem nabíjecích stanic, kde se rezervovaný výkon bude přímo úměrně dělit mezi aktivní stanice.

Nabíjení s řízeným výkonem podle nastaveného času odjezdu

Nejsložitější způsob je nabíjení s řízeným výkonem podle doby odjezdu. V současnosti je velmi využíván v Norsku u parkovacích domů pro elektrická vozidla. Maximální nabíjecí výkon je opět určený rezervovaným výkonem od distributora elektrické energie. Po příjezdu na parkovací místo zákazník připojí svůj elektromobil do nabíjecí stanice, na které si pevně zvolí čas odjezdu. Podle této informace řídící systém vypočítá potřebný nabíjecí výkon a stanoví cenu za nabitou kapacitu baterie elektrického vozidla.

Cena za nabitou kapacitu baterie elektromobilu se bude lišit podle různých parametrů. Největší vliv bude mít doba nabíjení, protože krátký interval nabíjení výrazně omezí nabíjecí výkon u ostatních později připojených elektrických vozidel. Cena za nabitou kWh bude výrazně větší, než v případě střední nebo dlouhé doby nabíjení. Další parametr

bude typ automobilu a velikost jeho baterie. Každý elektrický automobil má jinou kapacitu baterie a z ní vyplývající dobu nabíjení. Majitel vozidla s velkou kapacitou baterie bude potřebovat například dvojnásobný nabíjecí výkon oproti jinému zákazníkovi s malou kapacitou baterie v automobilu. Poslední významný parametr bude aktuální obsazení/zatížení transformátoru. V případě nezatížené lokality nebo parkoviště bude cena za dobitou kapacitu baterie výrazně menší než v případě nedostatku výkonu pro nabíjecí stanice.

Použité technologie budou vyžadovat náročná řešení. Základ systému bude založen na měření zatížení nabíjecích stanic a komunikaci s řídícím systémem. Po připojení elektromobilu a zadání doby odjezdu je vypočítán potřebný výkon. Řízení systému bude probíhat pouze po připojení vozidla a následně bude dostávat informace o odebraném výkonu.

Investiční náklady na provoz technologie budou nejvyšší ze všech vybraných možností. Nabíjecí stanice budou osazeny realtime měřením a zapojeny do vyhodnocovacího řídícího systému. Při každém nabíjení bude na začátku probíhat komunikace zajišťující přenos informací důležitých pro nabíjení.

8. Závěr

Úkolem diplomové práce bylo provést vyhodnocení připravenosti vybraných oblastí stávající distribuční sítě NN společnosti E.ON Distribuce a.s. na rozvoj elektromobility pomocí scénářů rozvoje elektromobility.

Zabývá se současným stavem a technologií nabíjecích stanic pro elektromobily v České republice a v ostatních zemích Evropské unie. Řeší zásady pro posouzení připojitelnosti nabíjecích stanic k distribuční síti NN s ohledem na zpětné vlivy střídavého a stejnosměrného nabíjení na distribuční síť NN. Teoreticky stanovuje možnosti provozu nabíjecích stanic v typových lokalitách.

Pomocí uvedených informací z databází GIS byly sestaveny základní simulační modely sítí s rozložením zatížení podle typových výkonových podkladů pro návrh sítí NN. Po provedeném měření skutečného zatížení reálných sítí byla udělána korekce základních modelů sítí s ohledem na změřené reálné zatížení distribuční sítě NN. Aplikací přepokládaného rozvoje elektromobility byl stanoven podle definic a předpokladů výkonový nárůst spotřeby nabíjecích stanic pro provoz elektromobilů. Dosazením nabíjecích výkonů do modelu reálných sítí byly získány v programu E-vlivy parametry chodu sítě, které byly vyhodnoceny podle závazné normy ČSN 50160 Kvalita dodávky elektrické energie.

Z praktické části vyplývá, že v novějších rezidentních lokalitách rodinných domů (řešená lokalita TS Polní dvůr Háječek) nebude rozvoj elektromobility způsobovat problémy. Je zde dostatek výkonu, takže i při nejvyšším scénáři V2 bude dodržena kvalita dodávky elektrické energie. Výhodou těchto lokalit je dobře dimenzovaná síť vyhovující předpokládanému „pomalému“ každodennímu nabíjení o výkonu do 3,6 kW.

