



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta mechatroniky, informatiky  
a mezioborových studií



# Vliv provozu dobíjecích stanic na lokální uzel elektrické sítě

## Bakalářská práce

*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





## Zadání bakalářské práce

# Vliv provozu dobíjecích stanic na lokální uzel elektrické sítě

*Jméno a příjmení:* **Jan Haura**  
*Osobní číslo:* M17000035  
*Studijní program:* B2612 Elektrotechnika a informatika  
*Studijní obor:* Elektronické informační a řídicí systémy  
*Zadávací katedra:* Ústav mechatroniky a technické informatiky  
*Akademický rok:* 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:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

dle potřeby dokumentace  
30–40 stran  
tištěná/elektronická  
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. Josef Černožorský, Ph.D.  
vedoucí ústavu

## 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.

13. května 2022

Jan Haura

## **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 měřením spotřeby elektrických vozů, aby propočítala možná zatížení elektrické sítě vlivem nabíjení takovýchto vozů. V práci se pracuje se třemi typy různých oblastí. První typ je obydlená oblast s rodinnými domy. Druhým 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 přesné modely. 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 three types of areas in this thesis. The first one is civil area with family houses. The second 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. More precise models were 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.....	7
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.....	13
2.2.1 Elektromobily.....	13
2.2.2 Spotřeby elektromobilů.....	14
2.2.3 Nabíječky.....	17
3 Typy a tvorba zpracovaných oblastí.....	19
3.1 Tvorba oblastí.....	19
3.1.1 Obydlená oblast.....	19
3.1.2 Obchodní dům.....	21
3.1.3 Průmyslový závod.....	21
4 Scénáře.....	24
4.1 Obytná oblast.....	24
4.1.1 Pracovní týden - léto.....	24
4.1.2 Pracovní dny – zima.....	26
4.2 Obchodní dům.....	28
4.2.1 Pracovní dny.....	29
4.2.2 Víkend.....	32
4.2.3 Pokročilý scénář.....	34
4.3 Průmyslový závod.....	35
4.3.1 Letní scénáře.....	35

5	Modely.....	38
5.1	Obytná oblast .....	38
5.1.1	Základ modelu obytné oblasti .....	38
5.1.2	Detaily modelu obytné oblasti.....	38
5.1.3	Výsledky modelu obytné oblasti .....	40
5.2	Obchodní dům.....	43
5.2.1	Základ modelu obchodního domu .....	43
5.2.2	Detail modelu obchodního domu .....	44
5.2.3	Výsledky modelu obchodního domu.....	44
5.3	Průmyslový závod.....	46
5.3.1	Model průmyslového závodu .....	46
5.3.2	Výsledky modelu průmyslového závodu .....	47
5.4	Problémy modelů .....	47
6	Řízení.....	49
7	Závěr.....	50
	Seznam použité literatury .....	51
	Přílohy .....	53

## Seznam tabulek

Tabulka 1:	Nízký scénář Euro Energy.....	13
Tabulka 2:	Střední scénář Euro Energy.....	13
Tabulka 3:	Vysoký scénář Euro Energy .....	13
Tabulka 4:	Vývoj elektromobilů od České spořitelny.....	14
Tabulka 5:	Spotřeby elektrických vozů.....	15
Tabulka 6:	Roční nájezd kilometrů .....	16
Tabulka 7:	Změny ve spotřebě domů .....	20
Tabulka 8:	Nabíjecí výkony ve scénářích obytných domů .....	28
Tabulka 9:	Rozdělení elektromobilů podle ročně najetých km.....	38
Tabulka 10:	Jedno z možných rozdělení jednotlivých vozidel v obytné oblasti. ....	41



Tabulka 11: Spotřeba elektromobilů nabíjených přes noc .....	41
Tabulka 12: Spotřeba elektromobilů nabíjených ze zásuvky 230V 16A. ....	42
Tabulka 13: Spotřeba elektromobilů nabíjených ze zásuvky 400V 20A .....	43
Tabulka 14: Pravděpodobnostní rozdělení časů nabíjení na parkovišti obchodního domu .....	44
Tabulka 15: Ukázka výpočtu modelu obchodního domu.....	45
Tabulka 16: Prerozdělení pro průmysl .....	47
Tabulka 17: Nabíjení elektromobilů v průmyslovém závodě. ....	47

## Seznam grafů

Graf 1: Spotřeba domu v pracovním dny .....	20
Graf 2: Spotřeba domu o víkendu .....	20
Graf 3: Spotřeba obchodního domu .....	21
Graf 4: Celorepubliková spotřeba .....	22
Graf 5: Spotřeba výrobního komplexu A .....	22
Graf 6: Spotřeba výrobního komplexu B .....	22
Graf 7: Spotřeba domů v pracovní den .....	24
Graf 8: Spotřeba 10 domů se 2 auty nabíjenými přes noc.....	25
Graf 9: Spotřeba 10 domů se 2 auty nabíjenými v jednu hodinu .....	25
Graf 10: Spotřeba 10 domů s 10 auty nabíjenými přes noc .....	26
Graf 11: Spotřeba 10 domů s 5 auty nabíjenými přes noc a 5 v jednu hodinu.....	26
Graf 12: Spotřeba 10 domů se 2 auty nabíjenými přes noc v zimě.....	27
Graf 13: Spotřeba 10 domů se 10 auty nabíjenými přes noc v zimě .....	27
Graf 14: Spotřeba 10 domů se 5 auty nabíjenými přes noc a 5 v jednu hodinu v zimě .....	28
Graf 15: Vytíženost parkoviště obchodního domu v pracovní dny.....	29
Graf 16: Vytíženost nabíječek s 12,3% elektromobilů.....	30
Graf 17: Spotřeba obchodního domu s 12,3% elektromobilů .....	31
Graf 18: Vytíženost nabíječek při 50% elektromobilů.....	31
Graf 19: Spotřeba obchodního domu s 50% elektromobilů .....	32
Graf 20: Vytíženost parkoviště obchodního domu o víkendu.....	33
Graf 21: Vytíženost nabíječek s 12,3% elektromobilů o víkendu.....	33
Graf 22: Vytíženost nabíječek s 50% elektromobilů o víkendu.....	34
Graf 23: Spotřeba obchodního domu s pokročilým odhadem spotřeby nabíječek.....	34
Graf 24: Spotřeba závodu A při rychlém dobití aut .....	35
Graf 25: Spotřeba závodu A s auty při pomalém dobití aut .....	36
Graf 26: Spotřeba závodu B při rychlém dobití aut .....	36

Graf 27: Spotřeba závodu B při pomalém dobití aut.....	37
Graf 28: Spotřeba elektromobilů nabíjených přes noc. ....	42
Graf 29: Spotřeba při nabíjení na zásuvkách 230V a 400V .....	43
Graf 30: Spotřeba obchodního domu s 12,3% elektromobilů. ....	45
Graf 31: Spotřeba obchodního domu s 50% elektromobilů .....	46

## 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 rešerše počtu elektromobilů, jak současně registrovaných tak i odhadů o budoucích počtech, tak i jejich spotřeba 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 3 typy simulovaných scénářů. První typ bude obydlená oblast s několika rodinnými domy připojená na jednu centrální trafostanici. Druhým typem bude obchodní dům napájený z vlastní trafostanice. Třetím typem bude průmyslová oblast popřípadě průmyslový objekt s vlastní napájecí trafostanicí. Pokud by dle výpočtů a odhadů daných scénářů hrozilo přetěžování 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 automobily, 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 si elektrinu 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 rozdělená na dva druhy, přenosovou a distribuční. Velice zjednodušeně, přenosová soustava přenáší elektrickou energii na velké vzdálenosti. Distribuční soustava distribuuje energii většinou ke konečnému spotřebiteli, ale bývají na ní připojeny i menší zdroje elektrické energie[1].

#### **2.1.1 Přenosová soustava**

Přenosová soustava se vyskytuje ve 3 napěťových hladinách. 400 kV známá jako zvláště vysoké napětí (ZVN) a potom 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**

Páteřní 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 sítě v napěťové hladině 3, 6 a 10 kV. Nicméně u těchto sítí je snaha je nahradit sítěmi 35 popřípadě 22 kV.

Vedení VN se používají jednak k propojení mezi transformátory 110 kV/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, tyto 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 energie. 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 ve městech a jiných hustých zástavbách. Napěťové hladiny používající tuto strukturu jsou 35, 22 a 0,4 kV.

## 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: Dílčí studie pro pracovní tým A25 - Predikce vývoje elektromobility v ČR[2].

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

**Tabulka 1: Nízký scénář Euro Energy**

Druh automobilu	2018	2020	2025	2030	2035	2040
Bateriový	1823	2 856	5 159	25 811	93 716	231 245
Plug-in hybrid	798	1 251	5 832	48 521	124 151	237 818

**Tabulka 2: Střední scénář Euro Energy**

Druh automobilu	2018	2020	2025	2030	2035	2040
Bateriový	1 823	3 660	24 519	74 022	268 338	630 902
Plug-in hybrid	798	4 890	46 078	126 626	281 081	459 589

**Tabulka 3: Vysoký scénář Euro Energy**

Druh automobilu	2018	2020	2025	2030	2035	2040
Bateriový	1 823	16 828	158 903	523 308	1 074 609	2 118 960
Plug-in hybrid	798	7 368	74 075	262 480	516 789	972 929

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[3] počítá bateriové a plug-in automobily dohromady. Dále uvádí, že v roce 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[3].

V prvním pololetí roku 2020 bylo na registru vozidel České republiky registrováno 5022 bateriových elektromobilů. A prvním pololetí roku 2021 bylo registrováno 8582 elektromobilů. Z těchto čísel se dá předpokládat, že nejrelevantnější je střední scénář, nicméně se dá počítat i vysokým scénářem.

### **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[4]. Přišla s řadou testování spotřeby a dojezdů elektromobilů, a to jak v létě, tak v zimě. Jejich naměřené hodnoty jsou v tabulce 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 100km. 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 a práce a to tak že průměrná letní spotřeba se zvětšila o toto zimní navýšení na konečných 17,48kWh na 100km. Toto navýšení je nakonec o 0,345 kWh na 100km 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 automobilů se spalovacími motory. 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[5]. Testování v roce 2021 s motorem 2,0TDI 147 kW měla spotřebu 7 l na 100 km[6]. Aby tyto data nebyla zavádějící, spotřeba celkového auta se o 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 veliké problematické téma, které dalece převyšuje rozsah této práce. Budou proto použita naměřená data pro letní scénáře a vypočtené navýšení pro zimní scénáře.

Množství spotřebované energie je přímo úměrné počtu najetých kilometrů, proto je nezbytné stanovit nějaké, alespoň přibližné, ale i tak dostatečně přesné, denní nájezdy vozidel, viz Tabulka6. K tomuto bylo využito poznatků od Generali České pojišťovny[7].

**Tabulka 6: Roční nájezd kilometrů**

Procentuální podíl automobilů	Roční nájezd (km)	Denní nájezd (km)
11%	2500	6,849315
27,1%	7500	20,54795
35,4%	15000	41,09589
15,5%	25000	68,49315
7,7%	40000	109,589
3,3%	75000	205,4795

Pro výpočet denní spotřeby byla použita rovnice 3.

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

Příčemž  $ds$  je denní spotřeba,  $x$  je průměrná letní, nebo zimní spotřeba na 100km,  $p$  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 jednoho elektrického vozu 6,57 kWh v létě a 8,17 kWh v zimě. Tyto výpočty se opírají o průměrná roční data naježděných kilometrů. Mohlo by se tu namítat, že elektromobil je primárně městské vozidlo, nicméně se zde počítá s odhadem, že až 50% všech vozidel může být v roce 2040 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. Některé dnešní elektromobily mají problém relativně malého dojezdu a to je může brzdít v použití i mimo oblasti hustě zásobenými elektrickou energií, výrobci však vydávají nemalé úsilí, aby dojezd svých produktů zvýšili a tak v budoucnu toto nemusí představovat zásadní překážku. Velice důležité je říci, že tato práce pracuje s předpokladem, že elektromobil si celou svou denní spotřebu elektrické energie za ten den i dobije[8]. Nepředpokládá se, že elektromobily nebudou nabíjet denně.

### 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.

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[9] tomuto velice nahrává. 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[10]. Takže jako ideálním místem z tohoto ohledu by byla jejich instalace na místech s velkým provozem aut, které by potřebovali rychle nabít, například dálnice. 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.

