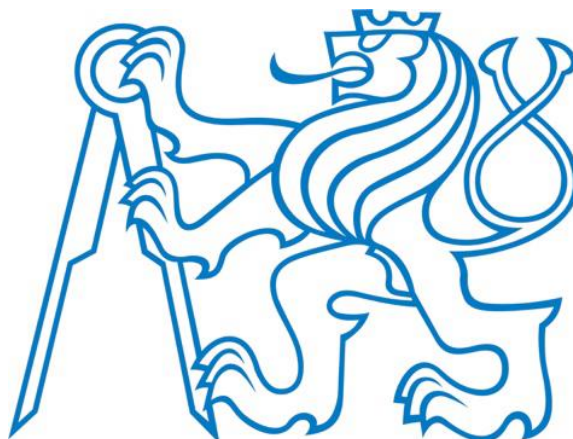


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd



Elektromobilita a její působení na energetickou síť

Electromobility and its effect on energy grid

Diplomová práce

**Bc. Vojtěch Spilka**

Praha, 2019

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Ekonomika a řízení elektrotechniky

Vedoucí práce: Ing. Petr Wolf, Ph.D.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Spilka** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **420079**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Ekonomika a řízení elektrotechniky**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Elektromobilita a její působení na energetickou síť**

Název diplomové práce anglicky:

**Electromobility and its effect on energy grid**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Proveďte rešerši technického řešení elektromobilů a jejich akumulátorů.
- 2) Popište standardy nabíjení a příklady nabíjecích stanic.
- 3) Proveďte analýzu zatížení elektrizační sítě při dobíjení a rozvoji elektromobility.
- 4) U vybraného objektu navrhnete inteligentní řízení nabíjení. Popište řešení, uveďte naměřené výsledky.
- 5) Ekonomicky porovnejte varianty s a bez inteligentního nabíjení elektromobilů.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Nikowitz M. (Ed.): Advanced hybrid and electric vehicles. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2016.
- [2] Eickelmann J.: Driving Force Elektromobility, Schwabenberg: Phoenix Contact E-Mobility, 2017
- [3] Kovalová L.: Komparace koncepcí elektromobility v České republice, Francii a USA. Diplomová práce. VŠE v Praze. 2011.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Petr Wolf, Ph.D., UCEEB**

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

Datum zadání diplomové práce: **01.02.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **20.09.2020**

Ing. Petr Wolf, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studenta

### **Prohlášení**

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

V Praze dne:

.....

Bc. Vojtěch Spilka

**Poděkování:**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Petru Wolfovi, Ph.D. za cenné rady, poskytnutí měřících zařízení a v neposlední řadě za možnost využít laboratoře UCEEB. Také bych chtěl poděkovat celé rodině, za velkou podporu při mém studiu.

**Anotace:**

Tato diplomová práce se zabývá technickým řešením elektromobilů, od akumulátorových technologií až po jejich nabíjení. Hlavní část práce je věnována analýze současného a budoucího zatížení přenosové soustavy související s očekávaným nárůstem počtu elektromobilů a návrhu inteligentního řízení nabíjení, který by dokázal částečně zajistit stabilitu elektrizační sítě. V závěru práce je zpracováno ekonomické porovnání nabíjení s inteligentním řízením a nabíjení bez řízení u konkrétního objektu.

**Klíčová slova:**

elektromobilita, nabíjení, inteligentní řízení, baterie, elektromobil, dynamické nabíjení, nabíjecí stanice, Renault

**Annotation:**

This diploma thesis deals with technical solution of electric vehicles, from battery technologies to their charging. The main part of the work is devoted to the analysis of the current and future load of the transmission system related to the expected growth of electric vehicles and to the design of intelligent charging control, which could partially ensure the stability of the electricity grid. At the end of the thesis, an economic comparison of charging with intelligent control and charging without control related to a particular apartment house is processed.

**Key words:**

electromobility, charging, intelligent control, battery, electric car, dynamic charging, charging station, Renault

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Technické řešení elektromobilů</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Základní rozdělení elektromobilů</b> .....	<b>3</b>
2.1.1	100 % elektrický (BEV) .....	3
2.1.2	Hybrid elektrický (HEV).....	3
2.1.3	Plug-in hybrid elektrický (PHEV).....	4
<b>2.2</b>	<b>Problematika akumulátorů a podmínky jejich provozování</b> .....	<b>4</b>
2.2.1	Baterie .....	4
2.2.2	NiMH baterie.....	5
2.2.3	Li-ion baterie.....	5
2.2.4	Battery management systém (BMS) .....	6
2.2.5	Závislost počtu cyklů na hloubce cyklů .....	7
2.2.6	Dojezdová vzdálenost v závislosti na okolní teplotě.....	8
2.2.7	Porovnání nabíjecího procesu elektromobilů.....	9
<b>3</b>	<b>Technické řešení nabíjení elektromobilů</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>Možnosti nabíjení</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2</b>	<b>Nabíjení vodivým spojením</b> .....	<b>13</b>
3.2.1	Nabíjecí režimy .....	14
<b>3.3</b>	<b>Indukční nabíjení</b> .....	<b>17</b>
<b>3.4</b>	<b>Výměna baterií</b> .....	<b>17</b>
<b>3.5</b>	<b>Typy nabíjecích stanic</b> .....	<b>18</b>
3.5.1	Domácí nabíjecí stanice .....	19
3.5.2	Veřejné nabíjení.....	20
3.5.3	Rychlonabíjecí DC stanice .....	21
<b>3.6</b>	<b>Normy pro nabíjení</b> .....	<b>23</b>
3.6.1	Konektory pro nabíjení.....	23
3.6.2	Normy pro nabíjecí infrastrukturu .....	25
<b>4</b>	<b>Analýza zatížení elektrizační sítě</b> .....	<b>27</b>
<b>4.1</b>	<b>Současný počet automobilů</b> .....	<b>27</b>

<b>4.2</b>	<b>Předpokládaný rozvoj elektromobility</b> .....	<b>28</b>
4.2.1	Předpokládané zatížení přenosové soustavy.....	34
4.2.2	Předpoklad pro pomalé nabíjení.....	35
4.2.3	Předpoklad pro rychlé nabíjení.....	35
4.2.4	Výpočet potřebné energie pro nabití 1 kWh .....	35
4.2.5	Výpočet potřebné energie pro ujetí jednoho km .....	36
4.2.6	Určení způsobu nabíjení.....	36
4.2.7	První skupina – soukromí uživatelé .....	37
4.2.8	Druhá skupina-slужебní automobily .....	38
4.2.9	Třetí skupina-slужебní automobily pro rozvoz zboží .....	39
4.2.10	Zatížení přenosové soustavy .....	40
4.2.11	Shrnutí.....	44
<b>5</b>	<b>Inteligentní řízení nabíjení</b> .....	<b>46</b>
<b>5.1</b>	<b>Rezervovaný příkon pro měřený dům</b> .....	<b>47</b>
<b>5.2</b>	<b>Návrh inteligentního řízení pro tento dům</b> .....	<b>48</b>
<b>5.3</b>	<b>Prvky použité pro řízení</b> .....	<b>49</b>
5.3.1	Ovládací obrazovka .....	49
5.3.2	Analyzátor sítě .....	49
5.3.3	Zapojení a popis řešení .....	49
<b>5.4</b>	<b>Testování řešení</b> .....	<b>51</b>
<b>5.5</b>	<b>Význam inteligentního nabíjení</b> .....	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>Ekonomické porovnání</b> .....	<b>55</b>
<b>6.1</b>	<b>Náklady při použití varianty s inteligentním řízením</b> .....	<b>55</b>
<b>6.2</b>	<b>Náklady při použití varianty bez řízení</b> .....	<b>56</b>
<b>6.3</b>	<b>Porovnání investic</b> .....	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>59</b>



## Seznam zkratek

A – Ampér (jednotka proudu)  
AC – střídavý proud  
BEV – Battery electric vehicle (automobil poháněný bateriemi)  
CCS – Combined Charging System (kabel pro nabíjení stejnosměrným i střídavým proudem)  
ČSÚ – Český statistický úřad  
DC – stejnosměrný proud  
EU – Evropská unie  
EV – Electric vehicle (elektromobil)  
HPC – High Power Charging cables (kabely pro nabíjení vysokým výkonem)  
IP ochrana – Stupně ochrany před dotykem nebezpečných částí  
kW – kilowaty (jednotka výkonu)  
MID – Measuring Instruments Directive  
MPO – Ministerstvo průmyslu a obchodu  
OCPP – Open Charge Point Protocol (komunikační protokol pro elektromobilitu)  
PHEV – Plug-in hybrid elektrický  
PLC – Programovatelný logický automat  
PRE – Pražská energetika  
PJ – Petajoule (jednotka práce)  
Sek – Státní energetická koncepce  
SOH – State of health (Míra degradace baterií)  
TCP/IP – Transmission Control Protocol (primární přenosový protokol)  
V – Volt (jednotka napětí)

## 1 Úvod

Stále snižující se množství ropy, tlak na automobilky ohledně dodržování emisních norem a zpřísnující se podmínky pro vjezd automobilů do měst vedly přední světové automobilky k mnoha změnám při výrobě automobilů. V důsledku těchto změn dnes každá větší automobilka vyrábí nebo vyvíjí vlastní automobil na elektrický pohon.

V současné době jsou vozidla na elektrický pohon již v několika ohledech konkurenceschopná běžným automobilům se spalovacím motorem. Hlavním nedostatkem tohoto segmentu vozidel je však jejich cena a infrastruktura pro nabíjení. Tyto dvě hlavní překážky zabráňující většímu rozšíření elektromobilů mohou v současné chvíli vyřešit například státní dotace na nákup těchto vozidel a na stavbu nabíjecích stanic. Další možnou variantou podpory od státu jsou ústupky při placení poplatků za provoz těchto vozidel.

V případě nárůstu počtu elektromobilů je třeba počítat s velkými nároky na elektrizační soustavu. Ať už se jedná o lokální distribuční soustavu nebo globální přenosovou soustavu, v obou případech je nutné počítat se zavedením určitých opatření pro udržení jejich bezpečného chodu.

V rámci této práce budou proto rozebrány parametry elektromobilů a jejich nabíjení za účelem následné analýzy dopadů na elektrizační síť a možnosti nabíjení za předpokladu dalšího rozšiřování elektromobility.

V prvních dvou kapitolách se tato diplomová práce zaměřuje na technické řešení současných elektromobilů a jejich akumulátorů a zároveň blíže popisuje jednotlivé normy nabíjení, nabíjecí konektory a druhy nabíjecích stanic.

Hlavní část práce se věnuje odhadu předpokládaného zatížení elektrizační sítě s ohledem na nabíjení elektromobilů jak v současnosti, tak v budoucnosti vycházející ze tří typických skupin uživatelů a jejich týdenních návyků.

V následujícím kroku je na základě změřených dat z bytového domu navržen systém pro implementaci inteligentního nabíjení, které je s jistými úpravami aplikovatelné v jakýchkoliv podmínkách a libovolném typu budovy při využití jedné nebo více nabíjecích stanic. Za účelem ověření některých vlastností elektromobilů byl zapůjčen a testován elektromobil Renault Zoe, Renault Kangoo Z.E a BMW i3. Pro návrh a realizaci řešení jsou využita reálná data změřená pomocí měřících zařízení od

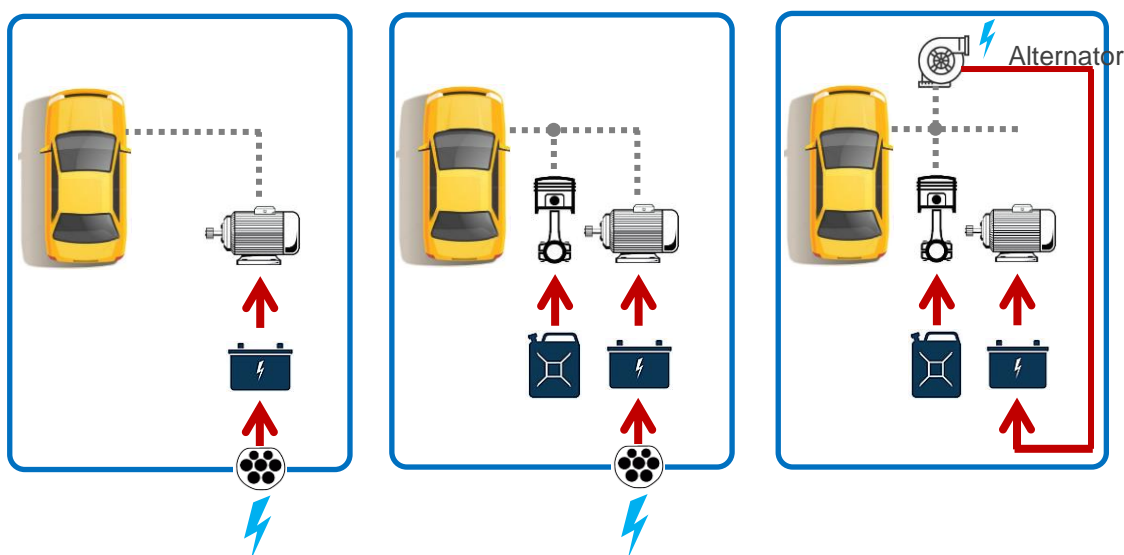
společnosti PRE. Řízení nabíjení je provedeno softwarovou konfigurací řídicího displeje pro zadání požadavku u každého nabíjecího bodu. Řešení bylo otestováno v prostorech UCEEB s využitím vypůjčených dvou nabíjecích stanic od společnosti Schneider Electric a měřících zařízení z laboratoře UCEEB.

V poslední kapitole práce jsou porovnány náklady na investici do implementace inteligentního řízení nabíjení s náklady na nabíjení bez řízení.

## 2 Technické řešení elektromobilů

Tato kapitola má za cíl v krátkosti popsat technické řešení elektromobilů. Hlavní částí této kapitoly je problematika akumulátorů a podmínky jejich provozování.

### 2.1 Základní rozdělení elektromobilů



Obrázek 1: 100 % elektrický

Obrázek 2: Plug-in hybrid elektrický

Obrázek 3: Hybrid elektrický

#### 2.1.1 100 % elektrický (BEV)

Na obrázku 1 je jednoduché schéma tohoto typu automobilu. Jedná se o automobil na čistě elektrický pohon. Energie pro pohon elektromotoru je uložena v dobíjecích bateriích, které má automobil uloženy v podlaze. Baterie jsou nabíjeny pomocí nabíječe umístěného v automobilu. Tento nabíječ spolu s velikostí nabíjecího zdroje určuje dobu nabíjení. Nejběžněji prodávanými elektromobily s tímto typem pohonu jsou Nissan Leaf, Tesla Model S nebo Renault Zoe.

#### 2.1.2 Hybrid elektrický (HEV)

Nejběžnější z vozidel na alternativní pohon, které dnes vidíme na silnicích jsou poháněny kombinací spalovacího a elektrického motoru (pohon hybridních vozidel). Zatímco přesná funkce pohonného hybridního systému se může mírně lišit, jejich vlastnosti jsou v zásadě stejné. Spalovací motor a elektromotor je u HEV připojen na hnací ústrojí. Baterie pohánějící elektromotor lze nabíjet několika způsoby, a to buď otáčením elektrického generátoru při provozu spalovacího motoru nebo v některých případech přeměnou kinetické energie vozidla na elektrickou energii prostřednictvím

systemů jako regenerační brzdy. Výrazným zástupcem v segmentu těchto vozidel je Toyota Prius.

### **2.1.3 Plug-in hybrid elektrický (PHEV)**

Tyto vozidla jsou v mnoha ohledech velmi podobné HEV v tom, že mají hybridní pohon vozidla a používají spalovací motor i elektromotor. Na rozdíl od HEV může být však baterie nabíjena připojením k napájecímu zdroji. Elektromotor ve většině modelů zajišťuje pohon vozidla do 50 km/h a poté se automaticky sepne spalovací motor. Když je baterie vybita, Plug-in hybrid začne fungovat jako HEV, přičemž spalovací motor převezme roli primárního zdroje energie. Nejběžnějším příkladem tohoto typu vozidla je model Chevrolet Volt.

## **2.2 Problematika akumulátorů a podmínky jejich provozování**

Vývoj alternativních zdrojů energie pro pohon automobilů, které v současnosti, a hlavně v budoucnu nahradí benzín a naftu probíhá již od sedmdesátých let. První impuls pro tento vývoj přinesla ropná krize a v následujících letech byl vývoj podpořen potřebou přesunout znečištění z automobilové dopravy mimo města. Dalšími významnými impulsy byly nestabilita cen ropy a politická nařízení po celém světě. Obavy o zvýšení produkce emisí z aut se spalovacím motorem jsou tedy významným hnacím ústrojím současného vývoje a jen podporují fakt, že elektřina je široce považována za udržitelnou energii v dopravě budoucnosti. Cílem této kapitoly je osvětlit aktuální stav akumulátorů používaných v elektromobilech.

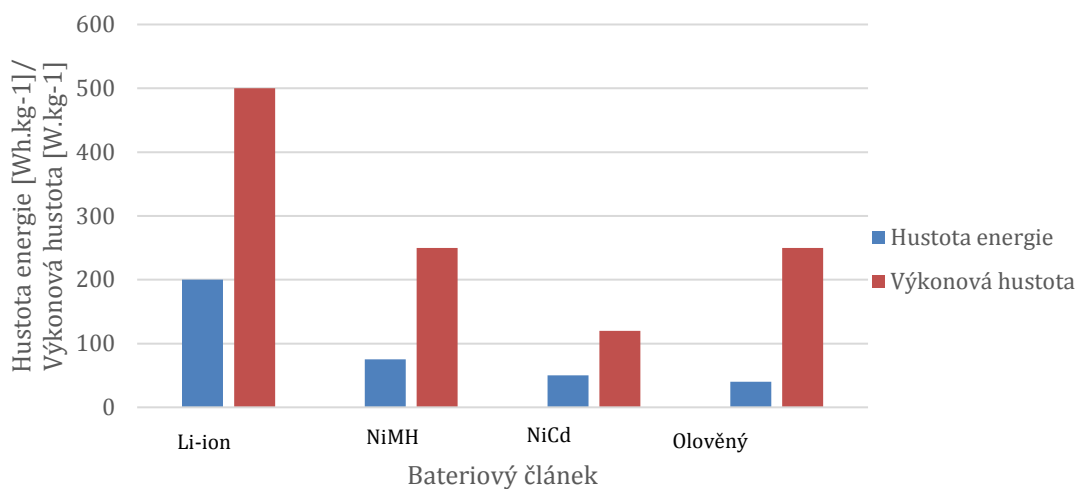
### **2.2.1 Baterie**

Obecně lze baterii popsat jako elektrochemický článek, který přeměňuje chemickou energii na elektrickou energii. Skládá se z anody a katody oddělené elektrolytem. Elektrony se vytvářejí v anodě a proudí směrem ke katodě přes externí obvod. Dva hlavní typy baterií používané v elektromobilech jsou nikel-metal hydridové (NiMH) a lithium-iontové (Li-ion) baterie. NiMH akumulátory jsou ve většině případů používány jako sekundární zdroje energie v HEV (viz. kapitola 2.1.3), kde se používají v kombinaci se spalovacím motorem, naproti tomu lithium-iontové baterie jsou používány jako primární zdroje energie v BEV (viz. kapitola 2.1.1). V následující tabulce a grafu jsou popsány vlastnosti chemických složení baterií, které se používají či používaly v elektromobilitě. Na první pohled je vidět jasná výhoda v zobrazených

vlastnostech Li-ion baterií vůči ostatním chemickým složením. V následující kapitole je popsána i NiMH baterie, která je však již v tomto odvětví na ústupu.