Přesným opakem bude rozvoj elektromobility na sídlištích (řešená lokalita TS EG4). Obrovská hustota obyvatel a jí odpovídající počet elektromobilů na malé ploše si žádá požadavky na připojení velkého množství nabíjecích stanic. Nabíjecí infrastruktura pro pokrytí požadavků nabíjení elektromobilů jednou za 4 až 7 dnů bude muset být řešena střídavým nabíjením o výkonu minimálně 22 kW. Kapacita stávající distribuční sítě NN v lokalitě TS EG4 nedokáže obsloužit ani požadavky střídavého nabíjení při vysokém scénáři V2 v roce 2040. Navíc v případě lokality TS EG4 dochází ke kombinaci odběrných míst na sídlišti s dalšími zákazníky, kteří budou chtít instalovat stejnosměrné nabíjecí stanice u parkovacího domu, obchodů, čerpací stanice a dealerství nových automobilů. Majitelé stejnosměrných nabíjecích stanic budou nuceni přejít do velkoodběru a stát se zákazníky

připojenými z hladiny VN, stejně pak i případný provozovatel většího počtu nabíjecích stanic přímo na sídlišti.

V předchozích dvou odstavcích byly popisovány kapacitní možnosti stávajících distribučních sítí NN. V praxi při řešení nových požadavků připojení nabíjecích stanic nebude provozovatel distribuční soustavy uvolňovat celou dostupnou kapacitu distribuční sítě pro potřeby elektromobility, ale dle interních pravidel bude sledovat celkový instalovaný výkon nabíjecích stanic v lokalitě připojené k příslušné trafostanici a bude pro elektromobilitu vyčleňovat pouze část z instalovaného výkonu distribuční trafostanice. Všechny žádosti o připojení nových odběrných míst do distribuční sítě NN nad stanovený limit budou případně připojovány do hladiny VN. Výsledkem opatření bude nutnost v lokalitách sídlišť budovat samostatnou infrastrukturu pro nabíjení elektrických vozidel oddělenou od stávající distribuční sítě NN.

V praktickém provozu je potřeba počítat se dvěma úrovněmi řízení spotřeby odběrných míst nabíjecích stanic. Provozovatel distribuční soustavy bude sledovat a řídit uvolněný výkon pro nabíjení s ohledem na zajištění stability distribuční soustavy a provozovatelé nabíjecí infrastruktury budou mít zájem svůj rezervovaný výkon využít s ohledem na uspokojení maximálního počtu zákazníků.

9. Literatura

[1] BARTUŠKA, Václav. *Energetická bezpečnost. 9. přednáška: Climate change.* Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Elektrotechnická, listopad 2018.

[2] Ministerstvo průmyslu a obchodu, *Národní akční plán čisté mobility.* [online]. [cit. 19.9.2018]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/$FILE/SOPSZP-NAP_CM-20160105.pdf

[3] CHRIS, Martin. *Better batteries* [online]. [cit. 20.2.2019]. Dostupné z: https://www.bloomberg.com/quicktake/batteries

[4] Goverment.no. *Renewable energy production in Norway* [online]. [cit. 20.2.2019]. Dostupné z: https://www.regjeringen.no/en/topics/energy/renewable-energy/renewable-energy-production-in-norway/id2343462/

[5] Elbil.no. *Norwegian EV market* [online]. [cit. 20.2.2019]. Dostupné z: https://elbil.no/english/norwegian-ev-market/

[6] SRB, Luboš. *Elektromobily a hybridy mají parkování v Praze zdarma.* Hybrid.cz. [online]. [cit. 20.2.2019].Dostupné z: https://elektrickevozy.cz/clanky/elektromobily-a-hybridy-maji-parkovani-v-praze-zdarma

[7] Redakce Pravý prostor. *Smutné konce norského elektrického autoexperimentu. pravyprostor.cz.* [online]. [cit. 20.2.2019]. Dostupné z: https://pravyprostor.cz/smutne-konce-norskeho-elektrickeho-autoexperimentu/

[8] Přehled dotací. *Nízkouhlíkové technologie* [online]. [cit. 10.4.2019]. Dostupné z: https://www.prehleddotaci.cz/operacni-program/oppik/dotace-elektromobily/

[9] DEML, Jakub. *Elektromobily a hybridy dostanou speciální SPZ s výhodami*. Garaz.cz. [online]. [cit. 20.2.2019]. Dostupné z: https://www.garaz.cz/clanek/elektromobily-a-hybridy-dostanou-specialni-spz-s-vyhodami-21001153

[10] Ministerstvo průmyslu a obchodu, *Evidence čerpacích stanic pohonných hmot.* [online]. [cit. 19.11.2018]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/statistika-cerpacich-stanic-pohonnych-hmot/2018/6/Seznam-verejnych-cerpacich-stanic-pohonnych-hmot-_-stav-k-26--6--2018.pdf

[11] Ministerstvo průmyslu a obchodu, *Evidence dobíjecích stanic*. [online]. [cit. 19.11.2018]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/statistika-cerpacich-stanic-pohonnych-hmot/2018/6/Seznam-verejnych-dobijecich-stanic-_-stav-k-26--6--2018.pdf

[12] ŠŇUPÁLEK, Petr. *Nabíjecí infrastruktura pro elektromobilitu jako součást průmyslové sítě nn*. Konference ERU 2018. [cit. 1.2.2019].