### **3 Typy a tvorba zpracovaných oblastí**

Jak už bylo uvedeno v úvodu. Tato práce obsahuje 3 základní typy odběratelů připojených k trafostanici, obytnou oblast, obchodní dům a průmyslový závod. Volba těchto scénářů vychází z odhadovaného používání nabíjecích stojanů a nabíječek. Předpoklad je takový, že nabíjení elektromobilů nebude probíhat v nějakých nabíjecích centrech, tak jak to je dnes u konvenčních spalovacích motorů, ty se většinou tankují na čerpacích stanicích tomu určených. Protože u motorové nafty, popřípadě motorového benzínu nemáme všude vedenou jejich infrastrukturu. Nemáme naftovody atd., alespoň ne v takové míře, že by byly používány pro tankování osobních vozů. Nicméně máme v rámci České republiky a i Evropy hustou elektrickou síť. Z této sítě by se elektromobily mohly dobíjet téměř všude. Další parametr je doba nabíjení, bateriové automobily se nabíjejí buďto neúměrně déle oproti času tankování paliva do automobilů se spalovacím motorem, anebo potřebují veliký příkon na nabíječe, řádově až několik desítek či stovek kW. Hlavně kvůli pomalému nabíjení tato práce předpokládá většinové nabíjení v místech a způsobem, které pokrývají scénáře.

Scénáře byly tvořeny jako základní předběžný výpočet spotřeby, pro různé situace. Důvod proč byly udělány, byl takový, že je snaha najít zajímavé scénáře. Zajímavé v tom smyslu kde například je požadovaný velký skokový výkon, kvůli dobíjení automobilů. Ale i relativně nenápadně vypadající scénáře, které by ale mohly způsobit přetížení transformátoru. Pokud by takovéto zajímavé scénáře byly nalezeny. Pokračovalo by se s jejich zpracováním v přesnějších modelech. Kde by mohlo být přesněji ukázáno, jestli by tato situace dokázala přetížit transformátor, nebo způsobit jiné problémy, či nikoliv.

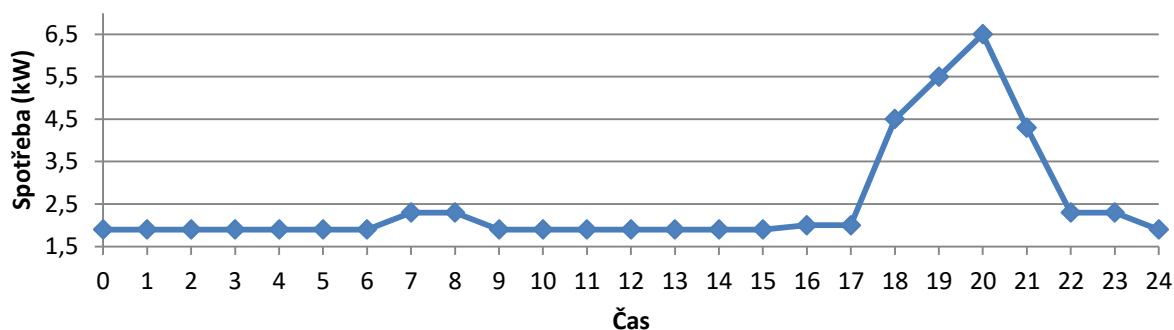
#### **3.1 Tvorba oblastí**

##### **3.1.1 Obydlená oblast**

Předpokládá jednoduché zapojení centrální trafostanice a k ní zapojených koncových spotřebitelů. Odběratelé v tomto scénáři jsou rodinné domy, a v některých úpravách byly uvažovány i obchody.

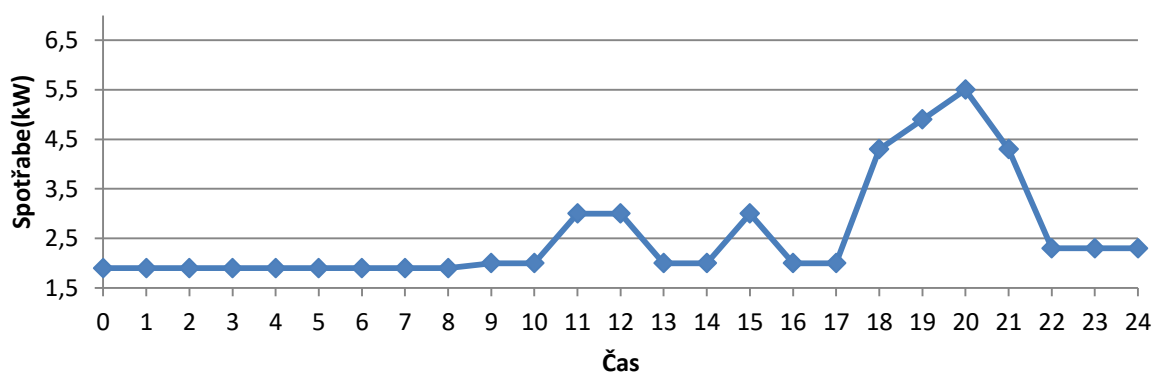
Hodinová spotřeba rodinného domu byla vzata z bakalářské práce: Zásobování rodinného domu energií[11]. Převzata byla data pro pracovní dny (Graf 1), tak i pro víkend (Graf 2). Základní hodinová spotřeba domu je následující:

## Spotřeba domu v pracovní dny



Graf 1: Spotřeba domu v pracovním dny

## Spotřeba domu o víkendu



Graf 2: Spotřeba domu o víkendu

Tato data pak při tvorbě vlastních scénářů byla upravována. Jde o úpravu spotřebovaného výkonu, jak ukazuje tabulka 7. Úprava byla udělána hlavně z důvodu většího výkonového rozložení. A aby nebyla v jednom bodě, konkrétně ve 20 h, velická výkonová špička.

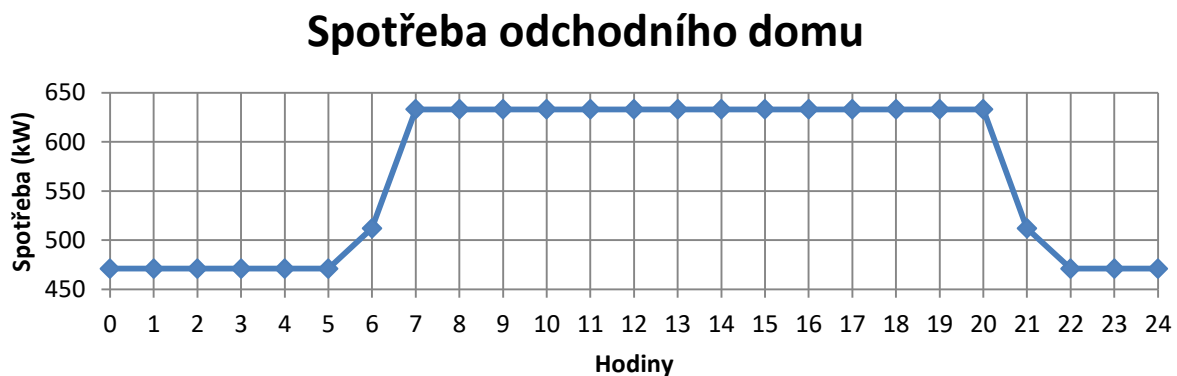
Tabulka 7: Změny ve spotřebě domů

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

### 3.1.2 Obchodní dům

U tohoto scénáře se počítá jedna centrální trafostanice, která napájí obchodní dům, a jeho přilehlé parkoviště. Na parkovišti se předpokládá podle doporučení EU každé páté místo s nabíječkou. Parkoviště u obchodního domu má celkem 1000 parkovacích míst. Tento počet je cca tolik jako parkoviště u Globusu v Liberci. Takže to vychází na 200 parkovacích míst vybavených nabíječkou.

Spotřeba samotného obchodního domu byla vypočítána ze studie University of Twente, která se touto problematikou zabírala[12]. Bohužel jsem nenavázal spolupráci se zmíněným obchodním domem, a tak byla spotřeba vypočtena. Základní hodinová spotřeba obchodního domu se 1000 parkovacími místy je takováto graf 3:



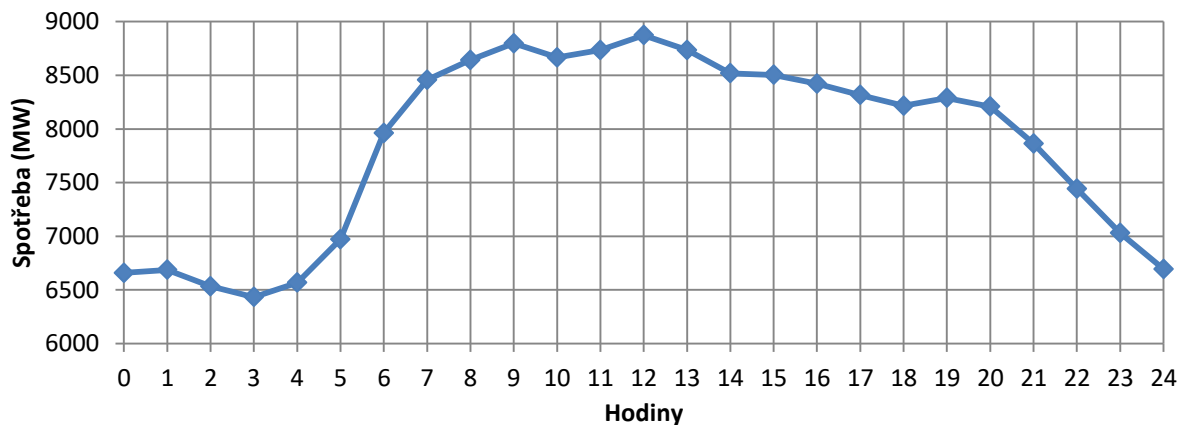
Graf 3: Spotřeba obchodního domu

Jak je uváděno ve studii největší podíl spotřeby elektrické energie v obchodním domě má osvětlení a chlazení zboží[12]. Ať už chladicí prodejní pulty, nebo chladicí či mrazicí místnosti určené ke skladování zboží, které musí být chlazeno. Vzhledem k tomu má na spotřebu zanedbatelný 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, nemluvě o tom že bývají vypnuté pokladny atd.

### 3.1.3 Průmyslový závod

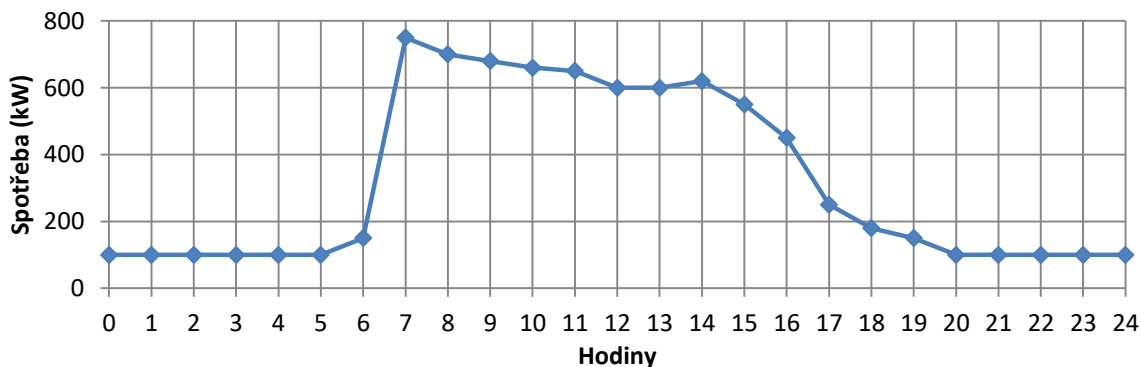
Tento scénář je hypotetickým průmyslovým objektem nebo areálem, který je napájen z jedné centrální trafostanice. Zde se předpokládá, že pracovníci si nabíjí své elektromobily, zatímco jsou v práci. Je uvažován dvousměnný provoz bez nočních směn. První směna začíná pracovat od 6:00. Jsou uvažovány 2 různé 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[13]. Pomocí tvaru grafu 4 republikové spotřeby byla odhadnuta spotřeba průmyslového komplexu použitého v této práci. Na těchto scénářích nicméně bude ukázán vliv různých pracovních směn a různé počty elektromobilů.



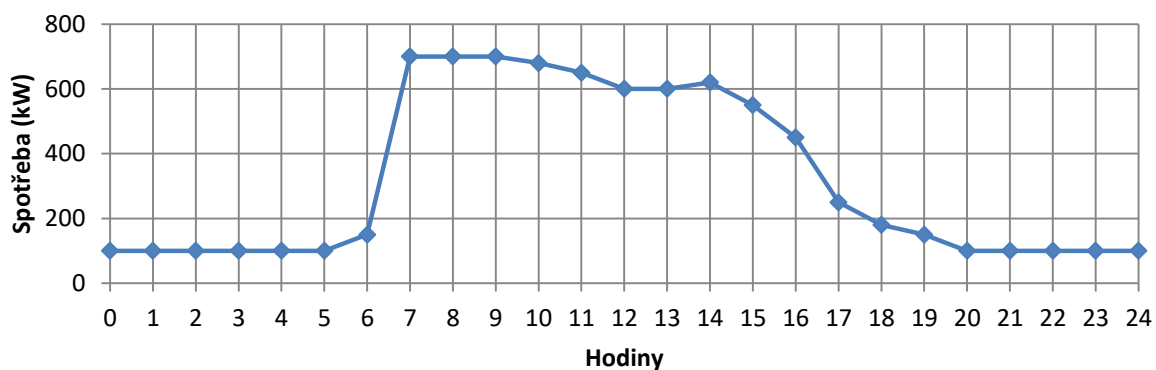
Graf 4: Celorepubliková spotřeba

### Spotřeba výrobního komplexu A



Graf 5: Spotřeba výrobního komplexu A

## Spotřeba výrobního komplexu B



**Graf 6: Spotřeba výrobního komplexu B**

Druhá směrnice (Graf 6) je při rozjezdu výroby zploštělá. Toto zploštění maxima je u průmyslových center žádané, jelikož nemusejí platit za vyšší rezervovaný výkon.



