



Bakalářská práce

Vliv provozu dobíjecích stanic na lokální uzel elektrické sítě

Studijní program:

B2612 Elektrotechnika a informatika

Studijní obor:

Elektronické informační a řídicí systémy

Autor práce:

Jan Haura

Vedoucí práce:

Ing. Lukáš Hubka, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Liberec 2024



Zadání bakalářské práce

Vliv provozu dobíjecích stanic na lokální uzel elektrické sítě

<i>Jméno a příjmení:</i>	Jan Haura
<i>Osobní číslo:</i>	M17000035
<i>Studijní program:</i>	B2612 Elektrotechnika a informatika
<i>Studijní obor:</i>	Elektronické informační a řídicí systémy
<i>Zadávající katedra:</i>	Ústav mechatroniky a technické informatiky
<i>Akademický rok:</i>	2021/2022

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši o předpokládaném vývoji stavu elektromobilů a dobíjecích stanic v ČR.
2. Seznamte se s problematikou provozu distribuční sítě.
3. Vytvořte matematický simulační model virtuálního lokálního uzlu elektrické sítě, kde bude možné demonstrovat vliv provozu dobíjecích stanic na trafostanici.
4. Sestavte několik scénářů zachycujících vliv velikosti lokální sítě a její struktury (typ připojených odběratelů) na centrální trafostanici.
5. Simulačním výpočtem ukažte zatížení transformátoru pro různé scénáře.
6. Navrhněte možnosti řízení odběru (odpojování) dobíjecích stanic tak, aby nebyla překročena výkonová rezerva transformátoru ani stanovená čtvrt hodinová maxima.

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 30–40 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: čeština

Seznam odborné literatury:

- [1] ČEPS, a.s. [online]. [cit 2021-10-04]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/uvod>.
- [2] DEB, Sanchari, Karuna KALITA a Pinakeshwar MAHANTA. Review of impact of electric vehicle charging station on the power grid. 2017 International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy) [online]. IEEE, 2017, 1-6 [cit. 2021-10-02]. ISBN 978-1-5386-4021-0. Dostupné z: doi:10.1109/TAPENERGY.2017.8397215.
- [3] DHARMAKEERTHI, C. H., N. MITHULANANTHAN a T. K. SAHA. Modeling and planning of EV fast charging station in power grid. 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting [online]. IEEE, 2012, 1-8 [cit. 2021-10-02]. ISBN 978-1-4673-2729-9. Dostupné z: doi:10.1109/PESGM.2012.6345008.
- [4] LIU, Qun, Hui FANG, Jingsong WANG a Shaopeng YAN. The Impact of Electric Vehicle Charging Station on the Grid. Proceedings of the 2015 International conference on Applied Science and Engineering Innovation [online]. Paris, France: Atlantis Press, 2015, [cit. 2021-10-02]. ISBN 978-94-62520-94-3. Dostupné z: doi:10.2991/asei-15.2015.291.

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Hubka, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání práce: 12. října 2021
Předpokládaný termín odevzdání: 16. května 2022

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Libor Tůma, CSc.
garant studijního programu

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Poděkování

Tímto chci poděkovat svému vedoucímu Ing. Lukáši Hubkovi, Ph.D. za velikou ochotu poskytovat potřebné rady. A dále bych rád poděkoval všem, kteří při mně v těchto těžkých časech stáli.

Abstrakt

Tato práce „Vliv provozu dobíjecích stanic na lokální uzel elektrické sítě“ používá odhady budoucího počtu elektromobilů, roční naježděné kilometry českých řidičů spolu s výpočty a měřeními spotřeby elektrických vozů, aby propočítala možná zatížení elektrické sítě vlivem nabíjení takovýchto vozů. V práci se pracuje s několika typy různých oblastí, ve kterých se mohou nabíjet elektrické vozy. Jedním z typů je obydlená oblast s rodinnými domy. Dalším typem je obchodní dům. Třetí oblastí je průmyslový závod. Řešení práce probíhalo tak, že nejdříve byly navrženy jednoduché scénáře, které sloužily pro celkový pohled na problém v jednotlivých oblastech. Poté byly navrženy modelové situace. Tyto modely pracují na bázi statistické pravděpodobnosti. Určuje se v nich pravděpodobnost připojení na nabíječku v daný čas, a popřípadě i na jak dlouho se dané vozidlo připojuje. Dále mají modely obchodního domu a průmyslového závodu přesnější rozlišení spotřeby v čase, konkrétně 15 minut. Na konci práce je pak popis možnosti řízení spotřeby nabíjení elektromobilů, aby nedocházelo k přetěžování elektrické sítě.

Klíčová slova:

Elektromobil, elektrická soustava, zatížení elektrické sítě, hodinová spotřeba, nabíjecí stojany

Abstract

This thesis uses estimations of future quantity of electric vehicles, yearly commuted kilometres by czech drivers along with calculations and measurement of electric vehicles consumption in order to calculate possible load of electric infrastructure caused by charging of these vehicles. There are several types of different areas in which electric cars can be charged. The one of them is civil area with family houses. The next one is a department store. The third one is an industrial facility. At first, the thesis was solved by designing simple situations, which served as a tool for understanding the general picture of particular areas. Model situations were then designed afterwards. These models work on statistic probability basis. Probability of plugging the electric car as well as time spent by the charger is estimated. Furthermore, the department store and industrial facility models offer more precise resolution of consumption in time, 15 minutes to be exact. Finally, there is a description of electric vehicles consumption controlling in order to prevent the electric infrastructure from overloading.

Keywords:

Electric vehicle, electric infrastructure, load of electric infrastructure, hourly consumption, chargers

Obsah

Seznam tabulek.....	8
Seznam grafů.....	8
1 Úvod	10
2 Elektrická síť a elektromobily	11
2.1 Elektrická síť a její dělení	11
2.1.1 Přenosová soustava.....	11
2.1.2 Distribuční soustava	11
2.1.3 Struktury elektrických sítí	11
2.2 Počty elektromobilů a nabíječek	12
2.2.1 Elektromobily	12
2.2.2 Spotřeby elektromobilů	13
2.2.3 Nabíječky.....	16
2.2.4 Nabíjení elektromobilů.....	17
3 Základní rozřazení druhů nabíjení podle dostupnosti nabíječek.....	18
3.1 Domácí nabíjení	18
3.1.1 Rodinný dům	18
3.1.2 Samostatná garáž.....	19
3.2 Dobíjení v zaměstnání.....	19
3.2.1 Malý podnik napájený přívodním jističem.....	20
3.2.2 Veliký podnik s vlastním napájecím transformátorem.....	20
3.3 Dobíjení v rezidentní oblasti	21
3.3.1 Veřejná nabíjecí stanice na sídlišti	21
3.3.2 Rezidentní nabíjecí stanice	22
3.4 Rychlé veřejné dobíjení.....	22
3.4.1 Rychlonabíjecí HUB	22
3.4.2 Ostatní rychlé nabíjení.....	22
3.5 Ostatní veřejné pomalé nabíjení	22
3.5.1 Nabíjení u obchodního domu	23
3.5.2 Nabíjení v parkovacím domě nebo jiné veřejné pomalé nabíječe	24
3.5.3 Nabíjení u lamp veřejného osvětlení	24
4 Modelové situace a návrhy na jejich řízení	25
4.1 Způsob vytváření modelů.....	25

4.2	Modelace nabíjení v rodinném domě.....	26
4.2.1	Řízení nabíjení v rodinném domě.....	27
4.3	Model malého podniku s přívodním jističem.....	28
4.3.1	Řízení nabíjení v malém podniku.....	28
4.4	Model velkého podniku s přívodním transformátorem.....	29
4.4.1	Přesnější model průmyslového závodu	30
4.4.2	Reálný provoz Witte.....	31
4.4.3	Možnosti řízení nabíjení ve velkém podniku	31
4.5	Model rezidentního nabíjení	33
4.5.1	Pracovní týden – léto	33
4.5.2	Řízení nabíječek rezidentního nabíjení.....	34
4.6	Model veřejné nabíječky u rodinných domů.....	36
4.6.1	Detaily modelu sídliště	37
4.6.2	Výsledky modelu veřejné nabíječky na sídlišti	38
4.6.3	Možnosti nabíjení a řízení sdílené nabíječky na sídlišti	39
4.7	Modelace a odběr rychlého veřejného dobíjení	40
4.7.1	Řízení veřejného rychlého nabíjení	40
4.8	Modelace dobíjení u obchodního domu	41
4.8.1	Pracovní dny	41
4.8.2	Víkend	44
4.8.3	Pokročilejší modely	46
4.8.4	Detailnější model obchodního domu.....	46
4.8.5	Výsledky modelu obchodního domu	47
4.8.6	Řízení spotřeby nabíječek u obchodního domu.....	48
4.9	Model dobíjení na veřejné nabíječkárně v centru města.....	49
4.10	Shrnutí možností řízení nabíjení elektromobilů	50
4.10.1	Zvětšení přívodního jističe	50
4.10.2	Nabíjení se sníženým výkonem.....	50
4.10.3	Časovač spouštění nabíjení.....	51
4.10.4	Řízení nabíječek s aktivním sledováním zátěže	51
4.10.5	Řízení s algoritmem pro odpojování nabíječek.	51
4.10.6	Tarifní nabíjení	52
4.11	Metodika pro návrh nové nabíječky a jejího řízení	53

5 Závěr.....	55
Seznam použité literatury	56
Přílohy	58

Seznam tabulek

Tabulka 1: Nízký scénář Euro Energy.....	12
Tabulka 2: Střední scénář Euro Energy	13
Tabulka 3: Vysoký scénář Euro Energy	13
Tabulka 4: Vývoj elektromobilů od České spořitelny	13
Tabulka 5: Spotřeby elektrických vozů.....	14
Tabulka 6: Roční nájezd kilometrů	15
Tabulka 7: Vzor modelové situace	26
Tabulka 8: Model spotřeby rodinného domu s nabíjením.....	27
Tabulka 9: Nabíjení elektromobilů v průmyslovém závodě.	31
Tabulka 10: Změny ve spotřebě domů	33
Tabulka 11: Rozdělení elektromobilů podle ročně najetých km	37
Tabulka 12: Jedno z možných rozdělení jednotlivých vozidel v obytné oblasti.	38
Tabulka 13: Spotřeba elektromobilů nabíjených přes noc.	38
Tabulka 14: Pravděpodobnostní rozdělení časů nabíjení na parkovišti obchodního domu	47
Tabulka 15: Ukázka výpočtu modelu obchodního domu.....	48
Tabulka 16: Příklady tarifů nabíjení.....	49

Seznam grafů

Graf 1: Spotřeba domu v pracovním dny	19
Graf 2: Spotřeba domu o víkendu	19
Graf 3: Spotřeba továrny A	21
Graf 4: Spotřeba továrny B	21
Graf 5: Spotřeba obchodního domu	23
Graf 6: Spotřeba závodu A při rychlém dobití aut	29
Graf 7: Spotřeba závodu A s auty při pomalém dobití aut	30
Graf 8: Spotřeba domů v pracovní den.....	33
Graf 9: Spotřeba 10 domů s 1 vozem nabíjeným 11 kW	34
Graf 10: Spotřeba 10 domů se 2 auty nabíjenými přes noc.....	35
Graf 11: Spotřeba 10 domů s 10 auty nabíjenými přes noc	36
Graf 12: Spotřeba 10 domů s 5 auty nabíjenými přes noc a 5 v jednu hodinu.....	36
Graf 13: Spotřeba elektromobilů nabíjených přes noc.	39
Graf 14: Vytíženost parkoviště obchodního domu v pracovní dny	41
Graf 15: Vytíženost nabíječek s 12,3% elektromobilů.....	42
Graf 16: Spotřeba obchodního domu s 12,3% elektromobilů	43
Graf 17: Vytíženost nabíječek při 50% elektromobilů.....	43
Graf 18: Spotřeba obchodního domu s 50% elektromobilů	44

Graf 19: Vytíženost parkoviště obchodního domu o víkendu	45
Graf 20: Vytíženost nabíječek s 12,3% elektromobilů o víkendu	45
Graf 21: Vytíženost nabíječek s 50% elektromobilů o víkendu	46
Graf 22: Spotřeba obchodního domu s pokročilým odhadem spotřeby nabíječek	46
Graf 23: Spotřeba obchodního domu s 12,3% elektromobilů	48

1 Úvod

V dnešní době je hlavně snaha EU, ale i jiných států a organizací dostat co největší počet elektromobilů na silnice. Tyto instituce, popřípadě jednotlivé státy, to dělají ať už dotacemi daných automobilů, či naopak penalizací konvenčních spalovacích motorů. Důvody pro toto počínání mohou být různé. Zbavení se závislosti na ropě. Ekologičnost elektromobilů, která je ovšem diskutabilní. Nebo snížení hluku na silnicích. Elektrické vozy se ale potřebují nabíjet. Důsledek toho že bude jezdit více elektromobilů je samozřejmý. Jednak celkově zvýšená spotřeba elektrické energie. Následně pak zvýšené zatížení elektrické přenosové i distribuční soustavy. Směry, kterými se v této práci budu ubírat, budou jednak řešerše počtu elektromobilů jak současně registrovaných, tak i odhadů o budoucích počtech, včetně jejich spotřeby energie. Důležitou součástí výzkumů a odhadů v oblastech zatěžování distribuční soustavy provozem nabíjecích stojanů je struktura a velikost lokální distribuční sítě. Práce se bude zabývat několika typy simulovaných scénářů. Jedním z typů bude obydlená oblast s několika rodinnými domy připojená na jednu centrální trafostanici. Dalším typem bude obchodní dům napájený z vlastní trafostanice. Třetím typem bude průmyslová oblast, popřípadě průmyslový objekt, s vlastní napájecí trafostanicí. Práce se však zabývá i samostatným rodinným domkem, nabíjením na sídlišti ale i rychlonabíjecím hubem. Pokud by dle výpočtů a odhadů daných scénářů hrozilo přetěžování přívodu, či centrální trafostanice, bude třeba navrhnout i řízení spotřeby nabíječek. V této práci se tedy rovněž zabývám možnostmi řízení výkonu nabíječek či jejich odpojování od sítě. Důležité je zmínit, že tato práce pojednává pouze plug-in automobilech. Jsou zde zahrnuty čistě bateriové elektromobily, tak i plug-in hybridy. Důvodem, proč se zde vyhýbám non-plug-in hybridům, je ten, že nezatěžují elektrickou síť. Protože, plug-in hybridy, si elektřinu pro pohon vyrábí sami konvenčním spalovacím motorem.

2 Elektrická síť a elektromobily

2.1 Elektrická síť a její dělení

Elektrická síť v České republice je rozdělena na dva druhy, přenosovou a distribuční. Přenosová soustava přenáší elektrickou energii na velké vzdálenosti, zatímco distribuční soustava distribuuje energii většinou ke konečnému spotřebiteli. V distribuční soustavě bývají připojeny i menší zdroje elektrické energie[1].

2.1.1 Přenosová soustava

Přenosová soustava se vyskytuje ve 3 napěťových hladinách. Napětí 400 kV je známá jako zvláště vysoké napětí (ZVN), 220 kV a 110 kV velmi vysoké napětí (VVN). Přenosová soustava se využívá k přenosu energie na dlouhé vzdálenosti a na mezistátní propojení se sousedními státy. K přenosové soustavě jsou také připojeny kompenzační prvky, které jsou nezbytné pro řízení elektrické sítě. O převod energie mezi přenosovou a distribuční soustavou se starají uzlové transformátory 440 kV/110 kV a 220 kV/110 kV.

2.1.2 Distribuční soustava

Páteční vedení distribuční soustavy je 110 kV. Toto vedení se používá k přívodu elektřiny z uzlových transformátorů do transformátorů typu 110 kV/VN. Na toto vedení je také připojena řada elektráren. Vysoké napětí (VN) má v České republice několik hodnot. V současnosti jsou hlavní 22 kV a 35 kV, avšak z minulosti jsou stále v provozu napěťové hladiny 3, 6 a 10 kV. Nicméně u těchto sítí je snaha je nahradit sítěmi 35 kV, popřípadě 22 kV.

Vedení VN se používají jednak k propojení mezi transformátory napěťových hladin VVN/VN a VN/0,4 kV. Z transformátorů VN/0,4 kV jsou pak napájeni maloodběratelé, například rodinné domy, hotely, rekreační objekty, ale i malé obchody. Toto vedení slouží i k připojení velkoodběratelů do elektrické sítě. Tito velkoodběratelé mohou být krom jiných, průmyslové závody, nebo obchodní domy. Velkoodběratelé potřebující ještě větší výkon se nicméně mohou připojit i na vedení 110 kV.

2.1.3 Struktury elektrických sítí

Elektrické vedení, rozvodny a transformátory se dají zapojit do řady různých struktur. Každý typ zapojení má své vlastnosti a záleží primárně na potřebách konkrétní aplikace jak zapojení naplánovat a postavit. Níže je seznam nejpoužívanějších a nejdůležitějších struktur včetně jejich vlastností a nejčastějšího použití[1].

1. Paprsková struktura

Struktura založená na jednom centrálním uzlu, který distribuuje energii do ostatních, popřípadě přímo do koncového bodu. Její největší předností jsou pořizovací náklady a jednoduchost. Nevýhoda tohoto zapojení je spolehlivost. Při výpadku centrálního napájecího uzlu je bez energie celá síť. Snaha eliminovat problém spolehlivosti je použitím dvojpaprskové struktury. Tato struktura má dva na sobě nezávislé zdrojové uzly. Oba tyto uzly jsou propojeny s nižšími, popřípadě s koncovými body. Vyšší spolehlivost je zajištěna tím, že při výpadku jednoho napájecího uzlu nebo při přerušení vedení, dokáže výkon dodávat druhý uzel. Pro dodávání

napájení při výpadku je nutné vhodně napájecí uzly dimenzovat. Paprsková topologie se používá ve všech napěťových hladinách distribuční soustavy 110 kV, 35 a 22 kV i v 0,4 kV.

2. Průběžná struktura

Založená je na jednom napájecím uzlu, ze kterého jde jedno či více vedení a na tato vedení jsou průběžně připojeny další nižší uzly, popřípadě koncové body. Velice jednoduchý a z pravidla levný typ zapojení. Spolehlivost napájení zajišťuje centrální uzel, proto při výpadku centrálního napájecího uzlu dojde k výpadku na celé síti. Další velký problém nastává při přerušení vedení. Všechny uzly či body dále po vedení směrem od napájecího zdroje jsou bez napájení. Nevýhodou je, hlavně při velmi dlouhém vedení s mnoha uzly připojenými na něj, průběžný pokles napětí na vedení. Tato struktura se používá v napětích 35 a 22 kV a 0,4 kV. Velice důležitá a používaná je hlavně pro rozvody veřejného osvětlení.

3. Okružní struktura

Principiálně je založená na průběžné topologii, s tím rozdílem že vedení se vrací zpět do napájecího uzlu. Je zde jen jeden napájecí uzel, avšak je odolný proti přerušení vedení v jednom místě. Pokud dojde k přerušení kabeláže, z kruhové topologie se stane průběžná a, v závislosti na okolnostech, se dá provozovat dál. Používá se v distribučních sítích 110, 35 a 22 kV a přenosová síť používá výhradně tuto strukturu zapojení.

4. Mřížová struktura

Struktura založená na minimálně dvou napájecích transformátorech. Zapojená je tak že každý koncový bod nebo uzel, lze napájet z více směrů. Tato síť je velice odolná proti poruchám, neboť má jednak více napájecích bodů, které mohou, ale nemusí být napájeny z jednoho zdroje. Vnitřní struktura je také velice odolná proti přerušení vedení. Tento typ sítí je velice složitý a všechny konkrétní sítě tohoto typu se navzájem mohou velice odlišovat, a to jak složitostí, tak velikostí. Mříž je také velice nákladná na stavbu. Používá se hlavně pro napájení, v napětí 35, 22 a 0,4 kV, ve městech a jiných hustých zástavbách.

2.2 Počty elektromobilů a nabíječek

2.2.1 Elektromobily

Tato práce se nezabývá vlastním odhadem počtů elektromobilů. Namísto toho se opírá o již zpracované studie na toto téma. Velice nápomocná byla studie Euro Energy: Aktualizace predikce vývoje elektromobility v ČR do roku 2045[2].

Studie pracuje se třemi scénáři, viz Tabulka 1, Tabulka 2 a Tabulka 3. V těchto tabulkách je zobrazeno předpokládané množství automobilů v jednotlivých letech.

Tabulka 1: Nízký scénář Euro Energy

Druh automobilu	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Bateriový	7 109	26 252	40 714	79 461	214 536	377 586
Plug-in hybrid	2 726	13 171	42 619	105 375	231 497	351 045

Tabulka 2: Střední scénář Euro Energy

Druh automobilu	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Bateriový	7 109	51 885	188 323	669 962	1 859 828	3 385 420
Plug-in hybrid	2 726	34 800	135 097	322 757	433 509	335 716

Tabulka 3: Vysoký scénář Euro Energy

Druh automobilu	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Bateriový	7 109	83 716	576 916	1 828 545	3 355 118	4 360 743
Plug-in hybrid	2 726	44 074	233 381	402 934	304 757	175 986

Další studie o vývoji počtů elektromobilů v České republice je od České spořitelny, viz Tabulka 4. Sloupec s názvem procentuální zastoupení ukazuje procentuální podíl elektromobilů a ostatních osobních automobilů[3].

Tabulka 4: Vývoj elektromobilů od České spořitelny

Rok	Počet elektromobilů	Procentuální zastoupení
2020	19 899	0,3%
2025	135 642	2,1%
2030	492 013	6,9%
2035	1 188 256	14,9%
2040	2 223 853	25,2%

Nutno podotknout že studie od České spořitelny počítá bateriové a plug-in automobily dohromady[3]. Dále uvádí, že od roku 2040 by mohla většina všech nově registrovaných vozidel být elektromobily. Studie České spořitelny dále odhaduje větší celkový nárůst všech automobilů než studie od Euro Energy[2].