[13] KOŠÍK, Michal. SKAROLEK, Pavel. *5. úloha: Trakční vlastnosti elektromobilu* [online]. [cit. 19.11.2018]. Dostupné z: https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=2617

[14] ZAPMAP, *EV connector types.* [online]. [cit. 30.11.2018]. Dostupné z: https://www.zap-map.com/charge-points/connectors-speeds/

[15] CHAdeMO, *Technology Overview.* [online]. [cit. 30.11.2018]. Dostupné z: http://www.chademo.com/technology/technology-overview/

[16] CCS MAP. *CCS Charge Map - Europe.* [online]. [cit. 12.12.2018] Dostupné z: https://ccs-map.eu/

[17] HORČÍK, Jan. *V Evropě se objevují první nabíječky 350 kW CCS Combo*. Hybrid.cz. [online]. [cit. 12.12.2018] Dostupné z: http://www.hybrid.cz/v-evrope-se-objevuji-prvni-nabijecky-350-kw-ccs-combo

[18] PHOENIXCONTACT, *Product catalog electromobility*. [online]. [cit.13.3.2019]. Dostupné z: https://www.phoenixcontact.com/assets/2018/interactive_ed/101_142148/index.html#10

[19] TESLA, *Supercharger*. [online]. [cit. 30.11.2018]. Dostupné z: https://www.tesla.com/supercharger?redirect=no

[20] EVMAPA, *Mapa nabíjecích stanic Tesla Supercharger.* [online]. [cit. 30.11.2018]. Dostupné z: https://www.evmapa.cz/stanice?plug=8

[21] *Měření zpětného vlivu nabíjení elektromobilů na distribuční sít.* [cit. 30.11.2018]. České Budějovice: E.ON Distribuce, a. s, březen 2018.

[22] ABB EV Infrastructure, *Terra 54 multi-standart DC charging station.* [online]. [cit. 6.3.2019]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/5a5c94e325144f3cb3f36356352c29e2/4EVC800903-LFEN_Terra54_nd_10_18_web.pdf

[23] CURRY, Claire. *Lithium-ion Battery Cost and Market. Bloomberg.com.* [online]. *2017*. [cit. 12.12.2018] Dostupné z: https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEF-Lithium-ion-battery-costs-and-market.pdf

[24] AUTOBEST. *AutoBest testoval elektromobily*. [online]. [cit. 19.9.2018] Dostupné z: https://www.autoweek.cz/cs-aktuality-autobest_otestoval_elektromobily-7637

[25] Poradci-sobě. *Allianz: cena pojištění dle najetých kilometrů Bez velkého bratra.* [online]. [cit. 12.12.2018] Dostupné z: https://poradci-sobe.cz/pojisteni/allianz-cena-pojisteni-dle-najetych-kilometru-bez-velkeho-bratra/

[26] ČSN EN 50 160 *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*. Praha: Český normalizační institut, listopad 1994.

[27] ČEPS a. s., *Data zatížení* [online] [cit. 21.11.2018] Dostupné z: https://www.ceps.cz/cs/data#Load

[28] YR, *Dlouhodobá předpověď počasí Pelhřimov.* [online]. [cit. 21.11.2018]. Dostupné z: https://www.yr.no/place/Czech_Republic/Vyso%C4%8Dina/Pelh%C5%99imov/long.html

[29] Energetický regulační úřad, *Roční zpráva o provozu ES ČR 2017.* [online]. [cit. 21.11.2018]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2017.pdf/521bff99-fdcf-4c86-8922-3a346af0bb88

[30] Svaz Dovozců Automobilů, *Přehled stavu vozového parku.* [online]. [cit. 21.11.2018]. Dostupné z: http://portal.sda-cia.cz/stat.php?v#str=vpp

[31] EuroEnergy. Predikce elektromobility v ČR. [online]. [cit. 13.3.2019]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/konference-seminare/2018/11/Studie-NAPS-SG-A25_Elektromobilita.pdf

[32] BLAŽEK, Viktor. *Koncepce sítí NN – Výkonové podklady pro návrh sítě NN*. E.ON Distribuce, a.s. 2008.

[33] *ECD - PP - 046 Koncepce sítí nízkého napětí*, ECD - Technický rozvoj a plánování, účinnost od 1. 7. 2016. [cit. 20.2.2019].

[34] *Interní připojovací podmínky pro nabíjecí stanice* [cit. 25.3.2019]. České Budějovice: E.ON Distribuce, a. s, březen 2019.

10. Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1 Měření střídavého nabíjení 75
Příloha 2 Měření stejnosměrného nabíjení 76
Příloha 3 Měření TS Polní dvůr Háječek 77
Příloha 4 Měření TS EG4 T1 78
Příloha 5 Měření TS EG4 T2 79
Příloha 6 Simulační schéma TS Polní dvůr Háječek 80
Příloha 7 Výsledky simulačního modelu v lokalitě TS Polní dvůr Háječek 81
Příloha 8 Simulační schéma TS EG4 82
Příloha 9 Výsledky simulačního modelu v lokalitě TS EG4 83

Vyhodnocení charakteristik napětí podle PPDS Přílohy 3 Meze: PPDS_2012, od: 21.11.2017 17:10:00, do: 21.11.2017 19:20:00

Veličina	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod.%)	Splňuje
Napětí	U	[V]	10 min	min. 95%	1 týden	-10%	238,807 (103,83%)	✓
				max. 95%	1 týden	10%	242,777 (105,56%)	✓
				min. 100%	1 týden	-15%	238,807 (103,83%)	✓
				max. 100%	1 týden	10%	242,777 (105,56%)	✓
Napětí (dlouhá vedení)	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-20%	238,807 (103,83%)	✓
				max. 100%	1 týden	11%	242,777 (105,56%)	✓
Krátkodobý flikr	Pst	-	10 min	max. 95%	1 týden	1	0,340	✓
Dlouhodobý flikr	Plt	-	2 hod	max. 95%	1 týden	1	0,214	✓
Napěťová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,464	✓
Harmonické zkreslení	THDu	%	10 min	max. 95%	1 týden	8%	1,754	✓
Harmonická napětí	Uh2	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,054	✓
	Uh3	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	0,176	✓
	Uh4	%	10 min	max. 95%	1 týden	1%	0,113	✓
	Uh5	%	10 min	max. 95%	1 týden	6%	1,599	✓
	Uh6	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,063	✓
	Uh7	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	0,830	✓
	Uh8	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,052	✓
	Uh9	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,079	✓
	Uh10	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,052	✓
	Uh11	%	10 min	max. 95%	1 týden	3,5%	0,232	✓
	Uh12	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,043	✓
	Uh13	%	10 min	max. 95%	1 týden	3%	0,127	✓
	Uh14	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,026	✓
	Uh15	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,068	✓
	Uh16	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,020	✓
	Uh17	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,133	✓
	Uh18	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,015	✓
	Uh19	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,113	✓
	Uh20	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,022	✓
	Uh21	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,080	✓
	Uh22	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,016	✓
	Uh23	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,146	✓
	Uh24	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,146	✓
	Uh25	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,146	✓

Příloha 1 Měření střídavého nabíjení

Vyhodnocení charakteristik napětí podle PPDS Přílohy 3 Meze: PPDS_2012, od: 17.11.2017 10:00:00, do: 17.11.2017 10:50:00

Veličina	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod.%)	Splňuje
Napětí	U	[V]	10 min	min. 95%	1 týden	-10%	238,657 (103,76%)	✓
				max. 95%	1 týden	10%	243,527 (105,88%)	✓
				min. 100%	1 týden	-15%	238,657 (103,76%)	✓
				max. 100%	1 týden	10%	243,527 (105,88%)	✓
Napětí (dlouhá vedení)	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-20%	238,657 (103,76%)	✓
				max. 100%	1 týden	11%	243,527 (105,88%)	✓
Krátkodobý flikr	Pst	-	10 min	max. 95%	1 týden	1	0,218	✓
Dlouhodobý flikr	Plt	-	2 hod	max. 95%	1 týden	1	0,103	✓
Napěťová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,304	✓
Harmonické zkreslení	THDu	%	10 min	max. 95%	1 týden	8%	2,131	✓
Harmonická napětí	Uh2	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,046	✓
	Uh3	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	0,182	✓
	Uh4	%	10 min	max. 95%	1 týden	1%	0,089	✓
	Uh5	%	10 min	max. 95%	1 týden	6%	1,632	✓
	Uh6	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,026	✓
	Uh7	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	1,026	✓
	Uh8	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,034	✓
	Uh9	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,041	✓
	Uh10	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,049	✓
	Uh11	%	10 min	max. 95%	1 týden	3,5%	0,242	✓
	Uh12	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,028	✓
	Uh13	%	10 min	max. 95%	1 týden	3%	0,230	✓
	Uh14	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,046	✓
	Uh15	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,033	✓
	Uh16	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,041	✓
	Uh17	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,176	✓
	Uh18	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,016	✓
	Uh19	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,152	✓
	Uh20	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,021	✓
	Uh21	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,058	✓
	Uh22	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,018	✓
	Uh23	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,258	✓
	Uh24	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,258	✓
	Uh25	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,258	✓

Příloha 2 Měření stejnosměrného nabíjení

Vyhodnocení charakteristik napětí podle PPDS Přílohy 3 Meze: PPDS_2012, od: 18.9.2018 11:20:00, do: 24.9.2018 7:30:00