## 4 Scénáře

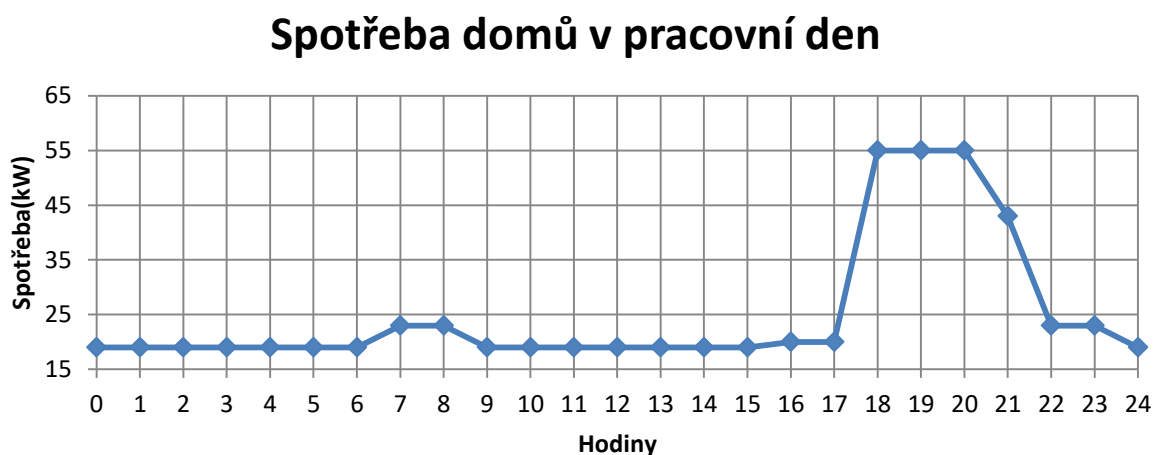
Vlastní scénáře jsou stavěny jako vlastní spotřeba dané oblasti a k tomu přičtená odhadovaná spotřeba nabíječek závislá na počtu elektromobilů, jejich denním nájedzu kilometrů a počtu parkovacích míst s nabíječkou.

### 4.1 Obytná oblast

Základní scénář pracuje s 10 rodinnými domy připojenými na jednu centrální trafostanici. Počet všech osobních aut byl stanoven na 20, tedy 2 automobily na jeden rodinný dům.

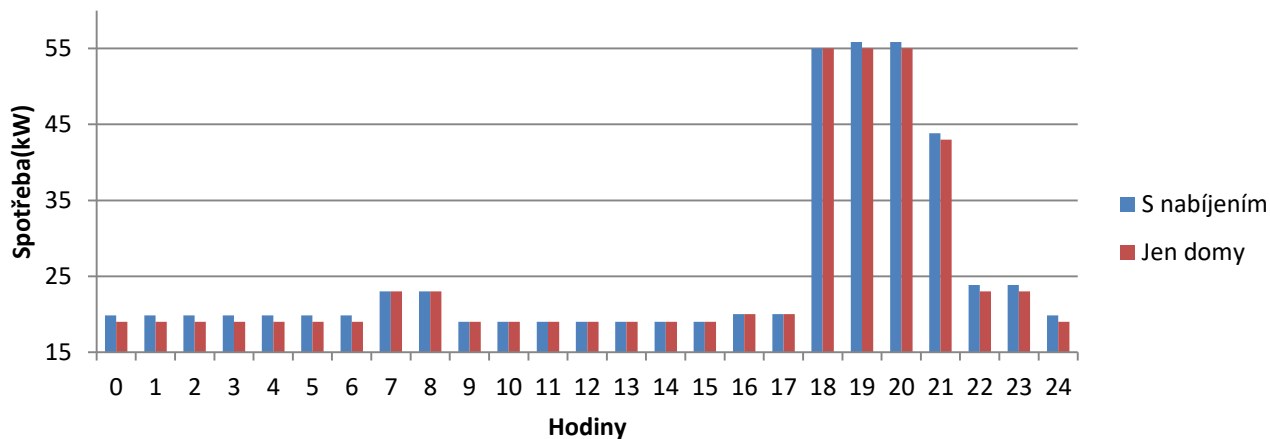
#### 4.1.1 Pracovní týden - léto

Spotřeba 10 domů v pracovních dnech je předpokládána takto:



Graf 7: Spotřeba domů v pracovní den

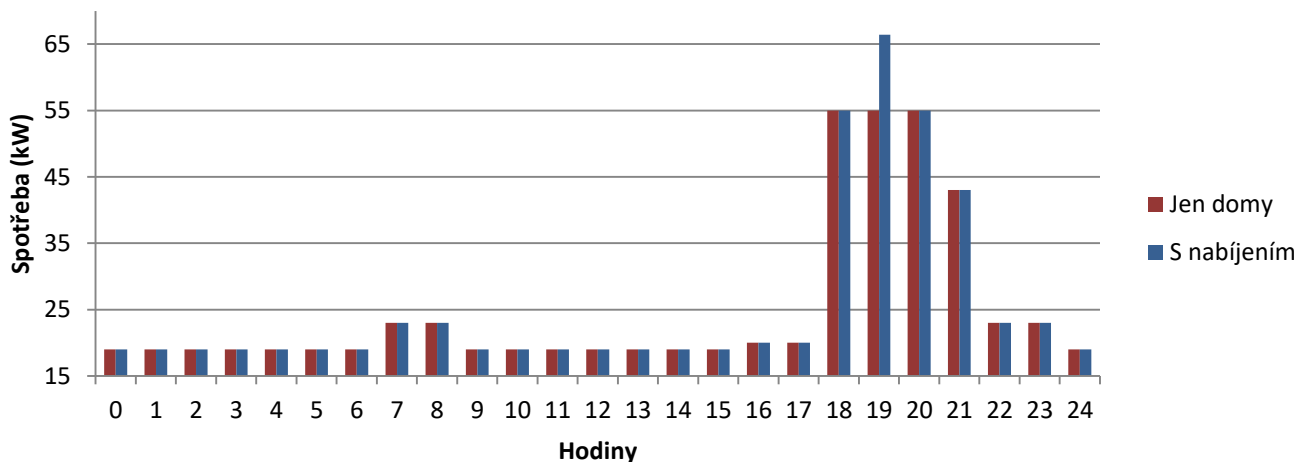
Pokud budeme uvažovat 2 elektromobily, tedy 10% všech automobilů, což by mohlo odpovídat roku 2030. Předpokládejme průměrný denní nájedz kilometrů s průměrnou spotřebou a vyváženým nabíjením po celou noc. Nicméně se zde počítá pouze s nabíjením 75% spotřebované denní energie. Množství denní spotřebované energie viz kapitola 2.2.2 a rovnice 3. 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 17 do 7 hodin následujícího dne. Vytíženost transformátoru zobrazuje graf 8.



**Graf 8: 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 transformátoru, v tomto scénáři však s největší pravděpodobností nehrozí přetížení transformátoru.

Pokud se oba automobily začnou nabíjet výkonem dostatečným, který je dobije za jednu hodinu. A zároveň by se začaly nabíjet ve stejný čas, graf 9 zobrazuje možné vytížení transformátoru.

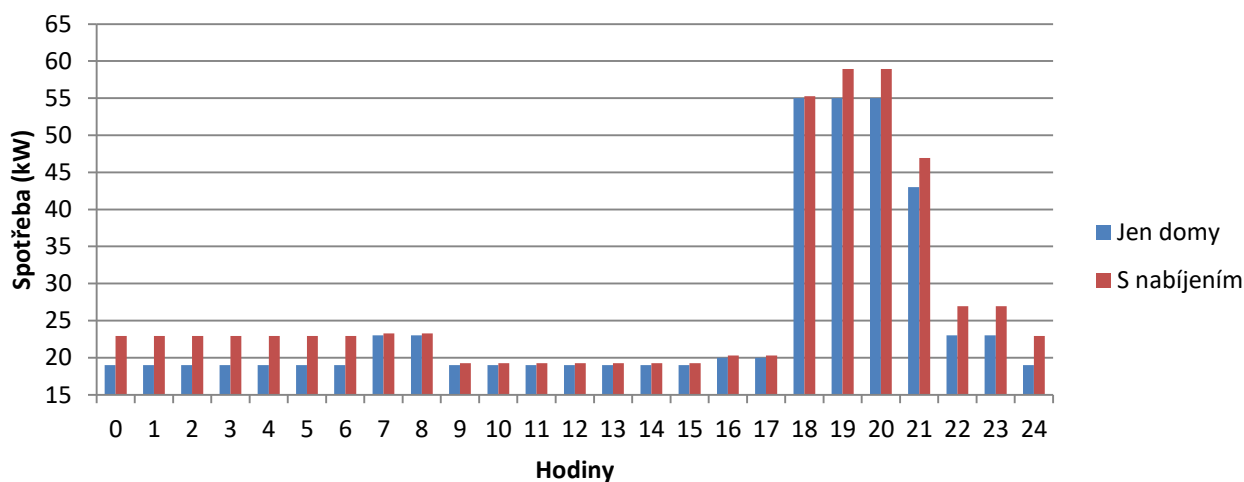


**Graf 9: Spotřeba 10 domů se 2 auty nabíjenými v jednu hodinu**

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 transformátor o výkonu 65 kW, tak ten by byl zcela jistě přetížen, a muselo by se řešit řízení, popřípadě odpojování nabíjecích stanic.

V nejvyšším uvažovaném scénáři v roce 2040 je počet elektromobilů 50% vůči všem ostatním osobním vozům. V tomto scénáři tedy 10 elektromobilů. Budeme uvažovat, že nabíjet se bude

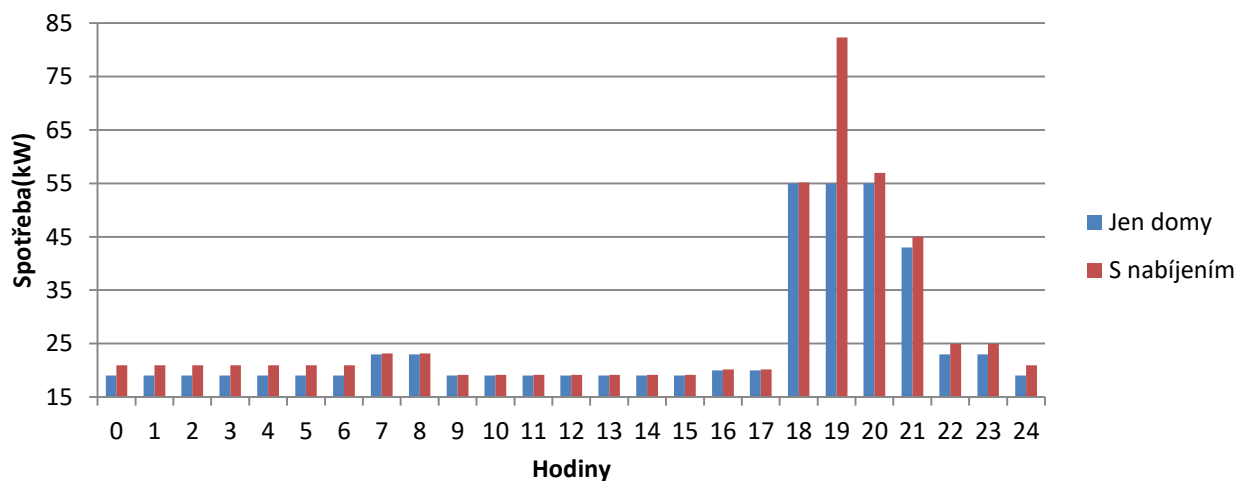
stálým výkonem přes celou noc. Všechna auta přijedou ve stejný čas, a ve stejný čas se i vypíná nabíjení. Jak by tento scénář v obytné oblasti mohl vypadat, zobrazuje graf 10.



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

Zde je maximální výkon až 58,9 kW.

Pokud by se polovina aut, tedy 5 kusů nabíjela průběžně přes noc, a polovina by byla nabitá do hodiny od zapojení na síť tak takový možný scénář by mohl vypadat následovně (Graf 11).