V prvním pololetí roku 2020 bylo na registru vozidel České republiky registrováno 5022 bateriových elektromobilů. A prvním pololetí roku 2021 bylo registrováno 8582 elektromobilů a v roce 2023 bylo registrováno celkem 19418 elektromobilů[4]. Z těchto čísel se dá předpokládat, že nejrelevantnější je střední scénář, nicméně se dá počítat i ostatními scénáři.

2.2.2 Spotřeby elektromobilů

Pro potřeby této práce je nezbytné znát nebo odhadnout spotřeby elektrických automobilů. Norská asociace vlastníků automobilů - Norges Automobil-Forbund, či zkráceně NAF[5]. Přišla s řadou testování spotřeby a dojezdů elektromobilů, a to jak v létě, tak v zimě. Jejich naměřené hodnoty jsou v Tabulka 5.

Tabulka 5: Spotřeby elektrických vozů

Automobil	Léto (kWh)	Zima (kWh)	navýšení v zimě (%)
Tesla model 3 LR	12,4	13,7	10,48
Ford Mustang Mach-e 4x4	16	20	25,00
Ford Mustang Mach-e RWD	15	19	26,67
Volkswagen ID.3 Pro S	13,50		
Škoda Enyaq	14,5		
Hyundai Kona	12,1		
Volkswagen ID.4	14,5		
Polestar 2	16,6	20	20,48
Audi e-tron GT	16,1		
Xpeng G3	13,25	16,7	26,04
Hyundai IONIQ 5	14,4		
BMW iX3	13,3	17	27,82
Tesla Model 3 SR	12,2		
Mercedes-Benz EQA	15		
Volkswagen ID.3	13,3	16,6	24,81
Volvo XC40 Recharge	17,5	21,8	24,57
Citroen e-C4	13,1	16,3	24,43
Opel Mokka - e	13,8		
Fiat 500 Icon	12,4	15,6	25,81
Honda e	13,4	19,2	43,28
Mazda MX-30	13,20	18	36,36

Z těchto dat vychází průměrná spotřeba, která činí 14,07 kWh na 100 km. Spotřeba v zimě je složitější, protože u několika automobilů chybí odpovídající data. Nicméně průměrná zimní spotřeba aut, u kterých je známa bylo vypočtena jako 17,825 kWh na 100 km. Průměrné navýšení spotřeby v zimě u aut kde jsou k dispozici letní i zimní data je 24,23%. Z tohoto je nakonec vypočtená zimní spotřeba, která je použita ve zbytku práce tak, že průměrná letní spotřeba se zvětšila o toto zimní navýšení na konečných 17,48 kWh na 100 km. Toto navýšení je nakonec o 0,345 kWh na 100 km nižší než průměrná zimní spotřeba u elektromobilů u kterých byla naměřena.

Aritmetický průměr (1) v této podobě byl použit pro výpočet všech průměrných hodnot spotřeby energie jak letní, tak zimní. Další byl výpočet navýšení v zimě. Vzorec, který byl použit, vypadá takto (2). Kde p je procentuální navýšení, x_z je spotřeba v zimě a x_l je spotřeba v létě.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

$$p = 100 * \frac{x_z - x_l}{x_l} \quad (2)$$

Pro spotřebu v budoucnosti bylo rozhodnuto, že pro potřeby této práce se nebude odhadovat změna spotřeby v čase, jelikož tato práce pokrývá až 20 let budoucnosti. K tomu rozhodnutí vede minulá a současná spotřeba konvenčních spalovacích motorů. A to že za posledních více než 20 let se spotřeba dieselové Škody Octavie zvýšila. Konkrétně podle portálu Auto.cz se při jejich testování v roce 1998 s motorem 1,9TDI 66 kW měla spotřebu 6 l na 100 km[6]. Testování v roce 2021 s motorem 2,0TDI 147 kW měla spotřebu 7,1 l na 100 km[7]. Aby tyto data nebyla zavádějící, spotřeba celkového auta se o 1,1 l zvýšila, ale s tím se zvýšil i výkon motoru a tak že na jednotku kilowatu nový motor spotřebovává daleko méně paliva. Spotřeba celkového automobilu je také odvozená od stavby karoserie, velikosti auta a v neposlední řadě i jízdním stylem řidiče či obsazenosti vozidla. Spotřeba paliva u automobilů je velké problematické téma, které dalece převyšuje rozsah této práce. Budou proto použita naměřená data pro letní scénáře a vypočtené navýšení pro zimní scénáře.

Množství spotřebovaného paliva a energie je přímo úměrné počtu najetých kilometrů, proto je nezbytné stanovit nějaké, alespoň přibližné, ale i tak dostatečně přesné, denní nájezdy vozidel, viz Tabulka 6: Roční nájezd kilometrů. K tomuto bylo využito poznatků od Generali České pojišťovny[8].

Tabulka 6: Roční nájezd kilometrů

Procentuální podíl automobilů	Roční nájezd (km)	Denní nájezd (km)
11%	2500	6,85
27,1%	7500	20,55
35,4%	15000	41,1
15,5%	25000	68,49
7,7%	40000	109,6
3,3%	75000	205,48

Pro výpočet denní spotřeby byla použita rovnice (3).

$$ds = \frac{x}{365} * \sum_{i=1}^n \frac{p_i * r_i}{100} \quad (3)$$

Přičemž ds je denní spotřeba, x je průměrná letní, nebo zimní spotřeba na 100 km, p je procentuální podíl automobilů a r jsou roční naježděné kilometry.

Z čehož po výpočtech při použití procentuálních vah a změřené, popřípadě vypočtené spotřeby, činí průměrnou denní spotřebu 6,57 kWh v létě a 8,17 kWh v zimě. Na jedno elektrické vozidlo. Tyto výpočty se opírají o průměrná roční data naježděných kilometrů. Mohlo by se tu namítat, že elektromobil je primárně městské vozidlo, nicméně se musí počítat s odhadem, že až 50 % všech vozidel může být v roce 2045 elektrických. Takto velký počet vozidel se nejspíše nebude využívat jen na cesty lidově „kolem komína“, ale budou se používat jako dnešní běžná vozidla, a proto bylo rozhodnuto pracovat s běžně naježděnými kilometry.

2.2.3 Nabíječky

Co se týče nabíječek na elektrická vozidla, dají se očekávat snahy dostat tyto nabíječky na místa, kde jsou automobily jen zaparkované, a lidé je nutně nepoužívají. Hlavně z důvodu pomalého nabíjení oproti konvenčním palivům. Lze tedy předpokládat, že velká část vozidel se bude nabíjet například doma přes noc, na parkovištích obchodních domů, nebo když lidé budou v zaměstnání a své vozidlo po tu dobu nebudou potřebovat. V práci se píše o pomalém a rychlém nabíjení. Práce rozdělují pomalou a rychlou nabíječku podle technologie nabíjení. Při rychlém nabíjení se používá stejnosměrný proud dodávaný přímo nabíjecím stojanem. Pomalé dobíjení probíhá srze vnitřní nabíječku ve voze a nabíjecí stojan pouze vnitřní nabíječe poskytuje střídavý proud.

Ostatně doporučení EU(SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/844 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a směrnice 2012/27/EU)tomuto velice nahrává[10]. V této směrnici je přímo napsáno toto: „Pokud jde o nové jiné než obytné budovy a jiné než obytné budovy procházející větší renovací, které mají více než deset parkovacích míst, zajistí členské státy instalaci nejméně jedné dobíjecí stanice ve smyslu směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU (*) a kabelovodů, tedy vedení elektrických kabelů, nejméně pro **každé páté parkovací místo**, aby byla v pozdější fázi umožněna instalace dobíjecích stanic pro elektrická vozidla.“, pro obytné budovy směrnice říká toto: „Pokud jde o nové obytné budovy a obytné budovy procházející větší renovací, které mají více než deset parkovacích míst, zajistí členské státy instalaci kabelovodů, tedy vedení pro elektrické kabely, pro **každé parkovací místo**, aby byla v pozdější fázi umožněna instalace dobíjecích stanic pro elektrická vozidla“

Bohužel je zde stále problém s pomalým dobíjením, a mohou nastat situace, kdy bude potřeba dobít automobil rychleji. Proto existují i velice rychlé nabíječky s nabíjecím výkonem 300 kW. Tímto výkonem jak se uvádí je možné elektromobil nabít za pár minut[11]. Jako ideálním místem z tohoto ohledu by byla jejich instalace na místech s velkým provozem aut, které by potřebovaly rychle nabít. Velikým problémem takovéto nabíječky je však její spotřeba, která odpovídá při plném výkonu více než 300 kW. Takovéto nabíječky se tedy dají zřizovat jen na místech výborně zásobených elektrickou energií. Takže buď tam, kde jsou předimenzované trafostanice, anebo takovouto nabíječku používat jen při nižším odběru ostatních spotřebitelů připojených k trafostanici. Další možností je vlastní transformátor čistě jen na tuto nabíječku. Nicméně v místech kde není hustá elektrická síť, může být toto řešení problematické. Pokud by mělo dojít na instalaci vysokovýkonné nabíječky na dálnici, nejspíše by tam nebyla jen jedna, ale hned několik. Potřebná infrastruktura by tak musela být součástí investice při realizaci.

2.2.4 Nabíjení elektromobilů

Technologie nabíjení elektromobilů bude záležet na jejich vnitřní baterii. V dnešní době je většina těchto vozů napájena z lithium-iontových (Li-ion) akumulátorů[2]. Při nabíjení takovýchto akumulátorů se používá metoda CCCV (Constant Current followed by Constant Voltage). Jedná se o dvoufázové nabíjení, nejdříve konstantním proudem s postupně se zvyšujícím se napětím na akumulátoru a to až do okamžiku, kdy akumulátor dosáhne předem stanoveného napětí, typicky 4,20V. Pak se nabíječka přepne do režimu udržování konstantního napětí, zatímco nabíjecí proud klesá. Během nabíjení konstantním proudem akumulátor dokáže vstřebat cca 80 % kapacity[12]. Zbýlých cca 20 % se článek dobíjí mnohem pomaleji. Obecně se uvádí, že vystavovat Li-ion maximálnímu napětí při fázi konstantního napětí je dobré provádět po co nejkratší dobu. To lze ovlivnit nižšími proudy ve fázi nabíjení konstantním proudem. V principu je tedy jasné, že v první fázi stoupá nabíjecí výkon a až dosáhne 80% dobití akumulátoru a přepne se do nabíjení konstantním napětím, výkon začne klesat.

3 Základní roztržení druhů nabíjení podle dostupnosti nabíječek

Rozřazení bylo provedeno na základě toho, v jakých podmínkách se budou automobily nejčastěji nabíjet. Mezi tyto podmínky patří dostupnost nabíječky, zda jde o privátní nabíječku, nebo veřejnou. Prostředí, kde je nabíječka postavená, tímto je myšleno, jestli se nachází například na dálničním tahu, na sídlišti, nebo v okolí jiných primárních odběratelů elektrické energie. Další podmínky jsou denní čas, ve kterém bude nabíječka nejčastěji využívána a čas dostupný na nabití automobilu. Tyto podmínky jsou většinou dány tím, kde je nabíječka postavená. Z těchto třídících podmínek vychází několik typů nabíjení. Konkrétně to jsou domácí nabíjení, dobíjení v zaměstnání, dobíjení v rezidentní oblasti, rychlé veřejné dobíjení a ostatní veřejné pomalé dobíjení. U každého typu nabíjení je pak dále popsáno, kde se s daným typem setkat, jaké zde jsou očekávané nabíječky a obvyklá denní doba nabíjení. Dále jsou zde popsány výkony jednotlivých typů nabíjení a s tím spojené i časy strávené na nabíječce. V neposlední řadě jsou zde nastíněny i možné problémy způsobené chodem nabíječky, která by mohla přetížit síť, v které je připojena. A s tím související i potřeba řízení nabíjení. K ukázkám a výpočtům ve scénářích nabíjení byl použit tabulkový procesor. Všechny zde ukázané scénáře jsou zpracovány statisticky a je u nich uvedeno, jestli pracují s průměrnou hodnotou, odhadnutou hodnotou, či například s nějakou měřenou.

3.1 Domácí nabíjení

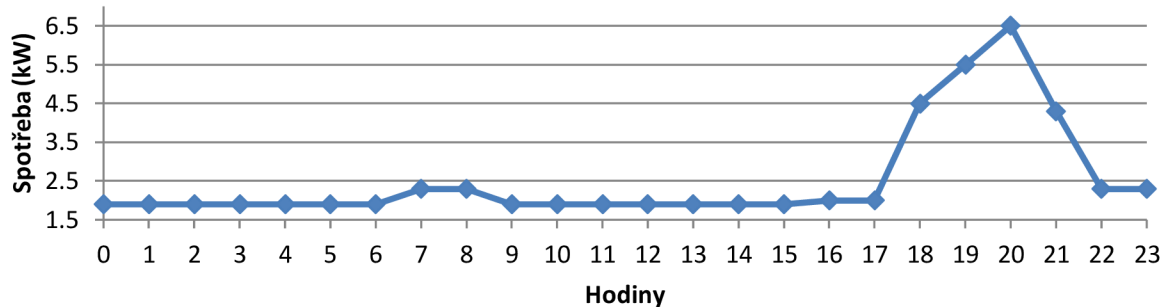
Jedná se o soukromé nabíjení na vlastní nabíječce. Typicky je tato možnost daná u rodinných domů či garáží. Nabíjení zde probíhá v dobu, kdy je zde vozidlo zaparkováno. Základní předpoklad je, že se zde vozidla budou nabíjet převážně v noci. Nabíjení bude realizováno přes jednofázovou či třífázovou zásuvku, popřípadě wallbox[9]. Nabíjecí výkony jsou závislé na velikosti jištění dané zásuvky. Například pro jednofázovou zásuvku jištěnou 16A jističem je maximální výkon 3,68 kW, pro trojfázovou zásuvku jištěnou na stejný proud tedy 16 A je max. výkon 11 kW při jištění 32 A to je 22 kW. Wallbox může mít obdobné hodnoty. Z hlediska napájecího transformátoru by zde v principu nemuselo docházet k žádnému řízení nabíjení elektromobilu. Již z principu je totiž odběr celého domu, či garáže dán velikostí přívodního jističe. Pokud by někdo chtěl větší přívodní jistič, musí o to požádat daného distributora[13]. Nicméně řízení může být důležité v momentu, že by hrozilo přetížení napájení celého domu a tím by byl ohrožen chod domácnosti.

3.1.1 Rodinný dům

V rámci tohoto specifického scénáře se započítává i garáž, která má s rodinným domem společnou elektrickou síť, a tudíž jsou napájeny jedním stejným přívodním jističem. O garáži, která má vlastní samostatné napájení ze sítě, pojednává kapitola 3.1.2. Spotřeba energie v rodinném domě by mohla vypadat, jak ukazuje Graf 1 a Graf 2. Z grafu je patrné, kdy jsou lidé v domě aktivní a spotřebovávají i nejvíce energie. Pro rodinný dům je důležité, aby nebyl přetížený přívodní jistič a tím nedošlo k výpadku elektrické energie. Elektromobil se tedy začne nabíjet po jejich příchodu domů zhruba v 17. a 18. hodinu. V tuto dobu se ale začínají používat i jiné spotřebiče a proto je žádoucí řídit spotřebu takovým způsobem, který nijak neohrozí chod domácnosti. Hodinová spotřeba rodinného domu byla vzata z bakalářské práce: Zásobování

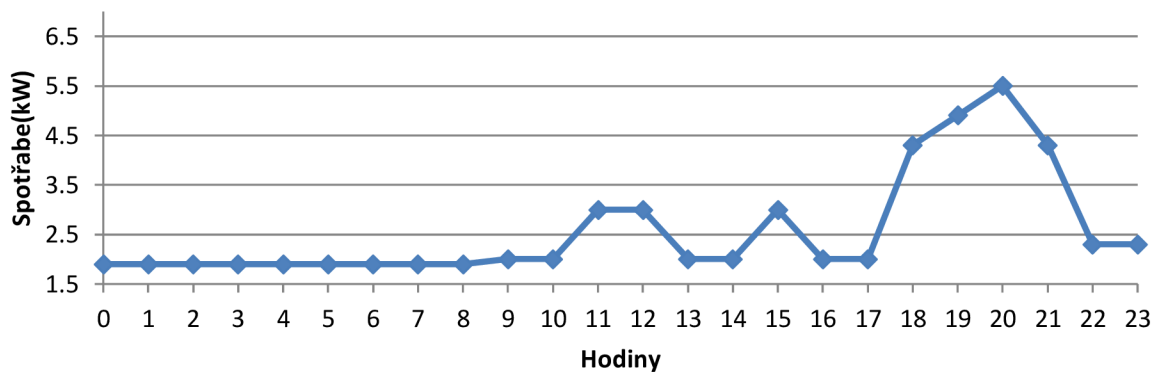
rodinného domu energií[14]. Převzata byla data pro pracovní dny Graf 1, i pro víkend Graf 2. Základní hodinová spotřeba domu je následující:

Spotřeba domu v pracovní dny



Graf 1: Spotřeba domu v pracovním dny

Spotřeba domu o víkendu



Graf 2: Spotřeba domu o víkendu

3.1.2 Samostatná garáž

Garáž stojící u sídlišť, anebo u rodinného domu s vlastní přípojkou elektrické energie. Předpoklad tohoto scénáře je takový, že majitel elektromobilu v okamžiku kdy automobil nepotřebuje, ho parkuje v garáži, kde ho i nabíjí. Jelikož se nepředpokládá výrazný odběr pro chod samostatné garáže, můžeme předpokládat, že skoro veškerý proud, který jistič dokáže převést, může být použitý k nabíjení elektromobilu.

3.2 Dobíjení v zaměstnání

Neveřejné nabíjení na sdílených nabíječkách zaměstnavatele. Nabíjení zde bude probíhat v pracovní dobu a může probíhat všemi možnými metodami, od jednofázové zásuvky, přes wallbox, až po rychlé dobíjecí stanice. Nabíjecí výkony se tím pádem mohou velice lišit. Pro účely řízení je nutné tento druh nabíjení ještě rozdělit podle toho, jak je dané místo zásobeno elektrickou energií. Může jít o menší podnik, který nespotřebuje tolik elektrické energie. Jeho potřeba proudu je do 80 A a je jištěný přívodním jističem. U takových odběratelů je instalovaný

klasický elektroměr a nemají rezervovaná patnáctiminutová maxima[15]. Nebo velké odběrové místo, které je napájeno z vlastního transformátoru. V prvním případě je z hlediska řízení odběru velice podobné jako u domácího nabíjení, tedy tak že se musí hlídat, aby nabíječka nepřetížila elektrickou soustavu podniku a tím i přívodní jistič. V druhém případě bude záležet na velikosti transformátoru, jeho vytiženosti, naddimenzování, počtu nabíjecích stojanů a v neposlední řadě i na rezervovaném příkonu. Podle Ing. Milana Ohaky bývají ve výrobních podnicích transformátory dostatečně naddimenzované na to, aby zvládly spotřebu určitého počtu elektromobilů, které by si zaměstnanci chtěli nabít[16].

3.2.1 Malý podnik napájený přívodním jističem

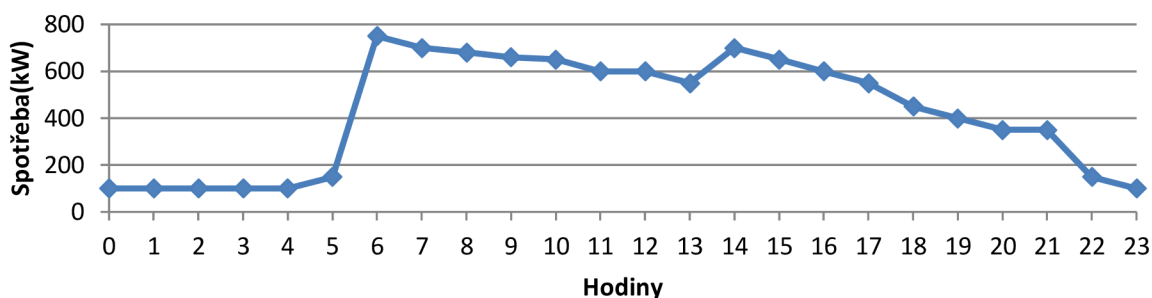
Může jít o malé výrobní podniky, či například služby. Pro jakýkoliv podnik je však nejdůležitější, aby nebylo narušeno jeho fungování. Nejvyšší odběr tato místa budou mít, při příchodu lidí do práce a pak následně během činnosti. Tím, že jsou tyto podniky zásobeny elektřinou pouze přes maximálně tří fázové jističe do 80 A, jsou měřena pře elektroměr a odpadá zde potřeba dodržovat 15 minutová maxima[15]. Avšak pravděpodobně bude potřeba řídit nabíječky pro zaměstnance, aby svým odběrem nepřetížili přívod do podniku.

3.2.2 Veliký podnik s vlastním napájecím transformátorem

Sem spadají všechny podniky připojené vlastním napájecím transformátorem. Výrobní podniky a továrny mají svoji největší spotřebu při svém rozjezdu, většinou tedy ráno poté, co přijedou zaměstnanci. Spotřeba elektřiny během dne, i během rozjezdu může kolísat a je rozdílná podnik od podniku. V každém případě je pro továrnu důležitá výrobní technologie a ta nesmí být narušena. Bohužel největší spotřeba nabíječek bude v okamžiku, kdy začnou přijíždět lidé do práce, tedy v podstatě stejný čas kdy se rozjíždí celý provoz. Jak už bylo psáno výše 3.2, výrobní podniky většinou mají dostatečně naddimenzované transformátory. Nicméně může být dobíjení elektromobilů bráno jako pracovní benefit a je zdarma, tudíž je žádané spotřebu nabíječek řídit takovým způsobem, aby spotřeba celého podniku nepřesáhla 15 minutové výkonové maximum. Při překročení by se sice neohrozila výroba, ale provozovatel podniku by musel platit nemalé penále za toto překročení[17].