Tabulka 1: Vlastnosti baterií [1]

Bateriový článek	Hustota energie [Wh.kg <sup>-1</sup> ]	Výkonová hustota [W.kg <sup>-1</sup> ]	Životnost cyklů; let	Provozní teplota [°C]
Li-ion	150-260	300-700	1000-3000; 5-10	-20 až +50
NiMH	55-80	200-300	500-1000; 5-10	-20 až +50
NiCd	40-60	80-175	2000-3000; 3-10	-50 až +50
Olověný	30-50	150-400	1000; 3-5	-15 až +45



Obrázek 4: Graf hustoty energie a výkonové hustoty na základě tabulky č. 1

### 2.2.2 NiMH baterie

NiMH baterie se do současnosti používaly u velkého množství HEV, nicméně se v tomto segmentu již začínají nahrazovat Li-ion bateriemi. Hlavní výhodou tohoto druhu baterií z hlediska výroby je ve srovnání s Li-ion bateriemi bezpečnost. Další motivací pro používání těchto baterií je možnost flexibilního návrhu kapacity celého packu (například od 30 mAh do 250 Ah), relativní šetrnost vůči životnímu prostředí, malá údržba, velký výkon a hustota energie, pořizovací náklady a především již zmiňovaná bezpečnost při nabíjení a vybíjení při velkých proudech. [1]

### 2.2.3 Li-ion baterie

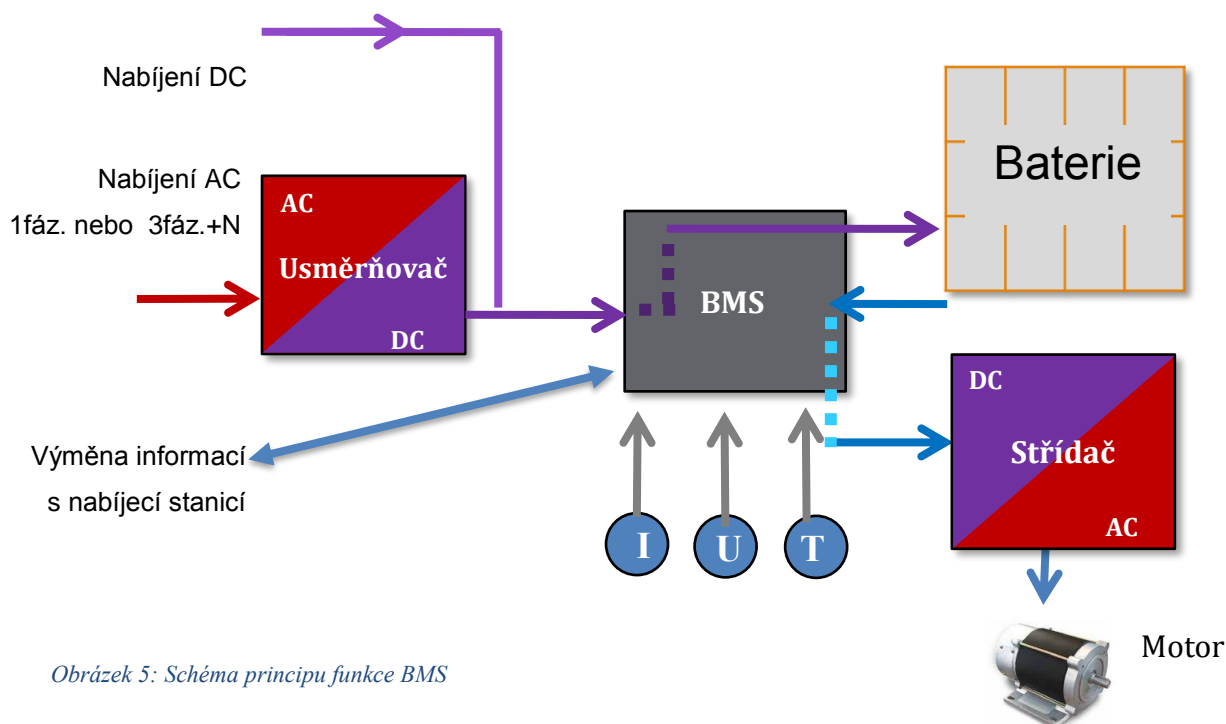
Lithium-iontové baterie jsou lehké, kompaktní a pracují s napětím článku 4 V se specifickou energií v rozmezí 150-260 Wh kg<sup>-1</sup>. V Li-ion bateriích lze uchovat více

energie než v bateriích NiMH, nicméně je tato výhoda spojena s vyššími pořizovacími náklady. Výhodami těchto baterií je dlouhá životnost, schopnost rychlého nabíjení, nemají žádný paměťový efekt, samovybíjení je u těchto baterií poloviční než u NiMH a dobře snáší nabíjení bez toho, aby musely být plně vybity. Nevýhodami je dostupnost materiálů (např. lithia), nepříznivý dopad na životní prostředí (složitá recyklace) a bezpečnost. Li-ion baterie pomalu v elektromobilech nahrazují NiMH a olovené baterie, které mají nižší hustotu energie a hloubku vybíjení. [1]

V posledních letech se vyskytlo několik požárů zapříčiněných Li-ion baterií v BEV. Zejména teplotní problémy jsou jedním z technologických vlastností, které je třeba řešit. Li-ion baterie má pracovní rozmezí mezi 25 a 40 °C. V tomto rozmezí baterie pracuje ve svém maximálním výkonu, udrží největší životnost jednoho cyklu a zamezí se ztrátě kapacity způsobené tepelným stárnutím. Životnost a kapacita cyklu Li-ion baterie jsou nepřímo úměrné teplotě článku. [2] Pro splnění různých aplikací a požadavků jsou baterie zapojeny do série nebo paralelně v bateriovém packu. V celém bateriovém packu musí být dodržena v ideálním případě stejná teplota (může se lišit maximálně o 3 °C až 5 °C), aby byl zajištěn stejný výkon a efektivní balancování všech článků. Teplota je také důležitá pro rovnoměrné dobíjení všech článků během rekuperace při brzdění.

#### **2.2.4 Battery management systém (BMS)**

Na obrázku č. 5 je jednoduché schéma elektromobilu. Popsané parametry zmíněné v předchozích dvou odstavcích je nutné nějakým způsobem v elektromobilu hlídat. K tomu slouží v elektromobilu BMS. Tento systém má za úkol optimalizovat baterii a chrání ji proti poškození. Systém hlídá napětí, teplotu, stav nabíjení nebo vybíjení, vstupní proud a výstupní proud. Ve své historii uchovává data o počtu cyklů, maximální dosažený proud při nabíjení a vybíjení i celkovou energii dodanou baterií. BMS všechny informace vyhodnocuje a na základě naprogramovaných instrukcí si vyměňuje informace s nabíjecí stanicí.

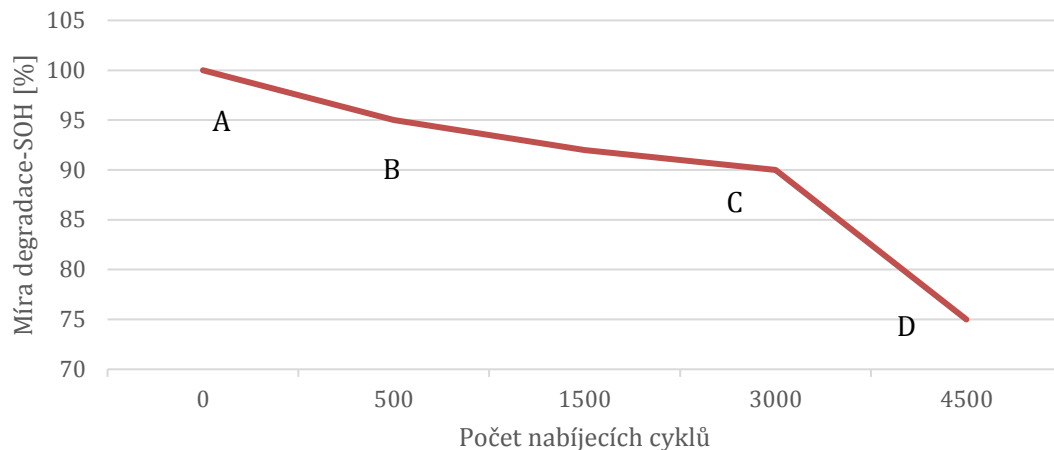


Obrázek 5: Schéma principu funkce BMS

### 2.2.5 Závislost počtu cyklů na hloubce cyklů

Důležitým aspektem pro ukládání energie nejen v lithiových, ale i jiných bateriích je stárnutí článků baterií zejména u nepravidelných cyklických operací. Následující text se zaměřuje pouze na stárnutí Li-ion baterií. Míra degradace bateriových (SOH) článků závisí nejen na vnějších faktorech jako je rychlost nabíjení, vybíjení, čas, provozní teplota a teplota baterií při nabíjení, ale také na současném stavu opotřebení. Degradace baterie je tedy nelineární proces, ke kterému přispívá způsob zacházení s baterií. Z tohoto důvodu nelze degradaci baterií spolehlivě předpovědět. Jak je vidět v grafu č. 6, rychlost degradace Li-ion baterie není s ohledem na počet cyklů lineární proces. Míra degradace je výrazně vyšší během prvních cyklů nové baterie (úsek A) než během pozdějších cyklů (úsek B, C), když se baterie blíží ke konci svého života, rychle se zvyšuje (úsek D).





Obrázek 6: Nelineární proces degradace baterie [3]

Největší degradaci obecně způsobuje nepravidelné nabíjení a vybíjení baterie. Tím je myšleno nevybití baterie do mezních hodnot a poté nabití na 100 %, což není v reálném provozu bez omezování vždy možné. [4]

### 2.2.6 Dojezdová vzdálenost v závislosti na okolní teplotě

Provoz elektrických vozidel při chladném počasí je téma diskutované mezi odpůrci i příznivci elektromobility. Na toto téma do dnešní doby nebylo vypracováno mnoho studií a výrobci elektromobilů se tímto tématem také blíže zabývat nechtějí. Jízda za takového počasí výrazně snižuje dojezd, a to nejen kvůli rychleji klesající kapacitě baterií v chladných podmínkách, ale také kvůli topení interiéru či rozmrazování čelního skla.

V srdci každého elektromobilu je vysokonapěťová trakční baterie, která pohání elektrický motor. Trakční akumulátor také nabíjí startovací baterii, a jak bylo již zmíněno, v závislosti na typu vozidla napájí také některé nebo veškeré elektrické systémy vozidla.

Dojezdová vzdálenost EV je určena dvěma hlavními faktory-kapacitou plně nabitého akumulátoru a účinností elektrického pohonu. U většiny elektromotorů bude jedna kWh elektrické energie z akumulátoru poskytovat dva až čtyři kilometry ujeté vzdálenosti. Agentura pro ochranu životního prostředí publikuje tuto vzdálenost

u všech EV, ale výsledky z reálného provozu se mohou lišit podle několika dalších faktorů:

- Teplota akumulátoru – pro zvýšení účinnosti provozu je nutné udržovat baterie při určité teplotě. V závislosti na vozidle, provozních podmínkách a teplotě okolního prostředí se odvíjí spotřebovaná část energie pro zachování vhodné teplotní hladiny.
- Teplota interiéru – pro udržení přijatelné teploty interiéru je nutné elektrické klimatizace nebo topných systémů, které mohou spotřebovávat značné množství energie baterie. Pokud je elektromobil připojen do elektrické sítě, je možné interiér před jízdou vytopit či zchladit bez snížení kapacity baterií.
- Řidičské návyky – tento faktor je viditelný i u aut se spalovacím motorem, spotřeba zdroje pro pohánění automobilu je závislá na stylu jízdy.
- Provozní podmínky – EV obvykle dosahují lepšího dojezdu v městském provozu, kde časté regenerační brzdění napomáhá dobítí baterie. [5]

V nedávné době byla zveřejněna studie Federace severoamerických motoristických klubů AAA, která se zaměřuje především na vliv dojezdové vzdálenosti v závislosti na venkovní teplotě. [6] Testování bylo provedeno celkem u pěti elektromobilů. Výchozí teplota pro měření byla určena na 7 °C. Při této teplotě byl průměrný pokles dojezdu o 12 procent v případě, že byla vypnuta ventilace. Mnohem větší následek na dojezd mělo zapnutí ventilace, kdy dojezd klesl průměrně o 41 %. U elektromobilů s menším dojezdem, jako je například testovaný VW e-Golf, či BMW i3, jde o zásadní snížení dojezdové vzdálenosti. Tato studie také zkoumala opačný problém. Stejně testování proběhlo i při teplotách pohybujících se kolem 35 °C, v případě, že elektromobil měl klimatizaci zapnutou, snížil se jeho dojezd průměrně o 17 %.

### **2.2.7 Porovnání nabíjecího procesu elektromobilů**

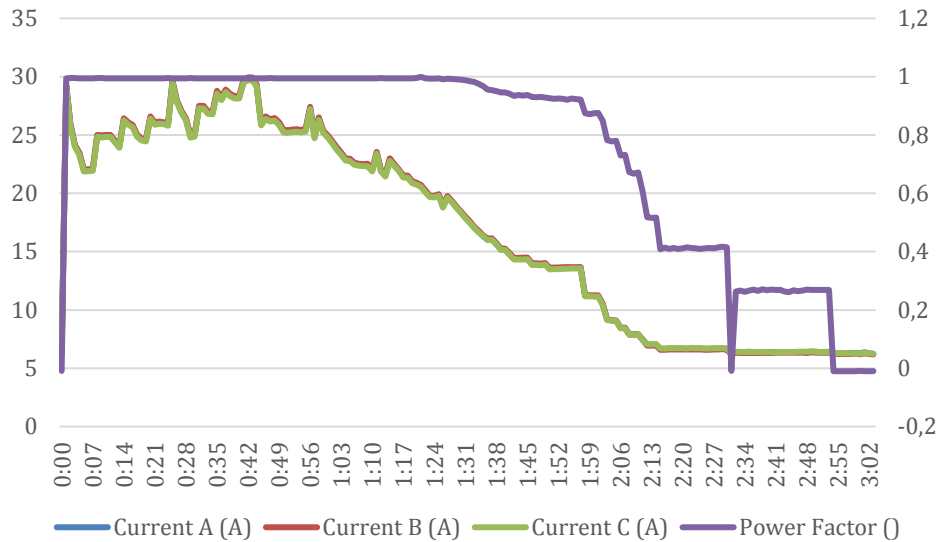
Mnoho uživatelů elektromobilu předpokládá, že pokud je v elektromobilu baterie o kapacitě 100 kWh, bude při jejím nabíjení spotřebováno stejné množství elektrické energie. Jak je zřejmé z testů německého automobilového klubu, není tomu tak. V některých případech je tato spotřeba až o 20 % vyšší. O této skutečnosti nikdo uživatele elektromobilu neinformuje. Ztráty při nabíjení jsou dány primárně ztrátami na vodičích a na usměrňovači. Další nepříznivé vlivy pro elektrizační síť vznikají při nabíjení posledních 20 % kapacity baterie. Kvůli vlastnostem baterie je nutné ji

v poslední části nabíjet sníženým výkonem. Usměrňovač je primárně dimenzován na nabíjení plným výkonem, v takovém případě nabíjí s účinnkem 0,98, jak je vidět na obrázku 7, který zobrazuje nabíjecí proces Renaultu Zoe, s třífázovým usměrňovačem pro nabíjení baterií. Naopak v případě nabíjení nízkým výkonem, kdy střídač pracuje jen zlomkem dimenzovaného výkonu, je účinník kolem hodnoty 0,2, což způsobuje značné ztráty. Většina elektromobilů má nabíječ (usměrňovač) tyristorový. Pro tyristor platí, že může být zapnutý jen, když je napětí na tyristoru v propustném směru a současně je na tyristor přiveden zapalovací impuls. Velikost výstupního napětí, resp. proud do baterie se řídí okamžikem zapnutí tyristoru. Při požadavku na malý proud je tyristor zapínán později (snížený účinník) a proud je tedy malý. Při požadavku na velký proud je zapínán tyristor dříve, účinník je lepší a proud větší.

Nabíjecí proces Renaultu Zoe byl změřen v sídle firmy Schneider Electric za pomoci analyzátoru sítě PM 5560.

*Tabulka 2: Porovnání udávané kapacity baterie a spotřebované energie při nabíjení elektromobilu (porovnání účinnosti nabíjení) [7]*

Model	Kapacita baterií (kWh)	Energie pro nabití (kWh)
Tesla model X 100 D	100	108,3
Tesla Model S P90D	90	94,5
Opel Ampera e-First	60	67,4
Renault Zoe	41	49,5
Hyundai Ioniq	28	30,9
Nissan Leaf	40	44,5
VW-e-Golf	35,8	34,9
BMW i3	27,2	32,6
Nissan E-NM200	40	46,9



Obrázek 7: Graf nabíjecího procesu elektromobilu Renault Zoe

V případě potřeby snížit ztráty v důsledku snižujícího se účinníku, lze tuto situaci řešit dvěma způsoby. Některé automobilky již toto snižování aplikují ve svém elektromobilu (např. BMW i3) nainstalováním tří jednofázových usměrňovačů, v závěru nabíjení se spustí pouze jeden, který nabíjí svým nominálním výkonem a tím sníží ztráty. Dalším možným řešením je instalace malého nabíječe pouze pro závěrečné dobití. S tímto řešením se však vzhledem k hmotnosti a prostoru v automobilu spíše nepočítá.