Veličina	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod.%)	Splňuje
Napětí	U	[V]	10 min	min. 95%	1 týden	-10%	232,777 (101,21%)	✓
				max. 95%	1 týden	10%	239,597 (104,17%)	✓
				min. 100%	1 týden	-15%	231,447 (100,63%)	✓
				max. 100%	1 týden	10%	239,597 (104,17%)	✓
Napětí (dlouhá vedení)	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-20%	231,447 (100,63%)	✓
				max. 100%	1 týden	11%	239,597 (104,17%)	✓
Krátkodobý flikr	Pst	-	10 min	max. 95%	1 týden	1	0,258	✓
Dlouhodobý flikr	Plt	-	2 hod	max. 95%	1 týden	1	0,396	✓
Napěťová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,290	✓
Harmonické zkreslení	THDu	%	10 min	max. 95%	1 týden	8%	2,020	✓
Harmonická napětí	Uh2	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,050	✓
	Uh3	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	0,310	✓
	Uh4	%	10 min	max. 95%	1 týden	1%	0,050	✓
	Uh5	%	10 min	max. 95%	1 týden	6%	1,890	✓
	Uh6	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh7	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	0,930	✓
	Uh8	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh9	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,050	✓
	Uh10	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh11	%	10 min	max. 95%	1 týden	3,5%	0,560	✓
	Uh12	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh13	%	10 min	max. 95%	1 týden	3%	0,310	✓
	Uh14	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh15	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh16	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh17	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,110	✓
	Uh18	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh19	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,160	✓
	Uh20	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh21	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,050	✓
	Uh22	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh23	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,050	✓
	Uh24	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh25	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,110	✓

Příloha 3 Měření TS Polní dvůr Háječek

Vyhodnocení charakteristik napětí podle PPDS Přílohy 3 Meze: PPDS_2012, od: 10.09.2018 13:40:00, do: 18.09.2018 07:40:00

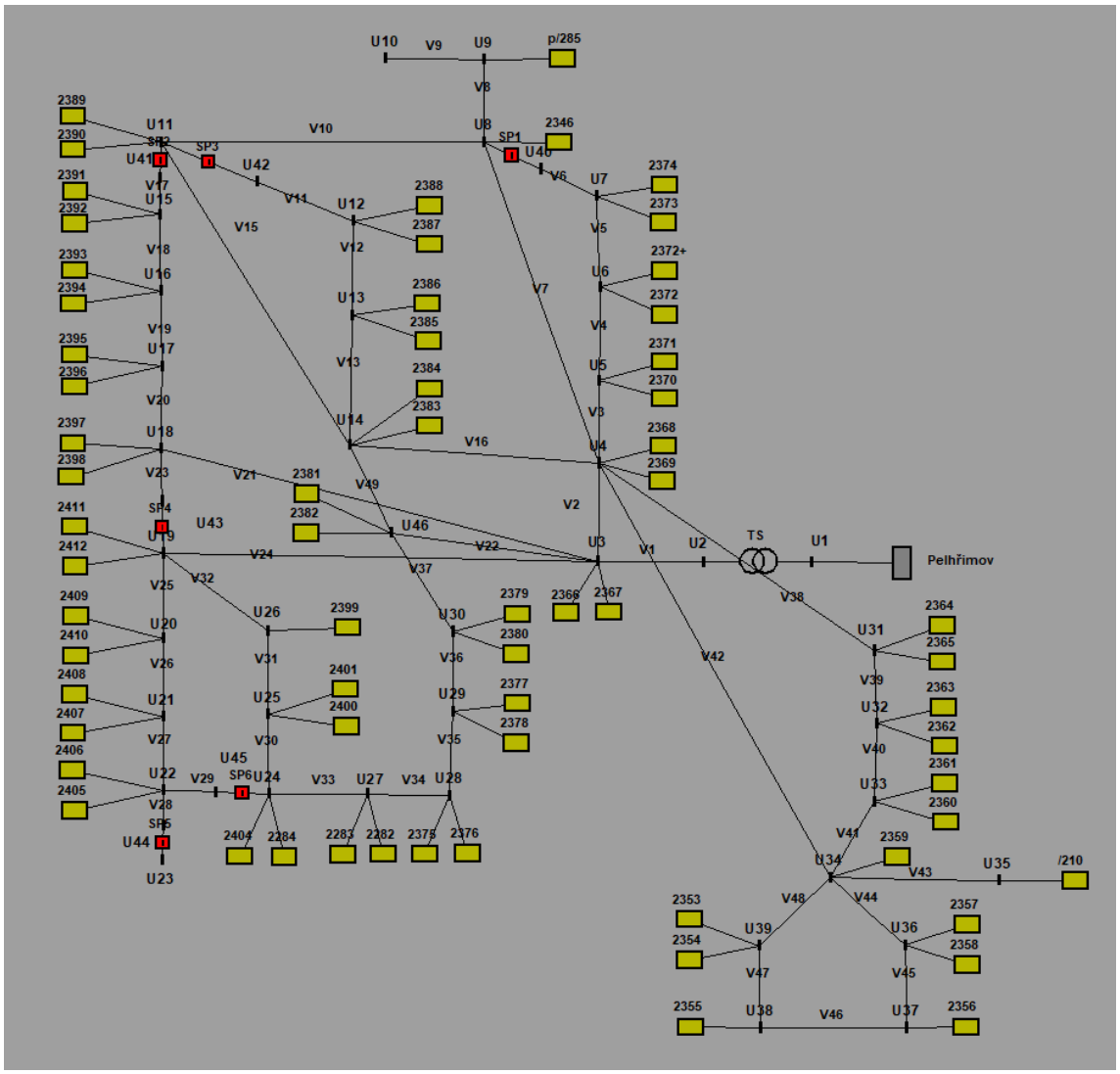
Veličina	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod.%)	Splňuje
Napětí	U	[V]	10 min	min. 95%	1 týden	-10%	226,330 (98,40%)	✓
				max. 95%	1 týden	10%	233,720 (101,62%)	✓
				min. 100%	1 týden	-15%	226,330 (98,40%)	✓
				max. 100%	1 týden	10%	233,720 (101,62%)	✓
Napětí (dlouhá vedení)	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-20%	226,330 (98,40%)	✓
				max. 100%	1 týden	11%	233,720 (101,62%)	✓
Krátkodobý flikr	Pst	-	10 min	max. 95%	1 týden	1	0,246	✓
Dlouhodobý flikr	Plt	-	2 hod	max. 95%	1 týden	1	0,445	✓
Napěťová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,350	✓
Harmonické zkreslení	THDu	%	10 min	max. 95%	1 týden	8%	1,950	✓
Harmonická napětí	Uh2	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,050	✓
	Uh3	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	0,390	✓
	Uh4	%	10 min	max. 95%	1 týden	1%	0,050	✓
	Uh5	%	10 min	max. 95%	1 týden	6%	1,730	✓
	Uh6	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh7	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	0,860	✓
	Uh8	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh9	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,400	✓
	Uh10	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh11	%	10 min	max. 95%	1 týden	3,5%	0,450	✓
	Uh12	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh13	%	10 min	max. 95%	1 týden	3%	0,250	✓
	Uh14	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh15	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,100	✓
	Uh16	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh17	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,100	✓
	Uh18	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh19	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,150	✓
	Uh20	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh21	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,100	✓
	Uh22	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh23	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,050	✓
	Uh24	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh25	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,000	✓