Pro příklad, jak spotřeba takového výrobního podniku může vypadat, jsou zde dva grafy. Tento příklad je hypotetickým průmyslovým objektem nebo areálem, který je napájen z jedné centrální trafostanice. Zde se předpokládá, že pracovníci si nabíjí své elektromobily, zatímco jsou v práci. Je uvažován dvousměnný provoz bez nočních směn. První směna začíná pracovat od 6:00. Jsou uvažovány 2 různé směrnice spotřeby s různou maximální spotřebou. Tyto spotřeby byly čistě odhadnuty a nereferují na žádný existující průmyslový komplex či závod. Odhady byly vytvořeny na základě celorepublikové spotřeby, kterou na svých stránkách uvádí ČEZ[19]. Pomocí tvaru grafu spotřeby byla odhadnuta spotřeba průmyslového komplexu použitého v této práci.

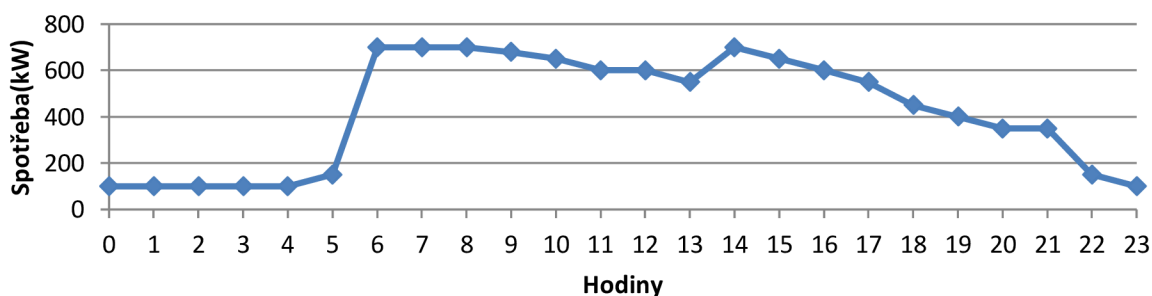
Spotřeba továrny A



Graf 3: Spotřeba továrny A

Druhá směrnice, kterou ukazuje Graf 4, je při rozjezdu výroby v 6:00 zploštělá a nedosahuje takové výkonové špičky jako Graf 3. Toto zploštění maxima je u průmyslových center žádané, jelikož nemusejí platit za vyšší rezervovaný výkon.

Spotřeba továrny B



Graf 4: Spotřeba továrny B

3.3 Dobíjení v rezidentní oblasti

Dobíjení na veřejných nabíječkách postavených na sídlištích a v jejich blízkosti. Anebo neveřejné nabíjení na sdílených nabíječkách určených pouze pro rezidenty okolních budov. Většina nabíjení se zde očekává přes noc, stejně jako u soukromé domácí nabíječky. Primárně by sloužily jako možnost pro majitele elektromobilů, kteří žijí v bytech, bez přístupu k soukromému nabíjení. Nebo obyvatelům bytových domů se soukromým parkováním a neveřejnými dobíjecími body. Nabíjení by, ve vnitřních prostorech, bylo nejpravděpodobněji realizováno za pomoci wallboxů, venku pravděpodobně pomocí nabíjecích stojanů. Obě varianty nabíjení se nejčastěji pohybují okolo 22 kW nabíjecího výkonu. Zde je řízení odběrů velice důležité, protože se nabíječky mohou napájet přes přívodní jistič domu, mohou být napájeny také přes vlastní trafostanici, popřípadě přes trafostanici, která napájí celé sídliště.

3.3.1 Veřejná nabíjecí stanice na sídlišti

Obydlená oblast by se dala charakterizovat jako vícenásobný scénář domácnosti. Kdy lidé většinu času pracovního dne nejsou doma, a přijíždějí až na večer. O víkendu jich naopak může být většina doma. Nabíjecí stanice by mohla být připojena na transformátor obsluhující sídliště.

Anebo na svůj vlastní transformátor. Zde bude nejdůležitějším aspektem nepřetížít transformátor. Pokud by bylo nabíjeno přes transformátor celého sídliště, bude důležité nechat na něm dostatečně velikou výkonovou rezervu pro veškeré výkyvy, které by domácnosti mohli způsobit.

3.3.2 Rezidentní nabíjecí stanice

Jde o druh nabíjecí stanice, který se může vyskytovat například v podzemních garážích bytového domu, nebo na soukromém parkovišti patřícímu k takovému domu. Popřípadě zde může být zařazena i soukromá oplocená vilová oblast s vlastním parkovištěm a nabíjením pro rezidenty. Jednotlivé nabíječky mohou být sdílené mezi obyvateli domu, anebo mohou být i konkrétně pro daného uživatele a nikoho jiného. V některých případech budou nabíječky připojeny k elektrické síti domu, v jiných budou připojeny k elektrickému přívodu rezidentní oblasti. Nastává tu pak velice podobná situace buďto jako v rodinném domě 3.1.1 anebo jako na sídlišti 3.3.1. Nabíjení bude většinou prováděno při příjezdu lidí domů. Lidé však po svém příjezdu začnou spotřebovávat elektřinu ve svých domácnostech. Zde bude řízení nezbytné, pokud bude nabíječka připojena na síť domu, aby se síť celého bytového domu nepřetížila.

3.4 Rychlé veřejné dobíjení

Jedná se o veřejné rychlonabíječky zpravidla blízko významných dálničních tahů. V tomhle specifickém typu nabíjení lze očekávat největší tlak na to nabít automobil co nejrychleji. Tyto nabíječkárny budou obsahovat několik rychlých nabíječek a pak skupinu pomalejších méně výkonných. Rychlonabíječky mají vysoký odběr elektrické energie, a dá se u nich předpokládat, že budou napájeny z vlastního napájecího transformátoru. Dále je možnost že nabíječkárna bude obsahovat i bateriové pole. Tyto baterie mohou sloužit k odlehčení proudových špiček na transformátoru. Další účel těchto baterií může být jako vyrovnávací baterie. Pracují na principu toho, že když je v síti přebytek levné energie, baterie se nabíjejí, pokud je naopak energie v síti nedostatek, nebo je za vysokou cenu, baterie budou dodávat energii zpět do sítě.

3.4.1 Rychlonabíjecí HUB

Dobíjecí místo s několika rychlonabíječkami a množstvím pomalejších nabíječek. V zahraničí se již vyskytují. Ve své podstatě připomínají dnešní čerpací stanice na tekutá paliva. Některé z těchto nabíječekáren mají u sebe například i restaurace či jiné služby. Tyto huby jsou napájeny z vlastních transformátorů, a pro vyplnění výkonových špiček způsobených rychlonabíječkami nají i vlastní bateriová pole. Z těchto baterií se pak může čerpat energie potřebná pro rychlonabíječku.

3.4.2 Ostatní rychlé nabíjení

Jedná se například o veřejné nabíječky u obchodních domů, které obsahují i rychlonabíječku. Zde velice specificky záleží na prostředí, kde je nabíječka umístěna. Aby bylo zajištěno, že rychlonabíječka nezpůsobí přetížení sítě, musí být transformátor na takovou zátěž dimenzovaný, hlavně v okamžiku, kdy nemáme jiný zdroj energie, například bateriové úložiště. Pro nabíjení na rychlonabíječce se může stát, že bude zapotřebí veliký útlum ostatních nabíječek.

3.5 Ostatní veřejné pomalé nabíjení

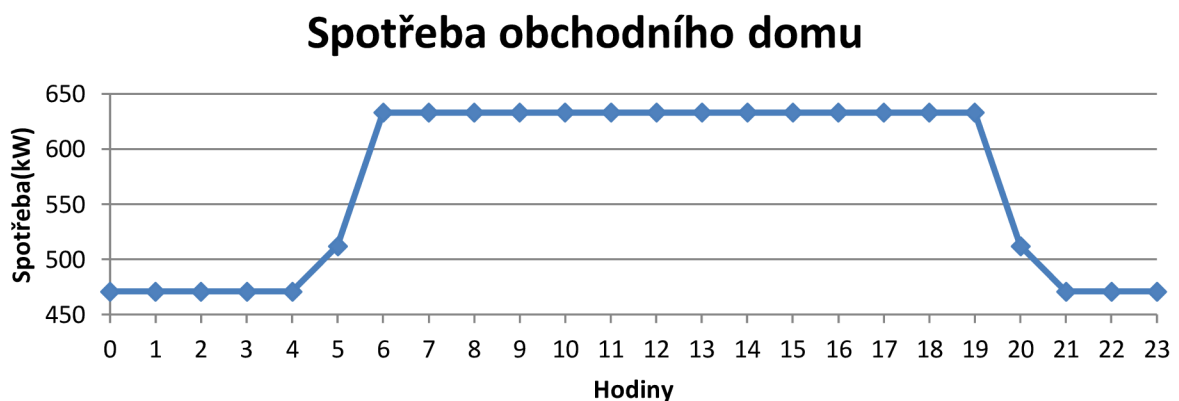
Jedná se o ostatní veřejné nabíječky. Tyto nabíječky jsou například u obchodních domů, na veřejných parkovištích ve městských centrech atd. Jedná se o nabíjecí stojany, vzácně zde mohou být i rychlonabíječky. Další možností veřejného nabíjení elektromobilu je připojení k upravenému

sloupku veřejného osvětlení. Veřejně použité tradiční nabíjecí stojany budou mít nabíjecí výkon 22 kW, ale mohou být i 50 kW. Z hlediska jejich napájení se mohou připojit ke stávající elektroinstalaci, anebo mohou být napájeny vlastní trafostanicí. Řízení veřejného nabíjení bude velice záležet na typu napájení. Tento druh nabíjení bude většinou zpoplatněný a tím pádem jakékoliv řízení by mělo být připravené např. na možné nabíjecí tarify, kdy si řidič elektromobilu zaplatí tarif, který mu garantuje čas plného dobytí, či minimální dobíjecí výkon. V případě využití sloupků veřejného osvětlení může být předpoklad využití pouze některých sloupků, například těch, které stojí u parkovacích míst.

3.5.1 Nabíjení u obchodního domu

Důvod obchodního domu je prodat zákaznickovy zboží, či nějakou službu. Je tedy nejdůležitější zajistit chod pokladen, chlazení zboží, hlavně jídla, a následně zajistit chod světel, a poté vše ostatní. Aktuální spotřeba je závislá od vytížení obchodů a i zde platí, že nejvíce aut na nabíječkách bude v maximálním vytížení zbytku obchodního domu. Vzhledem k tomu že nabíjení elektromobilů se pro obchodní domy může brát jako další zpoplatněná služba. Může se v budoucnu stát, že tyto centra krátkodobě omezí své jiné spotřeby energie, aby tuto energii mohli s marží prodat zákazníkům. Veliké obchodní domy jsou napájeny z vlastních transformátorů. Jejich přilehlé parkoviště je připojené na stejný transformátor, a proto je řízení spotřeby v režii správců domu. Stejně jako jiní velcí odběratelé i obchodní domy nesmí překročit 15 minutová maxima.

Spotřeba obchodního domu byla vypočítána ze studie University of Twente, která se touto problematikou zabírala[18]. Základní hodinová spotřeba obchodního domu se 1000 parkovacími místy může vypadat tak, jako ji ukazuje Graf 5. Tento počet je cca tolik jako parkoviště u Globusu v Liberci. Na parkovišti se předpokládá podle doporučení EU každé páté místo s nabíječkou. Takže to vychází na 200 parkovacích míst vybavených nabíječkou.



Graf 5: Spotřeba obchodního domu

Jak je uváděno ve studii největší podíl spotřeby elektrické energie v obchodním domě má osvětlení a chlazení zboží, ať už prodejní pulty, tak chladicí místnosti určené ke skladování chlazeného a mraženého zboží. Vzhledem k tomu že na spotřebu má relativně malý vliv počet aktuálně přítomných zákazníků. U takovýchto velkých obchodních center pak není výjimkou ani noční doplňování zboží, noční úklid nebo například přeorganizování akčního, zlevněného a

sezonního zboží do příslušných akčních regálů. Tato noční práce však nevyžaduje tolik osvětlení než klasický provoz se zákazníky.

3.5.2 Nabíjení v parkovacím domě nebo jiné veřejné pomalé nabíječe

Ať už půjde o parkovací dům v centru města, nebo veřejné parkoviště u krajských institucí, bude tento druh nabíjení napájen z transformátorů, napájejících i okolní budovy. V současné době takovýchto pomalých nabíječek nebývá tak velké množství, aby narušili chod transformátoru. Nabíjení na těchto místech bude většinou ve dne, ale primárně bude ovlivněno aktivitou lidí v okolí a pravděpodobně bude zpoplatněno. V závislosti na počtu a výkonu všech nabíječek na takovémto parkovišti může být řízení jejich provozu zcela zbytečné, neboť napájecí transformátor bude dostatečně dimenzován, aby zvládnul chod všech přítomných nabíječek najednou na plný výkon. Ale v určitých místech se může stát, že řízení bude pro danou soustavu kritické.

3.5.3 Nabíjení u lamp veřejného osvětlení

Vzhledem k tomu, že systém veřejného osvětlení je řízen tak, že přes den jsou lampy odpojeny od elektrické energie, bylo by možné elektromobily nabíjet pouze v noci[20]. A však právě přes noc je vedení k veřejnému osvětlení vytížené na maximum. Výkonové rezervy na vedení i na transformátoru by v některých městech umožnily instalaci alespoň několika nabíječek, ale i tyto nabíječky by fungovaly jen v noci, respektive jen tehdy, kdy je zapnuté veřejné osvětlení. Možnost jak nechat vodiče veřejného osvětlení pod napětím by byla například instalace chytrých světel. Toto řešení je možné, nicméně není ekonomické a i vodič, který napájí lampy, není vždy dostatečný k napájení zajímavého počtu nabíječek, tak aby byla rozumná návratnost takovéto investice.

4 Modelové situace a návrhy na jejich řízení

Tato kapitola je věnována různým modelovým situacím, které vycházejí ze scénářů nabíjení. Je zde snaha ukázat, jak by mohlo ve zmíněných scénářích vypadat nabíjení a kde mohou být potenciální problémy s nabíjením elektromobilů, zvláště ve smyslu aktuálního potřebného výkonu. Dále se tato kapitola zabývá návrhy možných způsobů řízení spotřeby nabíječek na elektrická vozidla. Zkoumá, který druh řízení může být neoptimálnější v daném scénáři. Spotřeba je řízena tak, aby nabíječky svými výkonovými potřebami co nejméně narušily chod ostatních spotřebitelů a spotřebičů a zároveň, aby dokázaly dostatečně obsloužit všechna připojená vozidla. Vzhledem k tomu, že tato kapitola pracuje se scénáři uvedenými v kapitole 3, které jsou zpracovány statisticky v tabulkovém procesoru, i tato kapitola je zpracována stejně. Jak je psáno výše, jednotlivé číslíkové modely vycházejí ze scénářů, ke kterým byl přidán předpokládaný výkon, který by elektromobily v daném scénáři mohli dobíjet. Jednotlivé podkapitoly se zaměřují na možné situace, které mohou vyplívat ze scénářů. Dávají si za cíl ukázat, jak by v jednotlivých scénářích mohlo nabíjení vypadat a jak by mohlo jednotlivé scénáře ovlivnit. Jsou zde také navrženy principy předcházení přetěžování sítě v jednotlivých modelech, ať už úpravou elektrické sítě, tak hlavně řízením odběru nabíječek. Všechny nabíjecí výkony a proudy jsou v třífázové soustavě. V kapitole jsou použity tyto vzorce:

Denní spotřeba:

$$E = \frac{s * spotřeba}{100} \quad (4)$$

Kdy s , je dráha najetá elektromobilem za jeden den v kilometrech a spotřeba je jeho průměrná spotřeba v kilowatthodinách na sto kilometrů. Denní spotřeba následně vychází v kWh.

Čas nabíjení:

$$t = \frac{E}{P} \quad (5)$$

E je energie potřebná pro nabití elektromobilu a P je nabíjecí výkon nabíječky.

4.1 Způsob vytváření modelů

Model je statistický a vždy se z první části skládá z hodinové, nebo patnáctiminutové spotřeby daného scénáře. Spotřeba použitá v této první části je spotřebou samostatného scénáře bez uvažování jakýchkoliv elektromobilů. Druhá část modelu je vypočtený výkon potřebný pro nabíjení elektromobilů. Výkon, který vozy budou potřebovat pro nabíjení, se vypočetl z počtu elektromobilů, z očekávaného času kdy se budou v daném scénáři nabíjet, z času jaký budou mít dostupný k nabití a výkonu v kWh který si potřebují dobít. Počet elektromobilů se vypočetl jako poměr současných osobních automobilů a očekávaných elektromobilů v budoucnosti. Výkon potřebný pro nabití elektromobilu byl vypočítán ze spotřeby vozu a denního nájezdu kilometrů.

Tabulka 7 ukazuje vzor, jakým způsobem byly jednotlivé modelové situace vypočítány. Sloupec s označením „Čas“ definuje denní čas. Definuje ho způsobem, že například 6 znamená čas od 6:00 po 6:59. Sloupec „Základní spotřeba“ je potřeba kW samotného scénáře či oblasti bez vlivu

nabíjecích stanic. Základní spotřeba scénáře je převzata přímo ze zdrojů, nebo je na jejich základech vypočítána a odhadnuta. „Spotřeba nabíjení“ je celková očekávaná hodinová nebo patnáctiminutová výkonová potřeba nabíječek v jednotkách kW. Tato potřeba se vypočítává z očekávaného počtu elektromobilů v daném modelovém místě a čase, spotřebou elektromobilů získanou z denních nájezdů kilometrů a průměrné spotřeby elektromobilu, a okamžitého výkonu potřebného k dobití elektromobilu v žádaném čase. Žádaný čas se liší model od modelu. V zaměstnání je žádaný čas dobití rovný délce směny. Na parkovišti obchodního domu je žádaným časem k dobití automobilu čas strávený v obchodě. Sloupec označený „Celková spotřeba“ zobrazuje celkovou okamžitou výkonovou potřebu modelu v jednotlivých časech. Jednotky spotřeby jsou v kW. Vzorový příklad předpokládá nabití všech přítomných EV (elektromobilů) za jednu hodinu a jejich následný odjezd. V tomto příkladě se také počítá s dobitím celého denního průměrného nájezdu kilometrů. V každém konkrétním modelu se ke spotřebě nabíjení přistupuje trochu jinak a jednotlivé přístupy jsou u každé modelové situace popsány.

Tabulka 7: Vzor modelové situace

Vzor modelové situace					
Čas	Základní spotřeba	Spotřeba nabíjení			Celková spotřeba
		Počet EV	Denní spotřeba 1 EV	Spotřeba EV	
7	633	14	6,57	91,98	724,98
8	633	25	6,57	164,25	797,25
9	633	34	6,57	223,38	856,38

4.2 Modelace nabíjení v rodinném domě

Jak už bylo psáno v kapitole o rodinném domě, práce se zde zabývá problematikou nabíjení jednoho až dvou elektromobilů na vlastní soukromé nabíječce. Nabíjení bude začínat při příjezdu lidí domů ze zaměstnání. Jelikož je zcela běžné že pokud se lidé vrátí z práce domů, a zůstávají doma, je jejich automobil zaparkovaný, například na pozemku jejich domu. Tento model nabíjení vychází ze spotřeby rodinného domu, o kterém pojednává kapitola 3.1.1.

Nabíjení započne po příjezdu majitele vozu domů. Je zde předpoklad, že majitel vozu zaparkuje, připojí automobil k nabíječce a v případě elektromobilu se nebude chtít starat o cokoliv ostatního. Bude tedy záležet na velikosti a nastavení nabíječky, kolik příkonu začne nabíječka z elektrické sítě odebírat. Je vhodné zmínit i možnosti nabíjení elektromobilu ze soukromé fotovoltaické elektrárny připojené k síti domu. Nicméně, tato práce se takovou možností nezabývá. Důvod je takový, že nabíjení v tomto konkrétním scénáři probíhá večer, tedy v době kdy elektrárna neprodukuje moc proudu, který by se dal použít pro nabíjení elektromobilu.

Tabulka 8 ukazuje možnou situaci v okamžiku příjezdu lidí domů a zapnutí nabíječky na elektromobil. Druhý sloupec tabulky je spotřeba samotného domu, a třetí až sedmý sloupec je spotřeba domu při nabíjení elektromobilu daným výkonem. Spotřeba elektromobilu byla stanovena na 7 kWh. Tato hodnota vychází při nájezdu 50 km a spotřebě 14 kWh na 100 km. V tomto příkladě nabíjení začíná během 18. hodiny, kdy obyvatelé přijíždějí domů.

Tabulka 8: Model spotřeby rodinného domu s nabíjením

Čas	Dům	6kW	3kW	10kW	11kW	22kW
16	2	2	2	2	2	2
17	2	2	2	2	2	2
18	4,5	10,5	7,5	14,5	15,5	26,5
19	5,5	11,5	8,5	5,5	5,5	5,5
20	6,5	6,5	9,5	6,5	6,5	6,5
21	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
22	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
23	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3

V případě že je dům jištěný 10A 3 fázovým jističem, jeho okamžitý odebíraný výkon může být maximálně 6,9 kW. Takovéto jištění by u sledovaného domu stačilo na pokrytí jeho spotřeby, pravděpodobněji však bude jištěný 16A jističem, který pokryje až 11 kW okamžitého výkonu. Modelová spotřeba rodinného domu nemusí souhlasit se skutečností. Z tohoto důvodu by mohlo dojít k přetížení jištění, či například k omezení pohodlí obyvatel domu, a to tím způsobem, že by nemohli používat určité spotřebiče tak, jak byli to teď zvyklí. K tomuto budeme potřebovat spotřebu nabíječky nějak řídit.