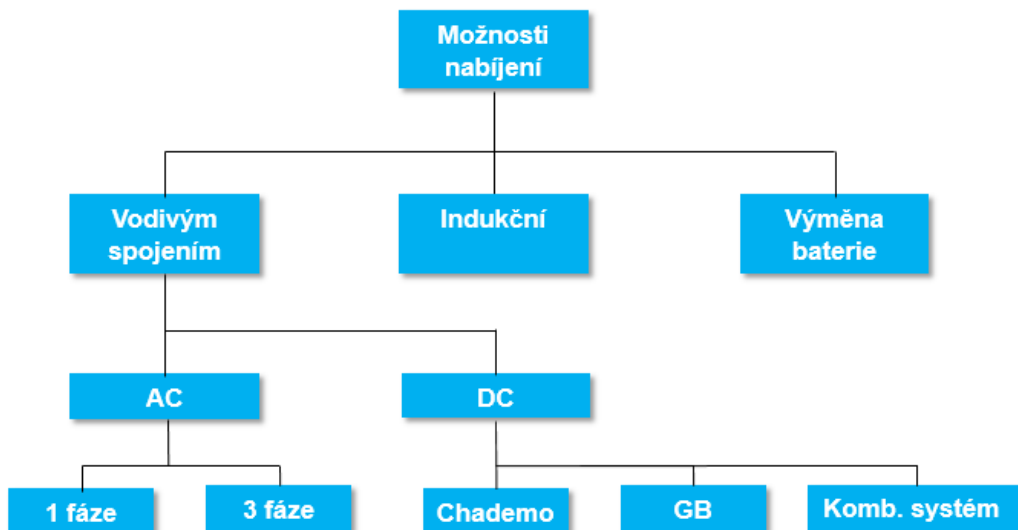
### **3 Technické řešení nabíjení elektromobilů**

Nabíjecí infrastruktura je jedním z hlavních faktorů, které mohou přispět k rozšíření elektromobility. Na rozdíl od tankování pohonných hmot do aut se spalovacím motorem, které trvá jen pár minut a automobil je poté schopen ujet okolo 1000 km, je proces nabíjení časově mnohem náročnější a v současné chvíli díky nižšímu dojezdu elektromobilů častější. Pokud chceme tyto dva procesy porovnat, lze jednoduše přepočítat kolik kWh je v jedné nádrži auta s konvenčním motorem. Při natankování 60 litrů paliva je v autě energie srovnatelná s 60 kWh, která je načerpána v rozmezí 3 minut. Pro natankování takového množství elektrické energie během stejné doby by byla potřeba nabíjecí stanice o výkonu 1.2 MW. Tak velké množství energie je pro energetickou síť neřešitelný problém. [8]

V současné době je několik způsobů nabíjení, žádný z nich se ale časově nevyrovná již zmíněnému tankování pohonných hmot. V této kapitole budou popsány konektory pro nabíjení a příklady nabíjecích stanic. V první řadě, ale budou vysvětleny běžně používané, i ty méně používané možnosti nabíjení a jejich blízký vývoj, který má potenciál zvýšit rychlost i efektivnost nabíjení. Dále budou popsány nabíjecí režimy, nabíjecí konektory a přehled norem zastřešujících elektromobilitu.

#### **3.1 Možnosti nabíjení**

Následující schéma možností nabíjení ukazuje tři hlavní možnosti získání elektrické energie pro pohon elektromobilů. V navazujících kapitolách budou tyto možnosti přesněji popsány.



Obrázek 8: rozdělení způsobů nabíjení

### 3.2 Nabíjení vodivým spojením

Nabíjení vodivým způsobem je technologicky nejsnadnější a nejbezpečnější způsob. Elektrická energie je do elektromobilu přenášena pomocí kabelu s daným druhem konektoru. Tento způsob nabíjení je především náročný pro zajištění bezpečnosti osob vzhledem k tomu, že malé procento osob, které si pořídí elektromobil, má elektrotechnické vzdělání a uvědomuje si rizika při nabíjení elektrickým proudem.

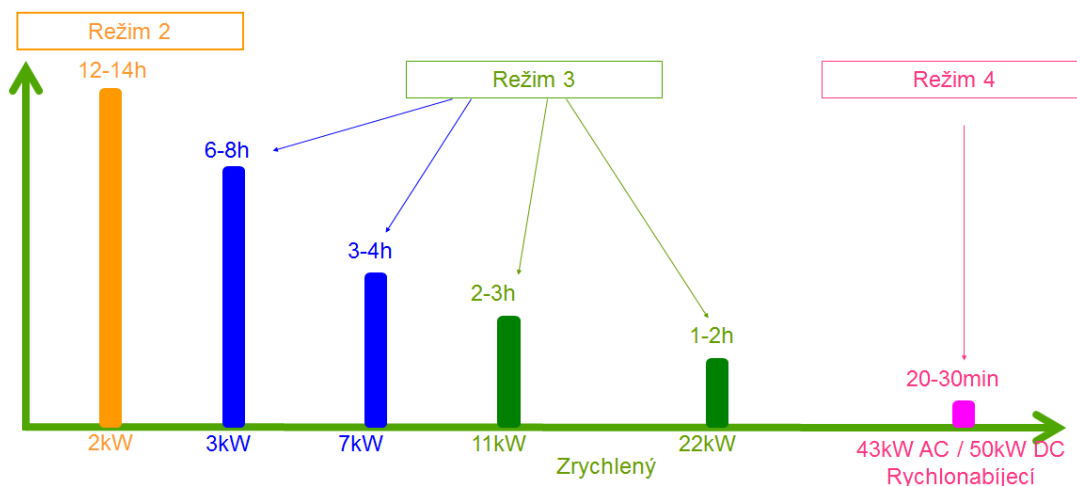
Nabíjení vodivým spojením určuje norma ČSN EN 62196-1, která specifikuje požadavky na zástrčky, zásuvky, konektory, vstupy a kabelové sestavy, která se využívají v souvislosti s nabíjením elektrických vozidel (platformy PHEV, BEV). Norma určuje způsoby užití komponent ve vodivých nabíjecích systémech, kde napětí při provozu nepřesahuje:

- 1) 690 V AC 50-60 Hz při jmenovitém proudu nepřesahujícím 250 A;
- 2) 1500 V DC při jmenovitém proudu nepřesahujícím 400 A. [9]

ČSN EN 62196-1 odkazuje na režimy nabíjení definované v normě ČSN EN 61851-1 – Nabíjecí systémy elektrických vozidel, které specifikují požadované elektrické charakteristiky, ochranu a provoz. [10]

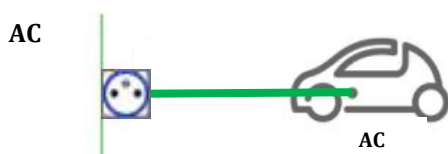
### 3.2.1 Nabíjecí režimy

Norma ČSN EN 61851-1 popisuje nabíjení akumulátorů z veřejných elektrických rozvodů u vozidel s elektrickým pohonem a dále stanovuje bezpečnostní požadavky při připojení vozidla k elektrické síti stejně jako požadavky na bezpečnost obsluhy a ostatních osob při připojení vozidla a v průběhu nabíjení. Obrázek č. 9 popisuje režim 2-4 a dostupný výkon při jejich používání. Režim 1 není zobrazen, jelikož je jeho používání již zakázáno, jak je popsáno v kapitole 3.2.1.1. [10]



Obrázek 9: Popis nabíjení s popisem režimů a orientačním časem nabíjení

#### 3.2.1.1 Nabíjecí režim 1



Obrázek 10: Jednoduché schéma připojení EV-režim 1

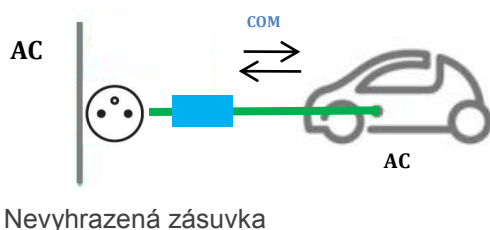
Nabíjecí režim 1 probíhá prostřednictvím střídavého proudu (AC), při kterém je elektrické vozidlo připojeno přímo k elektrické soustavě. Velikost maximálního nabíjecího proudu je rovna hodnotě 16 A jednofázově. Připojení nemá žádné řídicí kolíky, vozidlo tedy žádným způsobem nekomunikuje s nabíjecí stanicí. U tohoto způsobu nabíjení tedy nelze řídit ani výkon ani zpožděný start apod. Při režimu 1 je k nabíjení využívána palubní nabíječka v EV. Nabíjecí režim 1 není

povolen z důvodu velmi nízké bezpečnosti pro elektroinstalaci domu i pro bezpečnost samotného EV.

Tabulka 3: Popis nabíjení při režimu 1

Max. nabíjecí schopnost:	230 V – 16 A → 3,7 kW
	400 V – 16 A → 11 kW
Uzamykání konektoru:	ve vozidle
Norma:	ČSN EN 61 851-1 ed. 2 [8]

### 3.2.1.2 Nabíjecí režim 2



Obrázek 11: Jednoduché schéma připojení EV-režim 2

Obrázek 12: Kabel pro nabíjení EV přímo z elektrické sítě [28]

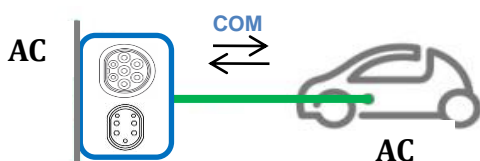
Nabíjecí režim 2 probíhá stejně jako režim 1 prostřednictvím střídavého proudu, při kterém je EV připojené přímo k elektrické síti. Režim 2 využívá dle potřeby napětí 230 V nebo 400 V, včetně uzemnění s maximálním proudem 32 A třífázově. V tomto režimu existuje přímé, pasivní připojení z elektrické sítě AC k EV napájecímu zařízení přes ochranné zařízení, které je integrované v kabelu (obrázek č. 12). Toto ochranné zařízení zajišťuje řídicí a ochranné funkce (ověření a monitorování přítomnosti ochranného uzemnění – poruchu zemního spojení, kontrolu nadproudů a ochranu proti přehřátí, další funkcí je přepínání nabíjecího výkonu v závislosti na stavu vozidla. Ochranné zařízení musí být umístěné ve vzdálenosti do 0,3 m od vidlice nebo napájecího zařízení nebo musí být ve vidlici.

Tabulka 4: Popis nabíjení při režimu 2

Max. nabíjecí schopnost:	230V – 32A → 7,4kW
	400V – 32A → 22kW
Uzamykání konektoru:	ve vozidle
Norma:	ČSN EN 61 851-1 ed. 2, ČSN EN 62752 ed. 1 [8]



### 3.2.1.3 Nabíjecí režim 3



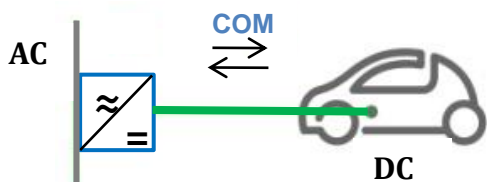
Obrázek 13: Jednoduché schéma připojení EV-režim 3

Nabíjecí režim 3 je velmi odlišný od předchozích režimů, u režimu 3 jde o aktivní připojení EV k pevné nabíjecí stanici, a to buď při napětí 230 V nebo 400 V včetně komunikačního a uzemňovacího spojení. Tento režim je nejběžněji používaný. Nabíjecí zdroj je napojen na řídicí a komunikační rozhraní. Komunikační kabel mezi elektronikou vozu a nabíjecí stanicí umožňuje integraci do inteligentních sítí.

Tabulka 5: Popis nabíjení při režimu 3

Max. nabíjecí schopnost:	230 V–32 A → 7,4 kW
	400 V–63 A → 43,5 kW
Uzamykání konektoru:	ve vozidle/ ve stanici
Norma:	ČSN EN 61 851-1 ed. 2 [8]

### 3.2.1.4 Nabíjecí režim 4



Obrázek 14: Jednoduché schéma připojení EV-režim 4

Nabíjecí režim 4 využívá aktivní připojení EV k nabíjecí stanici včetně řídicího a zemního spojení. Stejnoseměrný výkon ze sítě AC se upravuje v nabíjecí stanici, tedy DC nabíjecí stanice má řídicí a ochrannou funkci a nabíjecí kabel je v tomto režimu pevně spojen s nabíjecí stanicí.

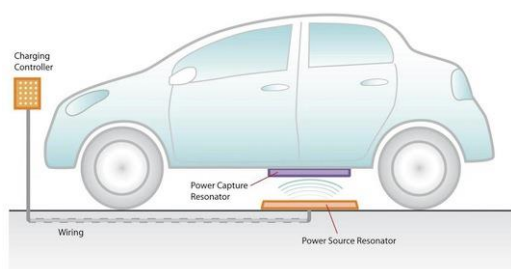
V současnosti lze kalkulovat s nabíjecím příkonem o reálné hodnotě 450 kW (pro DC).

Tabulka 6: Popis nabíjení při režimu 4

Max. nabíjecí schopnost:	až 450 kW DC
Uzamykání konektoru:	ve vozidle
Norma:	ČSN EN 61 851-1 ed. 2 [8]

### 3.3 Indukční nabíjení

Indukční nabíjení je založeno na bezdrátovém přenosu elektrické energie. Princip indukčního nabíjení je založen na dvou cívkách. Jedna je umístěna v podvozku elektromobilu a druhá je pevně umístěna ve vozovce. Tyto dvě cívky musejí být ve chvíli nabíjení umístěny přesně nad sebou, neboť tento fakt velmi ovlivňuje účinnost nabíjení. Proto většina indukčních nabíjecích stanic nespustí nabíjení, dokud nejsou cívky umístěny přesně nad sebou. Na rozdíl od nabíjení pevným připojením kabelu, které je již několik let normalizováno, nabíjení indukcí doposud normalizováno není. V blízké budoucnosti se s tímto systémem nabíjení ve velké míře nepočítá. Prozatím není ve velké míře rozšířena ani výroba potřebných součástí, jelikož indukční nabíjení nemá potřebnou účinnost. Mnohem větší účinnosti by bylo dosaženo, pokud by se obě cívky dotýkaly. Dalším problémem, který u indukčního nabíjení nastává je silné magnetické pole působící na živé organismy nacházejících se v blízkosti. Indukční napětí může způsobit proudy v těle organismu díky zákonu o indukci.



Obrázek 15: Princip indukčního nabíjení [11]

### 3.4 Výměna baterií

Jak bylo zmíněno v úvodu této kapitoly „tankování“ elektromobilu se jen těžko vyrovná tankování pohonných hmot. Ve snaze časově vyrovnat tyto dva technologické procesy vzešel nápad výměny baterie v elektromobilu za jiné a v krátkém časovém úseku pokračovat dál v jízdě. Toto řešení má mnoho výhod, ale i nevýhod. Hlavní

výhodou je úspora času, další výhodou je fakt, že stanice pro výměnu baterií nemusí mít velký příkon a navíc může využívat nabíjení při nízkém tarifu. Nevýhodou je nutná standardizace baterií všech výrobců ve všech ohledech (rozměry, kapacita, typ baterií, komunikace baterií atd.) a v neposlední řadě řešení vlastnictví baterií. Bylo by nutné nějakým způsobem předejít tomu, aby uživatel nekoupil elektromobil s novou baterií a poté mu tato baterie nebyla vyměněna za již opotřebovanou baterii. V tomto způsobu získání elektrické energie pro elektromobil je technologických i legislativních překážek nespočet. Možnost výměny baterií je dobře využitelná například v autobusové dopravě, za předpokladu, že všechny autobusy vlastní jeden majitel.

### 3.5 Typy nabíjecích stanic

Z popisu režimů nabíjení je zřejmé, že nabíjecí stanici využívá pouze režim 3 a 4. Nabíjecí stanice poskytují komunikaci mezi elektrickou instalací a elektromobilem. Tyto stanice existují v několika provedeních, co se týká ochrany proti vandalismu, ochrany proti povětrnostním vlivům, výkonu, komunikace, druhu nabíjecího konektoru a v neposlední řadě autentizace zákazníka. Stanice se dají rozdělit do třech skupin podle druhu použití na domácí, veřejné a rychlonabíjecích DC stanice. V tabulce 5 jsou stručně popsány typy nabíjecích stanic s jejich obvyklým výkonem.

Tabulka 7: Stručný přehled typů nabíjecích stanic

zátěž					
domácí		veřejné		rychlé	
AC					DC
3,7 kVA	7 kVA	11 kVA	22 kVA	43 kVA	50-450 kVA

Tabulka 8: Ukázka, co rozhoduje o rychlosti nabití BEV

			Doba nabíjení						
			Renault Zoé	Mistubishi Outlander (PHEV)	Nissan Leaf		Tesla Model S		Golf GTE (PHEV)
Baterie (kWh)			41	12	24	40	60	100	8,7
Nabíječ EV (kW)			22	3,7	3,7	6,6	11	22	3,7
Vzdálenost (km)			400	50	150	378	400	600	50
Nabíjecí stanice AC	1f	3,7 kW - 16 A	11 h	3 h 30	6 h 30	11 h	16h30	27 h	2h 20
		7 kW - 32 A	6 h				8 h	13h30	
	3f	11 kW - 16 A	4 h			6 h	5 h 30	9 h	
		22 kW - 32 A	2 h					4h 30	
Nabíjecí stanice DC	3f	50 kW - 125 A	Není dostupný	15 min.	25 min.	40 min.	1 h	1h 40	Není dostupný

V tabulce č. 8 je příklad tří elektromobilů a dvou plug-in hybridů. Tabulka byla vytvořena pro názornou ukázkou, že výběr nabíjecí stanice není jediný rozhodující parametr pro rychlost nabíjení. Je nutné si uvědomit, že o rychlosti nabíjení rozhoduje vždy nejslabší článek. Nejslabším článkem může být integrovaný nabíječ v automobilu, nabíjecí stanice nebo nabíjecí kabel.

### 3.5.1 Domácí nabíjecí stanice

Na trhu nejpočetněji zastoupená domácí nabíjecí stanice se zpravidla u většiny výrobců nazývá Wallbox a je zpravidla umístěn u garážového stání nebo na podstavci ve volném prostoru v bytových domech, hotelech nebo na soukromých parkovištích. Hlavní předností nabíjení pomocí této stanice je bezpečnost pro uživatele, elektromobil a také pro vnitřní infrastrukturu, která je zajištěna díky komunikaci stanice a elektromobilu. Pro výběr typu a dané specifikace uživatel musí zvážit několik parametrů, například velikost hlavního jističe. Uživatel může nabíjet elektromobil i vícefázově až do výkonu 22 kW AC, v takovém případě nabíjení trvá pouze jednotky hodin. Tento maximální výkon, ale není dostupný v každé domácnosti. Ve většině případů je rodinný dům osazen hlavním jističem 25 A, což pro nabíjecí stanici

představuje výkon 3,6 kW AC (za 1 hodinu zvýšíte dojezd elektromobilu o asi 26 km) nebo 11 kW AC (za 1 hodinu zvýšíte dojezd elektromobilu o asi 80 km). Dalším faktorem pro výběr je identifikace, zda je stanice umístěna na veřejně dostupném místě nebo v uzavřené garáži. Nabízí se 3 druhy identifikace, pomocí čtečky karet, kdy stanice umí identifikovat přímo uživatele, pomocí klíče a bez identifikace. Dále se tyto stanice nabízejí s integrovaným kabelem, nebo bez kabelu. Nejpodstatnější je rozhodnutí, zda zaplatit o pár tisíc korun navíc a pořídit stanici s komunikací či bez. Komunikace umožňuje trvale či dočasně omezovat výkon stanice, odložený start stanice, ale také správu uživatelů i s údaji o nabíjení. Na základě těchto dat lze poté přeučtovat cenu nabíjení. Jak lze vidět z výčtu možností, variabilita stanice je velká a záleží jen na potřebách pro danou instalaci. Náklady na pořízení této stanice se pohybují od 20 až 40 tisíc Kč dle specifikace.



Obrázek 16: Wallbox od společnosti Schneider Electric [12]

### 3.5.2 Veřejné nabíjení

Na rozdíl od domácích stanic jsou veřejné stanice vždy umístěny na volně přístupných prostranstvích a má k nim přístup kdokoliv a kdykoliv. Z toho důvodu musejí plnit přísnější požadavky na IP ochranu a ochranu proti vandalismu. Tyto nabíjecí stanice jsou vždy napojeny na vzdálenou komunikaci přes Ethernet/Wi-Fi/GPRS modem. Jsou vybaveny dohledovým a monitorovacím systémem třetích stran komunikačním protokolem OCPP 1.5/1.6 nebo k BMS komunikačním protokolem Modbus TCP/IP pro vzdálené odemknutí stanice pomocí aplikace nebo identifikační karty a včetně následného rozúčtování nákladů jednotlivým uživatelům. Pro rozúčtování je nutné, aby stanice byla osazena elektroměrem s MID certifikací. Ve většině případů jsou v současné době tyto stanice dostupné s výkonem 22 kW AC, ale v malém měřítku jsou dostupné i stanice o výkonu 43 kW AC. Náklady na tento typ stanice se pohybují od 60 až do 110 tisíc Kč.