Graf 11: Spotřeba 10 domů s 5 auty nabíjenými přes noc a 5 v jednu hodinu

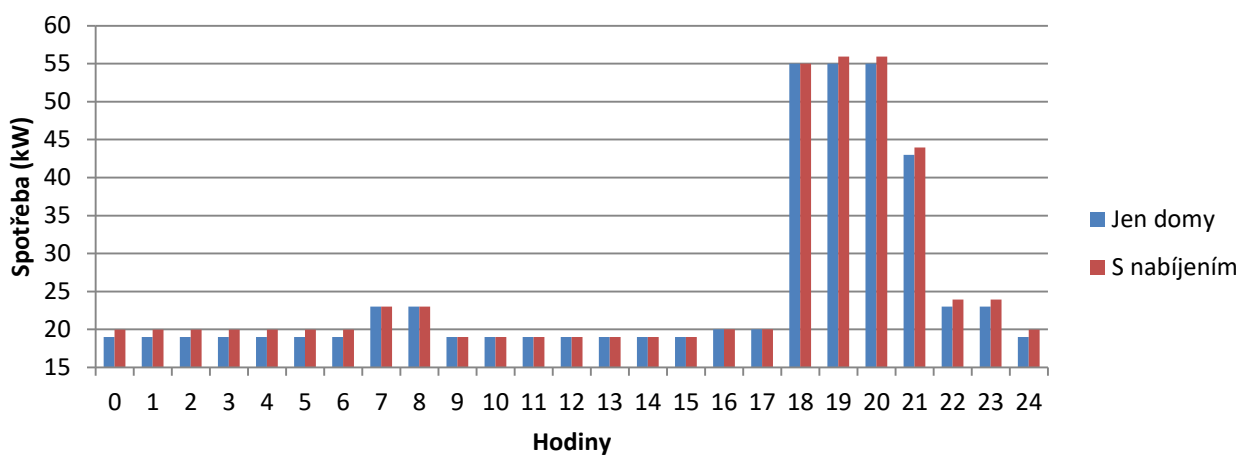
Zde se objevila výkonová špička o velikosti až 82,3 kW. Toto je navýšení z původních 55 kW o 27,3 kW Toto je nárůst o 49,64%

#### 4.1.2 Pracovní dny - zima

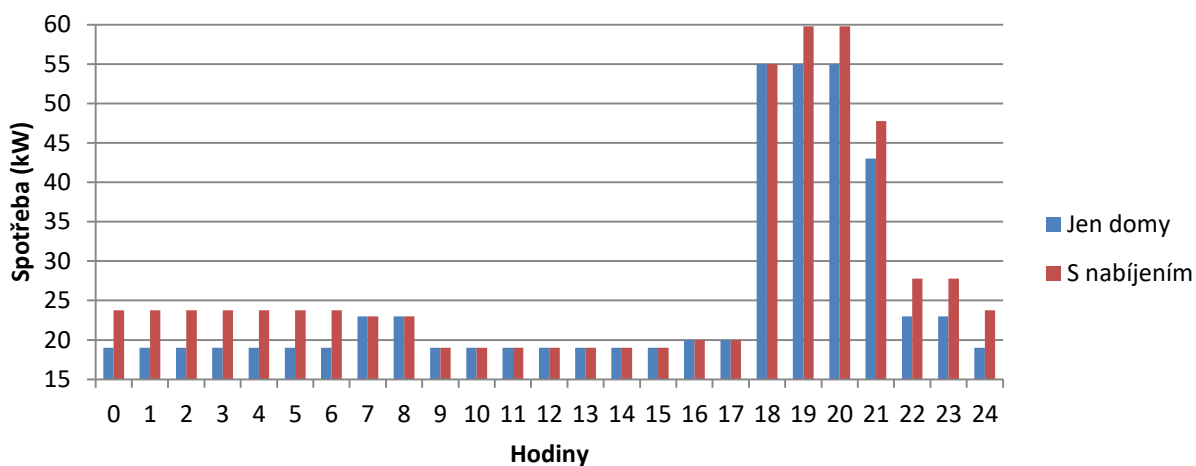
Za předpokladu konstantní spotřeby rodinných domů, se zde promítnuté změny týkají výhradně zvýšené zimní spotřeby elektromobilů. Spotřeba byla upravena jen pro elektromobily, žádné jiné

úpravy nebyly udělány. Protože při zachování spotřeby domů roste pouze spotřeba automobilů a změna mezi letní a zimní spotřebou na stejném scénáři je lépe pozorovatelná.

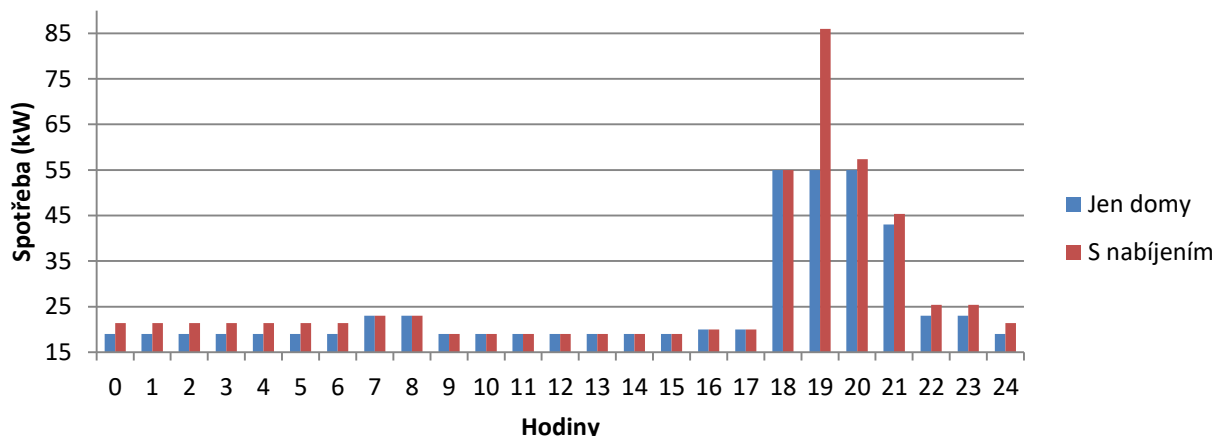
Na grafech 12, 13 a 14 je ukázána zimní spotřeba, při zachování všech ostatních parametrů z léta. Tabulka 8 ukazuje spotřebu v jednotlivých hodinách. Zobrazuje pouze výkon potřebný k nabíjení vozidel.



**Graf 12: Spotřeba 10 domů se 2 auty nabíjenými přes noc v zimě**



**Graf 13: Spotřeba 10 domů se 10 auty nabíjenými přes noc v zimě**



Graf 14: Spotřeba 10 domů s 5 auty nabíjenými přes noc a 5 v jednu hodinu v zimě

Tabulka 8: Nabíjecí výkony ve scénářích obytných domů

Čas	Graf 8	Graf 9	Graf 10	Graf 11	Graf 13	Graf 12	Graf 14
0	0,845	0	4,223	2,112	4,765	0,953	2,383
1	0,845	0	4,223	2,112	4,765	0,953	2,383
2	0,845	0	4,223	2,112	4,765	0,953	2,382
3	0,845	0	4,223	2,112	4,765	0,953	2,383
4	0,845	0	4,223	2,112	4,765	0,953	2,383
5	0,845	0	4,223	2,112	4,765	0,953	2,383
6	0,845	0	4,223	2,112	4,765	0,953	2,383
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0,845	11,400	4,223	27,462	4,765	0,953	30,973
20	0,845	0	4,223	2,112	4,765	0,953	2,383
21	0,845	0	4,223	2,112	4,765	0,953	2,383
22	0,845	0	4,223	2,112	4,765	0,953	2,383
23	0,845	0	4,223	2,112	4,765	0,953	2,383
24	0,845	0	4,223	2,112	4,765	0,953	2,383

Tabulka 8 ukazuje odebírané výkony v kW. Sloupce s označením „Graf“ ukazují pro který graf a scénář se tato spotřeba nabíječek uplatňuje.

## 4.2 Obchodní dům

Otvírací doba obchodního domu byla stanovena na 7-21 hodin. 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 mnohonásobně vyšší než spotřeba samotného obchodního domu. Je však nepravděpodobné, že všechny nabíječky by ve stejnou chvíli byly zapnuty na plný

výkon. Bohužel je to však něco s čím je nutné počítat a nabízejí se 3 řešení tohoto 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 o řízení 6.

U tohoto scénáře byla potřeba odhadnout zaplněnost parkoviště. Pro tyto účely bylo rozhodnuto o dvou návrzích. Návrh počítá s 500 automobily jako s maximálním počtem automobilů na parkovišti.

#### 4.2.1 Pracovní dny

Vzhledem k tomu že v pracovní dny a o víkendu je vytíženost odchodního domu odlišná, bude i tento scénář rozdělen na víkend a pracovní dny. Vytíženost parkoviště v pracovní dny Ukazuje graf 15.



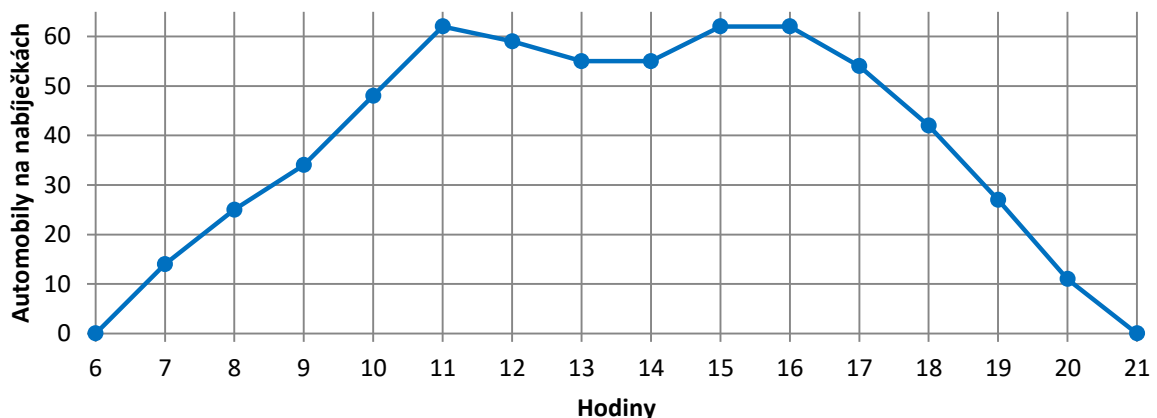
Graf 15: Vytíženost parkoviště obchodního domu v pracovní dny

Vytíženost parkoviště se v létě i v zimě bude považovat za stejnou. Data pro odhad vytíženosti parkoviště byl převzat z Google[14]. Konkrétně z vytíženosti prodejny Globus v Liberci, viz obrázky 1 a 2.



Obrázek 1: Vytíženost prodejny v pracovní den

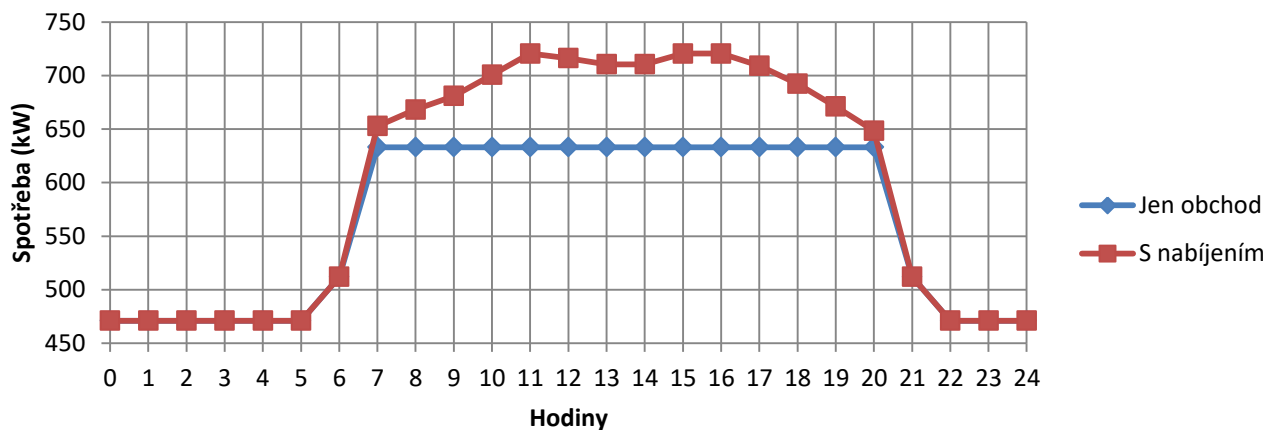
Graf 16 ukazuje už vlastní scénář se 12,3% elektromobilů. Graf 17 poté ukazuje celkovou spotřebu obchodního domu i se spotřebou nabíjecích stojanů.