4.2.1 Řízení nabíjení v rodinném domě

Jedním z nejjednodušších způsobů, který se nedá nazvat řízení, ale spíše ochranou před přetížením, je jednoduché navýšení jištění domu. Pro navýšení hlavního jističe domu mohou být dva způsoby. První způsob je takové navýšení jističe, jaký je příkon instalované nabíječky. Tento způsob navýšení nemusí být optimální, ale pro domácnost je zcela jistě bez rizika přetížení hlavního jističe. Druhá možnost vyžaduje znalost spotřeby domu a výkonové rezervy na současném jističi. Tato možnost spočívá v tom, že pokud je jistota, že během dne je na jističi určitá výkonová rezerva, dá se tato rezerva využít pro nabíjení elektromobilu. Pokud by rezerva sice existovala, ale nebyla by dostatečná pro požadovaný nabíjecí výkon, hlavní jistič by se navýšil jen o tento rozdíl, a tedy navýšení jističe by mohlo být menší, než v prvním případě. Ne vždy to půjde, protože navýšení přívodu je na požádání, a tato žádost může být zamítnuta. A i když navýšení jističů bude odsouhlaseno, následně se musí platit vyšší sazba, za silnější jistič. Je tedy i na lidech, pokud za toto budou ochotní platit.

Pokud chceme provozovat 22kW nabíječku na plný výkon, budeme potřebovat minimálně 32A jistič jen na jištění samotné nabíječky. Pro modelovou situaci je doporučena možnost zvýšit jištění domu na 40A jistič. V takovém případě je pak maximální okamžitý výkon 27,6 kW. V aktuálním modelu by vznikla rezerva 1.1 kW.

Pokud je znám odběr a není možné navýšit jištění. Lze na některých nabíječkách pevně nastavit jakým konkrétním výkonem nebo proudem budu nabíjet. V modelové situaci aby se nepřetížil 16A jistič, nabíječka by mohla být nastavena na výkon 5 kW. Tímto způsobem se dostáváme na maximální výkon 10,5 kW. 500W rezerva může být pro určité domácnosti málo, a tak se může výkon nabíječky ještě snížit. I při nabíjecím výkonu 4 kW by automobil byl do 2 hodin nabitý.

Dalším způsobem, který se dá kombinovat s předchozím je nastavení časovače. Časovač zapne nabíjení automobilu v nastavené době. Může jít například o čas, kdy už lidé ulehají do postele, a spotřebovávají minimum elektřiny. V modelovém případě by se dal časovač nastavit na 22 hodinu. A při nabíjení třemi kilowatty by automobil byl nabit do 3 hodin od začátku nabíjení a zároveň by maximální příkon domu byl pouze 5,3 kW v době nabíjení, nehrozilo by přetížení ani 10A jističe. Toto řešení je problematické v tom, že se automobil začíná nabíjet až pozdě večer, a pokud by lidé automobil potřebovali dříve, mohl by nastat problém s dojezdem. Pokud bychom najeli více kilometrů, nebo omezili nabíjecí výkon ještě více, nemusel by se elektromobil přes noc nabít.

Řízení nabíjení s aktivním sledováním zátěže. Jde o to, že si monitoruji aktuální vytiženost přívodu, a pokud je v něm rezerva, tak nabíječku automaticky nastavuji na tento nevyužívaný výkon. Zároveň by se ale měla nastavit i výkonová rezerva na případné rychlé výkyvy způsobené chodem domácnosti. Velikost této rezervy, kterou systém nechá, bude záležet na rychlosti regulace celého systému řízení. Rychlost této reakce na tuto náhodnou poruchu v systému bude záležet na frekvenci měření zátěže a také na rychlosti reakce nabíječky. Pokud zde je nabíječka, která svůj příkon reguluje pomalu, musí být rezerva větší, než u rychle se regulující nabíječky. Stejně tak, pokud zde je větší frekvence měření, tak rezerva může být menší. Tento způsob je nejlepším způsobem, pokud se z jakéhokoli důvodu nemůže navýšit hlavní jistič domu, a zároveň provozovatel elektromobilu potřebuje svůj vůz začít nabíjet okamžitě a co nejrychleji.

4.3 Model malého podniku s přívodním jističem

V této podkapitole se práce, alespoň teoreticky, snaží ukázat problematiku nabíjení zaměstnaneckého elektromobilu v podniku napájeného proudem do 80 A. Případně navrhnout systém řízení takového nabíječky. Každý podnik může být dost odlišný. Může jít o malý obchod, restauraci s nabíjecím stáním pro zaměstnance, malé služby v domě a tak dále. Z tohoto důvodu může být velice nespolehlivé odhadovat okamžité a hodinové spotřeby v takovýchto podnicích. Například restaurace bude nejvíce vytižená během obědů a večeří, ale naopak diskotéka k večeru a v noci. Pro model takového podniku by se, alespoň pro některé, dala použít spotřeba rodinného domu. V rámci svého fungování s nabíječkou na elektromobily jsou ve své podstatě identické. Nabíječka svým provozem nesmí zatížit síť provozovny takovým způsobem, aby nespadal přívodní jistič.

4.3.1 Řízení nabíjení v malém podniku

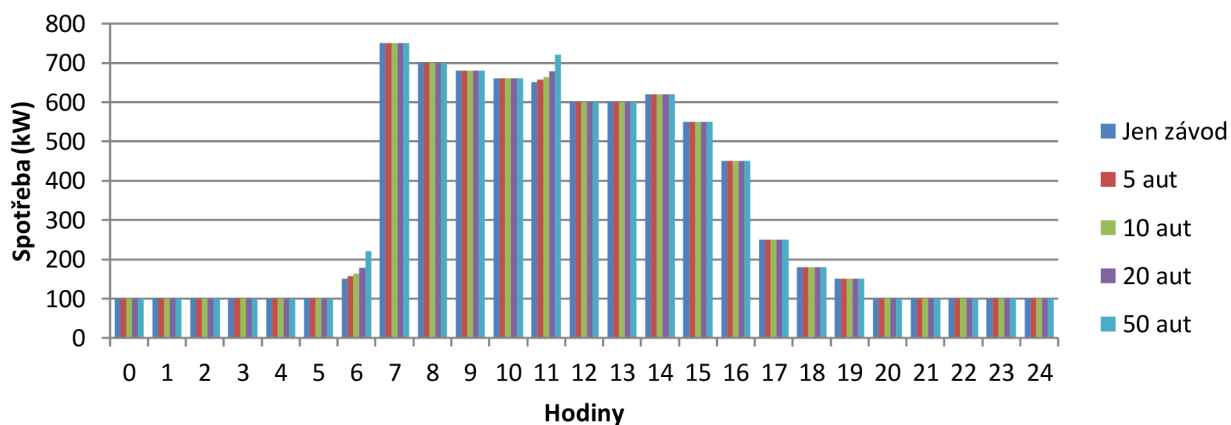
Dá se zde použít vše jako v rodinném domě, až na to, že zaměstnanec má danou pracovní dobu a je zde menší pravděpodobnost, že pojedje z práce dříve, než je plánováno, respektive, než mu skončí pracovní směna. Z tohoto důvodu by zde bylo vhodné nabíjet stálým, ale malým výkonem po celou dobu, navíc by to mohlo být univerzální pro vícero druhů malých podniků a to pouze za předpokladu, že mají dostatečnou rezervu na jističi, která takového pomalé nabíjení zvládne. Možnou alternativou řízení nabíjení pro malé podniky by mohlo být relativně krátkodobé výkonné nabíjení v okamžiku kdy odběr podniku je minimální. Pro svou určitou podobnost s rodinným domem je zde možné využít stejné techniky řízení a ochranu před přetížením jako v modelu rodinného domu 4.2.1.

4.4 Model velkého podniku s přívodním transformátorem

Počty aut na parkovištích u průmyslových závodů velice záleží na konkrétním podniku. Nicméně se dá předpokládat, že vytiženost parkoviště nebude tak moc proměnná jako u obchodního domu. Dá se tedy s jistotou tvrdit, že většina odpojování i připojování elektromobilů bude pouze v časech ze začátku a na konci směn. Pakliže sám průmyslový závod nepoužívá nějaké elektromobily v rámci svého provozu, nebo jakožto služební vozy. Není zde pro to potřeba detailní výpočty pro vytiženost parkoviště. Pro účely této práce bylo stanoveno maximum elektromobilů na 50. Nicméně byly vypracovány různé scénáře s různým počtem připojených elektromobilů. Konkrétní počty elektromobilů jsou 5, 10, 20 a 50. Tento rozsah byl vybrán záměrně, aby se zde dalo demonstrovat, jednak jak počty elektromobilů budou mít vliv na spotřebu a vytiženost transformátoru, tak i styl nabíjení, tím je myšleno jaké maximální výkony budou nabíječky odebírat. Pro tento typ scénáře se nezaobírám přesnými odhady růstu elektromobilů v budoucnu. Neboť velice záleží na typu technologie a odvětví v daném průmyslovém závodě. Existují odvětví vyžadující velké množství elektrické energie, ale málo lidské síly. A naopak jsou odvětví, kde je spotřeba energií nízká, ale je zde vyžadováno velké množství lidí. Proto bylo rozhodnuto, o již zmíněných počtech elektromobilů.

V průmyslovém závodě je předpokládáno připojování a odpojování od nabíječek ve vlnách. Tyto vlny se objeví při začátku a konci pracovních směn. Jak už bylo řečeno u nabíjecích scénářů 3.2.2, tento model nereferuje žádnou reálnou průmyslovou budovu. Samotná spotřeba závodu, a počet pracovníků, velice záleží na jeho typu a použité výrobní technologii.

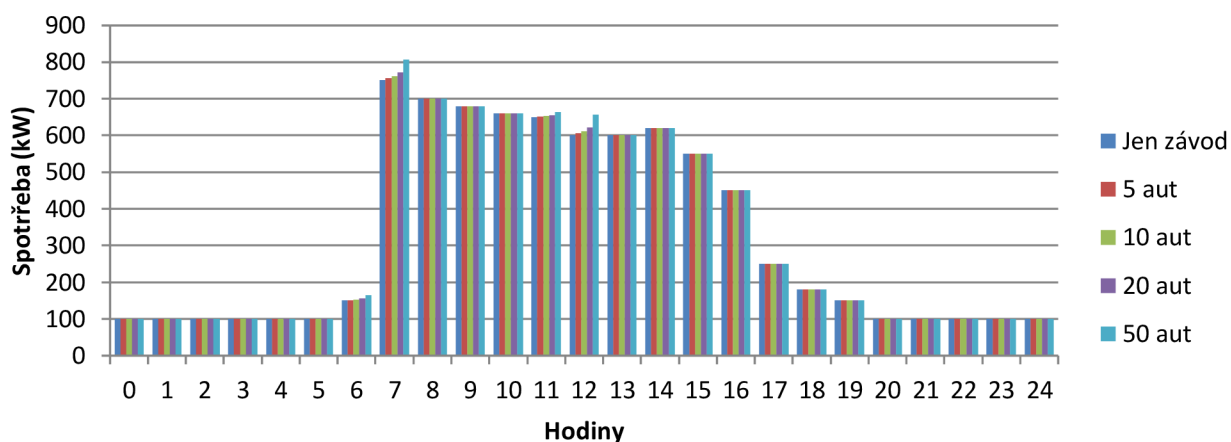
První scénáře ukazují základní zvednutí spotřeby při začátku směny. Všechny elektromobily najely na cestě do práce 10 km a předpokládá se, že si elektromobily dobíjí právě tolik energie, která je potřebná pro ujetí 10 km. V létě to činí 1,41 kWh na každý elektromobil.



Graf 6: Spotřeba závodu A při rychlém dobíjení aut

Tento scénář by platil jen v případě, že by se všechny elektromobily stihly nabít ještě před pracovní dobou, popřípadě by se nabíječky po začátku směny odpojily. Není tedy příliš pravděpodobný, jelikož by se elektromobily musely nabíjet velkými výkony, aby to stihly, například pokud by jejich řidiči je připojili k nabíjecímu stojanu v 6:45 tak by se 1 elektromobil

musel nabíjet výkonem 5,64 kW, aby to stihnul do 7:00. Pravděpodobnější scénář se jeví ten, kdy se sice elektromobily začnou nabíjet v 6:45, ale pokračují v nabíjení i po 7:00. Takovýto scénář by mohl vypadat následovně.



Graf 7: Spotřeba závodu A s auty při pomalém dobíjení aut

Jak ukazuje Graf 7 pro tento případ je zvýšená spotřeba elektrické energie. Tato energie však zvyšuje nutný rezervovaný výkon od dodavatele. Co to může znamenat pro dodavatele energie, nebo pro samotný závod se pojednává v kapitole řízení 4.4.3.

4.4.1 Přesnější model průmyslového závodu

Model průmyslového závodu, se snaží zpřesnit předchozí scénáře. Konkrétní zpřesnění je 15 minutové rozlišení, přesnější výpočet nejetych kilometrů a pravděpodobnostní výpočet časů připojení k nabíječce. Důvod pro 15 minutové rozlišení je stejný jako u obchodního domu. Velcí odběratelé elektrické energie si platí rezervovaný výkon na každých 15 minut. Na rozdíl od obytných domů, kde se rezervovaný výkon platí jako celková velikost hlavního jističe. Pro výpočet pravděpodobnosti příjezdu vozidla a připojení k nabíječce bylo použito upravené Gaussovo rozdělení. Úprava spočívá v přerozdělení na jednu stranu. Nové přerozdělení bylo získáno vynásobením hodnot získaných z Gaussovo rozdělení číslem 1,43905. Toto číslo se získalo jako součet, tří nejvyšších členů v rozdělení, na minus první. Rozdělení příjezdů tedy vychází tak, že s největší pravděpodobností se lidé připojí 15 minut před začátkem pracovní směny, tedy 57,41%. Půl hodiny před směnou lidé přijedou ze 34,82% případů a ze 7,77% případů lidé přijedou o 45 minut dříve.

Tabulka 9 zobrazuje výkon potřebný k nabíjení elektromobilů v čase. Od 2. řádku a 3. sloupce jsou jednotlivé výkony (kW), potřebné k nabíjení automobilů. Důležité je zdůraznit, že elektromobily se nabíjejí konstantním výkonem po dobu celé pracovní směny. V tomto případě až do 14:00. Pro ukázaná data si elektromobily během pracovní směny dobijí celkem 30% z jejich denní spotřeby.

Tabulka 9: Nabíjení elektromobilů v průmyslovém závodě.

Čas	Počty aut:	5	10	20	50
5:15		0,0871	0,1742	0,3484	0,8710
5:30		0,4886	0,9771	1,9543	4,8857
5:45		1,1699	2,3399	4,6798	11,6995
6:00		1,1699	2,3399	4,6798	11,6995
6:15		1,1699	2,3399	4,6798	11,6995
6:30		1,1699	2,3399	4,6798	11,6995
6:45		1,1699	2,3399	4,6798	11,6995
7:00		1,1699	2,3399	4,6798	11,6995

4.4.2 Reálný provoz Witte

Konkrétním případem může být budova Průmyslová 1500 Ostrov. Kde sídlí Witte automotive. Napájecí transformátor je v tomto podniku dimenzován na 8 MVA, zatímco rezervovaný výkon je 2,5 MW. Celé parkoviště čítá 368 parkovacích míst, přičemž 8 z nich je v současnosti osazeno nabíječkami. Nabíječky jsou 4 o výkonu 22 kW a 2, které najednou obsluhují až 4 místa, 50 kW. Celkový výkon nabíječek je v současnosti tedy pod 200 kW.

Jak již bylo zmíněno, v případě Witte je přírodní transformátor velice naddimenzován. U ostatních podniků jsou také výkonové rezervy na přírodním transformátoru, i když ne tak obrovské[16]. Je tedy na místě uvažovat, že pokud nebude počet nabíječek nijak extrémně veliký, transformátor nepřetíží. Samotný rezervovaný výkon však ano. Ve Witte se několikrát za den musí spotřeba řídit, aby nebylo 15 minutové výkonové maximum překonáno. Tato potřeba je při začátku ranní směny, tedy v kolem 6 hodiny ranní a dále pak při začátku odpolední směny, kolem 14 hodiny. Největší vlna elektromobilů, které se budou chtít připojit, bude právě v těchto časech a tak řízení nabíjení bude potřebné k nepřetížení 15 minutového maxima.

4.4.3 Možnosti řízení nabíjení ve velkém podniku

Nejjednodušším způsobem by bylo navýšení rezervovaného 15 minutového maxima. Tento způsob je však značně neefektivní hlavně z ekonomického hlediska. Za vyšší rezervovaný výkon se platí vyšší marže, a pokud zaměstnavatel bude nabízet nabíjení elektromobilu jako pracovní benefit, pravděpodobně nabude chtít kvůli tomu celkově platit vyšší sazbu za elektřinu.

Způsob jak nepřekonat 15 minutové maximum bez nutnosti ho navyšovat je omezit nabíjení ve chvíli, kdy by hrozilo překročení výkonového maxima. Systémů na řízení 15 minutového maxima je celá řada. Základem těchto systémů je počítání spotřebovaného výkonu, a pak tabulka priorit co se v případě nutnosti omezení výkonu odpojuje nebo omezuje jako první. V případě, že by byly nainstalovány nabíječky jen jako benefit pro zaměstnance, pravděpodobně by v tabulce priorit pro odpojení byly hodně vysoko. Systém ale nezbytně nemusí odpojit nebo omezit všechny nabíječky najednou, v určitých chvílích by stačilo omezit jen některé a tím by se spotřebovaný výkon dostatečně omezil tak, aby se nepřesáhlo 15 minutové maximum.

Algoritmus pro řízení rozeznávání vhodných nabíječek pro omezení či odpojení by mohl vypadat následovně. Základem algoritmu bude databáze s aktuálně připojenými vozidly. Dále pak bude

obsahovat čas připojení vozidla, prvotní nabíjecí výkon, současný výkon, pokud možno, tak i procentuální nabití baterie elektromobilu a příznak klesání výkonu.

Obslužný systém řízení omezování nabíječek bude tuto tabulku číst a z ní usoudí, kterou nabíječku omezit. Prioritně omezí již skoro nabitá vozidla. Která vozidla se blíží plnému nabití, půjde vidět díky příznaku klesání výkonu. Tento příznak se vypočítá tak, že pokud se baterie vozu blíží nabití na cca 85%, začne její nabíjecí výkon klesat a protože databáze obsahuje i výkony z několika předchozích měření a prvotní nabíjecí výkon, dá se spočítat, jaká nabíječka má k sobě připojený skoro nabitý automobil, protože tento konkrétní elektromobil se bude nabíjet čím dál menším výkonem. A protože automobil je v tuhle chvíli téměř dobitý pro řidiče by neměl problém dojet do žádané destinace. Pokud je nabíječka schopna s vozem komunikovat o jeho aktuálním procentuálním nabití, a tuto informaci i pošle do řídicího systému, tak se celý výpočet pro příznak klesání nemusí provádět. Protože tento klesající příznak má pouze nahrazovací funkci pro procentuální nabití elektromobilu.

Pokud jsou již všechny skoro dobité elektromobily odpojeny. Prioritu při odpojení naopak dostanou vozidla, která jsou na nabíječce velice čerstvě a začali se nabíjet před nejkratším časem. Zkrátka ta, která jsou nejméně nabita. Omezení vozidel, která jsou na nabíječce nejkratší dobu, zajistí ostatním vozidlům, které už se nabíjejí déle, dostat se za hranu klesající nabíjecí charakteristiky, a následně je odpojit jako již vozidla nabitá, a tím obnovit nabíjení vozidlům, která na nabíječku přijeli později.

V krátké rekapitulaci, nejdříve se odpojí vozidla, která jsou na nabíječce nejdéle, a mají příznak klesání, protože ty jsou již téměř, nebo úplně dobitá. Následně se budou odpojovat ty vozidla, která jsou na nabíječce ten nejmenší čas

Algoritmus by se dal použít i na větve nabíječek. Touto větví je myšleno elektrickou větev, na které je vícero nabíjecích stojanů. Lze ho použít hodně podobně, kdy budeme sledovat výkon na jednotlivých větvích, a tím měřit, jestli na nějaké větví výkon neklesá, nebo neklesá rychleji než na jiné. Databáze by se pravděpodobně potřebovala rozšířit, minimálně o rychlost klesání jednotlivých větví. Rychlost klesání je možné určit na základě po sobě jdoucích měření, které se v nejjednodušším případě proloží přímkou. Směrnice této přímky pak ukazuje rychlost klesání příkonu nabíječek připojených k jedné větví. Pravděpodobně by bylo třeba zajistit jisté filtrování pro okamžiky připojení a odpojení vozidla.

Tato metoda by mohla být velice vhodná scénáře, u kterých se dá očekávat, že automobil je na nabíječce delší dobu. Protože upřednostňuje nejdříve dobit automobil, který přijel dříve a až následně ten, který přijel za ním. Dále systém umí filtrovat již skoro nabitá vozidla, kterým nabíjení omezí ve prospěch ještě nenabitých vozů. Lze tento systém využít v placeném i neplaceném nabíjení.