Obrázek 17: EV link Parking od společnosti Schneider Electric [12]

### 3.5.3 Rychlonabíjecí DC stanice

Stejnoseměrné nabíjení je klíčové pro možnost přepravy elektromobilem na dlouhé vzdálenosti a je také klíčové pro konkurenceschopnost elektromobilů automobilům se spalovacím motorem. Z toho důvodu je této kapitole věnován větší důraz než u předešlých možností nabíjení, u kterých se už žádný zásadní vývoj neočekává. Rychlonabíjecí stanice jsou až na výjimky vždy veřejné, proto je stejné jako v předchozím případě komunikace samozřejmá a nezbytná součástí stanice. Rychlonabíjecí stanice jsou dnes o výkonu od 50 do 450 kW (při takovém výkonu je možné zvýšit dojezd elektromobilu za 10 minut o 100 km). Rychlé nabíjení má však mnohá úskalí. První problém může nastat při požadavku napojení takto velkého odběru do elektrické sítě, další překážkou je nabíjení baterií takto velkým proudem. Při nabíjení baterie tímto způsobem, může dojít k přehřívání a snížení kapacity baterie. Možným řešením, která je již v provozu jsou bateriové kontejnery, jež lze nabít sníženým proudem v době, kdy elektrická síť nedosahuje odběrové špičky a poté z těchto baterií nabít elektromobil větším proudem.



Obrázek 18: Rychlonabíjecí stanice od společnosti Siemens o výkonu 50 kW

### 3.5.3.1 Současný vývoj rychlonabíjecích stanic

V Německu byl začátkem prosince roku 2018 představen prototyp nabíjecí stanice zobrazené na obrázku č. 19 s výkonem do 450 kW. Tento prototyp se nachází v blízkosti dálnice A8 mezi Ulmem a Augsburgem. Jedná se o nabíjecí stanici vhodnou pro elektrické modely všech značek s nabíjecí normou typu 2 v rozšířeném systému kombinovaného nabíjení (CCS) a je nyní k dispozici zdarma. Při prvních testech bylo použito vozidlo Porsche s kapacitou akumulátoru 90 kWh a dosáhlo na nové nabíjecí stanici nabíjecí kapacity vyšší než 400 kW, což umožňuje nabít za 3 minuty dojezd 100 km. Jak již bylo zmíněno, hlavním problémem při nabíjení takovým proudem je přehřívání baterií, což bylo u dané nabíječky vyřešeno inovativním chladicím systémem, který zajišťuje jemné řízení teploty v bateriových člancích. Tento projekt byl podpořen německým federálním ministerstvem dopravy a digitální infrastruktury částkou 7,8 milionu EUR (203 mil. korun českých).

Zvýšením nabíjecí kapacity až na 450 kW lze dobu nabíjení výrazně snížit. Nabíjecí kapacita je třikrát až devětkrát vyšší, než je tomu v současné době možné u stanic rychlého nabíjení DC s výkonem 50 kW. Tento projekt zkoumá, jaké technologické podmínky je třeba zajistit u vozidel a infrastruktury, aby mohly být využity extrémně vysoké nabíjecí kapacity standardně. Systém dodávek energie u tohoto projektu zajišťuje společnost Siemens. Celé řešení umožňuje testovat extrémní limity rychlého nabíjení baterií vozidel, jelikož může pracovat již s vyššími napětími až do 920 V. Do celého systému byla integrována vysoce výkonná elektronika pro nabíjení a komunikační rozhraní nabíjecích stanic s elektrickým vozidlem. Regulátor nabíjecí stanice automaticky nastavuje dodávaný výkon tak, aby se přizpůsobil různému technickému řešení elektromobilů od všech výrobců. Díky nabíjení s vysokými proudy a napětím umožňuje mnoho různých aplikací, jako jsou například řešení pro nabíjení vozového parku nebo, jako v tomto případě, nabíjení na dálnicích.

Připojení k veřejné elektrické síti bylo v projektu realizováno nákladním kontejnerem se dvěma nabíjecími přípojkami. Jedno připojení má nabíjecí kapacitu max. 450 kW, druhé až 175 kW. Aby byly splněny požadavky rychlého nabíjení s obzvláště vysokým výkonem, používají se nabíjecí kabely HPC (vysokovýkonné nabíjení) společnosti Phoenix Contact, které jsou plně kompatibilní s kombinovaným konektorem pro rychlé i pomalé nabíjení. Chladicí kapalina je ekologicky šetrná směs vody a glykolu,

takže chladicí okruh může být částečně otevřený. V důsledku toho je údržba, na rozdíl od hermeticky utěsněných systémů pracujících s olejem jednoduchá. [13]



Obrázek 19: Schéma nabíjecí stanice o výkonu 450 kW [14]

### 3.6 Normy pro nabíjení



Zavedení nové technologie v národním či dokonce mezinárodním měřítku vyžaduje zavedení norem, které zajistí sjednocení a rozšíření technologie a zajišťují bezpečné používání dané technologie. Normalizace elektromobility je složitý proces týkající se hned několika odvětví. V první řadě je nutné sjednotit názory různých výrobců automobilů, ale i provozovatelů energetických sítí a normalizačních úřadů po celém světě. Tato kapitola se věnuje všem celosvětovým normám v oblasti elektromobility, které jsou do evropské normy převzaty bez modifikace.

#### 3.6.1 Konektory pro nabíjení

V úzkém spojení s normami nabíjení jsou i konektory pro nabíjení elektrických vozidel. Díky normě (ČSN EN 62196) bylo větší množství konektorů sjednoceno a většina výrobců začala používat jeden z konektorů definovaných v následujících dvou tabulkách. V těchto tabulkách a doplňkovém textu budou v krátkosti popsány tyto konektory a jejich proudová a napěťová zatížitelnost.





Tabulka 9: Popis používaných konektorů pro AC nabíjení

Nabíjení střídavým napětím		
Konektor		
Název	Typ 1	Typ 2
Norma	ČSN EN 62196-2 -Typ 1	ČSN EN 62196-2-Typ 2
Oblast	USA, Japonsko	Evropa
Počet fází	1	1–3
Max. napětí	230 V	400 V
Max. proud	32 A	70 A

Konektor **typu 1** je jednofázová zástrčka, která umožňuje nabíjení až do výkonu 7,4 kW (230 V, 32 A). Typ 1 je používán především v modelech automobilů z asijského regionu a v Evropě je vzácný. Proto existuje jen velmi málo veřejných nabíjecích stanic typu 1. Někteří výrobci už přestali nabíjecí stanice s tímto typem v Evropě prodávat.

Konektor **typu 2** je třífázový a je v Evropě považován za nejběžnější model. Nejčastěji se používá při nabíjení do úrovně 22 kW, ale je uzpůsoben až do 43 kW (400 V, 63 A, AC). V tomto případě je možné použít všechny nabíjecí kabely splňující režim nabíjení 3. Konektory pro typ 2 se také nazývají Mennekes.

Tabulka 10: Popis používaných konektorů pro DC nabíjení

Nabíjení stejnosměrným napětím		
Konektor		
Název	Combo 2	CHAdeMo
Norma	ČSN EN 62196-3	ČSN EN 62196-3
Konfigurace	CCS typ 2	CHAdeMo AA
Oblast	Evropa	Japonsko   Evropa
Max. napětí	1000 V	600 V   500 V
Max. proud	200 A	200 A   200 A

Konektor CCS neboli **Combo 2** je zdokonalená verze konektoru typu 2 s dvěma dalšími výkonovými kontakty pro rychlé nabíjení. Tento konektor podporuje jak

nabíjení střídavé, tak i stejnosměrné až do výše 170 kW. Nejběžněji používaná maximální hodnota je v současné době kolem 50 kW.

Konektor **CHAdemo** je rychlý nabíjecí systém vyvinutý v Japonsku a umožňuje nabíjení do 50 kW na příslušných veřejných nabíjecích stanicích.

### **3.6.2 Normy pro nabíjecí infrastrukturu**

Normy pro nabíjecí infrastrukturu se týkají řízení nabíjení, nabíjecího rozhraní, nabíjecího kabelu a nabíjecích konektorů. V následující kapitole je krátký přehled v současné nejdůležitějších norem týkajících se elektromobility.

#### **3.6.2.1 Norma 61851**

Norma ČSN EN **61851** [8] definuje požadavky týkající se systému nabíjení elektrických vozidel. Jmenovitě tato norma obsahuje

- Charakteristiky a provozní podmínky externího zařízení pro nabíjení elektromobilů
- Specifikace připojení k vozidlu
- Specifikace bezpečnosti při nabíjení externím zařízením
- Požadované vlastnosti pro nabíjecí příslušenství

Norma ČSN EN **61851-1** definuje nabíjení elektrických vozidel vodivým spojením za použití externího nabíjecího systému do 1000 V AC a 1500 V DC.

Norma ČSN EN **61851-21** definuje požadavky na připojení elektrických vozidel vodivým spojením za použití externího nabíjecího systému k AC/DC zdroji. Tato část normy zahrnuje požadavky na elektromagnetickou kompatibilitu, odolnost vůči rušení, stejnosměrné a střídavé napětí a požadavky na vnitřní a vnější prostředí.

Norma ČSN EN **61851-22** je doplňkem normy ČSN EN 61852-1 a nad rámec této normy obsahuje požadavky na nabíjecí stanice AC do 690 V.

Norma ČSN EN **61851-23** je doplňkem normy ČSN EN 61852-1. Nad rámec této normy obsahuje požadavky na nabíjecí stanice DC do 1500 V.

### 3.6.2.2 ČSN EN 62196

Tato norma popisuje požadavky na konektory pro připojení elektrických vozidel k elektrické síti v souladu s režimy nabíjení 1-4 (popsáno v kapitole 3.2.1) pro nabíjení střídavým a stejnosměrným napětím. [8]

Norma ČSN EN **62196-1** definuje zásuvky a zástrčky používané při nabíjení vodivým spojením. V první části normy jsou popsány požadavky a vlastnosti na ochranu kontaktů, jmenovitých hodnot proudu a napětí a zpracování kontaktů.

Norma ČSN EN **62196-2** definuje požadavky na kompatibilitu a podobu konektorů pro AC nabíjení do maximálního jmenovitého napětí 500 V a jmenovitého proudu maximálně o 70 A pro jednofázové nabíjení.

Norma ČSN EN **62196-3** definuje požadavky na vysoce výkonné DC nabíjení a kombinované AC/DC nabíječky. Tyto konektory jsou určeny pro obvody v již zmíněných normách ČSN EN 61851-1 a ČSN EN 61851-23.

### 3.6.2.3 Normy týkající se komunikace

Norma ČSN EN **61851-24** popisuje digitální komunikaci pro řízení DC nabíjení mezi elektrickým vozidlem a nabíjecí stanicí v režimu 4.

Norma ČSN EN **15118** definuje obecné informace pro komunikaci, komunikační rozhraní mezi elektrickým vozidlem a nabíjecí stanicí a požadavky na datové rozhraní. [8]

### 3.6.2.4 ČSN EN 62752

Tato norma popisuje řídicí a ochranné zařízení umístěné v kabelu pro připojení do elektrické sítě při nabíjení v režimu 2. [8]

## 4 Analýza zatížení elektrizační sítě

Následující kapitola se zaměřuje na odhad zatížení elektrizační sítě v příštích letech. Odhad byl proveden do roku 2050, vychází z oficiálně dostupných dat a zaměřuje se pouze na segment osobních automobilů. V tomto segmentu se očekává v příštích letech největší změna ve prospěch automobilů s alternativním pohonem. V první podkapitole je uveden přehled o současném počtu automobilů. V další kroku je pak popsán vývoj elektromobility a metodika určení výpočtu a v poslední kapitole je popsáno samotné zatížení elektrizační sítě a možnosti řešení dané situace.

### 4.1 Současný počet automobilů

Při pohledu na tabulku 11, která se zakládá na výroční zprávě Ministerstva dopravy ČR lze říci, že poslední roky jsou pro automobilový průmysl úspěšné. Tento aspekt je dán růstem celé ekonomiky, ale také tím, že se automobily stávají stále dostupnější. Tento trend lze sledovat i v oblasti elektromobility. Růst je podpořen výstavbou a rozvojem nabíjecí infrastruktury, stále větší dostupností elektrických vozidel a státními dotacemi na nákup elektromobilu, které jsou však v současné chvíli mírné v porovnání s ostatními členskými státy EU.

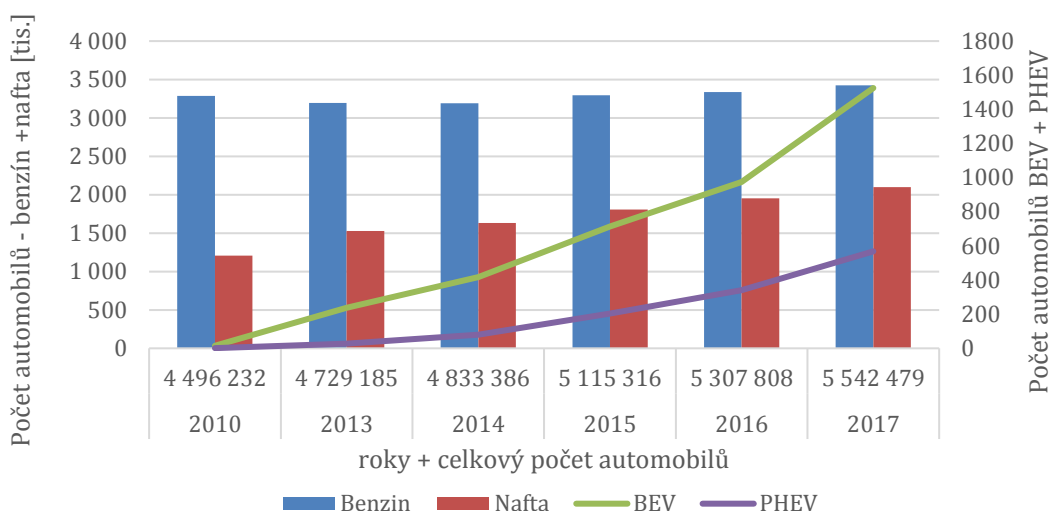
V České republice bylo na konci roku 2017 registrováno asi 5 550 000 osobních vozidel. Informace pro rok 2018 nejsou v době psaní této práce na webových stránkách ministerstva dopravy zveřejněny, lze je dohledat pouze z neoficiálních zdrojů.

Tabulka 11: Stručný přehled počtu elektromobilů [15]

Rok	2010	2013	2014	2015	2016	2017
Celkový počet automobilů [ks]	4 496 232	4 729 185	4 833 386	5 115 316	5 307 808	5 542 479
Benzín	3 285 189	3 196 233	3 189 890	3 292 863	3 337 837	3 422 845
Nafta	1 206 387	1 525 690	1 631 014	1 807 953	1 954 086	2 097 056
Elektrina	BEV	15	237	417	713	974
	PHEV	0	27	79	204	568
Ostatní	4 641	7 025	12 065	13 787	14 911	21 053

Informace v ročence k roku 2017 obsahují informace pouze o počtu čistě elektrických vozidel. Jelikož se však na zatížení elektrizační sítě budou v budoucnu podílet i auta s hybridním pohonem, je nutné je do předpokladů také zahrnout. Informace o jejich

počtu byla dohledána na webových stránkách EAFO (European Alternative Fuels Observatory). [16]



Obrázek 20: Stručný přehled počtu automobilů v ČR s rozdělením na jednotlivé typy energie pro pohon. [15]

## 4.2 Předpokládaný rozvoj elektromobility

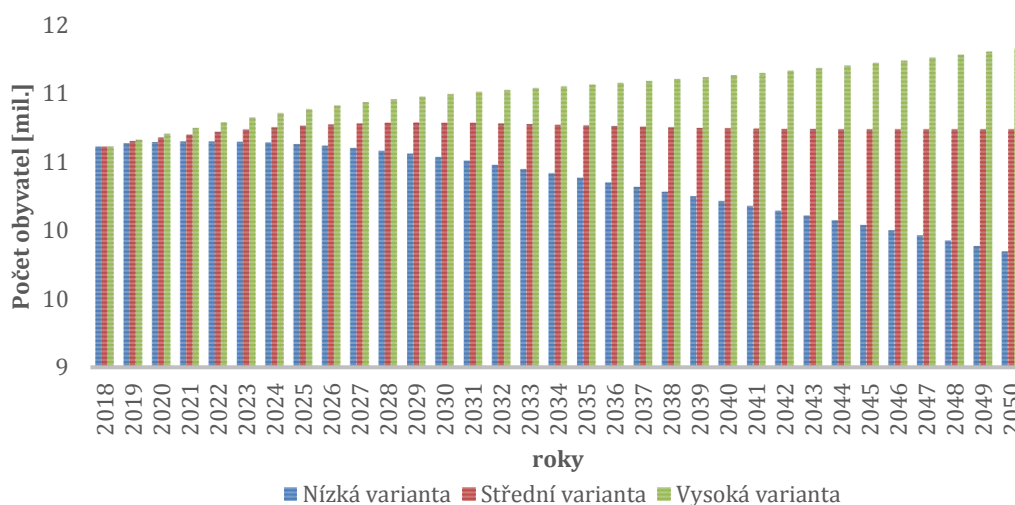
Rozšíření elektromobility bude v příštích letech podpořeno především tlakem Evropské komise na snížení emisí v automobilovém průmyslu. Tato komise nastavila přísné limity emisí CO<sub>2</sub>, které jsou přímo spojené se spotřebou paliva. V roce 2025 budou muset automobilky u osobních aut snížit spotřebu o 15 % a v roce 2030 o dalších 37 %. Pro splnění těchto podmínek musejí výrobci automobilů snížit průměrnou spotřebu všech prodávaných automobilů na 2,5 litru na 100 km. To napomůže výraznému rozvoji elektromobilů. Od roku 2020 se tedy předpokládá velký nárůst nabídky BEV s nulovými emisemi. Rozvoj elektromobility je závislý i na několika dalších následujících podmínkách. Jsou to například níže uvedené podmínky politické či technické:

- Výraznější rozšíření nabíjecí infrastruktury
- Cenově dostupnější elektromobily (větší konkurenceschopnost automobilům se spalovacím motorem)
- Úlevy z nákladů na provoz elektromobilu (silniční daň, dálniční známka, parkování zdarma)
- Podpora státu ve formě dotací na nákup elektromobilu

- Omezení měst na vjezd do určitých oblastí
- Vývoj konkurenčních způsobů pohonu automobilů (vodík atd.)