Graf 16: Vytíženost nabíječek s 12,3% elektromobilů

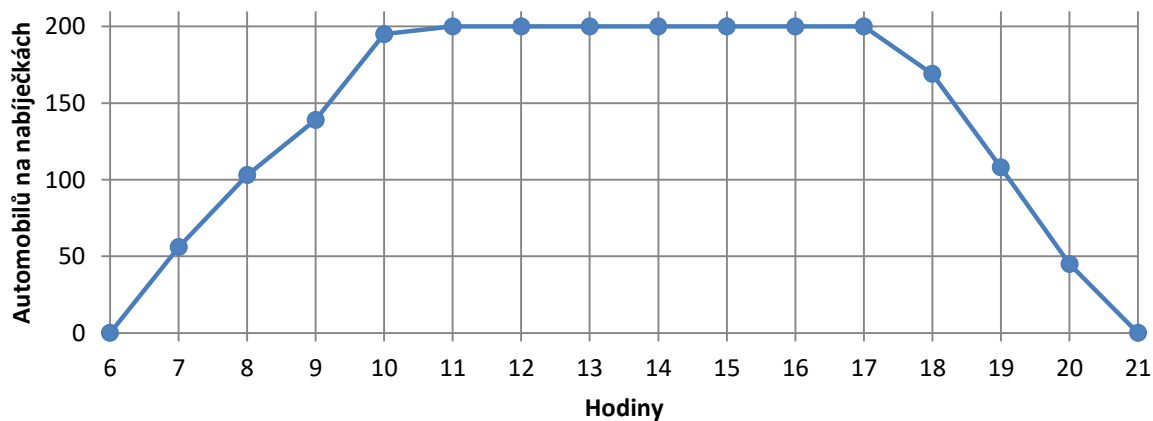
Jak jde vidět vytíženost nabíječek je přímo úměrná vytíženosti parkoviště. Za předpokladu, že elektromobily ujedou 10 km cestou k obchodnímu domu a bude se dále předpokládat, že energii, kterou cestou spotřebují tak u obchodního domu i nabíjí. V létě vychází spotřeba na 10 km celkově 1,41 kWh na elektromobil. 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 jedou autem krátké vzdálenosti, a

tak si lidé řeknou, 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.



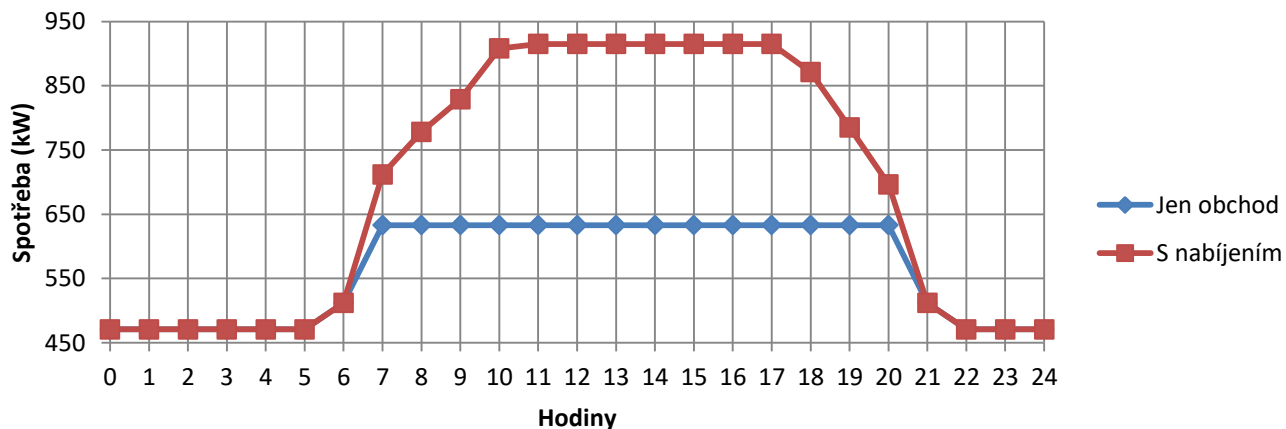
Graf 17: Spotřeba obchodního domu s 12,3% elektromobilů

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 by v takovém případě mohla vypadat tak, jak je zobrazeno na grafu 18. Počet nabíječek je stanoven na 200. Spotřebu takto zatíženého transformátoru obchodního domu ukazuje graf 19.



Graf 18: Vytíženost nabíječek při 50% elektromobilů





Graf 19: Spotřeba obchodního domu s 50% elektromobilů

#### 4.2.2 Víkend

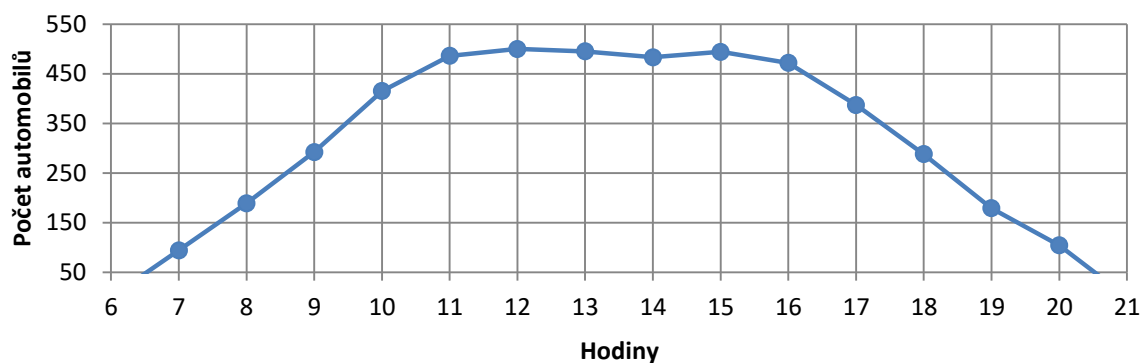
Vytíženost parkoviště o víkendu. Přes víkend budeme předpokládat stejnou maximální vytíženost parkoviště. Nicméně vytížení v jednotlivých časech se liší, viz Graf 20. Odhad je opět udělán za pomoci služby Google, kde je možné se podívat na oblíbené časy, viz Obrázek 2[14].

### Oblíbené časy soboty ▾



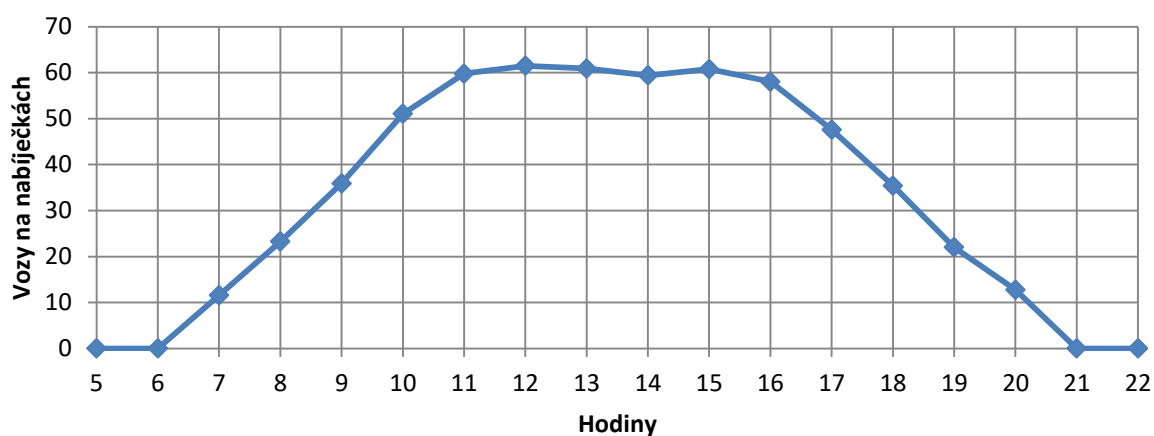
Obrázek 2: Vytíženost prodejny o víkendu

## Vytíženost parkoviště o víkendu

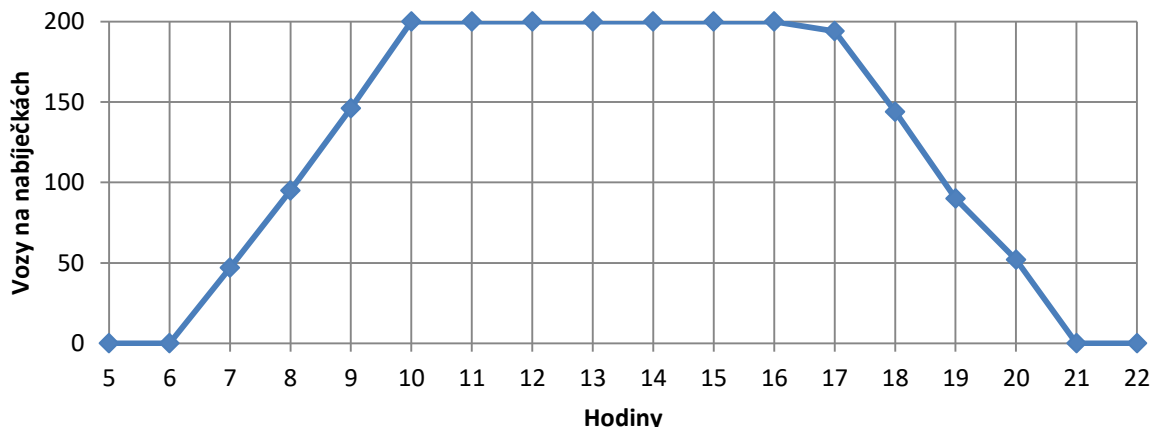


Graf 20: Vytíženost parkoviště obchodního domu o víkendu

Počty elektromobilů připojených na nabíječky o víkendu bude záležet na poměrech počtů elektromobilů a ostatních automobilů, jak ukazují grafy 21 a 22. 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 12,3% elektromobilů o víkendu

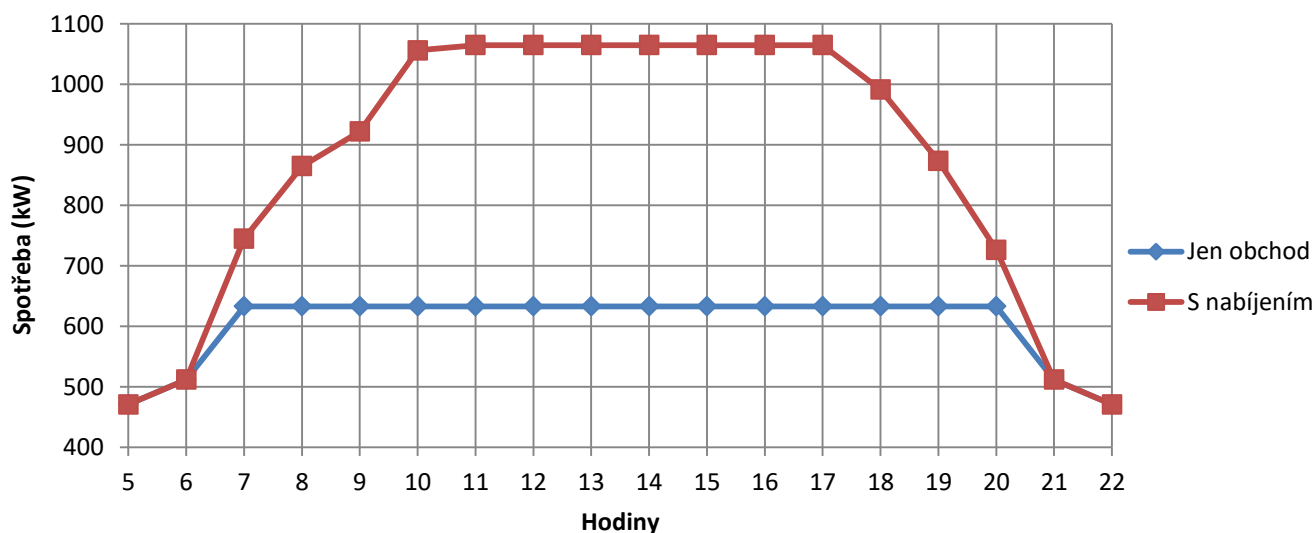


Graf 22: Vytíženost nabíječek s 50% elektromobilů o víkendu

### 4.2.3 Pokročilý scénář

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

Scénář, viz Graf 23, počítá s tím, že 10% elektromobilů připojených na nabíječkách se nabíjí větším výkonem, konkrétně 3 kW a 2,5% připojených elektromobilů výkonem 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.