4.5 Model rezidentního nabíjení

Základní scénář pracuje s 10 domácnostmi připojenými na jeden přívod. Počet osobních aut byl stanoven na 20, celkem tedy 2 automobily na jednu domácnost.

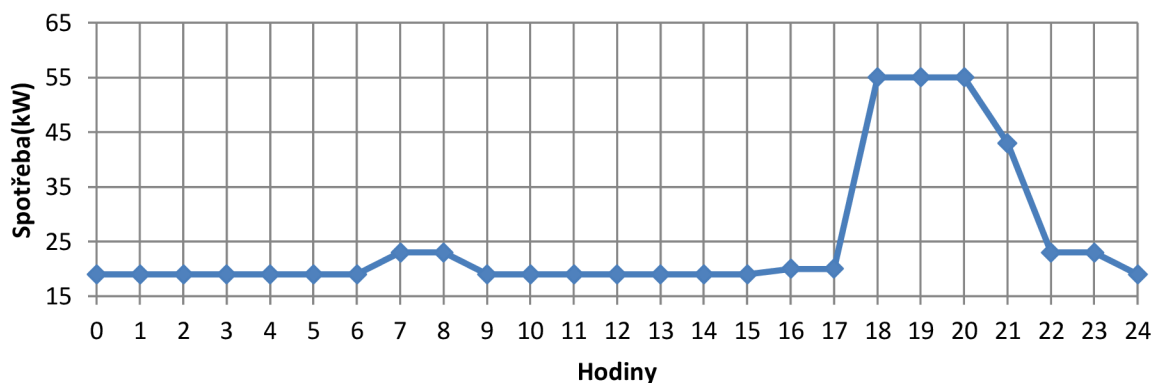
4.5.1 Pracovní týden – léto

Spotřeba 10 domácností v pracovních dnech je předpokládána jako spotřeba 10 rodinných domů. Spotřeby 5 z nich byly upraveny. Úprava byla udělána hlavně z důvodu širšího výkonového rozpození. Aby nebyla v jednom bodě, konkrétně ve 20 h, veliká výkonová špička.

Tabulka 10: Změny ve spotřebě domů

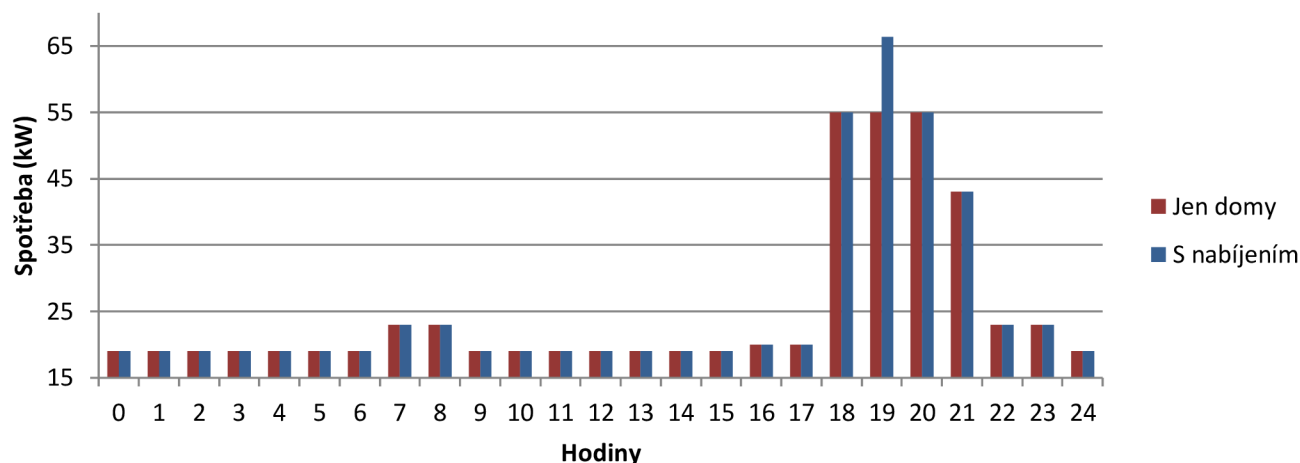
Původní spotřeba		Nová spotřeba	
Čas	Spotřeba (kW)	Čas	Spotřeba (kW)
18	4,5	18	6,5
19	5,5	19	5,5
20	6,5	20	4,5

Spotřeba domů v pracovní den



Graf 8: Spotřeba domů v pracovní den

Vidíme, že v modelové uzavřené lokalitě s 10 domácnostmi, se nejvyšší okamžitá spotřeba elektrické energie odhaduje na 55 kW. To znamená, že pokud by se ve výkonové špičce připojil elektromobil na nabíječku o výkonu 11 kW, spotřeba domů by se zvedla o 20% a to jen díky jednomu automobilu. Graf 9: Spotřeba 10 domů s 1 vozem nabíjeným 11 kW ukazuje scénář toho, kdy se v průběhu 19. hodiny zapne nabíječka s příkonem 11 kW



Graf 9: Spotřeba 10 domů s 1 vozem nabíjeným 11 kW

Pokud by zde v této uzavřené lokalitě stálo 10 nabíječek, každá o výkonu 11 kW. Jejich společný maximální odběr by byl 110 kW, tedy dvojnásobek než všech domů v oblasti dohromady.

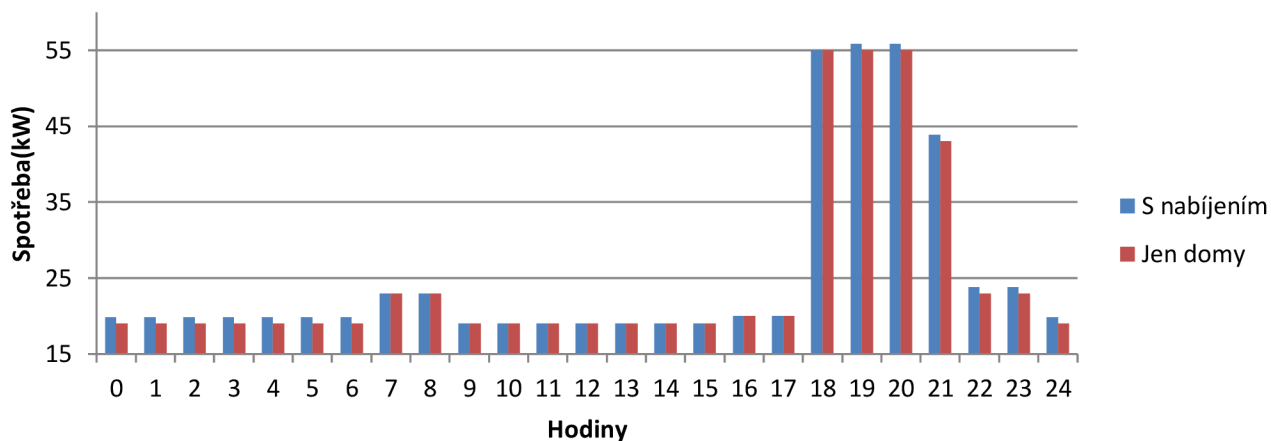
4.5.2 Řízení nabíječek rezidentního nabíjení

Vzhledem k potřebě řízení, se nabízí několik variant. Jednou z variant je instalace jen nabíječek takového souhrnného výkonu, který spolu s ostatní zátěží nepřetíží přívod do rezidentní oblasti. Tento návrh není možné udělat všude.

Dalším způsobem by mohlo být zapínání nabíječek na časovač, který nabíječky zapne v daný čas v noci, kdy se předpokládá nízký odběr elektřiny, nebo plošné potlačení nabíjecího výkonu na minimum, kdy by se ve své podstatě nainstalovali nabíječky s velmi malými výkony, které by nepřetížili síť, popřípadě by se nabíječky takto pevně nastavily. Oba tyto návrhy ale mohou narazit na lidské pohodlí. Majitelé elektromobilů by v prvním případě rádi svůj vůz začali nabíjet okamžitě po připojení, a ne až někdy v noci. Ve druhém případě, kdy by byl nabíjecí výkon omezen, by se mohlo stát, že někdo se svým automobilem naježdí za den více kilometrů, než by byl pak schopen nabít, a tím by se dostal do deficitu. Při průměrné spotřebě 14 kWh na 100 km by se automobil při nabíjení výkonem 3 kW nabíjel rychlostí 21,4 km za hodinu nabíjení, pokud by nabíjecí výkon byl 2 kW elektromobil by se nabíjel rychlostí 14,2 km za hodinu nabíjení. Pokud by zmíněný vůz naježdil 140 km denně, ale mohl by se nabíjet výkonem pouze 2 kW po dobu 8 hodin denně. Dostal by se do deficitu 26,4 km za den. Při průměrné spotřebě 14 kWh na 100 km. Takovéto případy však budou vzácné.

Opravdovou možností řízení by mohlo být automatické omezování výkonu nabíječek, podle měřeného dostupného výkonu na přívodu. Systém by měřil aktuální zatížení přívodu, a pokud by se přívod dostal na danou výkonovou hranici, systém by omezil výkon nabíječek. Jakmile by výkon na přívodu klesnul pod danou hodnotu, výkon nabíječek by mohl opět znovu růst. V tomto systému by musela být ještě nastavena hysterezní smyčka, která zabrání příliš rychlému zvyšování a snižování nabíjení. Další možností jak tento systém ještě rozšířit, by bylo odpojování nabíječek od těch vozů, které mají nabito z více jak 80% své kapacity. O tomto systému řízení hovoří kapitola 4.10.5.

Pokud budeme uvažovat 2 elektromobily, tedy 10% všech automobilů. Předpokládejme průměrný denní nájezd kilometrů s průměrnou spotřebou a vyváženým nabíjením po celou noc. Nicméně se zde počítá pouze s nabíjením 75% spotřebované energie. Je zde předpoklad že zbylých 25% spotřebované energie si elektromobily dobíjí například u obchodů, nebo v práci. Nabíjí se konstantním výkonem tak, aby byl elektromobil za určitý čas nabit. Zde konkrétně se nabíjí od 19 do 7 hodin následujícího dne. Vytíženost přívodu by mohla vypadat následovně:



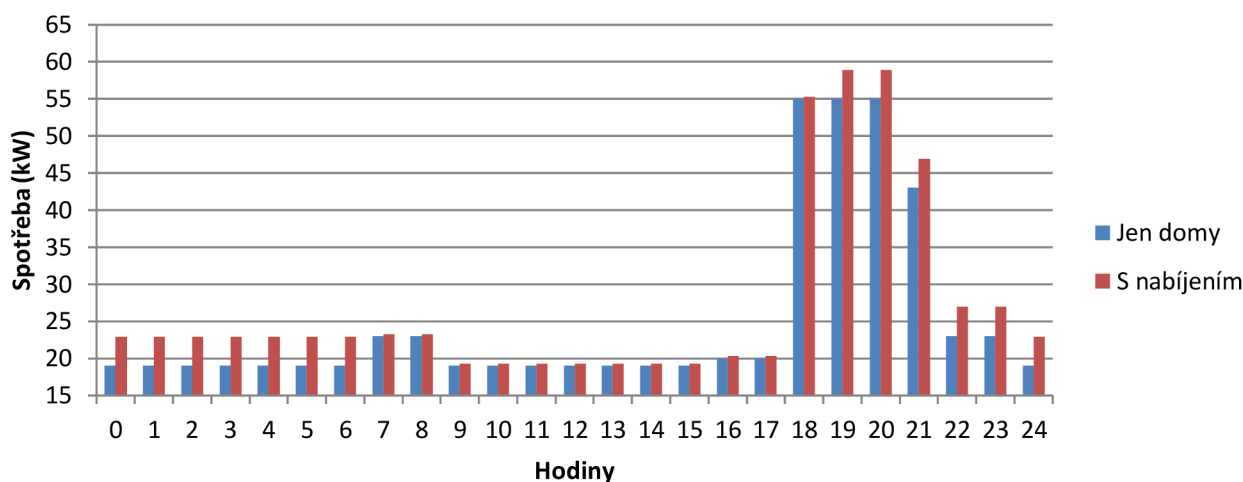
Graf 10: Spotřeba 10 domů se 2 auty nabíjenými přes noc

Lze zde pozorovat lehké zvýšení vytíženosti v nočních hodinách. Co se týče potřeby řízení, tak by hlavně záleželo na výkonové rezervě přívodu.

Pokud se oba automobily začnou nabíjet výkonem dostatečným, který je dobije za jednu hodinu. A zároveň by se začali nabíjet ve stejný čas. Vytíženost by mohla vypadat následovně:

Vytíženost se zvýšila jen v dobu, kdy lidé přijeli z práce a připojili svoje automobily na nabíječky. Je zde jasně vidět veliké zvýšení vytížení transformátoru z 55 kW až na 66,4 kW. Pokud bychom uvažovali přívod o maximálním výkonu 65 kVA, tak ten by byl zcela jistě přetížen, a muselo by se řešit řízení, popřípadě odpojování nabíjecích stanic.

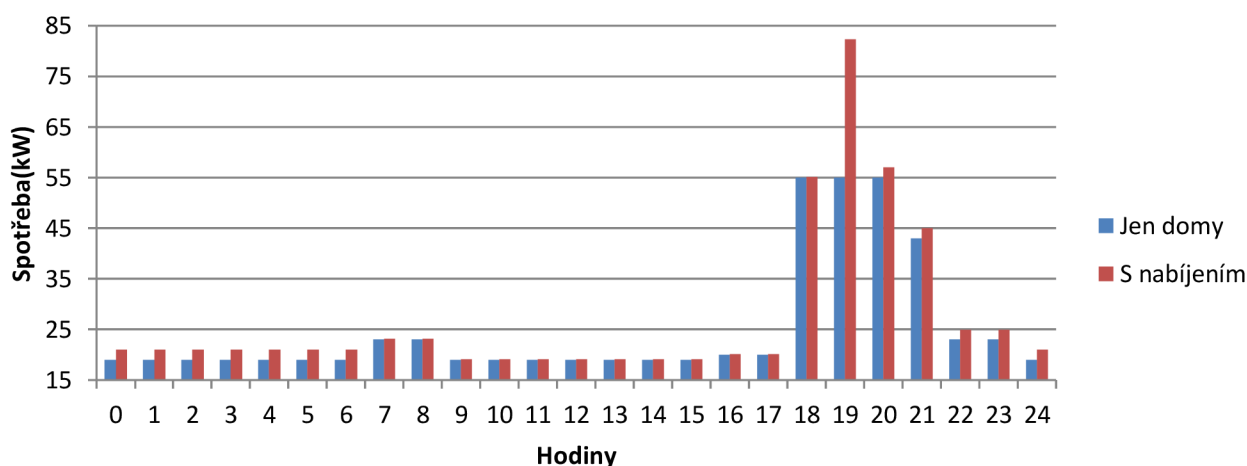
V nejvyšším uvažovaném scénáři je počet elektromobilů 50% vůči všem ostatním osobním vozům. Budeme uvažovat, že nabíjet se bude stálým výkonem přes celou noc. Všechna auta přijedou ve stejný čas, a ve stejný čas se i vypíná nabíjení. Tento scénář s obydlenu oblastí by tedy mohly vypadat následovně.



Graf 11: Spotřeba 10 domů s 10 auty nabíjenými přes noc

V Graf 11 je maximální výkon až 58,9 kW.

Pokud by se polovina aut nabíjela průběžně přes noc, a polovina by byla nabitá do hodiny od zapojení na síť tak takový možný scénář by mohl vypadat následovně.



Graf 12: Spotřeba 10 domů s 5 auty nabíjenými přes noc a 5 v jednu hodinu

Na Graf 12 se objevila výkonová špička o velikosti až 82,3 kW. Toto je navýšení z původních 55 kW o 27,3 kW. Toto je nárůst o 49,64%.

4.6 Model veřejné nabíječky u rodinných domů

Co se týče rozdílů mezi veřejnou nabíječkou na sídlišti a rezidentní neveřejnou nabíječkou, tak v časech nejvyššího vytížení budou v podstatě totožné. U rezidentních by se mohla spíše objevit nějaká větší pravidelnost, ale jinak z tohoto pohledu se budou chovat skoro stejně. Rozdíl mezi veřejným a neveřejným nabíjením bude v pohledu řízení těchto nabíječek.

Vzhledem k podobnostem bylo rozhodnuto, že model obytné oblasti bude mít, tak jako ve scénáři rezidentního nabíjení, 10 domů. Prvních 5 domů bude mít spotřebu převzatou přímo z bakalářské práce [14]. Dalších 5 pak mnou upravenou spotřebu viz Tabulka 10: Změny ve spotřebě domů. Pro

modelování bylo použito počtu 10 elektromobilů, tedy 50% všech osobních vozidel. Důvodem bylo hlavně zjištění ze scénářů, kdy počet 2 elektromobilů skoro neměl šanci přetížit síť. Dalším důvodem je že počet 10 elektromobilů je názornější, a lépe povede k diskuzi v oblasti řízení. V modelu se již započítává přesné rozdělení elektromobilů podle denních nájezdů kilometrů. Dále je v modelu zapracováno pravděpodobnostní rozložení časů připojení elektromobilů na nabíječky a i jejich odpojování. Model ještě pracuje s nestálou nabíjecí dobou. Tedy že automobily se ne všechny nabíjejí stejně dlouhou dobu.

4.6.1 Detaily modelu sídliště

Roztřídění elektrických automobilů podle naježděných kilometrů byla použita Tabulka 6 ročních a denních nájezdů. Podle této tabulky byly elektromobily vypočteny roztříděny viz Tabulka 11.

Tabulka 11: Rozdělení elektromobilů podle ročně najetých km

Procentuální podíl	Roční nájezd (km)	Denní nájezd (km)	Denní spotřeba (kWh)	Počet aut
11	2500	6,849315	0,9637	1
27,1	7500	20,54795	2,8911	3
35,4	15000	41,09589	5,7822	3
15,5	25000	68,49315	9,6370	2
7,7	40000	109,589	15,4192	1
3,3	75000	205,4795	28,9110	0

Další roztřídění vozidel je podle příjezdů a připojení k elektrické síti. Na toto roztřídění bylo použito Gaussovo normální rozdělení.

Rozdělení elektromobilů podle celkového času stráveného připojením na domácí elektrickou síť bylo rovněž realizováno pomocí Gaussovo normálního rozdělení. Nicméně zde byl použit jiný rozptyl. Konkrétně rozptyl 0,5 pro střední hodnotu 10. To znamená přesně 79,788% aut se nabíjí 10 hodin a 10,798% se nabíjí 9, nebo 11 hodin. Z tohoto rozdělení tedy vychází, že 8 elektromobilů se nabíjí 10 hodin, jeden 9 hodin a poslední 11 hodin.

Při zapracování všech rozdělení vozů vychází, že jeden elektromobil má v tomto modelu celkem tři parametry. První parametr jsou najeté kilometry, druhý parametr je start nabíjení, a posledním parametrem je čas strávený na nabíječce. Všechny parametry musely být jednotlivým elektromobilům dány ručně. Model byl následně poskládán jako součet všech spotřebovaných výkonů v jednotlivých hodinách. Je tedy dobře vidět všechny výkony spotřebovávané jednotlivými elektromobily a domy viz kapitola 4.6.2 výsledky modelu.

Protože jsem jednotlivé vlastnosti elektromobilům zadával ručně. Musel jsem to dělat postupně, hlavně pro to aby se zachovala přehlednost a nedošlo k chybám. Jako první jsem si tedy rozdělil elektromobily podle najetých kilometrů. Dále pak podle času kdy se jednotlivé vozy připojí k nabíječkám. Když toto rozdělení bylo dokončeno, začal jsem do modelu zadávat jednotlivé automobily. Až když jsem měl elektromobily rozřazené a zapsané začátky jejich nabíjení, tak jsem jim určil maximální délku nabíjení. Přesněji 8 aut se nabíjí 10 hodin, a po jednom automobilu 9 a 11 hodin. Nabíjení v modelech pak probíhá dvojím způsobem. Jeden způsob zahrnuje inteligentní dobíjení, při kterém si uživatel nastaví, že elektromobil má být nabitý za

x hodin. Nabíječka pak podle stavu nabití baterie vypočte, jaký výkon musí dodávat po dobu x hodin, aby byl elektromobil v zadaný čas nabit. Druhý způsob je prosté připojení vozidla do elektrické sítě za pomoci jednoduchého adaptéru. Adaptér do vozidla dodává svůj maximální možný výkon. Nutno podotknout že se tento adaptér poskytuje automobilu střídavý proud. Elektromobil si ho tak musí sám usměrnit vnitřní integrovanou nabíječkou.

4.6.2 Výsledky modelu veřejné nabíječky na sídlišti

K modelu bylo přístupováno dvojitým přístupem. V první možnosti se elektromobily dobíjejí celou noc konstantním výkonem. Je zde užito předpokladu, že lidé vědí, za jak dlouho svůj automobil budou potřebovat nabitý. Známy čas nabíjení se použije k výpočtu konstantního výkonu potřebného k nabití během noci. Celá práce předpokládá, že energie potřebná pro denní naježděné kilometry, se v ten samý den i dobije. Zde prezentované výsledky ukazují vytíženost při nabíjení 75% denní spotřeby vozidla. Je zde tedy předpoklad že se zbylých 25% dobije někde jinde.

Tabulka 12: Jedno z možných rozdělení jednotlivých vozidel v obytné oblasti.