Jak je zřejmé z předchozího textu lze v příštích deseti letech očekávat přechod trhu s elektrickými automobily z fáze vývoje na konkurenci ke konvenčním automobilům. Při takovém nárůstu elektrických aut je nutné se připravit na aspekty spojené s provozem těchto aut. Hlavním aspektem je v tomto případě nabíjení elektromobilů. Zde přichází dvě zásadní otázky. Za prvé, zda je na takový nápor připravena současná elektrizační soustava a za druhé, zda a jak lze nabíjení řídit, aby provoz této soustavy nenarušilo, případně provozu sítě napomáhalo. Odpověď na první otázku bude zpracována v odhadu na konci této kapitoly a druhá otázka bude řešena pomocí inteligentního řízení nabíjecích stanic.

Hlavní vstupní předpoklad je vývoj obyvatelstva v ČR do roku 2050. Český statistický úřad (ČSÚ) zveřejnil v roce 2018 projekci obyvatelstva do roku 2100. [17] ČSÚ v této projekci stanovil tři varianty, které jsou znázorněny v grafu č. 21. Pro další výpočty bude použita pouze střední varianta.



Obrázek 21: Vývoj populace v ČR od roku 2018 do roku 2050 dle ČSÚ [17]

Dále je nutné stanovit počet automobilů na celém území republiky. K tomu byl použit předchozí vývoj obyvatelstva s uvažováním očekávaného nasycení trhu s osobními automobily. K tomuto výpočtu byl použit vzorec č 1. Vzorec je nutné modifikovat pro každý správní obvod obcí zvlášť, jelikož se předpokládá odlišný vývoj koeficientu

osobních aut na obyvatele v jednotlivých správních obvodech obcí s rozšířenou působností. Tento koeficient byl převzat ze studie Elektromobilita Ministerstva průmyslu a obchodu. [18] Do roku 2030 je počítáno s koeficientem 0,7 pro Prahu a s nárůstem z 0,5 na 0,6 pro ostatní správní obvody do roku 2030. Po roce 2030 je počítán rovnoměrný pokles v každém roce dle následující tabulky. Pouze pro správní obvody, v kterých je v daném roce pod sto tisíc obyvatel je uvažován koeficient 0,6 až do konce uvažovaného období v roce 2050.

$$No_{Aij} = No_{ij} * ko_A \quad [1]$$

kde:

$No_{Aij}$  – celkový počet osobních vozidel v i-tém správním obvodu v j-tém roce

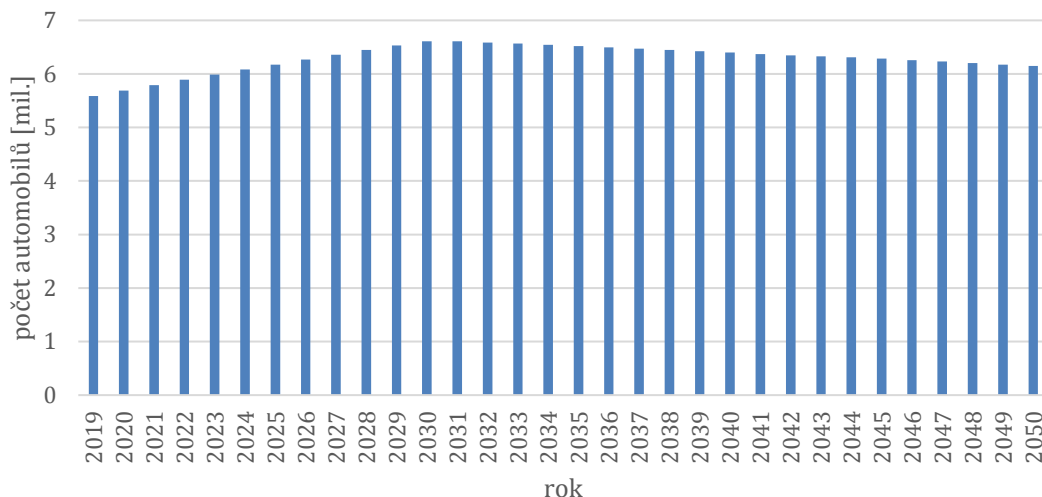
$No_{ij}$  – počet obyvatel v i-tém ve správním obvodu v j-tém roce

$ko_A$  – koeficient osobních aut na obyvatele v jednotlivém správním obvodu

Tabulka 12: koeficient osobních aut na obyvatele v jednotlivém správním obvodu [18]

správní obvod (SO)	$ko_A$ do roku 2030	$ko_A$ po roce 2030
Praha	0,7	0,7 → 0,6
SO > 100 000 obyv.	0,5 → 0,6	0,6 → 0,5
SO < 100 000 obyv.	0,5 → 0,6	0,6

Statistika o predikci počtu obyvatel neobsahuje informace o budoucím počtu v každém správním obvodu. Proto bylo nutné čerpat data ze statistiky o počtu obyvatel v každém správním obvodu z roku 2018 [19] a přepočítat je v závislosti na predikci pro daný rok. Celý výpočet je přiložen v souboru excel s názvem Analýza zatížení.xlsx.



Obrázek 22: Graf vývoje počtu automobilů v ČR

K predikci počtu elektromobilů bylo využito předchozích předpokladů vývoje automobilů se všemi typy pohonu a také byl uvažován důsledek rozhodnutí Evropské komise o snižování emisí. Tuto predikci je nutné brát s jistou rezervou, jelikož se na budoucím rozvoji elektromobility v ČR bude různými opatřeními velkým dílem podílet i stát. Pro tento model predikce bylo využito výsledků Akčního plánu mobility MPO [20] z roku 2015 a ten byl korigován s ohledem na studie z posledních let, konkrétně na studii společnosti Bloomberg – New Energy Finance [21]. Studie MPO uvažuje dostupné informace z minulých let, ale zároveň zohledňuje předpokládaný vývoj klíčových parametrů pro další rozvoj. V tabulce č. 13 jsou tyto parametry specifikovány.



Tabulka 13: Klíčové faktory pro rozvoj elektromobility dle MPO. Převzato z: [20]

Potřeby zákazníků	Klíčové faktory	Popis klíčových faktorů
Potřeby mobility	Dojezd	Současný běžný dojezd do 150 km na jedno dobítí může limitovat používání čistých elektromobilů. U PHEV se neočekávají žádné dojezdové nevýhody ve srovnání s vozidlem se spalovacím motorem.
	Neomezená mobilita	Požadavek flexibility (vždy dojezu). Očekává se, že čistý elektromobil bude jedním ze dvou aut v domácnosti, PHEV jediným.
	Pokrytí infrastrukturou	Využití elektromobilu je ovlivněno širokou dostupností bezpečné a pohodlné infrastruktury.
Nákladové potřeby (TCO)	Tržní faktory	Klíčovými faktory, které ovlivní atraktivitu vozidel na elektrický pohon, budou očekávaný pokles cen baterií a vývoj ceny pohonných hmot.
	Regulatorní prostředí	Atraktivitu vozidel na elektrický pohon mohou výrazně zvýšit monetární i nemonetární pobídky.
Potřeby image	Nabídka vozidel (segmenty, značky)	Dostupnost různých značek napříč segmenty je, nezbytná pro naplnění potřeb uživatelů v oblasti pohodlí, velikosti a výkonu, naplňuje však potřeby i v oblasti image.

Tuto studii je nutné v současné době korigovat. Studie uvažuje nasycení trhu s elektromobily po roce 2030. Tento předpoklad je uvažován s tím, že si uživatelé budou elektromobil pořizovat jako druhé vozidlo do rodiny. S nynějšími nařízeními evropské komise lze předpokládat, že tomu tak nebude. Elektrická a hybridní vozidla budou díky tomuto tlaku postupně nahrazovat současný vozový park. Pokles po roce 2030 vyvrací i studie zmiňované společnosti Bloomberg, která předpokládá vyrovnání cen elektromobilů a konvenčních automobilů již mezi roky 2025 a 2029. Z toho důvodu byl v predikci předpokládán nárůst i po roce 2030.

Pro vypočtený scénář bylo nutné nejdříve zjistit počet registrovaných osobních automobilů v každém roce. Na stránkách ministerstva dopravy lze dohledat statistiky registrací z minulých let. [22] Trend minulých let je zaznamenán v příloženém souboru excel. Registrace pro budoucí roky byly vypočteny dle vzorce č. 2.

$$Preg_J = Preg_{J-1} * \left( 1 + \frac{Pnov_J - Pnov_{J-1}}{Pnov_{J-1}} \right) \quad [2]$$

kde:

$Preg_J$  – Počet registrovaných automobilů v daném roce

$Pnov_J$  – Počet nově registrovaných automobilů

Dále byl vypočten orientační počet BEV a PHEV dle vzorce č.3. K tomuto výpočtu byla uvažována životnost elektromobilů 8 let. Tato životnost lze v současné době složitě předpovídat, ale scénář vychází z životnosti baterie. Většina výrobců uvažuje právě s životností 8 let.

$$Pev_J = Pev_{J-1} + Preg_J * k_{ev} - Pev_{J-8} \quad [3]$$

kde:

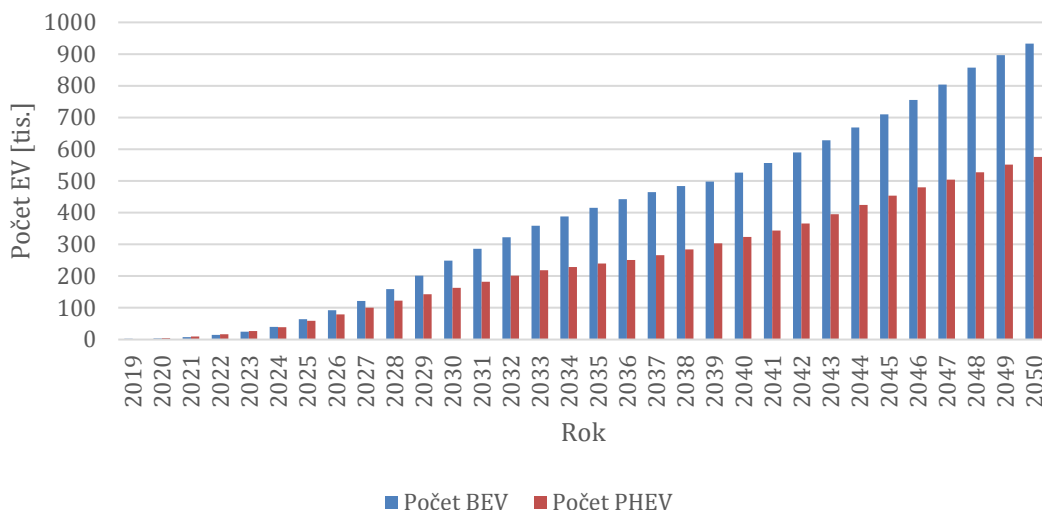
$Pev_J$  – počet EV v daném roce

$k_{ev}$  – koeficient procentuálního zastoupení EV mezi všemi osobními automobily (byl upraven dle dvou zmíněných scénářů a dle současných nařízení evropské komise)

*Tabulka 14: Počet EV do roku 2050*

Rok	2019	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Počet BEV	2 529	3 537	64 295	249 217	415 281	525 987	710 327	933 192
Počet PHEV	1 048	4 040	58 696	162 690	239 461	323 039	453 679	575 391

Z tabulky č. 14 je vidět, že se v budoucnu očekává pozitivní vývoj ve prospěch BEV. Je tomu tak hlavně z důvodu očekávaných nových technologií baterií a klesající ceně celého BEV mezi roky 2025 až 2029. Obecně lze předpokládat, že vývoj v České republice bude v porovnání s ostatními zeměmi mírně zpožděný, ale díky přísným nařízením se bude postupně přibližovat západní zemím Evropy. Rostoucí trend počtu elektromobilů je vyobrazen na obrázku č. 23.



Obrázek 23: Vývoj počtu elektromobilů na území ČR

#### 4.2.1 Předpokládané zatížení přenosové soustavy

V následující kapitole budou popsány tři modelové případy využití elektromobilů. Kategorie jsou rozděleny na soukromé automobily a služební automobily pro cesty do práce a zpět a ty pro celodenní provoz. Data o počtu soukromých a služebních automobilů byla získána z veřejně dostupných statistik Svazu Dovozců Automobilů [23] zprůměrováním zastoupení soukromých a služebních osobních automobilů za poslední čtyři roky. Tento trend (74 % služebních a 36 % soukromých automobilů) byl uvažován až do roku 2050. Služební automobily byly dále rozděleny na automobily s celodenním provozem a automobily s využitím pouze pro dopravu do práce a občasně služební cesty. Dle studie Evoluce infrastruktury pro elektromobily [24] je v celodenním provozu využíváno 30 % služebních automobilů (dovážkové služby, taxi). U všech výpočtů je počítáno s tím, že elektromobily budou zařazeny v každodenním provozu. Jak je již zmíněno v kapitole 2.2. nebude, díky nařízením snižovat emise v dopravě, elektromobil brán pouze jako druhé auto do rodiny. Rozvržení týdenní spotřeby bylo vždy navrženo tak, že týdenní nájezd kilometrů odpovídá týdenní spotřebě daného elektromobilu v dané skupině uživatelů. Všechny předpoklady pro výpočet a popis modelových případů jsou uvedeny v následujících třech kapitolách.

#### **4.2.2 Předpoklad pro pomalé nabíjení**

Pomalé nabíjení bude probíhat v podzemních garážích administrativní budovy nebo rodinném domě. Nyní jsou většinou v administrativních budovách umístěny nabíjecí stanice o výkonu 22 kW. S rozšířením elektromobility přijde i nárůst nabíjecích stanic v těchto budovách. Z důvodu nedostačujícího příkonu bude nutné snížit výkon stanic alespoň na 11 kW (nebo bude nutné implementovat chytré řízení nabíjení, jak je uvedeno v následující kapitole). Při nabíjení v rodinném či bytovém domě je uvažováno s nabíjecím výkonem maximálně 7 kW, za předpokladu použití přednostního relé, které dovolí nabíjecí stanici spustit pouze, když nebudou v provozu jiné energeticky náročné spotřebiče (pračka, sušička) a to z toho důvodu, aby se předešlo shození hlavního domovního jističe. Ve všech výpočtech je uvažováno, že v baterii zůstane alespoň 20 % energie a že se baterie nebude nabíjet více jak na 85 % kapacity. Zdůvodnění tohoto předpokladu je popsáno v následující kapitole.

#### **4.2.3 Předpoklad pro rychlé nabíjení**

Pro předpoklad rychlého nabíjení bylo uvažováno následující – u baterie do 40 kWh nabíjení trvá do 25 minut u baterie do 65 kWh 40 min. U tohoto případu nabíjení je stejně jako u pomalého nabíjení počítáno s minimální kapacitou baterie 20 % a nabíjeno bude do maximálně 85 %. Spodní hranice 20 % je uvažována jako rezerva pro dojezd k další stanici a hodnota 85 % byla stanovena na základě měření Renaultu Zoe, které je popsáno v kapitole 2.2.7. Při nabití baterie na kapacitu 85 % začíná nabíjecí proud klesat a tím začíná být nabíjení časově náročné.

#### **4.2.4 Výpočet potřebné energie pro nabití 1 kWh**

Pro určení vlivu elektromobility na přenosovou soustavu je nutné stanovit, kolik energie spotřebuje každý elektromobil na jedno nabití včetně ztrát při nabíjení. Účinnost dobíjení, dle již uváděných výsledků z měření Renaultu Zoe byla vypočtena na 90 %. Tato účinnost se může u jiných elektromobilů mírně lišit s ohledem na měnič umístěný v autě, druh baterií, či odlišnost technologie jednotlivých výrobců. Výpočet byl proveden na základě vzorce č. 3.

$$P_d = \frac{100}{\eta} * P_p = \frac{100}{90} * 1 = 1,11 \text{ kWh} \quad [3]$$

kde:

$P_d$  – energie dodaná při nabití elektromobilu [kWh]

$\eta$  – účinnost [%]

$P_p$  – energie, potřebná pro nabití baterie [kWh]

Potřebná energie pro nabití 1 kWh je 1,11 kWh při zanedbání ztrát při přenosu.

#### 4.2.5 Výpočet potřebné energie pro ujetí jednoho km

Pro výpočet potřebné energie pro jeden ujetý km je potřeba uvažovat spotřebu elektromobilu a spotřebu elektrické energie i se ztrátami při nabíjení. Spotřeba na 100 km bude použita z testování elektromobilu Renaultu Zoe. Renault uvádí spotřebu 13,3 kWh/100 km, ale při testování bylo dosaženo spotřeby 16,4 kWh/100 km. Jmenovaná spotřeba byla dosažena při kombinované jízdě po městě a po dálnici při vypnuté ventilaci a vypnutém vyhřívání sedadel. Zvýšenou spotřebu proti udávané spotřebě mohla zapříčinit nízká okolní teplota, která se v ten den pohybovala mezi -2 a +3 °C. Stejně spotřeby na čistě elektrický pohon bylo využito i pro výpočet potřebné energie na kilometr u PHEV. Tato spotřeba bude plošně použita pro všechny uvažované skupiny uživatelů. Energie pro ujetí jednoho km byla vypočtena dle vzorce č. 4.

$$P_{km} = \frac{P_s}{100} * P_d = \frac{16,4}{100} * 1,11 = 0,182 \text{ kWh/km} \quad [4]$$

kde:

$P_{km}$  – energie potřebná pro ujetí jednoho km [kWh/km]

$P_s$  – energie dodaná elektromobilu pro ujetí 100 km [kWh]

$P_d$  – energie dodaná při nabití elektromobilu [kWh]

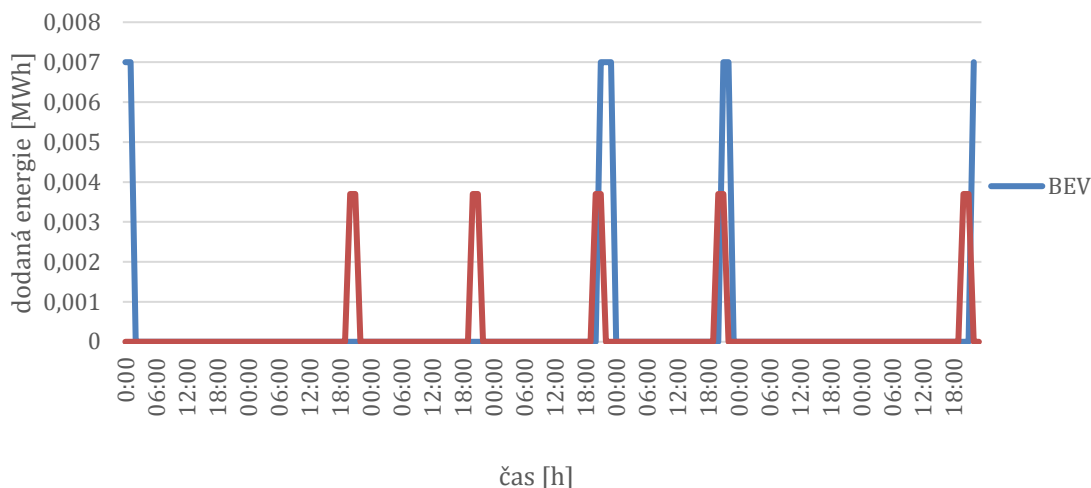
#### 4.2.6 Určení způsobu nabíjení

Z průzkumu provedeného v Norsku [25] vyplynulo, že většina uživatelů nabíjí elektromobil doma. Tento výsledek lze předpokládat z důvodu časové pohodlnosti nabíjení. Druhou nejčastější možností nabíjení, je v práci, která je využívána hlavně pro nabíjení služebních automobilů. Kategorie rychlého nabíjení stejnosměrným proudem s příkonem nad 40 kW, které je využíváno hlavně poblíž hlavních silničních

tahů, je dle daného průzkumu využívána spíše výjimečně. Z průzkumu dále vychází, že 95 % uživatelů elektromobilů si společně s koupí elektromobilu zajistí možnost domácího nabíjení. Tyto informace budou využity v návrhu struktury nabíjení pro jednotlivé skupiny.