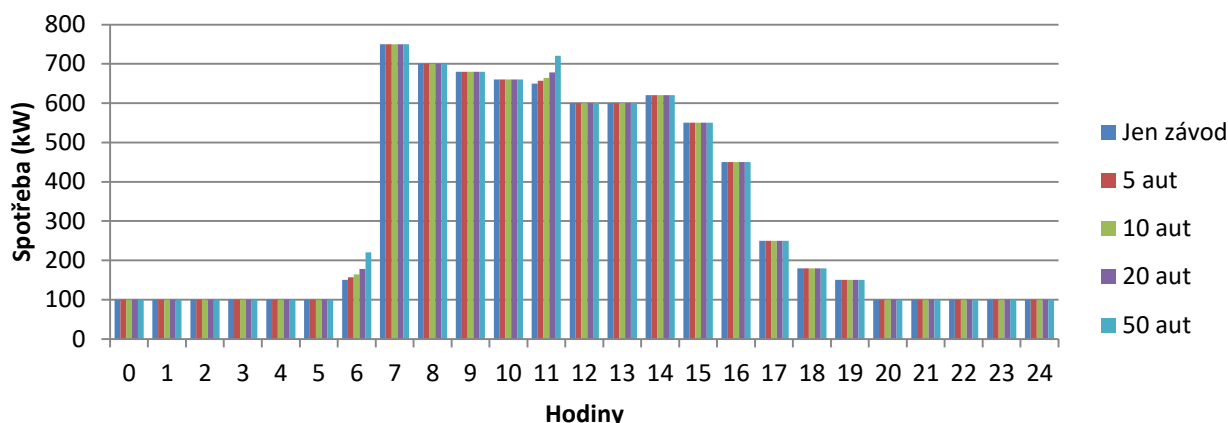
Graf 23: Spotřeba obchodního domu s pokročilým odhadem spotřeby nabíječek

### 4.3 Průmyslový závod

Počty aut na parkovištích u průmyslových závodů velice záleží na konkrétním podniku. Nicméně se dá předpokládat, že vytíženost 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 koncept nepoužívá nějaké elektromobily v rámci svého provozu, nebo jako služební vozy. Není zde pro to potřeba detailní výpočty pro vytíženost 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 vytíženost 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 komplexu. 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.

#### 4.3.1 Letní scénáře

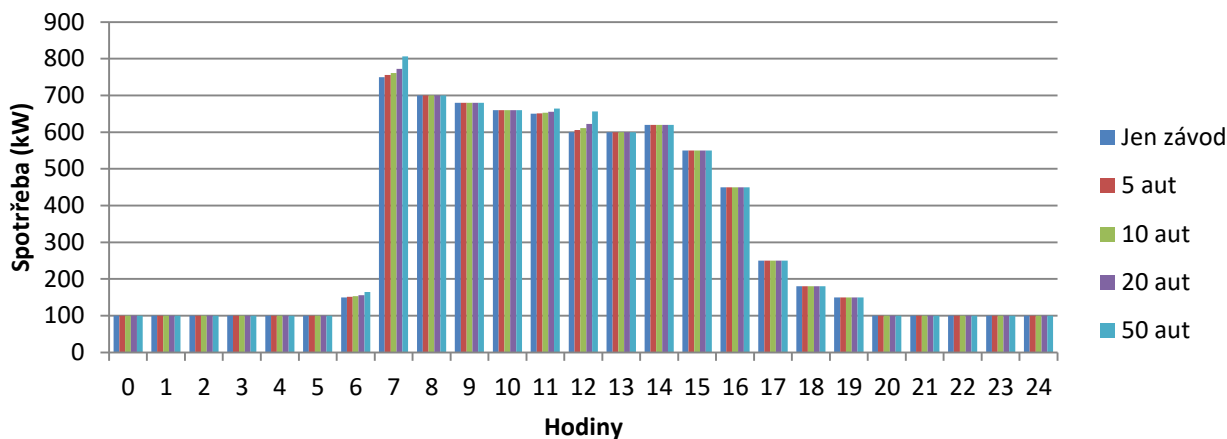
První scénáře ukazují základní zvednutí spotřeby při začátku směny. Všechny elektromobily najely na cestě do práce 10 km a předpokládá se, že si elektromobily dobijí právě tolik energie, která je potřebná pro ujetí 10 km. V létě to činí 1,41 kWh na každý elektromobil.



Graf 24: 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. Není tedy příliš pravděpodobný, jelikož by se elektromobily musely nabíjet

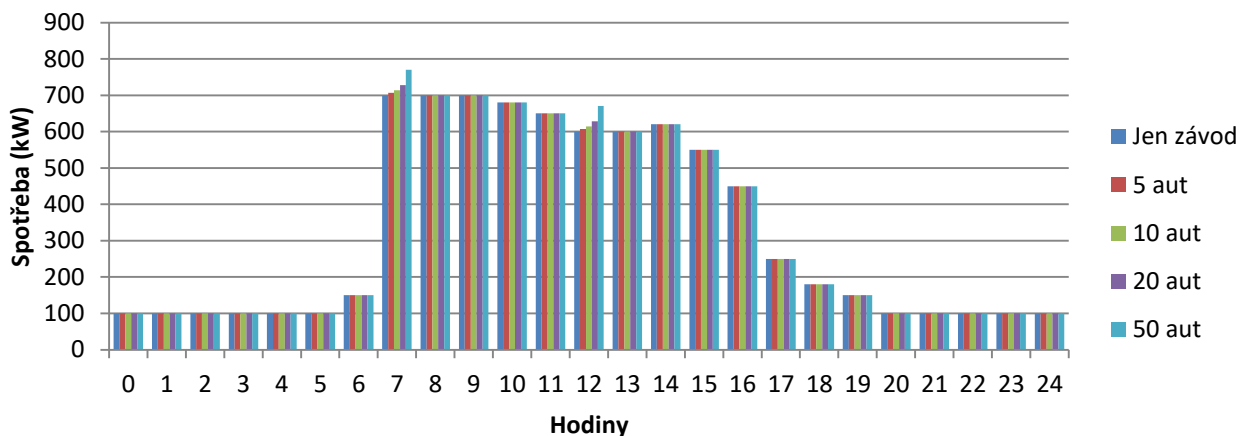
velkými výkony, aby to stihli, například pokud by jejich řidiči je připojili k nabíjecímu stojanu v 5:45 (pracovní směna začíná v 6:00) tak by se 1 elektromobil musel nabíjet výkonem 5,64 kW, aby to stihnul do 6:00. Pravděpodobnější scénář se jeví ten, kdy se sice elektromobily začnou nabíjet v 5:45, ale pokračují v nabíjení i po 6:00. Takovýto scénář by mohl vypadat následovně.



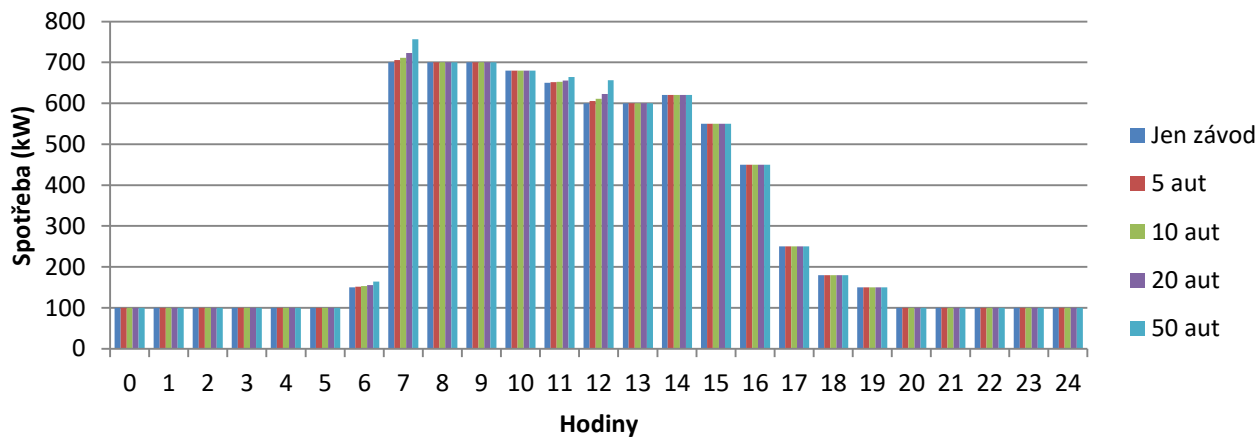
Graf 25: Spotřeba závodu A s auty při pomalém dobítí aut

Jak je vidět grafech 24 a 25 ve všech scénářích 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 6.

Grafy 26 a 27 ukazují možné spotřeby elektrické energie v druhém výrobním závodě. Tento výrobní závod měl sníženou výkonovou špičku při rozjezdu výroby.



Graf 26: Spotřeba závodu B při rychlém dobítí aut



Graf 27: Spotřeba závodu B při pomalém dobití aut

## 5 Modely

### 5.1 Obytná oblast

#### 5.1.1 Základ modelu obytné oblasti

S pomocí scénářů bylo rozhodnuto, že model obytné oblasti bude mít, tak jako ve scénáři, 10 domů. Prvních 5 domů bude mít spotřebu převzatou přímo z bakalářské práce[11]. Dalších 5 pak mnou upravenou spotřebu, viz Tabulka 7. Pro modelování bylo použito počtu 10 elektromobilů, z celkových 20 v oblasti 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 diskusi v oblasti řízení. Samotný model je zpřesněním scénářů. V modelu se již započítává přesné rozdělení elektromobilů podle denních nájездů 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. Pro modelování byl použit software Microsoft Excel 2007.

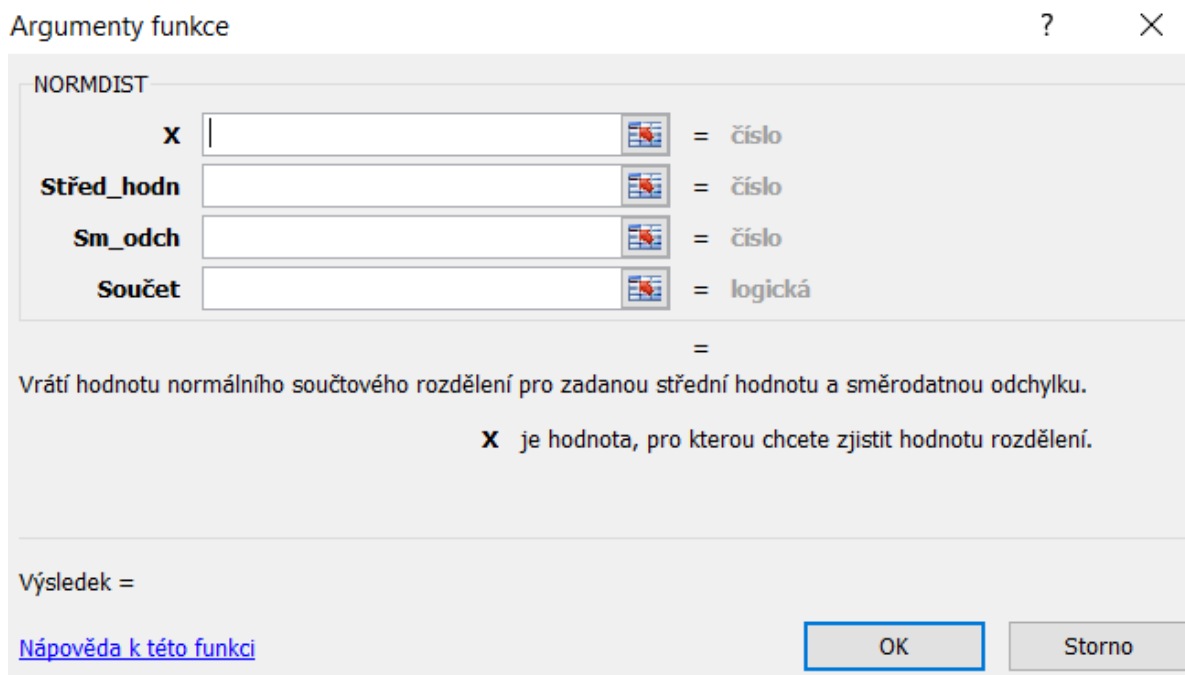
#### 5.1.2 Detaily modelu obytné oblasti

Roztřídění elektrických automobilů podle naježděných kilometrů byla použita tabulka 6 o ročních a denních nájездech. Podle této tabulky byly elektromobily roztříděny, viz Tabulka 9.

**Tabulka 9: Rozdělení elektromobilů podle ročně najetých km**

Procentuální podíl	Roční nájезд (km)	Denní nájезд (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. Na toto rozdělení má Excel funkci NORMDIST, viz Obrázek 3. Tato funkce umožňuje výpočet kumulativní distribuční funkce, ale také výpočet hromadné pravděpodobnostní funkce, která je zde použita.



Obrázek 3: Screenshot z nastavení funkce NORMDIST.

Nastavení funkce NORMDIST potřebuje 4 parametry. První je „x“, je to hodnota, pro kterou chceme zjistit hodnotu rozdělení. Zadáním „Střed\_hodn“ určíme střední hodnotu pro výpočet rozdělení. „Sm\_odch“ je parametr směrodatné odchylky. Poslední parametr „Součet“ přijímá pouze vstupy 1, nebo 0, popřípadě „TRUE“ nebo „FALSE“. Tímto parametrem se nastavuje, jestli se má počítat součtová distribuční funkce, nebo hromadná pravděpodobnostní funkce. Pro účely této práce zde byla nastavena 0, tedy výpočet hromadné pravděpodobnostní funkce.