Příloha 4 Měření TS EG4 T1

Vyhodnocení charakteristik napětí podle PPDS Přílohy 3 Meze: PPDS_2012, od: 10.09.2018 13:40:00, do: 18.09.2018 07:40:00

Veličina	Označení	Jednotka	Interval měření	Stat. úroveň	Int. hodnocení	Norm. mez	Hodnota (Hod.%)	Splňuje
Napětí	U	[V]	10 min	min. 95%	1 týden	-10%	226,350 (98,41%)	✓
				max. 95%	1 týden	10%	233,720 (101,62%)	✓
				min. 100%	1 týden	-15%	226,350 (98,41%)	✓
				max. 100%	1 týden	10%	233,720 (101,62%)	✓
Napětí (dlouhá vedení)	U	[V]	10 min	min. 100%	1 týden	-20%	226,350 (98,41%)	✓
				max. 100%	1 týden	11%	233,720 (101,62%)	✓
Krátkodobý flikr	Pst	-	10 min	max. 95%	1 týden	1	0,245	✓
Dlouhodobý flikr	Plt	-	2 hod	max. 95%	1 týden	1	0,445	✓
Napěťová nesymetrie	Uu	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,340	✓
Harmonické zkreslení	THDu	%	10 min	max. 95%	1 týden	8%	1,950	✓
Harmonická napětí	Uh2	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,050	✓
	Uh3	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	0,350	✓
	Uh4	%	10 min	max. 95%	1 týden	1%	0,050	✓
	Uh5	%	10 min	max. 95%	1 týden	6%	1,730	✓
	Uh6	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh7	%	10 min	max. 95%	1 týden	5%	0,860	✓
	Uh8	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh9	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,350	✓
	Uh10	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh11	%	10 min	max. 95%	1 týden	3,5%	0,450	✓
	Uh12	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh13	%	10 min	max. 95%	1 týden	3%	0,250	✓
	Uh14	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh15	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,100	✓
	Uh16	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh17	%	10 min	max. 95%	1 týden	2%	0,100	✓
	Uh18	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh19	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,150	✓
	Uh20	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh21	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,100	✓
	Uh22	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh23	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,050	✓
	Uh24	%	10 min	max. 95%	1 týden	0,5%	0,000	✓
	Uh25	%	10 min	max. 95%	1 týden	1,5%	0,000	✓