#### **4.2.7 První skupina – soukromí uživatelé**

První skupinu tvoří soukromí uživatelé, pro které je uvažováno vozidlo s dojezdem do 250 km s průměrnou kapacitou baterie 40 kWh nabíjené jedenkrát denně ve večerních hodinách domovní nabíječkou s nízkým příkonem. U této skupiny uživatelů lze počítat s nabíjením v rozmezí 3,7 až 7 kW. Nabíjení je každý den uvažováno ve stejný čas, včetně víkendu. Průměrný nájezd této skupiny uživatelů je dle studie MPO Predikce vývoje elektromobility [18] 15 000 km ročně. Přesné využití automobilu nelze přesně definovat, ale většina soukromých automobilů je využívána převážně pro občasné cesty na nákup a na víkendové výlety. V případě BEV lze tedy předpokládat, že si takový uživatel auto nabije ve čtvrtek večer, v pátek večer po příjezdu na určené místo a poté opět v neděli po návratu domů. Je počítáno, že mu vždy v baterii zůstane kolem 20 % energie. Pokud takový uživatel ujede 15 000 km ročně, týdně v průměru najede 290 km. Dle předchozího vzorce v kapitole 4.3.4 tedy tento elektromobil každý týden spotřebuje 53 kWh. V případě PHEV, které má v současné době dojezd na čistě elektrický pohon většinou okolo 50 km, lze předpokládat častější nabíjení. Nejčastější kapacita baterií u PHEV je 10 až 12 kWh, týdně tedy lze pro typ tohoto vozu při odhadnutém nájezdu 200 km na čistě elektrický pohon spočítat spotřebovanou elektrickou energii na 36 kWh a dalších 90 kilometrů pojede na spalovací motor. Elektromobily PHEV mají ve většině případů integrovaný nabíječ na maximální výkon 3,7 kW. V grafu č. 24 je znázorněn průběh této týdenní spotřeby při nabíjení nabíjecí stanicí s výkonem 3,7 až 7 kW (dle potřeby) pro BEV a 3,7 pro PHEV.



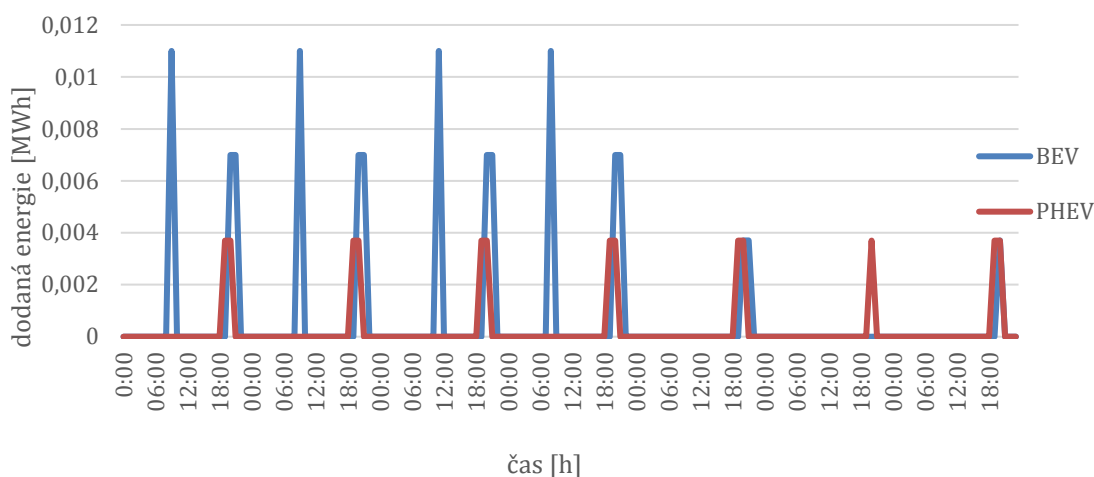
Obrázek 24: Předpokládaný týdenní profil nabíjení skupiny jedna.

Tabulka 15: Shrnutí pro elektromobil ze skupiny jedna.

	km týdně na čistě elektrický pohon [km]	spotřebován el. energie za týden [kWh]	Roční spotřeba el. energie [kWh]
BEV	290	53	2 756
PHEV	200	36	1 872

#### 4.2.8 Druhá skupina-sloužební automobily

Druhou skupinou jsou služební automobily, které jsou využívány pro občasné služební jízdy a každodenní dojíždění do práce. Kapacita baterie BEV je v tomto případě stanovena na průměrných 55 kWh a průměrný dojezd 320 km. U PHEV je převzat předpoklad pro dojezd popsany u skupiny jedna. Služební automobily ujedou ročně v průměru dle [18] 30 000 km a jsou využívány i o víkendů na soukromé jízdy, průměrný týdenní nájezd je tedy 600 km. Zde je nabíjení předpokládáno u BEV i PHEV dle aktuální potřeby dvakrát denně. V případě služební jízdy jednou během pracovní doby v sídle firmy výkonem 11 kW a v podvečer doma výkonem 3,7 až 7 kW (dle potřeby) pro BEV a dvakrát nabíjení 3,7 kW pro PHEV. Pokud uživatel v daný den využije elektromobil pouze pro dopravu do práce, nabije ho doma. Týdenní spotřeba BEV dle vzorce č. 4 z kapitoly 4.3.4 je 110 kWh a 50 kWh u PHEV.



Obrázek 25: Předpokládaný týdenní profil nabíjení skupiny dva.

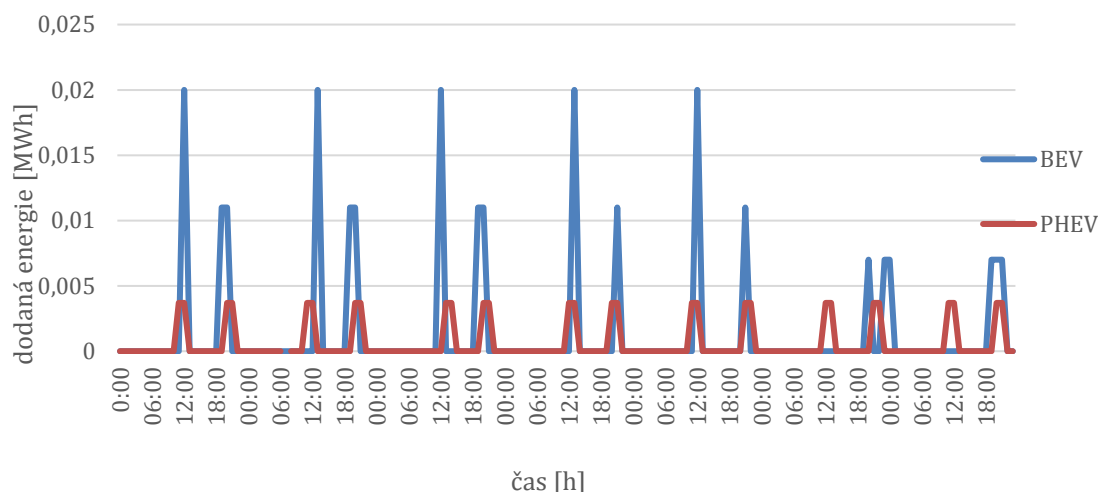
Tabulka 16: Shrnutí pro elektromobil ze skupiny dva.

	km týdně na čistě elektrický pohon [km]	spotřebovaná el. energie za týden [kWh]	Roční spotřeba el. energie [kWh]
BEV	600	110	5 720
PHEV	280	50	2 600

#### 4.2.9 Třetí skupina-sloužební automobily pro rozvoz zboží

Třetí skupina jsou elektromobily, které jsou určeny pro celodenní přepravu zboží a lidí. Tzn. poštovní a balíkové služby či taxi. Tato vozidla mají každý den velký nájezd, proto je u BEV uvažována baterie o kapacitě 65 kWh a u PHEV stejná kapacita jako v předchozích dvou skupinách uživatelů. Skupina vozidel pro dovozkové služby je využívána převážně v pracovní dny, ale lze předpokládat i částečné využití o víkendu (např. taxi). U BEV vozidel se předpokládá 2x rychlé nabíjení přes den a jednou pomalé nabíjení v noci. U PHEV je předpokládáno pouze pomalé nabíjení 3,7 kW během polední přestávky a večer. Tyto vozy mají dle [18] roční nájezd až 50 000 km, týdně tedy průměrně 1 000 km. Lze jen obtížně odhadnout poměr kolik takový automobil ujede v týdnu a kolik o víkendu. Bylo tedy zvoleno, že tato skupina ujede průměrně v pracovních dnech 800 km a o víkendu zbývajících 200 km. Dále je uvažováno, že PHEV, které budou kvůli časové náročnosti nabíjena pouze dvakrát za den, ujedou na čistě elektrický pohon 600 km za týden. Týdenní spotřeba BEV je dle výpočtu z kapitoly 4.3.4 195 kWh a PHEV 108 kWh.





Obrázek 26: Předpokládaný týdenní profil nabíjení skupiny 3

Tabulka 17: Shrnutí pro jeden elektromobil ze skupiny 3

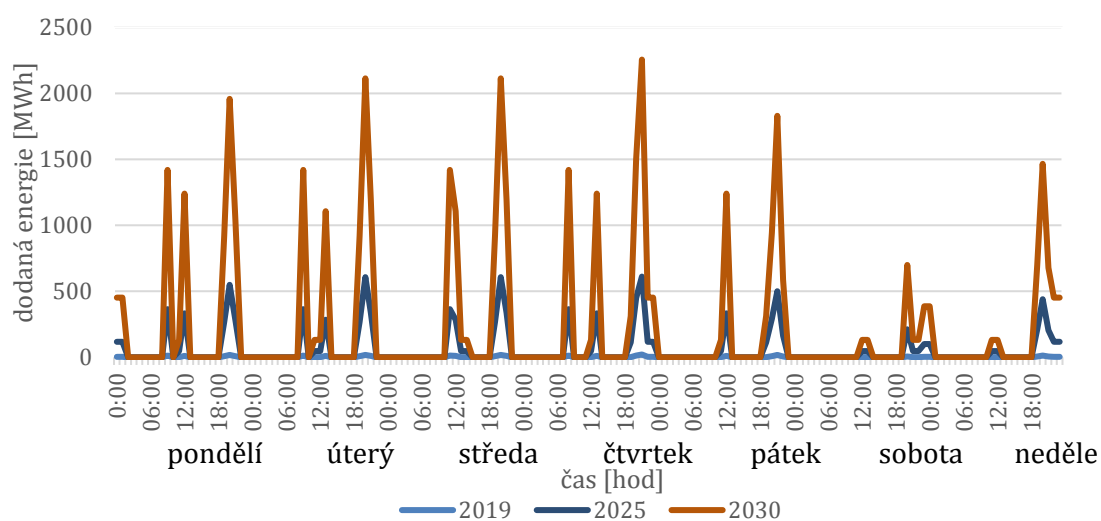
	km týdně na čistě elektrický pohon [km]	spotřebovaná el. energie za týden [kWh]	Roční spotřeba el. energie [kWh]
BEV	1000	195	10 140
PHEV	600	110	5 600

#### 4.2.10 Zatížení přenosové soustavy

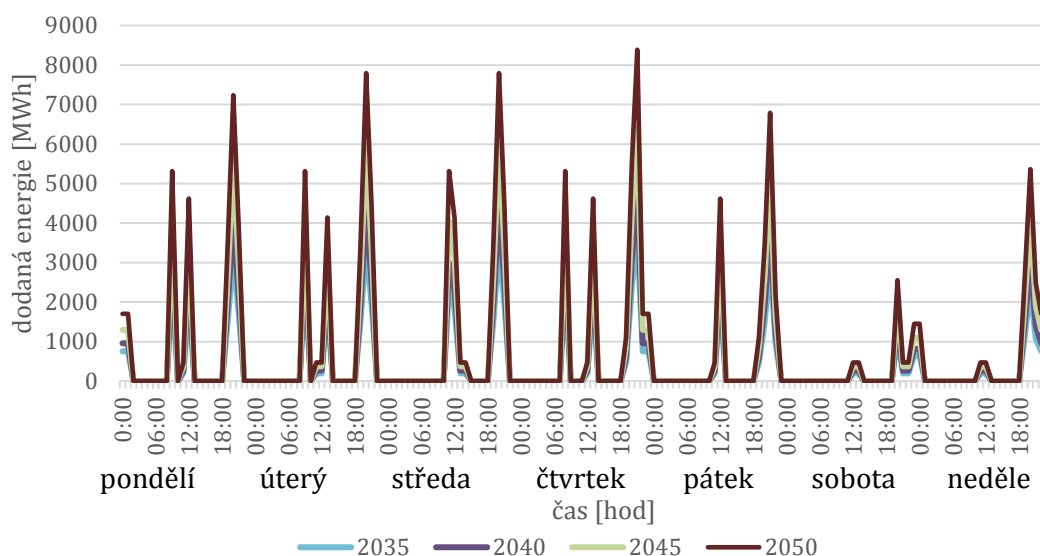
Při předpokladu zatížení přenosové soustavy bylo využito všech předchozích předpokladů. Týdenní rozvržení nemusí vždy odpovídat návykům každého uživatele, ale bylo navrženo tak, aby vždy odpovídal průměrný nájezd a spotřeba za celý týden. Výpočet potřebné energie pro týdenní nájezd jednoho BEV a PHEV je popsán v každé kapitole patřící dané skupině. Dále byla tato elektrická energie vynásobena počtem automobilů v daném roce. Výsledné hodnoty jsou shrnuty v tabulce č. 18 a dále jsou graficky zpracovány na obrázku č. 27 a 28.

Tabulka 18: Přehled počtu elektromobilů a spotřeba elektrické energie pro jejich nabíjení

	2019	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Skupina 1 BEV [ks]	657	920	16 717	64 797	107 973	136 757	184 685	242 630
Skupina 2 BEV [ks]	1 310	1 832	33 305	129 095	215 115	272 461	367 949	483 394
Skupina 3 BEV [ks]	561	785	14 273	55 326	92 192	116 769	157 692	207 169
Skupina 1 PHEV [ks]	272	1 050	15 261	42 299	62 260	83 990	117 956	149 602
Skupina 2 PHEV [ks]	543	2 093	30 404	84 273	124 041	167 334	235 006	298 052
Skupina 3 PHEV [ks]	233	897	13 030	36 117	53 160	71 715	100 717	127 737
Celková týdenní spotřeba [GWh]	2	3	13	43	68	86	117	152
Celková roční spotřeba [GWh]	125	140	699	2 212	3 521	4 491	6 080	7 893



Obrázek 27: Výkon dodaný při nabíjení elektromobilu v týdenním diagramu v letech 2019, 2025 a 2030.



Obrázek 28: Výkon dodaný při nabíjení elektromobilu v týdenním diagramu v letech 2035, 2040, 2045 a 2050.

Z grafu na obrázku č. 27 a 28 lze vidět výrazné zatížení přenosové soustavy ve večerních a ranních hodinách, kdy je využíváno pomalé nabíjení doma nebo po příjezdu do práce. Významný nárůst výkonu lze také pozorovat v poledních hodinách, kdy je využíváno rychlé nabíjení elektromobilů s celodenním provozem při polední pauze.

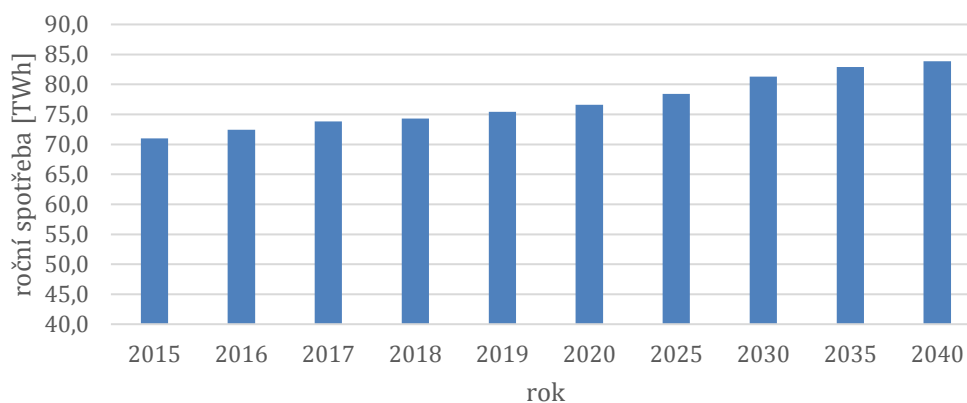
Spotřeba elektrické energie pro nabíjení elektromobilů byla dále zahrnuta do celkové spotřeby ČR, která byla získána v podobě hodinové spotřeby roku 2018 z webových stránek společnosti ČEPS, dále byla spotřeba zprůměrována na hodinová týdenní data. Tato data byla společně s ohledem na Státní energetickou koncepci dále využita pro predikci spotřeby průměrného týdne v každém roce do roku 2040. Přestože je předpověď zatížení elektromobilitou do současné chvíle koncipována do roku 2050, bylo nyní z důvodu neexistující předpovědi celkového zatížení přenosové soustavy po roce 2040 stanoveno pouze zatížení do 2040. Ze studie Státní energetické koncepce (Sek) MPO [26], která obsahuje vývoj od roku 2015 do roku 2040 byla převzata data a ta byla upravena. Data o vývoji spotřeby obsahují pouze netto spotřeby, proto byl vypočten průměrný procentuální rozdíl mezi netto a brutto spotřebou v posledních šesti letech. Tento rozdíl 16,9 % byl použit pro dopočtení skutečné spotřeby přenosové soustavy. Spotřeba byla navíc mírně navýšena, jelikož odhadovaná data z roku 2015

byla již v roce 2016 vyšší, než se v koncepci předpokládalo. Navýšení bylo provedeno tak, aby byl zachován stejný poměr mezi netto a brutto spotřebou.