Rozdělení elektromobilů podle celkového času stráveného připojením na domácí elektrickou síť bylo rovněž realizováno pomocí Gussovo rozdělení přes příkazScreenshot z nastavení funkce NORMDIST. 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 zpracování všech rozdělení vozů vychází, že jeden elektromobil má v tomto modelu celkem tři parametry. První parametr jsou naježděné kilometry, druhý parametr je start nabíjení, a posledním parametrem je čas strávený na nabíječe. Všechny parametry musely být jednotlivým elektromobilům dány ručně, proč takto viz kapitola 5.4 problémy modelů. 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 5.1.3 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.

### **5.1.3 Výsledky modelu obytné oblasti**

K modelu bylo přístupováno dvojím 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. Druhý přístup představuje nabíjení elektromobilu za pomoci adaptéru ze zásuvek 230, nebo 400V, a spotřeba není nijak řízená, to znamená, že od okamžiku připojení na zdroj elektrické energie se vůz nabíjí maximálním možným výkonem. Kvůli lepší přehlednosti bylo pro oba dva přístupy použito stejné rozdělení elektromobilů. Roztřídění jednotlivých automobilů ukazuje tabulka 10. 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[8]. Je zde tedy předpoklad že se zbylých 25% dobije někde jinde.

**Tabulka 10: 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

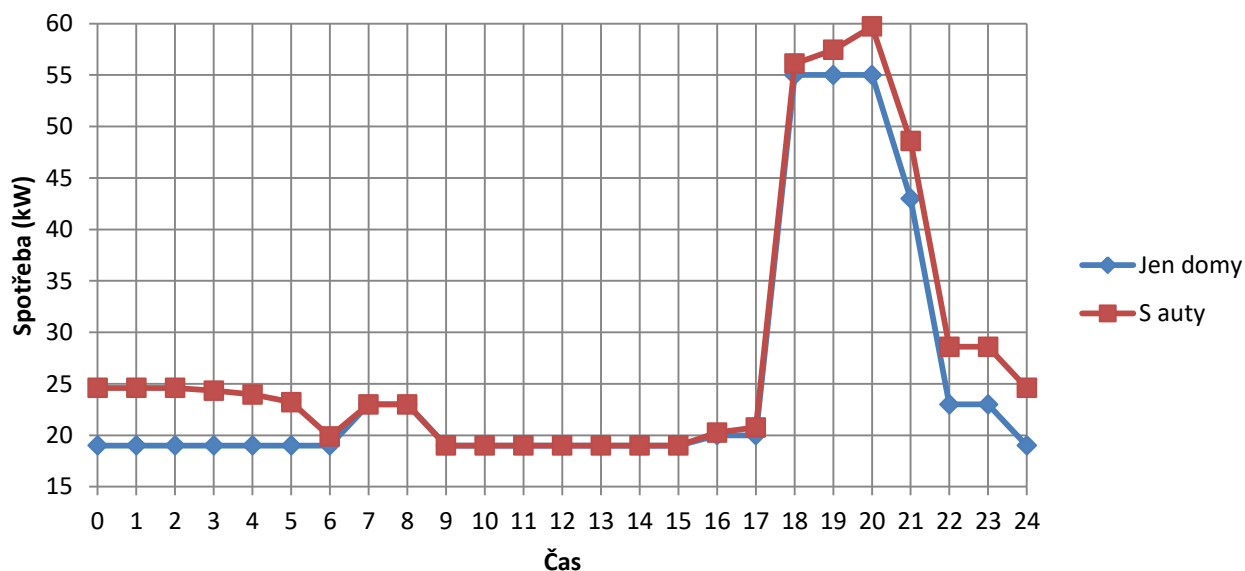
**Tabulka 11: Spotřeba elektromobilů nabíjených přes noc.**

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 tabulce 11 jsou zobrazeny jednotlivé spotřebované výkony jednotlivých elektromobilů. Údaje začínající od třetího sloupce a druhého řádku 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. Vozy č. 6 a 7 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 28.



**Graf 28: Spotřeba elektromobilů nabíjených přes noc.**

Pro druhý způsob nabíjení, tedy nabíjení neřízené, bylo použito stejné rozdělení automobilů jako v ukázce postupného nabíjení. V tomto způsobu nabíjení bylo použito dvou různých nabíjecích výkonů. První výkon odpovídá zásuvce 230 V s 16 A jističem, tedy 3,68 kW. Druhý výkon byl stanoven na 13,8 kW, toto odpovídá třífázové zásuvce 400 V s 20 A jističem.

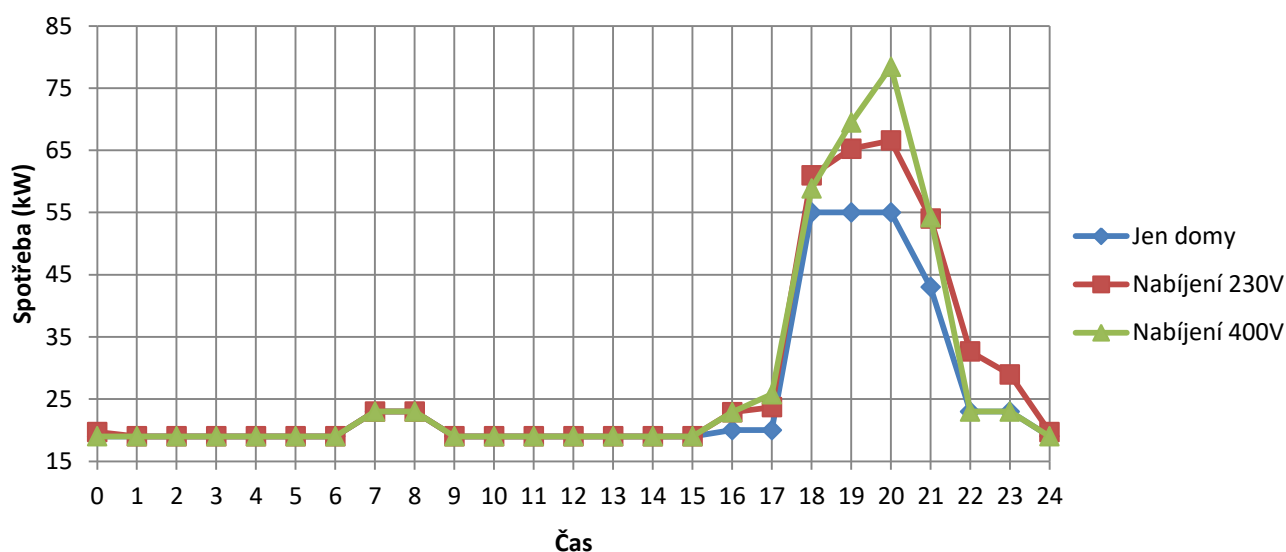
**Tabulka 12: Spotřeba elektromobilů nabíjených ze zásuvky 230V 16A.**

Čas	Č. vozu:	10	1	8	9	5	4	6 a 7	2	3
0		0,699								
1										
16									2,891	
17						3,680				
18			0,964			2,102				2,891
19							2,891	7,360		
20		3,680		3,680				4,204		
21		3,680		3,680	3,680					
22		3,680		2,277	3,680					
23		3,680			2,277					

**Tabulka 13: Spotřeba elektromobilů nabíjených ze zásuvky 400V 20A**

Čas	Č. vozu:	10	1	8	9	5	4	6 a 7	2	3
16									2,891	
17						5,782				
18			0,964							2,891
19							2,891	11,564		
20		13,800		9,637						
21		1,610			9,637					

Tabulka 12 a tabulka 13 ukazují rozvržení nabíjení elektromobilů, pokud by všechny byly nabíjeny plným neřízeným výkonem. Graf 29 ukazuje celkovou spotřebu oblasti i s domy.



**Graf 29: Spotřeba při nabíjení na zásuvkách 230V a 400V**

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.

## 5.2 Obchodní dům

### 5.2.1 Základ modelu odchodního domu

Model parkoviště obchodního domu má maximálně 200 nabíječek, jde o parkoviště s tisícem parkovacích míst. Spotřeba samotného obchodního domu je přes pracovní dny i o víkendu stejná. Avšak vytížení parkoviště se mění, viz (Graf 15 Graf 20). Model pracuje s tím, že uživatel ví, jak dlouho bude v obchodním domě, a tuto informaci nastaví na nabíječku. Nabíječka pak dobije automobil za nastavený čas. Dále model používá přesnější 15 minutové rozlišení. Oproti 1 h rozlišení z obytné oblasti. Jemnější rozlišení bylo vybráno i z důvodu 15 minutového rezervovaného výkonu.

## 5.2.2 Detail modelu obchodního domu

Pro vytvoření přesnějšího 15 minutového modelu bylo zapotřebí přerozdělit hodinovou vytiženost 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 jich v každých 15 minut přijede 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 byla použita funkce Screenshot z nastavení funkce NORMDIST. Určená pro výpočet Gaussovo 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:	30 min	45 min	60 min	75 min	90 min

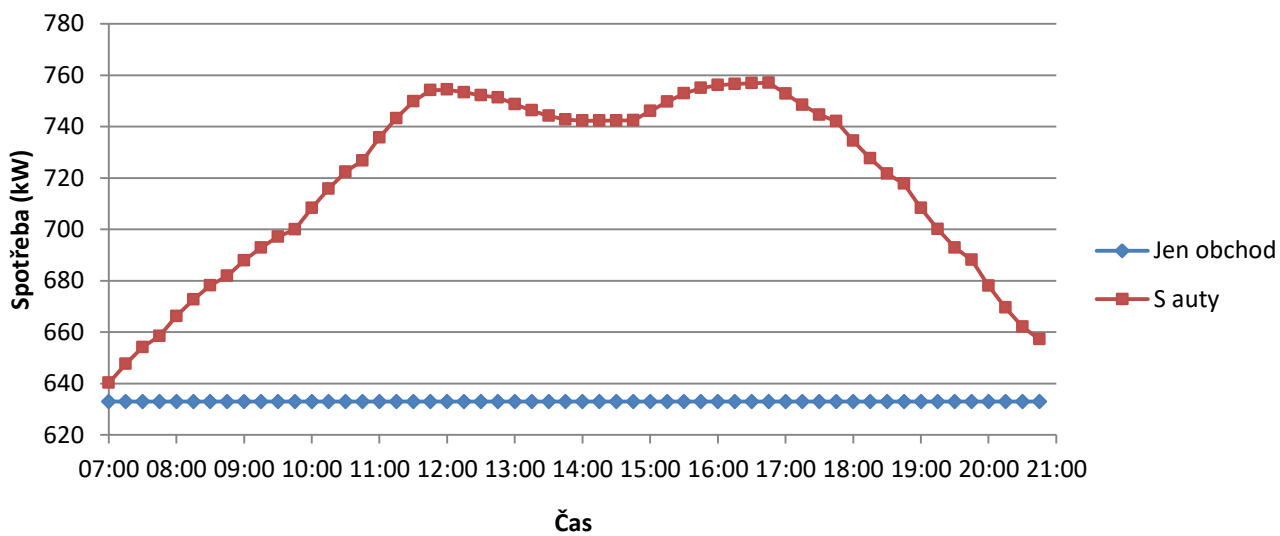
Celková model počítá se třemi vlastnostmi jednotlivých elektromobilů. První vlastností je počet najetých kilometrů. Druhou je celková doba nabíjení. Poslední vlastností je čas příjezdu vozidla na parkoviště a připojení na nabíječku. Bohužel se zde vyskytly stejné problémy se softwarem jako u modelu obytné oblasti, viz kapitola 5.4. 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.

## 5.2.3 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, viz kapitola 4.2. Ale počet elektromobilů na parkovišti nebyl zaokrouhlován na celá čísla. Procentuální počet elektromobilů na parkovišti byl použit 12,3% a 50%.

Graf 30 ukazuje, jak bude vypadat spotřeba celého obchodního domu v pracovní den a při 12,3% elektromobilů. Tabulka 15 zobrazuje vnitřní uspořádání modelu. V grafu (Graf 30 i Graf 31) jde velice dobře vidět, že celková spotřeba nabíjení kopíruje celkovou vytiženost 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 tabulce 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.