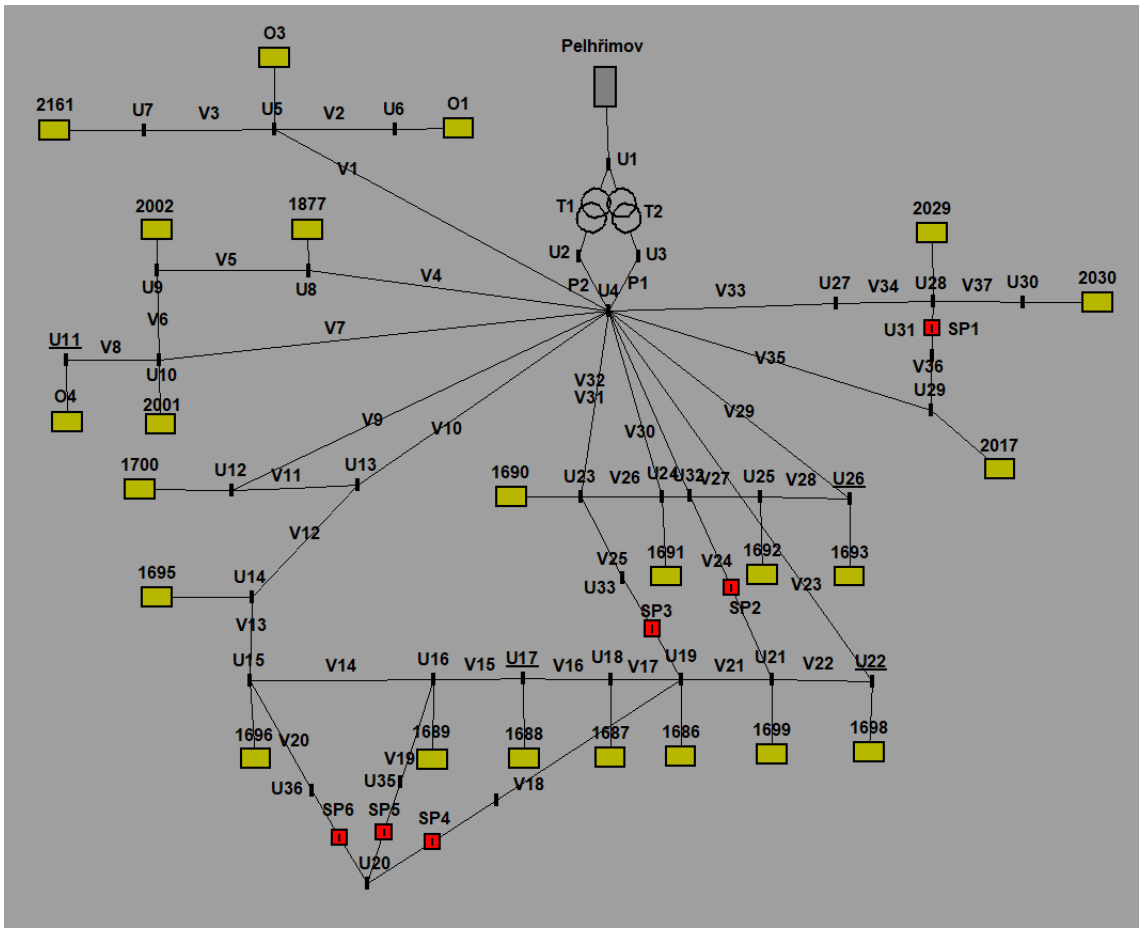
Příloha 5 Měření TS EG4 T2



Příloha 6 Simulační schéma TS Polní dvůr Háječek

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
U1	21,923	-0,285	0,349	11,547	68,223	41,916
U2	0,394	-1,570	1,590	0,020	72,316	8,079
U3	0,383	-1,816	4,185	0,033	49,075	4,883
U4	0,380	-1,908	5,124	0,042	42,604	3,826
U5	0,379	-1,932	5,365	0,055	37,365	2,934
U6	0,378	-1,941	5,451	0,061	35,494	2,609
U7	0,378	-1,955	5,590	0,078	32,371	2,060
U8	0,378	-1,945	5,486	0,073	33,145	2,197
U9	0,378	-1,953	5,525	0,087	32,980	1,836
U10	0,378	-1,953	5,525	0,100	32,873	1,600
U11	0,378	-1,945	5,490	0,074	33,023	2,175
U12	0,377	-2,257	5,779	0,170	50,271	0,940
U13	0,378	-2,163	5,606	0,106	48,617	1,504
U14	0,379	-1,909	5,132	0,043	42,037	3,731
U15	0,380	-1,902	5,066	0,099	29,861	1,615
U16	0,380	-1,896	5,011	0,087	31,159	1,845
U17	0,380	-1,887	4,916	0,075	32,748	2,126
U18	0,381	-1,872	4,759	0,064	34,859	2,497
U19	0,379	-1,931	5,357	0,060	35,818	2,688
U20	0,378	-1,942	5,464	0,066	34,291	2,419
U21	0,378	-1,947	5,573	0,080	30,872	2,002
U22	0,377	-1,949	5,628	0,094	28,501	1,709
U23	0,000	90,000	**100,000**	0,000	0,000	0,000
U24	0,378	-1,953	5,581	0,069	33,417	2,312
U25	0,378	-1,950	5,547	0,067	33,996	2,393
U26	0,378	-1,939	5,437	0,063	35,006	2,553
U27	0,378	-1,950	5,518	0,069	33,578	2,332
U28	0,378	-1,937	5,397	0,064	34,791	2,518
U29	0,379	-1,925	5,283	0,058	36,137	2,741
U30	0,379	-1,910	5,128	0,052	38,186	3,086
U31	0,377	-2,096	5,705	0,090	47,373	1,774
U32	0,376	-2,193	6,109	0,110	46,401	1,449
U33	0,375	-2,192	6,349	0,102	41,955	1,561
U34	0,375	-2,096	6,329	0,081	34,509	1,965
U35	0,373	-2,083	6,742	0,221	18,145	0,724
U36	0,373	-2,366	6,830	0,130	41,571	1,229
U37	0,372	-2,437	6,959	0,144	42,663	1,113
U38	0,372	-2,463	7,006	0,146	42,833	1,095
U39	0,372	-2,399	6,889	0,136	42,022	1,181
U40	0,378	-1,955	5,590	0,084	31,529	1,911
U41	0,380	-1,902	5,066	0,118	28,435	1,360
U42	0,377	-2,257	5,779	0,298	51,452	0,537
U43	0,381	-1,872	4,759	0,071	33,482	2,256