Tabulka 19: Predikce vývoje spotřeby elektrické energie v ČR do roku 2040

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030	2035	2040	
<b>netto*</b> spotřeba ze Sek [TWh]	59,1	Předpoklad v Sek neuveden					62,1	66,1	68,5	69,8	70,6
<b>brutto</b> spotřeba [TWh]	71,0	72,4	73,8	74,3	75,4	76,6	78,4	81,3	82,9	83,8	

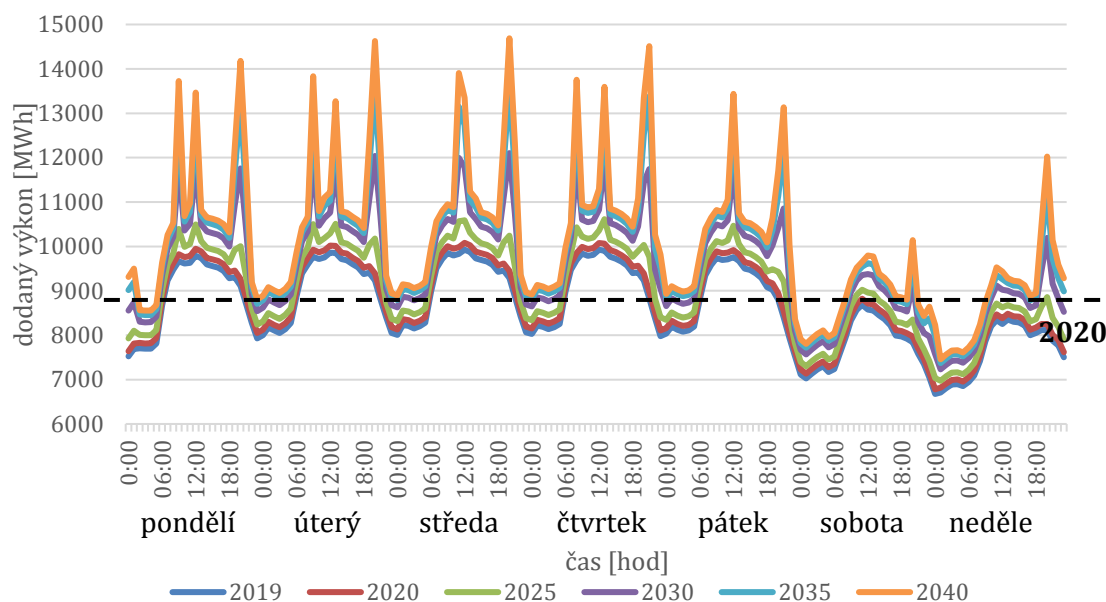
\*netto spotřeba byla v Sek uvedena v jednotce [PJ] a poté byla přepočítána na [TWh]



Obrázek 29: Graf vývoje spotřeby elektrické energie do roku 2040 dle Sek.

V tabulce č.17 a grafu č. 29 je odhad spotřeby v celé České republice do roku 2040 zpracovaný z dat v Sek. V Sek je sice již zahrnut předpoklad elektromobility, ale ne v takové rozsahu, jak je uvažováno v této práci – koncepcie byla vypracována v roce 2015 a od té doby se mnohé v oblasti automobilového průmyslu změnilo. S ohledem na Sek tedy byla dopočítána data bez elektromobility, s kterými bylo dále pracováno. V tabulce č. 19 je součet předpokládané spotřeby při nabíjení elektromobilů a předpokládaný součet spotřeby celé republiky. Tato spotřeba byla dále upravena na průměrný týden v každém roce, při zachování stejného týdenního diagramu jako byl zprůměrován v roce 2018. Toto zjednodušení bylo provedeno na základě porovnání denních diagramů posledních pěti let, při kterém bylo zjištěno že jsou diagramy vykazující jen minimální změny. Z grafu č. 30 lze vidět v některých hodinách skoro

dvojnásobný nárůst díky typickým nabíjecím hodinám, které nastávají po příjezdu domů, do práce, či při nabíjení o polední pauze. V grafu nadále je pro ukázkou linie střední hodnoty odběru v průměrném týdnu, kde je názorně vidět nárůst již zmíněných špičkových výkonů.



Obrázek 30: Graf průměrné týdenní spotřeby při uvažovaném nabíjení pro jednotlivé skupiny.

Tabulka 20: Tabulka celkové roční spotřeby při započtení elektromobility do roku 2050.

	2019	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Spotřeba bez elektromobility [TWh]	75,45	76,61	78,40	81,29	82,88	83,84		
Elektromobilita [TWh]	0,12	0,14	0,70	2,21	3,52	4,49	6,08	7,89
Podíl elektromobility na spotřebě [%]	0,17	0,18	0,89	2,72	4,25	5,36		
<b>Celková spotřeba [TWh]</b>	<b>75,57</b>	<b>76,75</b>	<b>79,10</b>	<b>83,50</b>	<b>86,40</b>	<b>88,33</b>		

#### 4.2.11 Shrnutí

V případě naplnění popsaného scénáře, by došlo v roce 2050 k navýšení celkové roční spotřeby o 7,89 TWh. Pro rok 2050 nelze spolehlivě předpovědět spotřebu v celé přenosové soustavě, protože data o celkové spotřebě nejsou v současnosti dostupná.

Takové navýšení by však s sebou přineslo nutnost modernizace nejenom přenosové soustavy, ale i distribuční sítě. Z pohledu výroby elektrické energie lze očekávat, že by za předpokladu snížení exportované energie nebylo nutné nic měnit. Snížení exportu by však s sebou přineslo problémy v podobě významného zásahu do mezinárodně propojené elektrizační soustavy. Dle Sek je však počítáno, jak s modernizací přenosové soustavy, tak i se zvyšujícím se trendem spotřeby. Z grafu č. 30 lze snadno vyhodnotit nutnost využití řízení nabíjení, které bude implementované v každé nabíjecí stanici. Tímto řešením se zabývá následující kapitola. Již nyní je uvažováno o zavedení podmínky připojení každé nabíjecí stanice k hromadnému dálkovému ovládání, stejně jako jsou připojeny například přímotopné topení či bojler. Dalším řešením této situace může být pokrytí spotřeby z akumulované elektrické energie v instalovaných bateriových kontejnerech. Kontejnery by byly postaveny u rychlonabíjecích stanic a nabíjení by probíhalo mimo odběrové špičky. Toto řešení by přineslo dvě pozitiva najednou – v první řadě by se vyhladily odběrové špičky způsobené elektromobilitou ve dne a poté by se vyrovnal diagram zatížení v nočních hodinách. Toto řešení je velmi nákladné i za předpokladu trendu snižujících se cen baterií.

## 5 Inteligentní řízení nabíjení

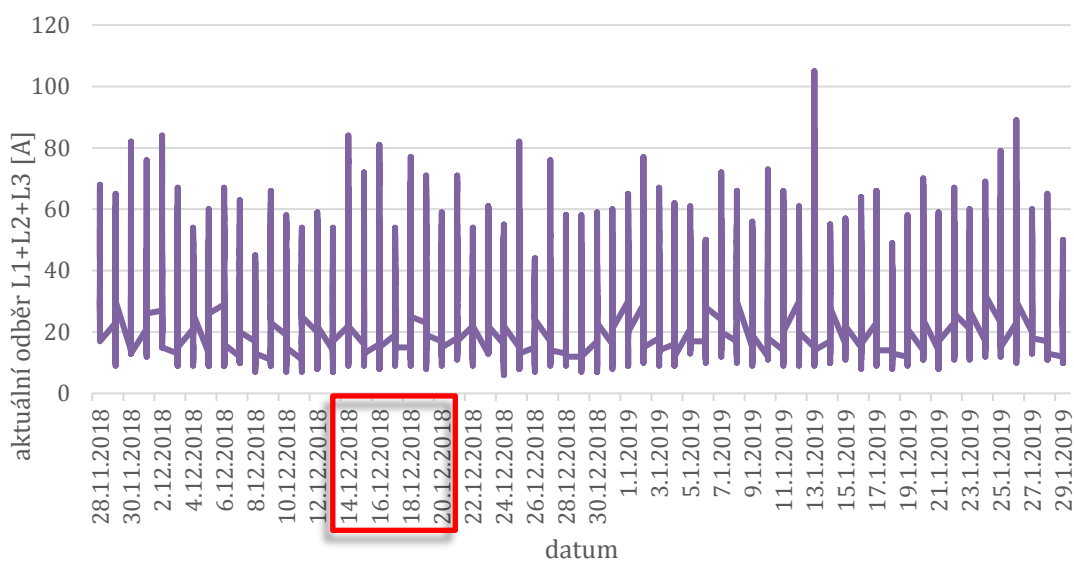
V této kapitole je popsán význam a navržené řešení inteligentního řízení dvou a více nabíjecích stanic. Řízení je navrženo pro činžovní dům v Praze – Vršovicích, ve kterém bydlím. V tomto činžovním domě probíhalo měření od 28.11. 2018 do 29.1.2019. Osazení měřících transformátorů, analyzátoru sítě a zaznamenávacího zařízení jsem původně zamýšlel po dohodě na PRE provést sám se zařízením Schneider Electric. Po schůzce jsme se domluvili na osazení analyzátoru sítě přímo od techniků PRE. Na každou fázi byl připojen rozpojitelný měřící transformátor, jak je zobrazeno na obrázku č. 31.



Obrázek 31: Měřící zařízení v činžovním domě ve Vršovicích.

Vzhledem k požadavku na řízení nabíjení za účelem zabránění překročení maximálního rezervovaného výkonu byl stanoven následující přístup k vyhodnocení změřených dat.

Data byla změřena v zimních měsících a vzhledem k tomu, že několik bytů využívá pro vytápění přímotopné topení, jedná se z hlediska odběrové křivky o nejvytíženější období v roce. Z dvouměsíčního měření, které je v podobě součtu proudového zatížení ve všech třech fázích zobrazeno na obrázku č. 32, bylo z tohoto důvodu navrženo řešení, které bude fungovat v jakékoliv situaci, vybráno sedm po sobě jdoucích dní s nejvyšší průměrnou spotřebou.



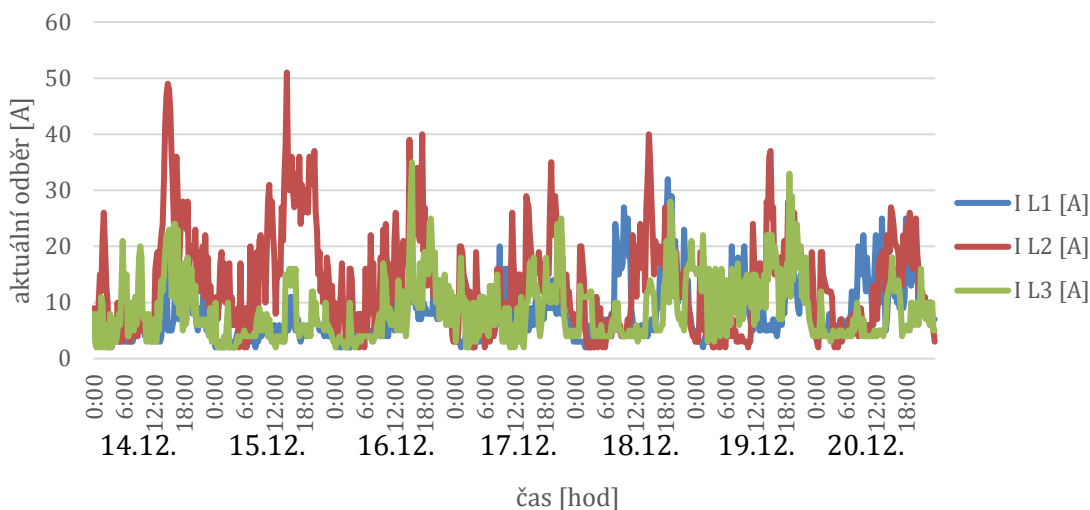
Obrázek 32: Graf dvouměsíčního měření s vyznačeným obdobím, kdy byl odběr nejvyšší

Jedná se o období od 14.12.2018 do 20.12.2018. Při pohledu na data historického počasí v těchto datech lze zaznamenat, že může být spotřeba způsobena, jednak nízkými teplotami v tomto období, které se v Praze pohybovaly od  $-4$  do  $+1$  °C, a poté také předvánočním obdobím, kdy jsou více využívány kuchyňské spotřebiče.

### 5.1 Rezervovaný příkon pro měřený dům

Měřený dům má v pojistkové skříně osazeny nožové pojistky o hodnotě 100 A. Tuto hodnotu však nelze brát jako mezní. Distributor elektřiny vždy požaduje zachovat určitou rezervu, aby předešel přetavení pojistky a přerušení dodávky v jedné nebo více fázích. Výsledky měření nám dále ukazují důležitost správného rozvržení zatížení pro jednotlivé fáze. V případě instalace inteligentního řízení by bylo nutné tuto úpravu udělat. Nevyváženost zatížení fází by nebyl problém pro jednofázové nabíjení, ale byla by to komplikace u třífázového nabíjení. Při třífázovém nabíjení musí nabíječka během nabíjecího procesu dodávat stejný výkon ve všech třech fázích. Pokud by se tedy odběr v jedné fázi blížil maximálnímu odběru, systém řízení by musel omezit všechny tři fáze. Tím by se prodloužila doba nabíjení i přesto, že v ostatních fázích je stále dostupný výkon. Na obrázku č. 33 je zobrazeno převažující zatížení fáze L2.





Obrázek 33: Zatížení jednotlivých fází ve vybraném týdnu

## 5.2 Návrh inteligentního řízení pro tento dům

V domě ve Vršovicích aktuálně probíhá přeměna sklepních prostor na podzemní garážová stání. V plánu je výstavba deseti parkovacích míst. Již v případě požadavku nabíjet tři elektromobily současně na 16 A třífázově může v tomto domě nastat problém s proudovým zatížením. Při pohledu na obrázek č. 33 je vidět, že spotřeba 15.12. odpoledne dosahuje ve fázi L2 na 52 A. Pokud bychom přičetli spotřebu při nabíjení tří elektromobilů, dostaneme v součtu 100 A odběr. Stejný problém by nastal v jakékoliv jiné podobné budově. Řešením pro tuto situaci může být inteligentní plynulé řízení nabíjecích stanic nebo navýšení vstupních pojistek a následné navýšení jističů pro byty, které by využívaly nabíjení.

Pro návrh celého řešení byly využity výrobky od firmy Schneider Electric. Pro testování a softwarovou konfiguraci byly zapůjčeny dvě nabíjecí stanice. Jedna typu Parking s možností nabíjet dva elektromobily současně při výkonu 22 kW a nabíjecí stanice Wallbox pro nabíjení jednoho elektromobilu o maximálním výkonu 22 kW, ovládací obrazovka s PLC a analyzátor sítě. Program byl navržen pro dvě nabíjecí stanice, ale lze ho bez problému rozšířit pro více stanic. Jediným omezujícím faktorem je počet zařízení, s kterými je schopno PLC komunikovat.

### **5.3 Prvky použité pro řízení**

Prvky řízení, jejich vzájemné zapojení a jejich funkce pro řízení budou popsány v této kapitole. Do výčtu komponentů není zahrnuto jištění, jelikož si každý uživatel může specifikovat svoji vlastní konfiguraci dle požadovaného maximálního výkonu.

#### **5.3.1 Ovládací obrazovka**

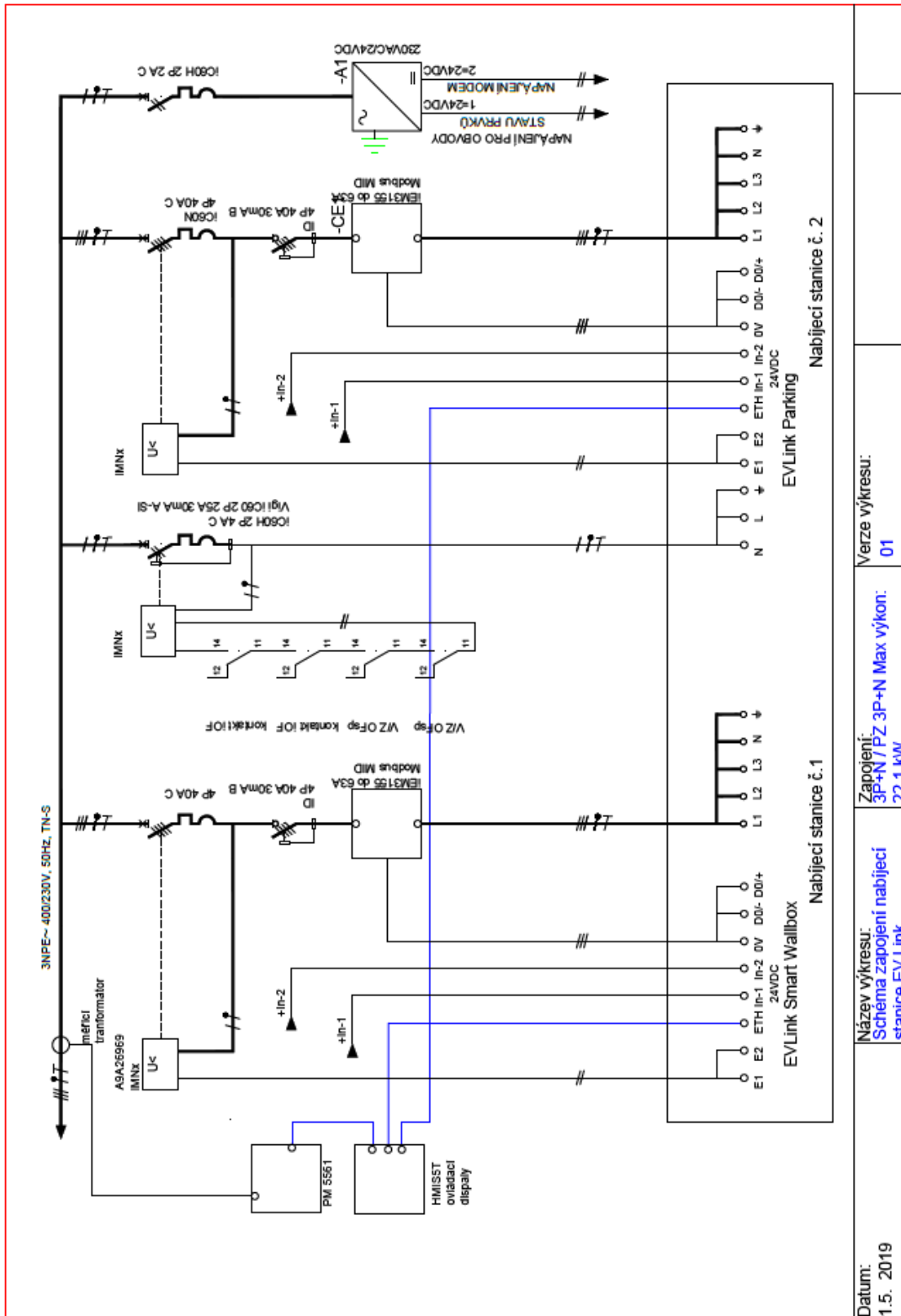
Ovládací obrazovka vyčte informace ze všech zařízení, vyhodnotí je a dle konfigurované logiky předá nabíjecím stanicím informaci o požadovaném nabíjecím proudu. Proud je nastavován po jednom ampéru a maximální možná hodnota je 32 A. Na obrazovce lze nastavit hodnoty hlavního jističe a pro zachování rezervy lze nastavit libovolnou procentuální hodnotu, kterou je tato hodnota vynásobena.

#### **5.3.2 Analyzátor sítě**

Analyzátor měří proud v každé fázi pomocí přídavných měřících transformátorů. V případě požadavku je možné zahrnout do celého řízení i spotřebu domu. Analyzátor zapojen před hlavní jistič domu nebo v případě požadavku řídit pouze nabíjecí stanice je zapojen před podružný rozvaděč k nabíjecím stanicím.