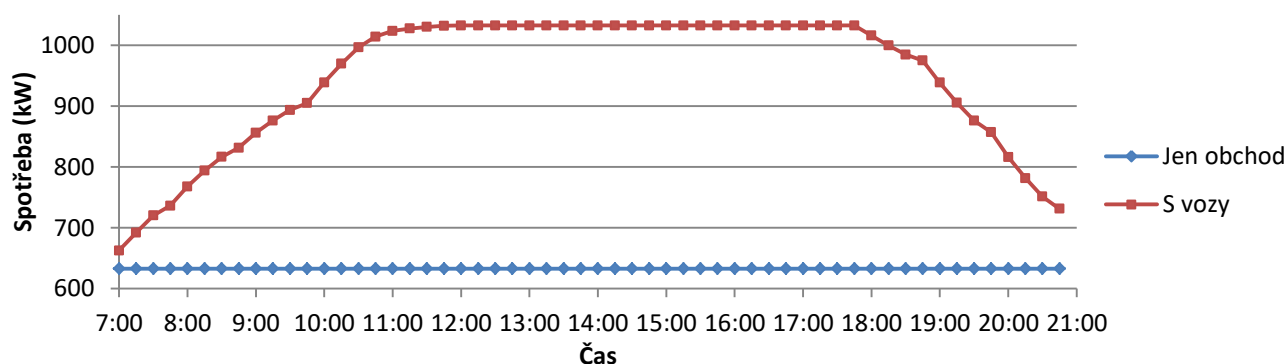


Graf 30: Spotřeba obchodního domu s 12,3% elektromobilů.

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	7,294
7:15	3,413		0,184	0,826	1,362	0,826	0,184	14,588
7:30	3,413		0,184	0,826	1,362	0,826	0,184	21,138
7:45	3,413		0,184	0,826	1,362	0,826	0,184	25,467
8:00	6,304		0,340	1,525	2,515	1,525	0,340	33,225
8:15	6,304		0,340	1,525	2,515	1,525	0,340	39,650
8:30	6,304		0,340	1,525	2,515	1,525	0,340	45,197
8:45	6,304		0,340	1,525	2,515	1,525	0,340	48,862
9:00	8,518		0,460	2,061	3,398	2,061	0,460	54,932
9:15	8,518		0,460	2,061	3,398	2,061	0,460	59,873
9:30	8,518		0,460	2,061	3,398	2,061	0,460	64,122
9:45	8,518		0,460	2,061	3,398	2,061	0,460	66,930
10:00	11,962		0,646	2,894	4,772	2,894	0,646	75,315
10:15	11,962		0,646	2,894	4,772	2,894	0,646	82,836
10:30	11,962		0,646	2,894	4,772	2,894	0,646	89,445

Graf 31 ukazuje, jak by vypadala celková spotřeba obchodního domu, kdyby počet elektromobilů dosáhl 50%.



**Graf 31: Spotřeba obchodního domu s 50% elektromobilů**

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.

## 5.3 Průmyslový závod

### 5.3.1 Model průmyslového závodu

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 scénářů, voz kapitola 3.1.3, tento model nereferuje žádnou reálnou průmyslovou budovu. Samotná spotřeba komplexu, a počet pracovníků, velice záleží na jeho typu a použité výrobní technologii. Počty automobilů se proto shodují s počty uvedenými ve scénářích. Konkrétní počty elektromobilů jsou 5, 10, 20 a 50.

Model průmyslového závodu, stejně jako u obchodního domu, zpřesňuje scénáře. Konkrétní zpřesnění je 15 minutové rozlišení, přesnější výpočet nejetých 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, viz Obrázek 3. Úprava spočívá v přerozdělení na jednu stranu, viz Tabulka 16. 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.

**Tabulka 16: Přerozdělení pro průmysl**

Podíl aut %	7,77	34,82	57,41
Čas příjezdu (min)	15	30	45

### 5.3.2 Výsledky modelu průmyslového závodu

Tabulka 17 zobrazuje výkon potřebný k nabíjení elektromobilů v čase. Od 2. řádku a 3. sloupce jsou jednotlivé výkony (kW), které jsou spotřebované 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 doby dobijí celkem 30% z jejich denní spotřeby.

**Tabulka 17: 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

### 5.4 Problémy modelů

Hlavní několikrát zmiňovaný problém modelů byl v samotném použitém softwaru. Microsoft Excel 2007 je tabulkový procesor a na vypracování základních scénářů je ideální. Nicméně během konstrukce modelů jsem narazil na potřebu přiřadit jednotlivým elektromobilům několik vlastností. Tyto vlastnosti jsou denní nájezd kilometrů, čas připojení k nabíječce atd. Pro tuto potřebu by byl ideální objektově orientovaný software. Objekt by se mohl jmenovat „automobil“ a byly by mu přiřazeny jednotlivé parametry. Přiřazování parametrů by pak probíhalo na základě vypočtené pravděpodobnosti. Toto Excel neumožňuje neboť je pro něj elektromobil pouze číslo. Excel byl použit, protože v době kdy jsem zjistil tyto problémy, byly již modely skoro hotovy a jejich přesun do jiného softwaru by byl časově velice nákladný.

Další možností jak vyřešit tento problém by byl opačný přístup. Nepracovat s jednotlivými vozidly jako s objekty, ale spočítat si počty elektromobilů s danou vlastností. Např. se u obchodního domu vyskytne 5 vozů, které přijedou v tolik hodin na tak dlouho, a 10 jiných vozů, s jinými vlastnostmi. Tento postup byl nakonec použit u modelu obytné oblasti viz kapitola 5.1.2, kde jsem však jednotlivé parametry vkládal ručně. Takovýto velice podobný postup byl použit i u



zbývajících modelů. U modelu obchodu i průmyslového komplexu, kapitoly 5.2 a 5.3, již ale nebyly počty automobilů s konkrétní vlastností zaokrouhlené na jednotlivé kusy. Zaokrouhlení by si vyžádalo veliký ruční zásah. Programové zaokrouhlování jsem použít nechtěl z důvodu příliš velké ztráty informace.

Při klasickém zaokrouhlení se stávalo, že několik automobilů zkrátka zmizelo. A při zaokrouhlení čistě směrem nahoru jich naopak hodně přibývalo. Tyto problémy způsobovaly hlavně vlastnosti s menším výskytem. Typickým příkladem jsou vlastnosti z obchodního domu. Kombinace vlastností celkové délky nabíjení, a okamžiku příjezdu způsobovali zaokrouhlovací problém. Počet elektromobilů s konkrétní kombinací vlastností byl například 10,2229 (samozřejmě záleží na konkrétním nastavení modelu). Zmíněný počet vozidel se v průběhu modelu několikrát opakoval. Při normálním zaokrouhlení je vozidel s danými vlastnostmi 10, je zde ztráta 0,2229 vozu, to znamená, že na každé páté zaokrouhlení se ztratí více než celý vůz. Při zaokrouhlení nahoru je vozidel 11, takže při každém zaokrouhlení tu je nárůst o 0,7771 automobilu. Toto bohužel způsobovalo až příliš velké nepřesnosti, a proto zde byl použit statistický přístup, kde se využívají neceločíselné násobky počtu elektromobilů.

## 6 Řízení

Řízení nabíjení v obytné oblasti, tak aby nebyl přetížen napájecí transformátor, se za určitých okolností nemusí řešit. Pokud budou všechny nabíječky, nabíjecí stojany a podobná zařízení, připojena na elektrickou síť v domě, regulace se skutečně nemusí řešit. Bude-li nabíječka připojená až hlavní jistič domu, tak i v případě velikých odběrů na této nabíječce, nehrozí přetížení trafostanice, neboť v nejhorším případě dojde pouze k přetížení přívodního jističe domu, a jeho následnému odpojení. Dodavatelé elektrické energie jsou si dobře vědomi toho, kolik domů a s jak velkými jističi jsou k transformátoru připojeny. A tak i vědí jaký je teoretický maximální proud protékající transformátorem. Ostatně pokud obyvatelé domů chtějí větší přívodní jistič, musejí o to požádat.

Rozdíl v obytné oblasti může nastat při instalaci veřejné nabíječky, nebo více nabíječek, které jsou připojeny přímo na transformátor. U takového zapojení by bylo žádoucí, aby teoretický maximální výkon nepřetížil trafostanici. Nebo aby byl výkon nabíječek řízený podle aktuálního průtoku na transformátoru. Jednou z možností by bylo sledování proudu přímo na transformátoru. Naměřené údaje pak použít k nastavení maximálního výkonu nabíječek. Takovéto řízení by mohlo být plně automatické. Při tomto řešení stačí, že by nabíječka měla jen několik stupňů výkonu. Není nutné její výkon řídit velice přesně a spojitě. Pokud by byl transformátor více zatížený, nabíječka by byla přepnuta do režimu menšího výkonu a naopak. Nevýhoda takového řešení je, že by se mohl prodloužit čas potřebný k nabití automobilu.

Další způsob řízení odběru na nabíječkách by mohlo být odpojování nabíječek, na kterých jsou elektromobily téměř dobity. Nabíječky musí umět sledovat procentuální stav baterie. Poté, kdyby byla potřeba snížit na nabíječkách výkon, tak by nejdříve snížil u více nabitých automobilů, a poté kdyby byla potřeba snižovat odběr dále. Tak by se výkon snížil i u méně nabitých vozů. Tento způsob je vhodnější pro větší počty nabíječek. A docela dobře by mohl fungovat u obchodních domů, nebo v panelákové zástavbě.

U obchodních domů a průmyslových závodů by mohl být problém, že nabíjení elektromobilů může překročit čtvrt hodinová výkonová maxima. V takových případech je několik možností toto potlačit. U obchodních center je to možnost za nabitou energii platit. Tímto si obchod vydělá, a může si výkonová maxima zvednout, popřípadě i pořídit větší napájecí transformátor. U průmyslových závodů může být možnost nabíjet si elektromobil jako firemní benefit. Tady by pak mohlo i záležet na postoji státu, který by mohl nabíjení nějakým způsobem dotovat.

## 7 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 seznámení s českou elektrickou soustavou. Dále bylo nezbytné najít a vytvořit hodinové spotřeby různých druhů oblastí připojených k centrální trafostanici. Těmito oblastmi byly obydlená oblast s rodinnými domy, obchodní dům, a průmyslový závod. Dále bylo nutné pro potřeby této práce 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 jednoduché scénáře, a zkušenosti z jejich tvorby, pak posloužily jako základ pro jednotlivé modely. Bohužel s tím že ze scénářů se stal základ modelů, přišel problém. Konkrétně se softwarem Microsoft Excel 2007, ve kterém většina práce vznikala. Excel neumožňoval přesně ty funkcionality, které by se velice hodily, například práce s elektromobilem jako s objektem, a tak není v modelu obchodního domu a průmyslového závodu použito přesných kusových počtů vozidel. Místo toho jsou použity statistické počty. Samotné modely pak pracují s různými pravděpodobnostními jevy. Jednotlivé jevy jsou čas příjezdu k nabíječce, doba strávená na nabíječce a počet najetých kilometrů. Modely průmyslového komplexu a obchodního domu jsou dále zpřesněny. Toto zpřesnění je zjemnění časového rozlišení, z původní hodiny ve scénářích na 15 minut. Jemnější rozlišení bylo použito z důvodu toho, že velcí odběratelé elektřiny si platí 15 minutové výkonové rezervy. Na konci práce je provedena diskuze na možné řízení spotřeby nabíječek, aby nedocházelo k přetěžování napájecích transformátorů vlivem jejich provozu.

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 lepšího softwaru. Popřípadě v ní pokračovat a prozkoumat problematiku zatěžování městské sítě, mřížové struktury, vlivem nabíjení aut. Dále také by se dalo zabírat možnostmi úpravy sloupů veřejného osvětlení tak, aby byly vhodné pro nabíjení elektromobilů. V takovémto případě pak řešit problematiku řízení spotřeby na takto upraveném veřejném osvětlení.

## 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, 2018. Dílčí studie pro pracovní tým A25- Predikce vývoje elektromobility v ČR. EuroEnergy [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: [https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/konference-seminare/2018/11/Studie-NAPS-SG-A25\\_Elektromobilita.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/konference-seminare/2018/11/Studie-NAPS-SG-A25_Elektromobilita.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/Dokumenty-korporat/Dokumenty/Analytici/vyhled\\_elektromobility\\_v\\_CR\\_2019\\_03.pdf](https://www.csas.cz/content/dam/cz/csas/www_csas_cz/Dokumenty-korporat/Dokumenty/Analytici/vyhled_elektromobility_v_CR_2019_03.pdf)
- [4] 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>
- [5] 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>
- [6] 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>
- [7] 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-ridicu-objede-za-rok-petkrat-republiku?OpenDocument&Click=>
- [8] 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/zaciname-s-elektromobilitou-i-jak-na-domaci-nabijeni-21005170>
- [9] 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/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=CS>

- [10] 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-byla-uvedena-do-provozu-nejvykonnejsi-nabijecka-elektromobilu/>
- [11] 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.
- [12] MARUGG, Caithlin Ann. *ASSESSING THE ENERGY USE OF SUPERMARKETS AND SHOPPING MALLS IN CURAÇAO*. Enschede, 2016. Bachelor Thesis. University of Twente.
- [13] Data: Zatížení [online]. Praha: ČEPS, 2020 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/data>
- [14] *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.