Č. vozu	Denní nájezd (km)	Začátek nabíjení	Délka nabíjení (h)
1	6,849	18:00	11
2	20,547	16:00	11
3	20,547	18:00	11
4	20,547	19:00	10
5	41,095	17:00	12
6	41,095	19:00	11
7	41,095	19:00	11
8	68,493	20:00	11
9	68,493	21:00	11
10	109,589	20:00	11

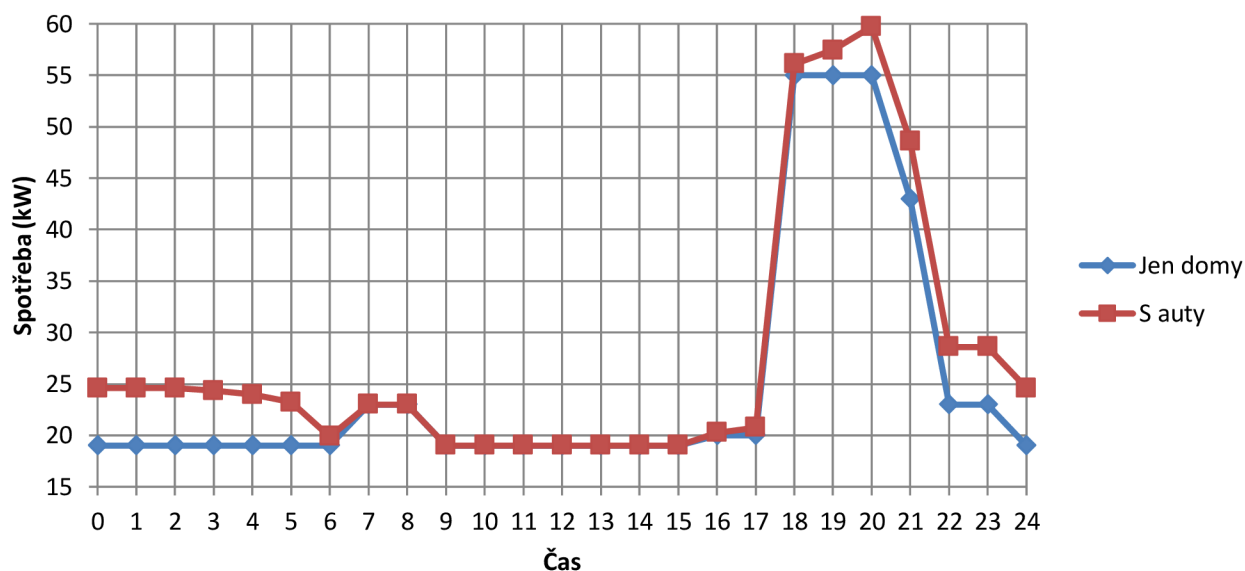
Tabulka 13: Spotřeba elektromobilů nabíjených přes noc.

Čas	Č. vozu:	10	1	8	9	5	4	6 a 7	2	3
0		1,402	0,088	0,876	0,876	0,485	0,289	1,051	0,263	0,263
1		1,402	0,088	0,876	0,876	0,485	0,289	1,051	0,263	0,263
2		1,402	0,088	0,876	0,876	0,485	0,289	1,051	0,263	0,263
3		1,402	0,088	0,876	0,876	0,485	0,289	1,051		0,263
4		1,402		0,876	0,876	0,485		1,051		0,263
5		1,402		0,876	0,876			1,051		
6					0,876					
7										
15										
16									0,263	
17						0,485			0,263	
18			0,088			0,485			0,263	0,263
19			0,088			0,485	0,289	1,051	0,263	0,263
20		1,402	0,088	0,876		0,485	0,289	1,051	0,263	0,263
21		1,402	0,088	0,876	0,876	0,485	0,289	1,051	0,263	0,263

22		1,402	0,088	0,876	0,876	0,485	0,289	1,051	0,263	0,263
23		1,402	0,088	0,876	0,876	0,485	0,289	1,051	0,263	0,263

V Tabulka 13 jsou zobrazeny jednotlivé spotřebovávané výkony jednotlivých vozů. Údaje od třetího sloupce a druhého řádku dále jsou právě ony konkrétní vypočtené spotřeby v jednotkách kW. Sloupec s označením „6 a 7“ je společná spotřeba automobilů č. 6 a 7. Čísla v tabulce byla zaokrouhlena pro větší přehlednost. Přesnější tabulku lze najít v přílohách. Tyto konkrétní vozy mají naprosto stejné vlastnosti, a proto mohly být takto sečteny. Sloupec s názvem čas reprezentuje hodinu ve dne. Spotřeba psaná např. ve 4 znamená, že od 4:00 do 5:00 byl spotřebován konkrétní výkon.

Celkovou spotřebu v obytné oblasti při připočtení hodnot z tabulky 10 a spotřeby samotných domů ukazuje Graf 13.



Graf 13: Spotřeba elektromobilů nabíjených přes noc.

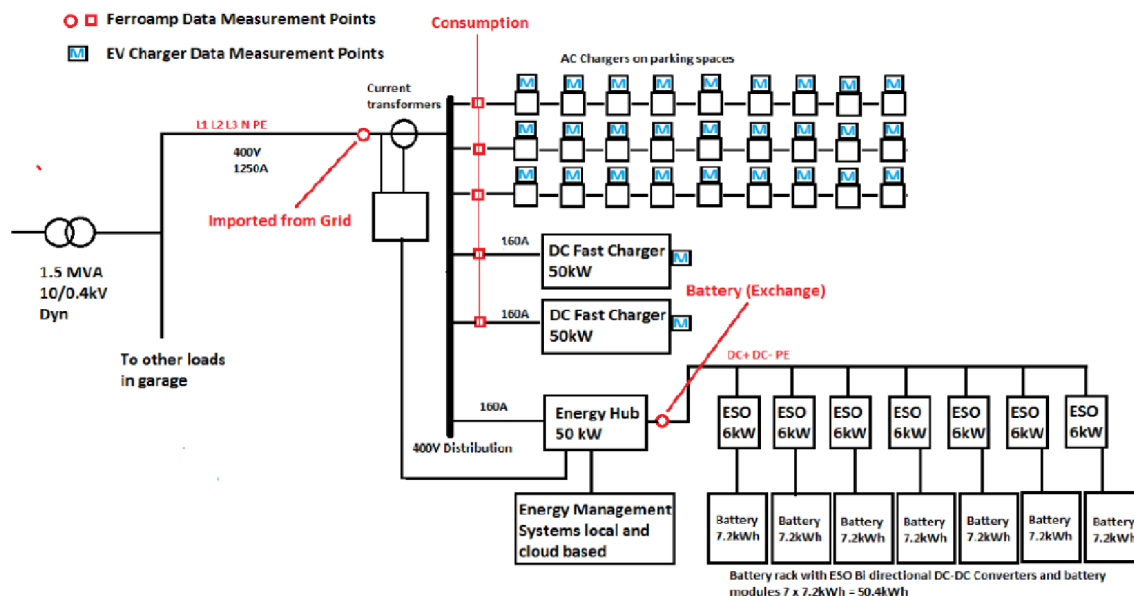
V zimních měsících vychází spotřeba energie použitá k nabíjení elektromobilů ještě vyšší. To je způsobeno vyšší spotřebou samotných automobilů. Průměrná zimní spotřeba je o 24,23% větší než letní, a tak i celková energie potřebná k nabití vozidla musí být vyšší právě o tuto hodnotu.

4.6.3 Možnosti nabíjení a řízení sdílené nabíječky na sídlišti

Využití veřejné nabíječky umístěné na sídlišti bude ve své podstatě z pohledu časů nabíjení identické, jako nabíjení v rodinném domě a v rezidentní oblasti. Rozdíl však bude moct být v systému řízení takovýchto nabíječek. Vzhledem k tomu, že nabíječka je veřejně přístupná, bude také zpoplatněná. Bude zde tedy možnost využití tarifního nabíjení, kdy si zákazník zaplatí za garantovaný minimální nabíjecí výkon. Těchto tarifů bude moct být v jeden čas pouze omezené množství, a to takové, které součtem svých okamžitých výkonů nepřetíží napájení. Pokud zákazník nechce platit vyšší sazbu za tarif s garantovaným výkonem, může automobil nabíjet bez garance výkonu a tím pádem pomaleji, ale levněji na jednotku kWh. Více o tarifním nabíjení hovoří kapitola 4.10.6.

4.7 Modelace a odběr rychlého veřejného dobíjení

Jako základ modelu rychlého nabíjecího HUBU bude použit již stojící HUB nedaleko Osla v Norsku. Na Obrázek 1 je znázorněno, jak je nabíječka navržena a konstruována.



Obrázek 1: Schéma rychlonabíjecího hubu v Norsku[2]

Základem je přívodní transformátor o výkonu 1,5 MW. Je zde instalováno 100 nabíječek o výkonu 22 kW a 4 DC nabíječky o výkonu 50 kW. Pro vykrytí výkonových špiček je pak nabíjecí hub osazen bateriovým polem o kapacitě 50,4 kWh.

Podle měření které v Oslu proběhlo[2]. Spotřeba energie při jednom provedeném nabíjení byla vyšší u AC nabíječek, kde bylo v průměru na jednu relaci spotřebováno 13,19 kWh, zatímco u DC pouze 9,04 kWh. Průměrný čas strávený jedním nabíjením byl u AC dobíjecích bodů zhruba 3 hodiny, zatímco u DC dobíjecích bodů zhruba 20 minut.

Z těchto měření vyplývá, že nabíjení pomocí AC pomalých nabíječek mělo průměrný okamžitý výkon 4,4 kW, zatímco rychlonabíječky potřebovali výkon 27,12 kW. Kdyby všechny nabíječky nabíjeli svým průměrným výkonem najednou, jejich spotřeba by byla 548,48 kW. Plná průměrná spotřeba by tedy sama transformátor vytižila na 37%. Maximální výkon odebíraný nabíječkami může být, až 2,4 MW což odpovídá 160% výkonu transformátoru. Transformátor tedy není dimenzovaný na to, aby dokázal plně napájet všechny nabíječky.

4.7.1 Řízení veřejného rychlého nabíjení

Na nabíječkách v tomto hubu si lze vybrat tarifem garantovaný nabíjecí výkon. Na výběr jsou výkony 3,7 kW, 7,4 kW, 11 kW nebo 22 kW, v případě rychlých DC nabíječek ještě 50 kW. Jak již bylo psáno, pokud by všechny nabíječky nabíjeli na plný výkon, zcela jistě by to přetížilo napájecí transformátor, a to i bez ohledu na další možnou zátěž. Z tohoto důvodu je potřeba omezit počet tarifů. Pokud budeme předpokládat, že celých 1,5 MVA na přívodním transformátoru se možno použít pro nabíjení elektromobilů, mohly by počty tarifů vypadat následovně: 4 kusy po 50 kW, které jsou dostupné pouze pro DC nabíjení, a dále pak maximálně 59 po 22 kW, přičemž by se každý 22kW tarif

dal rozdělit do dvou 11kW, nebo tří 7,4kW anebo do šesti 3,7kW. Při plném nabití bateriového pole je možné až na jednu hodinu přidat další 2 tarify po 22 kW. Tedy na celkových 61 tarifů po 22 kW.

4.8 Modelace dobíjení u obchodního domu

Otevírací doba obchodního domu byla stanovena mezi 7 a 21 hodinou. U obchodního domu je předpokládáno 1000 parkovacích míst. Toto číslo cca odpovídá počtu parkovacích míst u Globusu v Liberci. Podle nařízení EU by mělo být u 20% parkovacích míst proveditelná montáž nabíječek. Vychází to tedy na 200 nabíječek na tomto parkovišti. Dnes je již u zmiňovaného Globusu nabíječka nainstalována. Tato nabíječka je schopná dodávat výkon až 50 kW na jeden automobil. Pokud by však tímto stejným výkonem disponovalo všech 200 nabíječek, odpovídalo by to výkonu 10 MW. Takovýto výkon je pravděpodobně mnohonásobně vyšší než spotřeba samotného obchodního domu. Je však nepravděpodobné, že všechny nabíječky by ve stejnou chvíli byly zapnuty na plný výkon. Nabízejí se 3 řešení tohoto teoretického problému. Jedno z řešení by byla instalace slabších nabíječek, druhé řešení spočívá v dimenzování napájecího transformátoru, který ale musí mít odpovídající zdroj, a poslední řešení by bylo spotřeby nabíječek nějakým způsobem řídit. Poslední možnosti se tato práce věnuje v kapitole 4.8.6.

Pro tuto modelovou situaci bylo potřebné odhadnout zaplněnost parkoviště. Pro tyto účely bylo rozhodnuto o 50%. Tedy že návrh počítá s 500 automobily jako s maximálním počtem automobilů na parkovišti.

4.8.1 Pracovní dny

Vzhledem k tomu že v pracovní dny a o víkendu je vytiženost obchodního domu odlišná, bude i tato modelová situace rozdělena na víkend a pracovní dny. Vytiženost parkoviště v pracovní dny byla určena na tuto:



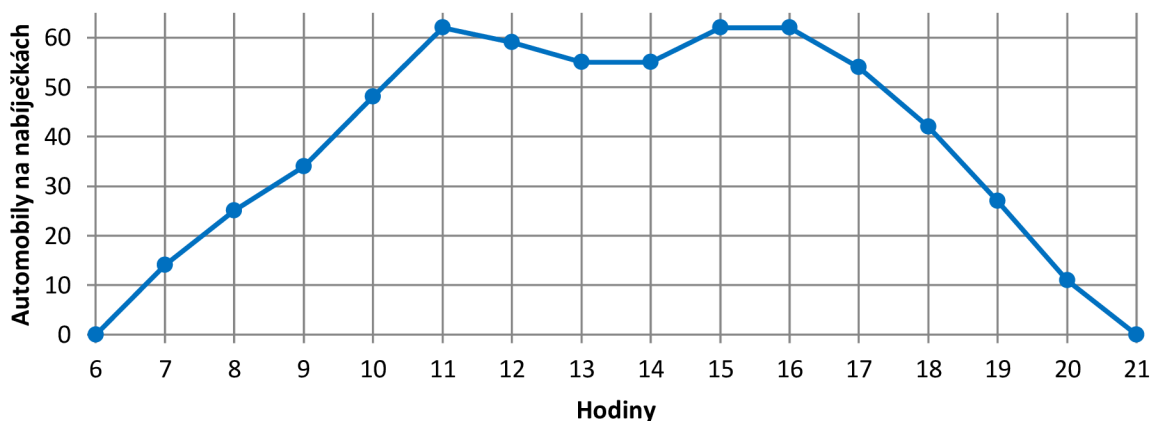
Graf 14: Vytiženost parkoviště obchodního domu v pracovní dny

Vytiženost parkoviště se v létě i v zimě bude považovat za stejnou. Data pro odhad vytiženosti parkoviště byl převzat z Google[21]. Konkrétně z vytiženosti prodejny Globus v Liberci.



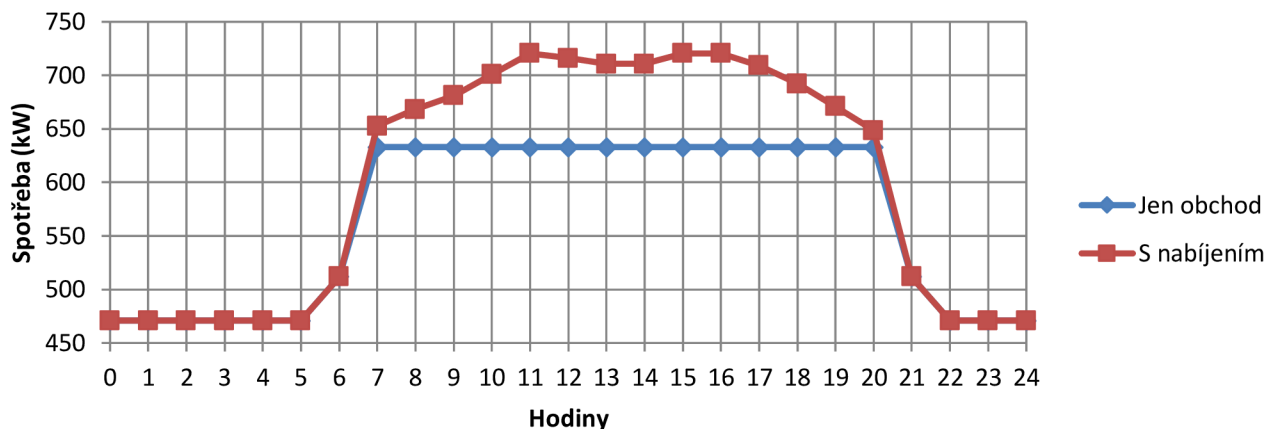
Obrázek 2: Vytíženost prodejny v pracovní den

Vlastní scénář se 12,3% elektromobilů.



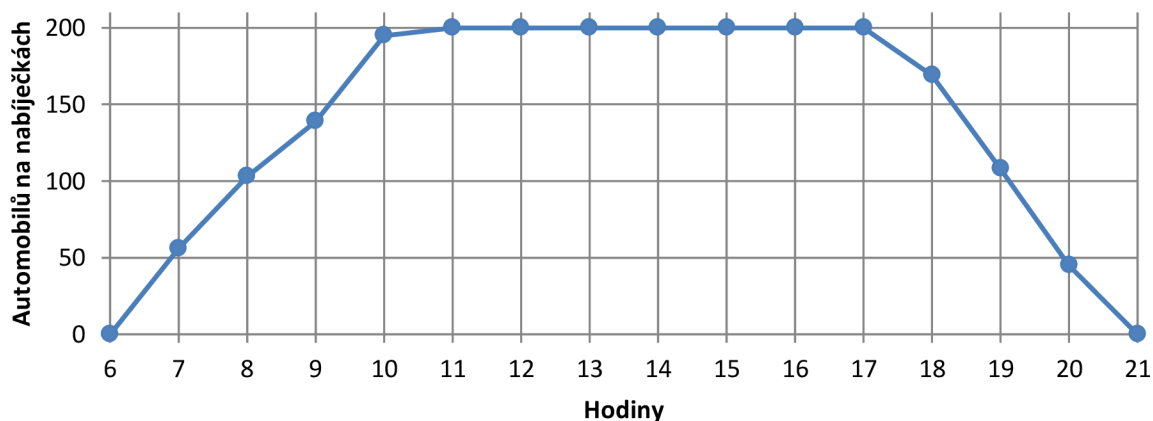
Graf 15: Vytíženost nabíječek s 12,3% elektromobilů

Jak jde vidět vytíženost nabíječek je přímo úměrná vytíženosti parkoviště. Za předpokladu, že elektromobily ujedou 10 km dlouhou cestu k obchodnímu domu a bude se dále předpokládat, že energii, kterou cestou spotřebují tak u obchodního domu i nabijí. V létě vychází spotřeba na 10 km celkově 1,41 kWh na elektromobil. Dále se předpokládá, že lidé v obchodním domě stráví celkem hodinu, takže elektromobil se během této doby musí dobít, takže nabíjecí výkon je 1,41 kW. Celková spotřeba obchodního domu by mohla vypadat následovně. Nutno dodat že tyto předpoklady nemusí zahrnovat všechny alternativy toho, jak lidé s elektromobily budou přistupovat k veřejným nabíjecím stojanům. Obzvláště u obchodních domů mohou nastat situace, že se lidé se svým elektromobilem k nabíječce nepřipojí. Lidé svůj elektromobil nepřipojí v okamžiku, kdy se jim to nemusí hodit. Například do obchodu lidé jedou poměrně krátkou vzdálenost a řeknou si, že se jim to nevyplatí kvůli té trošce energie svůj vůz připojit na nabíječku. Nebo v okamžiku kdy do obchodu jdou jen pro pár věcí, a v obchodě tak stráví krátký čas. Za tento čas by se jim elektromobil nemusel nedobít. Bohužel není zcela jasné, jak velký je celkový podíl takovýchto vlastníků elektromobilů.



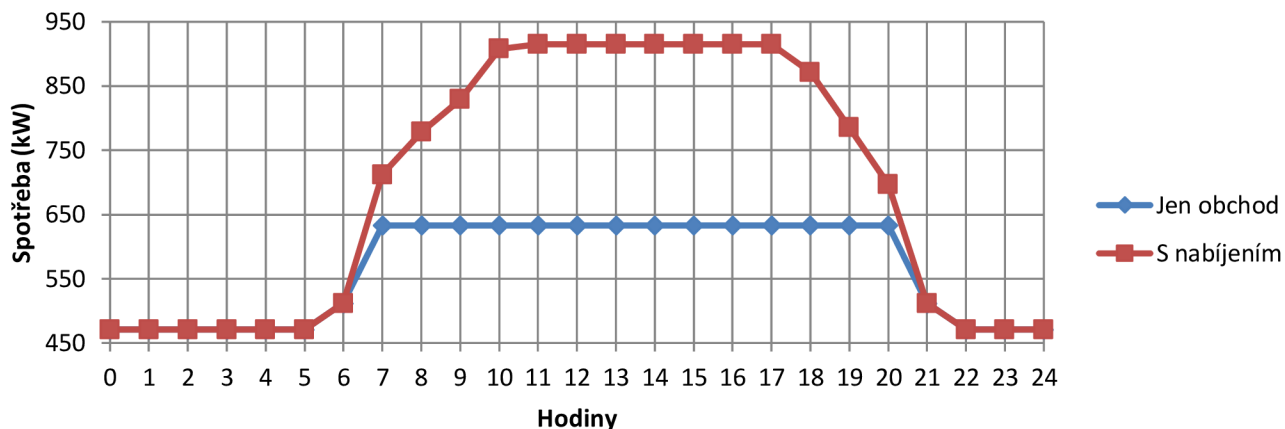
Graf 16: Spotřeba obchodního domu s 12,3% elektromobilů

Pokud by poměr elektromobilů vůči ostatním ne-elektrickým vozům dosáhl 50%. Při zachování stejných parametrů by došlo k nasycení sítě nabíječek dostupných na parkovišti. Vytíženost v takovém případě by mohla vypadat následovně. Počet nabíječek je stanoven na 200.



Graf 17: Vytíženost nabíječek při 50% elektromobilů

Spotřeba celého obchodního domu by mohla být následující.