U44	0,377	-1,949	5,628	0,121	25,400	1,322
U45	0,377	-1,949	5,628	0,107	26,738	1,489
U46	0,380	-1,886	4,899	0,042	42,283	3,775

Příloha 7 Výsledky simulačního modelu v lokalitě TS Polní dvůr Háječek



Příloha 8 Simulační schéma TS EG4

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	dUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
U1	21,597	-1,401	1,833	11,547	68,223	41,916
U2	0,383	-3,959	4,245	0,010	71,596	15,849
U3	0,383	-3,955	4,219	0,010	71,866	15,919
U4	0,383	-3,967	4,288	0,010	71,726	15,884
U5	0,380	-4,000	5,104	0,015	48,469	10,478
U6	0,380	-4,000	5,112	0,032	33,657	5,006
U7	0,360	-3,616	**10,070**	0,056	15,075	2,833
U8	0,380	-4,055	5,052	0,023	41,690	6,899
U9	0,380	-4,058	5,071	0,024	41,016	6,665
U10	0,380	-4,059	5,081	0,026	39,277	6,059
U11	0,380	-4,056	5,107	0,075	15,544	2,128
U12	0,373	-4,047	6,726	0,031	30,641	5,109
U13	0,371	-4,062	7,232	0,028	32,867	5,801
U14	0,367	-4,095	8,198	0,033	29,755	4,795
U15	0,365	-4,114	8,800	0,038	28,053	4,231
U16	0,361	-4,221	9,741	0,046	26,942	3,490
U17	0,360	-4,227	9,982	0,048	26,147	3,312
U18	0,360	-4,223	9,986	0,050	25,599	3,199
U19	0,361	-4,213	9,804	0,051	25,332	3,153
U20	0,000	90,000	**100,000**	0,000	0,000	0,000
U21	0,366	-4,151	8,495	0,049	25,274	3,241
U22	0,369	-4,120	7,809	0,046	25,812	3,455
U23	0,378	-4,009	5,438	0,022	37,927	7,402
U24	0,378	-4,013	5,540	0,022	38,034	7,434
U25	0,377	-4,021	5,750	0,025	34,390	6,308
U26	0,378	-4,015	5,602	0,024	35,253	6,578
U27	0,368	-4,351	8,048	0,026	39,448	6,119
U28	0,328	-5,537	**17,976**	0,074	28,385	2,156
U29	0,351	-4,903	**12,346**	0,079	28,009	2,019
U30	0,320	-5,812	**19,997**	0,094	27,121	1,696
U31	0,351	-4,903	**12,346**	0,102	26,791	1,575
U32	0,383	-3,967	4,288	0,075	21,406	2,121
U33	0,378	-4,009	5,438	0,056	23,677	2,867
U34	0,361	-4,213	9,804	0,071	22,412	2,268
U35	0,361	-4,221	9,741	0,078	23,425	2,047
U36	0,365	-4,114	8,800	0,081	25,071	1,969

Příloha 9 Výsledky simulačního modelu v lokalitě TS EG4