Graf 18: Spotřeba obchodního domu s 50% elektromobilů

4.8.2 Víkend

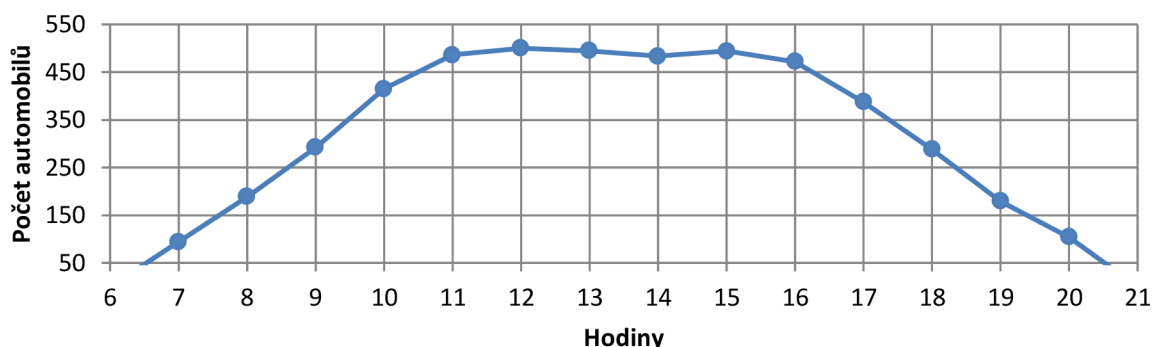
Přes víkend budeme předpokládat stejnou maximální vytiženost parkoviště. Nicméně vytižení v jednotlivých časech se liší. Odhad je opět udělán za pomoci služby Google, kde je možné se podívat na oblíbené časy[21].

Oblíbené časy soboty ▾



Obrázek 3: Vytiženost prodejny o víkendu

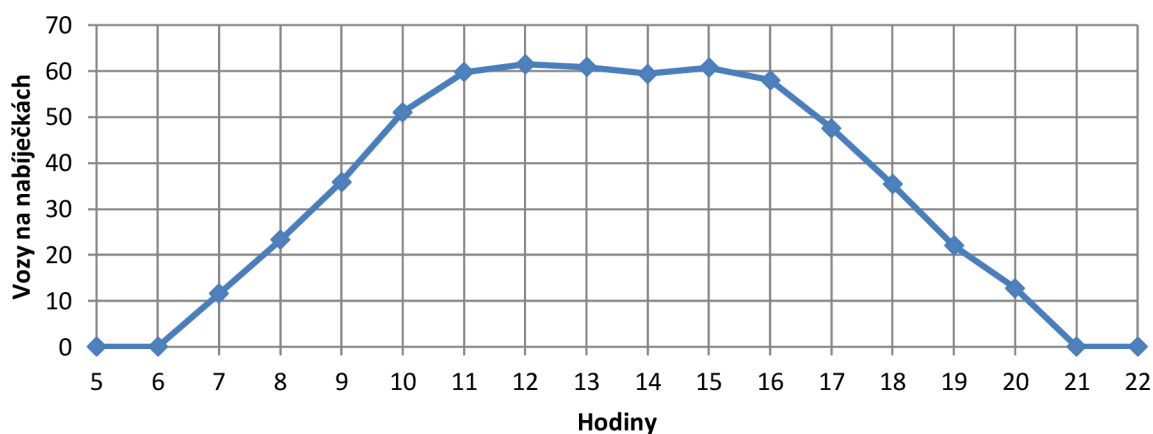
Vytíženost parkoviště o víkendu



Graf 19: Vytíženost parkoviště obchodního domu o víkendu

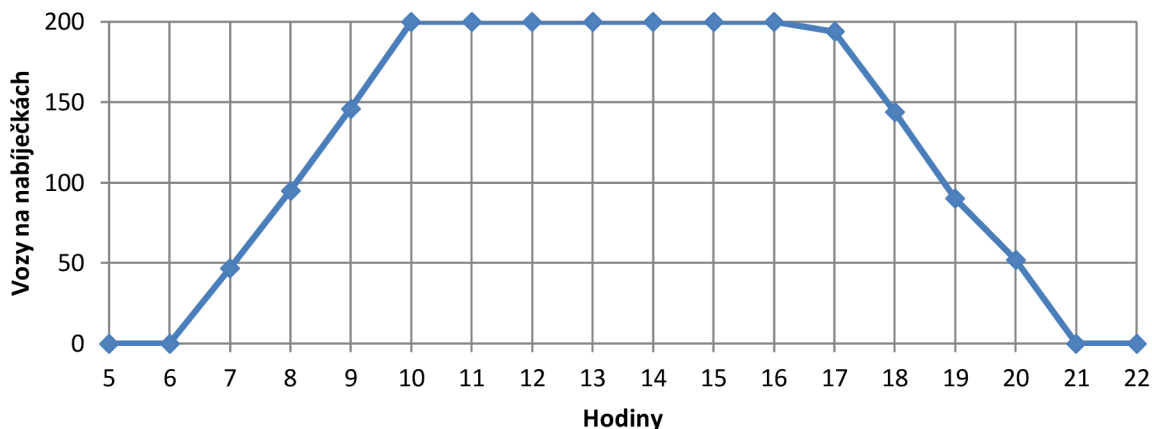
Počty elektromobilů připojených na nabíječky o víkendu bude záležet na poměrech počtů elektromobilů a ostatních automobilů.

Pro 12,3% elektromobilů:



Graf 20: Vytíženost nabíječek s 12,3% elektromobilů o víkendu

Při 50% elektromobilů nastává saturace nabíjecí sítě, a od určitého momentu se počet připojených elektromobilů nemůže zvyšovat přes hodnotu 200, protože už na parkovišti nejsou k dispozici žádné volné nabíječky.

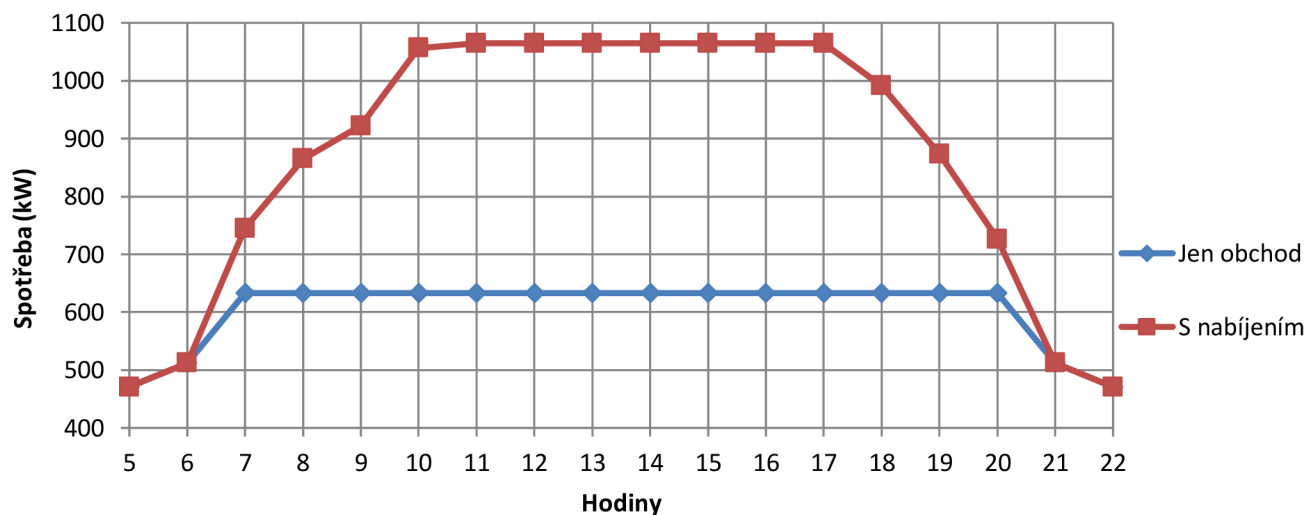


Graf 21: Vytíženost nabíječek s 50% elektromobilů o víkendu

4.8.3 Pokročilejší modely

Pokročilé modely nepoužívají jen průměrné hodnoty počtů elektromobilů, spotřeby dalších dat. Tyto modely se snaží více a věrohodněji přiblížit reálnému provozu na parkovišti u obchodního domu.

Model počítá s tím, že 10% elektromobilů připojených na nabíječkách se nabíjí větším výkonem, konkrétně 3 kW a 2,5% připojených elektromobilů 25 kW. Zbytek elektromobilů se nabíjí stejnými výkony jako před tím. Počty takovýchto aut ve špičce jsou: 175 elektromobilů se spotřebou 1,41 kW, 20 elektromobilů se spotřebou 3 kW a 5 elektromobilů se spotřebou 25 kW.



Graf 22: Spotřeba obchodního domu s pokročilým odhadem spotřeby nabíječek

4.8.4 Detailnější model obchodního domu

Tento model používá přesnější 15 minutové rozlišení. Oproti 1 h rozlišení z obytné oblasti. Jemnější rozlišení bylo vybráno i z důvodu 15 minutového rezervovaného výkonu. Pro vytvoření přesnějšího 15 minutového modelu bylo zapotřebí přerozdělit hodinovou vytíženost parkoviště na čtvrt hodinovou. Toto bylo uděláno za pomoci obdélníkového rozdělení. Použití tohoto tvaru znamená, že elektromobily, které přijely např.: mezi 11:00 a 12:00, mají všechny stejnou

pravděpodobnost příjezdu v 11:00, v 11:15 atd. Pokud by např.: od 11:00 přijelo 100 automobilů. Tak by jich v každých 15 minut přijelo 25.

Velice důležitým údajem pro tento model je délka nabíjení jednotlivých elektromobilů. Pro tyto potřeby bylo vybráno celkem 5 různých časů, za které se vozy dobíjejí. Jednotlivé časy jsou 30, 45, 60, 75 a 90 minut. Dále byla potřeba časy přiřadit jednotlivým vozidlům. K určení pravděpodobnostního rozdělení elektromobilů do jednotlivých časů bylo použito Gaussovo normální rozdělení. Konečné rozdělení zobrazuje Tabulka 14.

Tabulka 14: Pravděpodobnostní rozdělení časů nabíjení na parkovišti obchodního domu

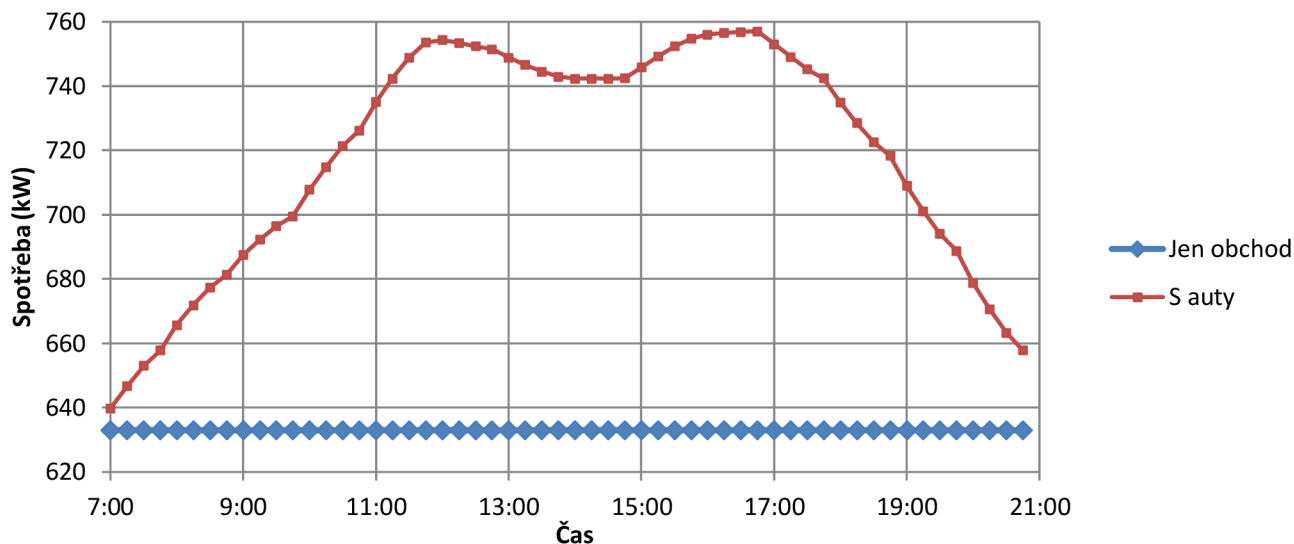
Pravděpodobnost (%):	5,3991	24,1971	39,8942	24,1971	05,3991
Čas nabíjení:	30min	45min	60min	75min	90min

Celková model počítá se třemi vlastnostmi jednotlivých elektromobilů. První vlastností je počet najetých kilometrů. Druhou je celková doba nabíjení. Poslední vlastností je čas příjezdu vozidla na parkoviště a připojení na nabíječku. Bohužel se zde vyskytly stejné problémy se softwarem jako u modelu obytné oblasti. Vlivem těchto problémů a faktu že se v modelu v jeden okamžik vyskytuje, až 200 elektromobilů už nebylo možné ručně přiřadit každý jednotlivý automobil. Jinými slovy model obchodního domu už nepracuje s přesnými kusovými počty elektromobilů, ale se statistickými a pravděpodobnostními údaji.

4.8.5 Výsledky modelu obchodního domu

Pro zde prezentované výsledky byl model nastaven tak, že vozidla si na parkovišti obchodního domu nabijí 30% ze své celkové denní spotřeby. Zbýlých 70% se předpokládá, že bude nabito někde jinde. Vytíženost parkoviště byla použita stejná jako při tvorbě scénáře obchodního domu. Ale počet elektromobilů na parkovišti nebyl zaokrouhlován na celá čísla. Procentuální počet elektromobilů na parkovišti byl použit 12,3% a 50%.

Graf 23 ukazuje, jak bude vypadat spotřeba celého obchodního domu v pracovní den a při 12,3% elektromobilů. Tabulka 15 zobrazuje vnitřní uspořádání modelu. V Graf 23 jde velice dobře vidět, že celková spotřeba nabíjení kopíruje celkovou vytíženost parkoviště, což bylo očekávatelné. Dále se v grafu vyskytují každou celou hodinu menší skoky, či jakési zuby. Ty jsou způsobeny hlavně konverzí hodinové obsazenosti parkoviště na patnáctiminutovou. Jelikož konverze byla udělána prostým vydělením hodinového vytížení číslem 4, jsou každou celou hodinou viditelné skoky. Tyto skoky jsou lépe viditelné v Tabulka 15. Tato tabulka je stavěná tak, že od 2. řádku a 4. sloupce ukazuje počty elektromobilů s danými vlastnostmi. Tyto vlastnosti jsou čas začátku nabíjení a délka nabíjení. Lze v tabulce dobře sledovat skoky automobilů popsané výše. Poslední sloupec tabulky je věnován celkové spotřebě nabíječek na parkovišti. Tato spotřeba používá k výpočtu ukázaná data, a ještě vypočtené denní nájezdy kilometrů.



Graf 23: Spotřeba obchodního domu s 12,3% elektromobilů

Tabulka 15: Ukázka výpočtu modelu obchodního domu

Čas	Počet el. vozů	Délka nabíjení:	30 min	45 min	60 min	75 min	90 min	Spotřeba (kW)
7:00	3,413		0,184	0,826	1,362	0,826	0,184	6,824
7:15	3,413		0,184	0,826	1,362	0,826	0,184	13,648
7:30	3,413		0,184	0,826	1,362	0,826	0,184	20,100
7:45	3,413		0,184	0,826	1,362	0,826	0,184	24,886
8:00	6,304		0,340	1,525	2,515	1,525	0,340	32,703
8:15	6,304		0,340	1,525	2,515	1,525	0,340	38,853
8:30	6,304		0,340	1,525	2,515	1,525	0,340	44,317
8:45	6,304		0,340	1,525	2,515	1,525	0,340	48,370
9:00	8,518		0,460	2,061	3,398	2,061	0,460	54,522
9:15	8,518		0,460	2,061	3,398	2,061	0,460	59,264
9:30	8,518		0,460	2,061	3,398	2,061	0,460	63,449
9:45	8,518		0,460	2,061	3,398	2,061	0,460	66,553
10:00	11,962		0,646	2,894	4,772	2,894	0,646	74,761
10:15	11,962		0,646	2,894	4,772	2,894	0,646	81,887
10:30	11,962		0,646	2,894	4,772	2,894	0,646	88,397

V zimním období je spotřeba elektromobilů zvýšená, projeví se to na navýšení spotřeby nabíječek na parkovišti. Zvýšení spotřeby je však jen o konstantních 24,23%. S žádnými jinými vlivy se v této práci déle nepočítalo. Z důvodu nadbytečnosti zde tedy nebude poskytnut graf zimní spotřeby nabíječek.

4.8.6 Řízení spotřeby nabíječek u obchodního domu

Modelová situace, kdy u nabíječek obchodního domu stojí 200 elektromobilů, a každý se dobíjí výkonem 1.4 kW, je ve své podstatě ideální, odebíraný výkon nepřekročí 300 kW a alespoň z pohledu výkonové rezervy na transformátoru nejde o žádný problém.

Tato situace je ale z pohledu zákazníka ne až tak optimální, a budou se vyskytovat zákazníci, kteří z jakéhokoliv důvodu budou chtít své vozidlo nabíjet větším výkonem. Může tedy být na nabíječe vyšší tarif nabíjení, který zaručuje minimální dobíjecí výkon po celou dobu připojení. Takovýto tarif nebudou moci obsloužit všechny nabíječky současně, a tak bude muset být omezen a určitý počet vozidel. Pokud bude chtít někdo nabíjet v rychlejším tarifu, ale už nebude zbývat kapacita, bude muset počkat do uvolnění kapacity. K uvolnění kapacity dojde v okamžiku, kdy se přestane nabíjet elektromobil, který využívá zněměný, nebo vyšší tarif. Použití takovýchto tarifů umožní obsloužení zákazníků, kteří vyžadují rychlejší nabití, a zároveň odfiltruje ty, kteří to nezbytně nevyžadují a nejsou ochotni za rychlejší tarif platit.

Příklady tarifů při 200 nabíječkách:

Tabulka 16: Příklady tarifů nabíjení

Dostupný výkon	Počet 50kW tarifů	22kW	11kW	3kW bez záruky
300kW	6	13	27	100
450kW	9	20	40	150
600kW	12	27	54	200

V tabulce 17 jsou 3 možné návrhy na tarifní nabíjení. Počet tarifů, který je zde zobrazen, je ten nejvyšší možný, na který nám stačí vyčleněný dostupný výkon. Přičemž tarif bez záruky má maximální nabíjecí výkon 3 kW, ale nejsou zaručeny, je možné při vyšším zatížení sítě výkon těchto nabíječek ponížít, či je úplně odpojit.

Tarifní regulace je nejvhodnější, když je pevně daný dostupný výkon pro nabíjení, přesně jako ve vzorové tabulce. Naopak takovéto řešení není ideální, pokud dostupný nabíjecí výkon není stabilní, například že by v průběhu dne dosahoval od 0 až po zmíněných 600 kW. V případě takových výkyvů není možné zaručit předplacený nabíjecí výkon, a regulace by se tak stala neúčinnou. Pokud by ale bylo zajištěno pevně dané minimum dostupného výkonu pro nabíjení, dají se nastavit tarify na tomto daném minimu, přičemž nestabilní část bude použita pro bez nárokové nabíjení elektromobilů.

Pro možnost odpojovat již nabitě, nebo skoro nabitě elektromobily je možné použít algoritmus popsany v kapitole 4.10.5. Přičemž elektromobilům, kterým nabíjecí křivka klesá nejrychleji, budou odpojeny jako první

4.9 Model dobíjení na veřejné nabíječkárně v centru města

Veřejná nabíječka je umístěna např. u městských a krajských institucí či parkování na historických náměstích. Předpoklad je napájení z transformátoru. Každé náměstí, či parkovací dům bude svou spotřebou specifický. Nicméně vytiženost nabíjení, nabíjecí časy a pravděpodobně i výkony ve své podstatě moc odlišné od nabíjení u obchodního domu, s tím rozdílem, že se v centrech měst předpokládá větší pravděpodobnost nabíjení i přes noc.

Pokud půjde o městské nabíječky, město se bude starat o to, aby si nepřetížilo síť. Pokud bude provozovatel nabíječek někdo jiný, pravděpodobně dostane specifický příkon, který nesmí překročit. V každém případě bude řízení o tom, aby se nepřekročila přesně daná hodnota výkonu, která se může časem měnit (viz řízení přímo městem), anebo bude pevně daná, pro nějakého provozovatele. Řízení bude probíhat přes tarifní nabíjení, či pak specifičtěji pomocí algoritmu na omezování nabíjecího výkonu, který je zvláště vhodný pro proměnný výkon dostupný pro nabíjení.

4.10 Shrnutí možností řízení nabíjení elektromobilů

Tato kapitola je souhrnem všech v práci obsažených možností toho, jak řídit spotřebu elektromobilů, nebo co udělat pro to, aby se předešlo přetížení napájení. Některé zde zmíněné možnosti se dají aplikovat na vícero nabíjecích scénářů, jiné mohou být vhodné pouze pro specifický scénář. U každé možnosti jsou také probrány její výhody a nevýhody.

4.10.1 Zvětšení přívodního jističe

Zvětšení přívodního jističe, nebo přívodního transformátoru. Při instalaci nové nabíječky, či nabíjecího pole se zkrátka zvětší přívod o to, o kolik nabíječky budou maximálně spotřebovávat. Tedy pokud by se připojovala 22kW nabíječka na tří fázovou soustavu v domě, musel by se přívodní jistič domu zvětšit o 32 A. Toto zvětšení by pak umožnilo provozovat nabíječku jakýmkoliv způsobem, aniž by se riskovalo přetížení přívodního jištění. Pokud je známá denní nejvyšší spotřeba, známá i proudová rezerva na jističi. Tuto rezervu použít pro nabíjení vozu. Rezerva však nemusí stačit pro provoz nabíječky, bylo by tak nutné navýšit velikost jističe. Protože se ale rezerva použije na nabíjení, navýšení jističe nebude muset být tak velké. Například se může stát, že proudová rezerva je 10 A, minimální navýšení jističe by muselo být alespoň 22 A, kvůli rezervě pro případné výkyvy.

Jakékoliv navýšení není možné všude, mohlo by například hrozit přetížení samotného přívodního vodiče. Navýšení přívodního jističe je také na požádání, a žádost může být zamítnuta. Navýšení, respektive výměna celého transformátoru navíc může být ekonomicky velice náročná. A stejně pokud se schválí větší jistič, bude muset majitel domu platit větší paušál. Výhodou tohoto řešení je pak absolutní pohodlí pro uživatele nabíječky s vědomím toho, že kdykoliv bude potřeba nabíječku použít na plný výkon, půjde to.

4.10.2 Nabíjení se sníženým výkonem

Nabíjení menším výkonem, může být realizováno buďto instalací slabší nabíječky, nebo účelovým potlačením maximálního nabíjecího výkonu silnější nabíječky. Nabíječka pak spotřebovává malé množství energie. Nevýhodou je, že si člověk koupí nabíječku, ale nikdy nevyužije její plný nabíjecí výkon. Další nevýhodou je pomalé nabíjení vozidla. Pokud by majitel elektromobilu najel denně 100 km při průměrné spotřebě 14 kWh na 100 km. Slabším nabíjecím výkonem, například 3 kW, by musel nabíjet více jak 4,5 hodiny. Pokud by automobil najel za den 140 km při stejné spotřebě, potřeboval by k nabití denního spotřebovaného výkonu více jak 6,5 hodiny. V určitých případech by se tak mohlo stát, že vůz za den nestihne nabít to, co jízdu spotřebuje a dostal by se do deficitu.

4.10.3 Časovač spouštění nabíjení

Jde o zařízení nebo systém, který spustí nabíjení v daném časovém okamžiku. Časovače mohou být použity například v rodinném domě. Dají se zde nastavit na čas, kdy lidé většinou chodí spát. V tento čas pak dům a jeho obyvatelé spotřebovávají minimum energie, která je následně použita pro nabíjení automobilu. Jednou z verzí takového časovače může být řízení zapínání po hromadném dálkovém ovládní, jinak známém pod zkratkou HDO. Touto cestou se dají vozidla nabíjet například jen v nízkém tarifu, pokud je poskytován. Největší nevýhodou časovaného spuštění nabíjení je ale skutečnost, že do spuštění časovače se automobil nenabíjí. Tato skutečnost může být v kolizi s lidským pohodlím a zvyky. Může omezit schopnost majitele elektromobilu reagovat na nepředvídatelné situace tím, že jeho vozidlo nebude nabitě.

4.10.4 Řízení nabíječek s aktivním sledováním zátěže

Řízení nabíjení s aktivním sledováním zátěže na přívodu. Pro tento typ řízení by bylo nutné realizovat měření výkonu na přívodu, který nemá být přetížen. Díky tomuto měření by pak bylo známo kolik výkonu je ještě možné přes daný přívod přenést, aniž by se přetížil. Tento volná výkon pak bude sloužit jako příkon pro nabíječku na elektromobily.

Prakticky by měřicí přístroj mohl měřit odebíraný proud hned za jističem rodinného domu. Systém porovná naměřenou hodnotu se zadanou maximální hodnotou proudu, který smí daným místem protékat. Po porovnání zbude hodnota proudu, která může být použita pro nabíjení elektromobilu. Při dosažení nastavené maximální hodnoty protékaného proudu se nabíjení elektromobilu omezí a nabíječka začne nabíjet menším výkonem. Pokud by zase protékaný proud byl dostatečně malý, nabíječka může začít nabíjet větším výkonem. Nastavená maximální hodnota proudu musí být menší, než je velikost jističe umístěného před měřicím bodem. Pokud by se nastavila hodnota větší, systém nebude fungovat a jistič se shodí dříve, než by došlo k regulaci příkonu nabíječky.

Samotná nabíječka musí být konstruována tak, aby se její nabíjecí výkon dal řídit na dálku, nebo po nějakých signálech. A aby ideálně co nejrychleji dokázala zareagovat na pokyn ke snížení výkonu. Také bude důležité, jestli nabíječka umí svůj výkon měnit spojitě, či jen umí nabíjet v určitých pevně daných hladinách. Toto je důležité zejména při nastavení maximálního proudu, který může protékat měřicím bodem. Pokud nabíječka může nabíjecí výkon řídit okamžitě a spojitě, nastavený maximální proud může být vyšší, než u nabíječky, která svůj výkon bude regulovat pomalu.

Na takovýto systém měření a řízení se může připojit více nabíječek, nebo i celá nabíječková síť. Algoritmus, který by rozhodoval o tom, kterou nabíječku omezit nebo odpojit je pak popsán v kapitole 4.10.5.

4.10.5 Řízení s algoritmem pro odpojování nabíječek.

Základem výběrového algoritmu, který bude řídit, kdy se jaké nabíječky omezí, nebo odpojí, bude databáze s připojenými vozidly. Databáze bude dále obsahovat čas připojení vozidla, prvotní nabíjecí výkon, současný výkon, a pokud možno i procentuální nabití baterie elektromobilu a nakonec příznak klesání výkonu.

Obslužný systém řízení omezování nabíječek bude tuto tabulku číst a z ní usoudí, kterou nabíječku omezit. Prioritně omezí již skoro nabitá vozidla. Která vozidla se blíží plnému nabití, půjde vidět díky příznaku klesání výkonu. Jak se již psalo v kapitole 2.2.4, pokud se baterie vozu blíží nabití na cca 80%, začne její nabíjecí výkon klesat. Díky tomu, že se zaznamenává, jaký výkon nabíječka po dobu nabíjení do vozidla dodává, respektive jaký příkon nabíječka odebírá, dá se dopočítat charakteristika nabíjecí křivky. Tímto způsobem se pak do databáze může jen zapsat příznak klesání výkonu. A protože automobil je ve chvíli, kdy mu klesá nabíjecí výkon, téměř dobitý pro řidiče by neměl být problém dojet do žádané destinace. Další možností jak zjistit, jestli daný elektromobil na nabíječce je již skoro dobitý by byl, pokud umí nabíječka komunikovat tak, že dokáže posílat aktuální nabíjecí napětí a proud. Díky tomu že když se baterie dostane na cca 80% plné kapacity, začne nabíječka nabíjet stálím napětím. Dá se tedy použít příznak stálého nabíjecího napětí místo klesajícího výkonu. Vše záleží na tom, jak se nabíječka schopna komunikovat s řídicím systémem.

Pokud jsou již všechny skoro dobité elektromobily odpojeny. Prioritu při odpojení naopak dostanou vozidla, která jsou na nabíječce velice čerstvě a začali se nabíjet před nejkratším časem. Omezení vozidel, která jsou na nabíječce nejkratší dobu, zajistí ostatním vozidlům, které už se nabíjejí déle, dostat za hranu klesající nabíjecí charakteristiky, a následně je odpojit jako již vozidla skoro nabitá, a tím obnovit nabíjení vozidlům, která na nabíječku přijeli později.

Po úpravě by se tento algoritmus dal také použít i na větve nabíječek. Větvi nabíječek je myšleno několik nabíječek zapojených z jednoho přívodního bodu, nebo na jednom přívodním médiu, na kterém se měří odebíraný výkon, ale výkon jednotlivých nabíječek je neznámý. V případě, že nabíjejí je poskytováno zdarma, nabíječka nemusí umět komunikovat s nějakým vnějším obslužným systémem, respektive nemusí posílat údaje o tom, kdy a jaký automobil nabíjela a jakým výkonem.

Výkon se bude měřit na jednotlivých větvích, a následně sledovat jestli na nějaké větvi neklesá rychleji než na jiné. Sledovat by se to dalo například proloženou funkcí a podle toho, která funkce klesá rychleji, by se dalo určit, na které větvi je větší podíl skoro nabitých vozů. Aby se dal tento algoritmus použít, i na větve bude zapotřebí, filtrovat zněny ve výkonu vlivem odpojování a připojování elektromobilů k dané větvi. Pokud bude potřeba nějakou větev odpojit, bude vybrána větev s nejvíce klesajícím výkonem.

Tento algoritmus by mohl být velice užitečný při řízení nabíjení na neplacených nabíječkách. A dal by se i integrovat do systémů řízení 15 minutového intervalu spotřeby. Problémy by mohli nastat při nedostatečně rychlé reakci nabíječek na potřebu snížit nabíjecí výkon, nebo při nedostatečné frekvenci měření nabíječkami odebíraném příkonu.

4.10.6 Tarifní nabíjení

Nabíječka bude zákazníkům nabízet několik nabíjecích výkonů v rámci různých tarifů. Výkonový tarif zákazníkovi garantuje daný minimální nabíjecí výkon v průběhu celého nabíjení. Pro to, aby mohlo být tarifní nabíjení realizováno, musí být na přípoji dostatečná výkonová rezerva, která zajistí dostatečné napájení tarifů. Celý tarifní systém spoléhá na to, že ne všechny připojené nabíječky budou v jeden čas využívány na jejich maximální výkon.

Pro názorný příklad máme na přívodním transformátoru rezervovaný 250kVA výkon pro veřejný placený nabíjecí HUB. Tento HUB obsahuje celkem 15 nabíjecích stojanů, každý s možností nabíjet výkonem až 22kW. Kdyby všechny nabíječky nabíjely svým plným výkonem, tak ze svého přívodu budou odebírat minimálně 330kW, tedy více, než mají nabíječky k dispozici. Počet tarifů s maximálním výkonem by tedy musel být omezen na maximálně 11. Těchto 11 tarifů by odebíralo minimálně 242kW. Jenže takovýto nejvyšší tarif může být relativně drahý a tak HUB může nabízet ještě nabíjení tarifem 11kW, 5kW a například 3kW. V každém z nich budou levnější kWh než v předchozím. Tímto způsobem lze mít až 15 nabíječek o nabíjecím výkonu 11kW, s tím, že za každé 2 nevyužité 11kW tarify lze zapnout na jedné nabíječce 22kW tarif. Další možné tarify obsahuje kapitola 4.8.6.

Tarifní systém není pružný, a nedokáže moc rychle a efektivně reagovat na případné změny rezervovaného výkonu. Pokud je pevně daný přívodní výkon, kterým mohou nabíjet elektromobily, tak se tento výkon dá jednoduše rozdělit mezi nabíječky do jednotlivých tarifů. Pokud ale dostupný výkon nepravidelně klesá, například kvůli spotřebě ještě jiných zařízení, tarifní systém nemusí jít vůbec implementovat a to z důvodu, že by se mohlo stát, že v průběhu nabíjení by nemusela stačit energie k zásobování garantovaného výkonu, a zákazník by pak nedostal nabíjení, které si zaplatil. Pro tento způsob nabíjení je tedy zásadní, aby na přívodu existoval nějaký stabilní výkon, určený pouze pro nabíjení elektromobilů.

V případě že výkon pro nabíječky se mění periodicky. Například že každý den, v přesně daný čas je dostupný výkon pro nabíjení nejnižší, ale v jiný daný čas, je naopak odběr ostatních zařízení nejnižší a tedy se nejvíce výkonu dá použít pro nabíjení elektromobilů. Dají se tarify nastavit tak, že v hodinách, kdy se dá nabíjet vyššími výkony je aktivní tarifní systém, zatímco v hodinách s vysokou spotřebou okolních spotřebičů bude možnost nabíjet vyšším tarifem omezená. Popřípadě bude vyšší tarif omezený do určité denní hodiny, zákazník o tom bude varován, a následně, až nastane daná hodina, tarif se sám změní.

Takovýto tarifní systém je jedna z nejlepších možností regulace odběru nabíječek na placeném nabíjení. Pokud budou ceny nastaveny správně, samotní zákazníci budou spotřebu regulovat podle svých finančních a časových možností. Pro neplacené nabíjení je přirozeně tento systém nepoužitelný. Další problém pro tento systém, je potřeba, alespoň do jisté míry, stabilního výkonu použitelného pro nabíjení. Pokud se výkon dostupný pro nabíjení bude chaoticky a často měnit. Implementace může být téměř nemožná, neboť by neexistovala záruka toho, že zákazník bude nabíjet výkonem, který si zaplatil.

4.11 Metodika pro návrh nové nabíječky a jejího řízení

Tato kapitola slouží jako dodatečný postup pro návrh nabíjení elektromobilů a řízení nabíječek.

Zprv je potřeba dobře si prostudovat elektrickou síť, do níž je plán nabíječku umístit. Důležitý je odebíraný výkon, rezervy na napájecích prvcích, závislost spotřeby na denním čase či ročním období. Také i výhled na budoucnost, jestli v dané síti budou časem přibývat odběratelé či jak se síť bude měnit.

Dalším krokem je odhad či propočet, nebo zjištění toho, jakým způsobem budou přistupovat lidé k nabíječkám. Kdy se očekává využití nabíjení, kolik času elektromobil na nabíječce stráví a kolik

kWh bude potřebovat dobíjet. Dále je potřeba zjistit jak moc tato predikce bude v kolizi s výkonem, který už na síti je. Dále se musí rozhodnout, jestli bude nabíjení zpoplatněno.

Na základě předešlých faktorů, tedy výkon sítě, očekávaná vytíženost nabíječky atd. se vytvoří návrhy o tom, kolik a jak výkonných nabíječek by se nainstalovalo. V případě zpoplatnění, jak rentabilní by byl každý návrh. Z těchto návrhů a z odhadů o používání nabíječek se vytvoří očekávaný výkonový profil nabíjení. Pokud se tento profil přičte k výkonovému profilu sítě, ke které nabíječku budeme připojovat, musíme zjistit, jestli přenosová média vydrží nově přidaný výkon a stejně tak jestli i přívod je dostatečný k připojení nabíječek. Vzhledem k tomuto zjištění se pak rozhodne o konkrétním návrhu a případném řízení nabíječek. V určitých případech může být navrženo i vyrovnávací bateriové pole, například pro pohon nabíječek vyžadujících velký příkon.

5 Závěr

Ze začátku práce byla nejprve zpracována rešerše. Součástí rešerše bylo zjistit minulý, aktuální a předpovídaný počet elektromobilů a jejich nabíječek na území České republiky. Poté proběhlo seznámení s českou elektrickou soustavou. Dále bylo nezbytné najít a vytvořit hodinové spotřeby různých druhů oblastí, u kterých by mohlo docházet, nebo už dochází k instalaci nabíječek na elektrické vozy. Další nutnou věcí pro potřeby této práce bylo zjistit roční naježděné kilometry českých automobilů. Tyto roční nájezdy pak byly přepracovány na nájezdy denní. V neposlední řadě pak musel být udělán průzkum spotřeby elektromobilů. Skoro všechna data z rešerše byla ve formě statistiky, a tak i tato práce řeší zadání statistickým přístupem.

Za pomoci těchto údajů a dat bylo vytvořeno několik možných scénářů toho, jak se elektromobily budou připojovat k elektrické síti a čerpat z ní energii. Tyto scénáře a zkušenosti z jejich tvorby posloužily jako základ pro jednotlivé modely. Modely byly také konstruovány statisticky. Většina modelů pracuje s hodinovou spotřebou, ale některé pracují se spotřebou jednotlivých čtvrt hodin. Jemnější rozlišení bylo použito z důvodu toho, že velcí odběratelé elektřiny si platí 15 minutové výkonové rezervy. Vzhledem k tomu, že jsou modely statistické, byly vypracovány v tabulkovém procesoru. Samotné modely pak pracují s různými pravděpodobnostními jevy. Jednotlivé jevy jsou čas příjezdu k nabíječce, doba strávená na nabíječce a počet najetých kilometrů. Na konci práce jsou popsány návrhy na možné řízení spotřeby nabíječek, aby nedocházelo k přetěžování napájecích transformátorů a jističů vlivem jejich provozu. Návrhů je zde představeno několik. U každého návrhu je napsáno k jakému scénáři nabíjení by byl výhodný, a u kterých scénářů by byl nevhodný až nepoužitelný.

Tato práce vnáší bližší pohled na problematiku zatížení elektrické sítě vlivem nabíjení elektromobilů. Může sloužit jako příklad pro další problematiku zatěžování sítě. Práci by se dalo rovněž vylepšit použitím dynamických modelů. Popřípadě v ní pokračovat a prozkoumat problematiku zatěžování městské sítě, mřížové struktury, vlivem nabíjení aut.

Seznam použité literatury

- [1] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN isbn978-80-01-04935-8.
- [2] EUROENERGY, 2021. *Aktualizace predikce vývoje elektromobility v ČR do roku 2045*. EuroEnergy [online]. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: https://www.mpo.gov.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2022/2/Elektromobilita_predikce-do-2045.pdf
- [3] NOVÁK, Radek. *Elektromobilita v ČR: Výhled elektromobility v Česku*. Praha: Česká spořitelna, 2019[online]. [cit. 2020-10-20]. Dostupné z: https://www.csas.cz/content/dam/cz/csas/www_csas_cz/Dokumentykorporat/DokumentyAnalytici/vyhled_elektromobility_v_CR_2019_03.pdf
- [4] *Registr silničních vozidel*. Online. Ministerstvo dopravy ČR. 2024. Dostupné z: <https://www.mdcz.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel>. [cit. 2024-04-02].
- [5] *Test av rekkevidde*. Norges Automobil-Forbund [online]. Oslo: NAF, 2021 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://nye.naf.no/bilguiden?filter%5BfuelCategories%5D%5B0%5D=elektrisk&filter%5Btested%5D%5B0%5D=true>
- [6] *TEST Škoda Octavia 1,9 TDi / 66 kW*. Auto.cz [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 1998, 2. 4. 1998 [cit. 2022-2-1]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/test-skoda-octavia-1-9-tdi-66-kw-28>
- [7] MACHALA, Martin. *TEST Škoda Octavia Combi 2.0 TDI (147 kW) DSG 4x4*. Auto.cz [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2021, 11. 4. 2021 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/test-skoda-octavia-combi-2-0-tdi-147-kw-dsg-4x4-nejlepsi-rs-bohuzel-138718>
- [8] *Polovina českých řidičů objede za rok pětkrát republiku* [online]. Praha: Generali Česká pojišťovna, 2013 [cit. 2020-08-28]. Dostupné z: <https://www.generaliceska.cz/Portal/Redakce/rs.nsf/viewClanky/polovinaceskych-ridicuobjede-za-rok-petkrat-republiku?OpenDocument&Click=>
- [9] JÁNSKÝ, Martin. *Začínáme s elektromobilitou I*. Garáž.cz [online]. Praha: Seznam.cz, 2020, 24. 11. 2020 [cit. 2022-01-15]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/zacinames-elektromobilitou-i-jak-na-domaci-nabijeni-21005170>
- [10] *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/844*. EUR-Lex [online]. Brusel: EUR-Lex, 2018, 30.5.2018 [cit. 2021-10-12]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=CS>
- [11] *300 kW: V Praze byla uvedena do provozu nejvýkonnější nabíječka elektromobilů*. Solární Novinky.cz [online]. Dobrá: Solární Novinky.cz, 2022, 17. 01. 2022 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://www.solarninovinky.cz/300-kw-v-praze-bylauvedena-do-provozu-nejvykonnesi-nabijecka-elektromobilu/>
- [12] KONEČNÝ, Miroslav. *Inteligentní charakterizační nabíjecí stanice*. Bakalářská práce, vedoucí Vladimír Janíček. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra mikroelektroniky, 2017.

- [13] *Změna hodnoty hlavního jističe*. Online. ČEZ, A. S. ČEZ Distribuce. 2024. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/potrebuji-vyresit/stavajici-pripojeni/zmena-hodnoty-hlavniho-jistice#block187091>. [cit. 2024-02-03].
- [14] VLČEK, Michal. *Zásobování rodinného domu energií*. Praha, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd. Vedoucí práce Martin Beneš
- [15] ČEZ, 2022. *Připojovací podmínky nn*. ČEZ [online]. [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/2022/08/23_28-0013r02_pripojovaci-podminky_nn_komplet_web_08_2022.pdf
- [16] OHANKA, Milan, manažer správy budov [ústní sdělení]. Ostrov, 07.12.2023.
- [17] *Účtování překročení rezervovaného výkonu*. Online. EG.D. 2024. Dostupné z: <https://www.egd.cz/uctovani-prekroceni-rezervovaneho-vykonu>. [cit. 2024-04-11].
- [18] MARUGG, Caithlin Ann. *ASSESSING THE ENERGY USE OF SUPERMARKETS AND SHOPPING MALLS IN CURAÇAO*. Enschede, 2016. Bachelor Thesis. University of Twente.
- [19] *Data: Zatížení* [online]. Praha: ČEPS, 2020 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/data>
- [20] TERRICH, Theodor. *Optimalizace a řízení soustav veřejného osvětlení*. DISERTAČNÍ PRÁCE, vedoucí Petr Žák. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra elektroenergetiky, 2022.
- [21] *Google mapy* [online]. Google, 2022 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/place/Globus+Hypermarket/@50.7765462,15.0394252,14.3z/data=!4m5!3m4!1s0x4709368604af33a7:0x5370af62cda72f70!8m2!3d50.7766623!4d15.0289915>

Přílohy

Na přiloženém CD jsou všechny scénáře a modely, které jsem vypracoval ve formátu xlsx. Na CD se také nachází elektronická kopie celé práce.