#### **5.3.3 Zapojení a popis řešení**

Zapojení používané pro testování uvažuje pouze řízení dvou a více nabíjecích stanic. Není brán ohled na ostatní spotřebiče v domě. Při požadavku spotřebiče zahrnout by bylo pouze třeba měření přesunout na přívod do domu. Na všech třech fázích jsou osazena měřící transformátory proudu, kterými je v poměru 100:5 přiváděn proud do analyzátoru sítě. Analyzátor sítě předává pomocí komunikace modbus TCP informaci ovládací obrazovce. Obrazovka s integrovaným PLC vyhodnotí data dle nastavené hodnoty hlavního jističe a předá informaci opět pomocí modbus TCP nabíjecím stanicím. Nabíjecí stanice řídí dodávaný proud pro nabíjení plynule, tzn. při jakékoliv změně odebíraného výkonu je automaticky okamžitě snížena hodnota každé stanice. Na obrázku č. 34 je schéma zapojení určené pro instalačního technika, které zahrnuje doporučené jisticí prvky pro maximální výkon nabíjecí stanice (22 kW). Schéma dále obsahuje i měřící elektroměry s MID certifikací zapojené přímo do nabíjecích stanic určené pro případné přeúčtování nákladů na nabíjení uživateli.



Obrázek 34: Schéma zapojení pro inteligentní řízení dvou nabíjecích stanic

Datum:  
1.5. 2019

Název výkresu:  
Schéma zapojení nabíjecí  
stanice EV Link

Zapojení:  
3P+N/PZ 3P+N Max výkon:  
22,1 kW

Verze výkresu:  
01

## 5.4 Testování řešení

Pro testování byla využita celkem tři elektrická vozidla. Od společnosti Renault TUKas byly zapůjčeny vozy Renault Kangoo Z.E. a Renault Zoe, dále byl využit elektromobil BMW i3, který je k dispozici pro zaměstnance UCEEB v Buštěhradě. Renault Zoe má integrovaný nabíječ o výkonu 22 kW třífázově a Renault Kangoo Z.E. a BMW mají nabíječku o výkonu 7 kW v jedné fázi. Testování proběhlo v prostorech UCEEB, kde jsem měl na testování vyhrazeny celkem čtyři dny. První dva dny testování jsem měl k dispozici Renault Kangoo Z.E. a BMW i3, oba vozy jsou zobrazené na obrázku č. 35. Řízení bylo možné provádět u obou automobilů od 10 A do 32 A v každé fázi.



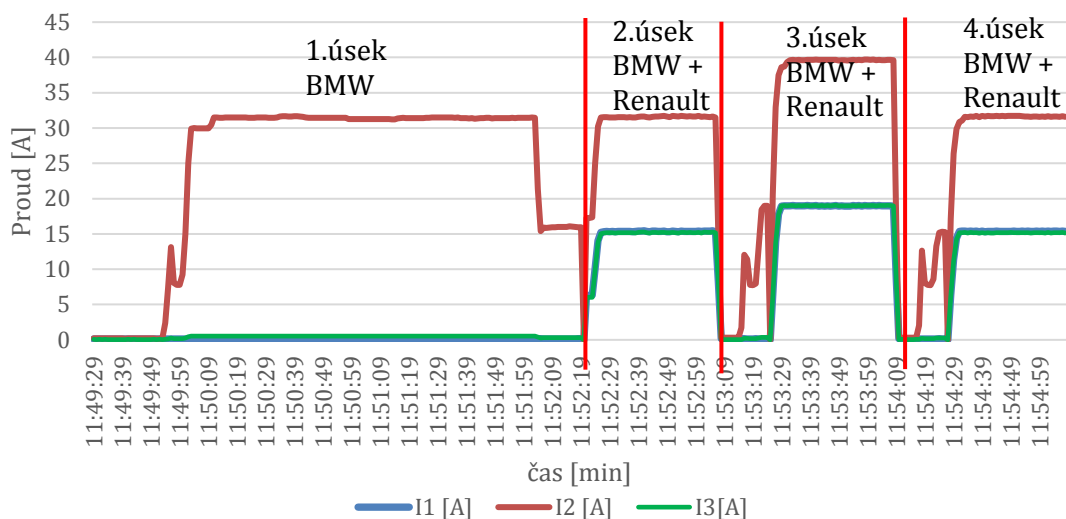
*Obrázek 35: Testování Renaultu Kangoo a BMW i3*

Během dalšího testovacího dne jsem měl vypůjčený Renault Zoe a opět BMW i3. Nabíjení Renaultu Zoe lze dle testování řídit od 15 A do 32 A. Pokud nastavený proud klesl pod hodnotu 15 A ve všech fázích, automobil nahlásil poruchu nabíjení a nabíjecí stanice přerušila nabíjení. Pro konfiguraci univerzálního řešení použitelného ve všech typech elektromobilů, by tedy bylo nutné otestovat ideálně všechny dostupné vozy na trhu.



*Obrázek 36: Testování Renaultu Zoe a BMW i3*

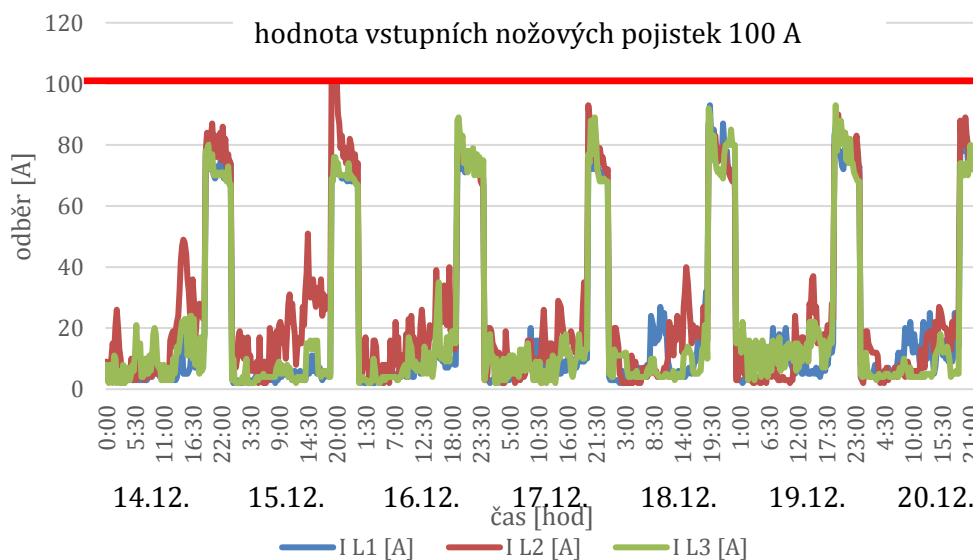
Na obrázku č.37 je zobrazený průběh z testování. Na grafu je vidět, že po každé změně obě stanice nabíjení přeruší, přenastaví hodnotu nabíjení a poté znovu spustí nabíjení bez nutnosti autentifikace uživatele. V grafu jsou popsány jednotlivé úseky nabíjení během řízení. V prvním úseku je nastavena hodnota hlavního jističe 32 A a je připojeno pouze BMW i3, to je nabíjeno z jedné fáze na 32 A. Poté byl při stejném nastavení připojen i Renault Zoe, proud byl rovnoměrně rozdělen mezi obě auta. Ve třetím úseku byla hodnota hlavního jističe změněna na 40 A a ve čtvrtém opět na 32 A. Při každé změně je viditelné chvilkové rozeptnutí a následné sepnutí stykače a pokračování nabíjení.



Obrázek 37: Změřená data z testování řízení nabíjení Renaultu Zoe a BMW i3

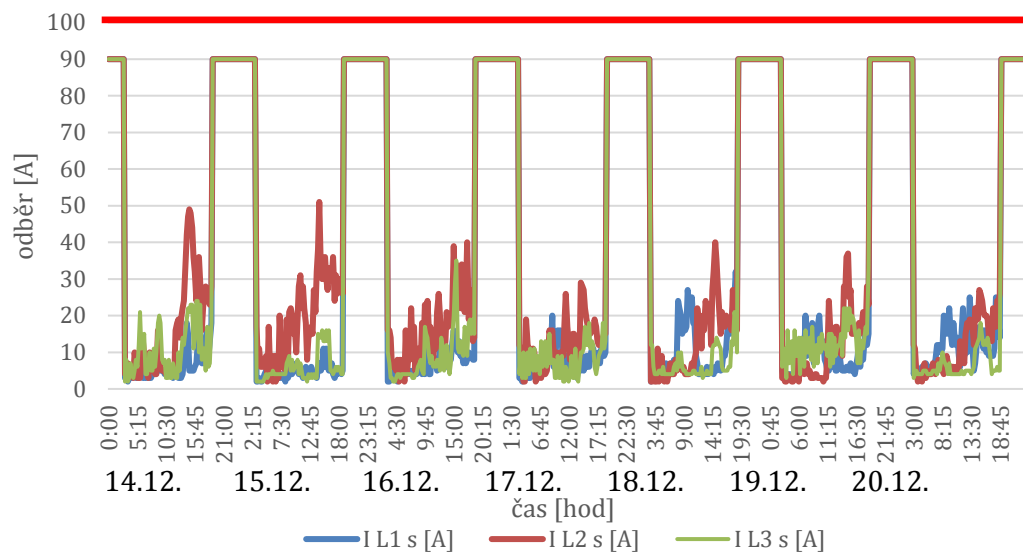
### 5.5 Význam inteligentního nabíjení

Na grafu č. 38 je zobrazen předpoklad nabíjení bez řízení v nejvíce vytíženém období. Při nabíjení elektromobilů s kapacitou baterie 40 kWh, které by byly vybity do 0 %, výkonem 11 kW 16 A třífázově jsme schopni se současnými pojistkami nabíjet pouze čtyři elektromobily ve stejnou chvíli. Pro návrh byla využita krajní, málo pravděpodobná situace vybití elektromobilu na 0 % záměrně s cílem navrhnout spolehlivě fungující řešení v jakémkoliv případě. Soudobost nabíjení se předpokládá, jelikož nabíjení ve většině případů probíhá ve večerních hodinách, po návratu z práce.



Obrázek 38: Nabíjení bez inteligentního řízení umožňující v měřené budově

Při použití inteligentního řízení nabíjení lze uspokojit v případě potřeby každý den všech deset uživatelů elektromobilů, jak je znázorněno na obrázku č. 39. Nabíjení bylo nastaveno tak, aby byla zachována vždy rezerva 10 %. V příloženém dokumentu excel (změřená data Vršovice) lze vidět, že při začátku nabíjení kolem sedmé hodiny večerní a nabíjecím výkonu 5 kW (dle dostupnosti) by ve zmíněné dny nabíjení končilo mezi 2-3 hodinou ranní. Z grafu je zřejmé, že při požadavku ukončit nabíjení nejpozději v 6 hodin ráno je zde stále prostor pro vytvoření vyšší rezervy.



Obrázek 39: Nabíjení s inteligentním řízením v měřené budově.

## **6 Ekonomické porovnání**

V této kapitole bude ekonomicky porovnána varianta nabíjení s inteligentním řízením s variantou bez inteligentního řízení. Vstupní předpoklad pro porovnání je v obou případech nabíjení deseti elektromobilů současně s vynaložením co nejmenších nákladů. Dalším předpokladem je kapacita baterie 40 kWh a vybití na 0 %. Tento předpoklad je málo pravděpodobný, nicméně pro správnou a stoprocentní funkčnost je nutné s takovou variantou počítat. Pro obě řešení je uvažováno napojení nabíjecích stanic přímo na byt konkrétního uživatele. Elektřina by tedy byla účtována rovnou se spotřebou bytu. Všechny uvedené ceny jsou s daní z přidané hodnoty.

### **6.1 Náklady při použití varianty s inteligentním řízením**

V následujícím textu jsou popsány a zdůvodněny všechny nákladové položky pro řešení s inteligentním řízením. Jejich shrnutí je uvedeno v tabulce 21. Ceny byly v případě komponentů konzultovány s firmou Schneider Electric a v případě cen za práci se systémovým integrátorem, který pro tuto firmu pracuje. Pro návrh celého řízení je klíčová komunikace mezi všemi komponenty. Pro tento účel jsem zvolil řídicí displej s řídicí jednotkou a analyzátor sítě s měřícími transformátory proudu. Hlavním a nejdůležitějším komponentem jsou nabíjecí stanice umožňující vzdálené připojení, které jsou obecně označovány jako chytré stanice. Významným nákladem před zahájením provozu nabíjecích stanic je také osazení kontrolního měření pro ověření rovnoměrného zatížení fází a následné rozfázování pro zajištění stejně velkého dostupného výkonu v každé fázi. Vzhledem k tomu, že tato investice je nutná u obou variant, není tento náklad v konečném výpočtu zahrnut. Celý systém vyžaduje propojovací vodiče silnoproudé i slaboproudé pro komunikaci, jejichž ceny jsou závislé na konkrétním požadovaném maximálním výkonu, stejně jako ceny jističů. Ceny silových vodičů se s ohledem na výkon výrazně neliší, proto mohl být proveden jejich orientační odhad elektroinstalační firmou. Ceny jisticích prvků se mohou dle požadovaného výkonu lišit významně, proto jsou z celkové ceny vyjmuty a je nutné je později dle konkrétního požadavku doplnit. Všechny nabíjecí stanice musí být uvedeny do provozu specialistou, který má fixní cenovou sazbu za tento úkon.

Další výdaje jsou spojené s výměnou hlavního bytového jističe. V současné době je většina bytů osazena hlavním jednofázovým jističem 25 A, který by byl v případě inteligentního řízení změněn na třífázový jistič 20 A. Při této změně je nutné upravit



elektroměrový a domovní rozvaděč a následně zajistit revizní zprávu. Na změnu hlavního jističe jsou vázány i měsíční poplatky za jistič a odběrné místo, které je nutné zahrnout do každoročních nákladů.

Tabulka 21: Náklady při využití varianty s inteligentním řízením pro nabíjení deseti elektromobilů

		s řízením
Prvotní pořizovací náklady	řídící displej	8 320 Kč
	analýzátor sítě	31 230 Kč
	měřicí transformátory (3x)	1 800 Kč
	Smart Wallbox (10x)	325 000 Kč
	kabeláž silnoproudá	1 700 Kč
	kabeláž slaboproudá	450 Kč
	softwarová konfigurace	2 500 Kč
	instalace technikem	5 000 Kč
	uvedení do provozu nabíjecích stanic s řízením technikem z firmy SE (nezahrnuje cestovní náklady)	9 000 Kč
	zvýšení jističe z 1x25 A na 3x20 A (poplatek distributor 10x)	50 000 Kč
	úprava rozvaděče (10x)	35 000 Kč
	revize (10x)	15 000 Kč
Vstupní náklady celkem:		<b>485 000 Kč</b>
Průběžné každoroční náklady	servis zajišťující prodlouženou záruku (10x)	20 000 Kč
	poplatek za nepřetržitou údržbu celého systému	5 300 Kč
	měsíční poplatek za jistič navíc proti stávajícímu stavu (10x)	9 000 Kč
Každoročně vynaložené náklady celkem:		<b>34 300 Kč</b>

## 6.2 Náklady při použití varianty bez řízení

Varianta bez řízení nevyžaduje použití tolika technologicky náročných komponentů, které jsou ve variantě s řízením nabíjení velmi drahé. Při této variantě lze použít stanice bez komunikace, které pořizovací cenu také výrazně sníží a spolu s ní odpadne i každoroční poplatek za nepřetržitou údržbu celého systému. Zvýší se však výrazně cena za navýšení hlavních jističů a cena za úpravu rozvaděčů. Výčet všech nákladů je uveden v tabulce č. 22.

Tabulka 22: Náklady při využití varianty bez řízení pro nabíjení deseti elektromobilů.

		bez řízení
Prvotní pořizovací náklady	zvýšení jističe z 1x25 A na 3x32 A (10x)	110 000 Kč
	Wallbox (10x)	230 000 Kč
	uvedení do provozu nabíjecích stanic technikem z firmy SE nezahrnuje cestovní náklady)	7 000 Kč
	úprava rozvaděče (10x)	40 000 Kč
	revize (10x)	15 000 Kč
<b>Vstupní náklady celkem:</b>		<b>402 000 Kč</b>
Průběžné každoroční náklady	servis zajišťující prodlouženou záruku (10x)	20 000 Kč
	měsíční poplatek za jistič navíc proti stávajícímu stavu (10x)	11 400 Kč
<b>Každoročně vynaložené náklady celkem:</b>		<b>31 400 Kč</b>

### 6.3 Porovnání investic

Pro porovnání byla vypočítána čistá současná hodnota obou investic dle vzorce č. 5. Výpočet byl proveden na deset let, jelikož lze v budoucích letech předpokládat změnu ve vyúčtování ceny elektřiny, jak již bylo v minulosti navrhováno. V takovém případě by se výpočet celkové ceny včetně počítaných poplatků změnil. Do celkového výpočtu není zahrnuta cena elektřiny, protože při předpokladu využití tarifu D27d určeného pro elektromobilitu bude pro obě investice v konečném součtu stejná. Pro výpočet byl zahrnut každoroční nárůst poplatku za jistič a odběrné místo. Výše tohoto nárůstu byla stanovena na 1,23 % z průměru procentuálního nárůstu tohoto poplatku za posledních pět let. Diskont byl pro tento výpočet převzat z webových stránek investing.com [27] na základě hodnot úroku státních dluhopisů na deset let a jeho hodnota je 1,85 %.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad [5]$$

kde:

NPV – čistá současná hodnota

CF – finanční tok v roce t

r – diskont

Tabulka 23: Výsledek výpočtu NPV pro obě varianty

NPV v případě inteligentního řízení nabíjení	<b>-795 510 Kč</b>
NPV v případě zvýšení hlavních jističů	<b>-691 982 Kč</b>

V tabulce č. 23 je zobrazen výsledek výpočtu NPV pro obě varianty. Řešení s inteligentním řízením vychází při počítání desetileté investice o více jak sto tisíc dražší. Je však nutné brát v potaz, že při řešení bez řízení bude v určitých hodinách odebrán velký výkon. Pokud se bude jednat o jeden dům v ulici, lze toto řešení z dnešního pohledu použít. Pokud by se ale jednalo v budoucnosti o více takových požadavků na zvýšení hlavního jističe, bylo by nutné posílit kabeláž a případně i příslušný transformátor. Posílení transformátoru nebo vedení je velmi nákladná investice pohybující se v milionech korun, z tohoto důvodu lze předpokládat, že v takovém případě bude nutné využít navrhované inteligentní řízení.

## 7 Závěr

Vzhledem k narůstajícímu podílu elektromobilů v České republice, který je v současné době podpořen technologickým vývojem a v blízké době ho dále podpoří vládní a evropská nařízení, lze vycházet z předpokladu, že poroste i počet nabíjecích stanic. Každý další elektromobil s sebou přinese při nabíjení nezanedbatelný požadavek na energetickou síť, ať už se bude vozidlo nabíjet rychlým či pomalým nabíjením. Energetickou síť bude proto nutné na tyto požadavky připravit jak v globálním, tak i v lokálním měřítku.

S cílem odhadnout zatížení energetické sítě byla v této diplomové práci vytvořena v prvním kroku predikce předpokládaného nárůstu počtu elektromobilů v České republice do roku 2050 a následně zpracována analýza zatížení přenosové soustavy. Zatímco v současné době se elektromobilita podílí na celkové roční spotřebě elektřiny pouze 0,17 %, v roce 2040 má tento podíl činit již 5,36 %. Pro dostupné výrobní zdroje v České republice by tento skokový nárůst spotřeby elektřiny při nabíjení neměl být komplikací. Problémy způsobené vysokým aktuálním odběrem by však mohly nastat při přenosu v hodinách, kdy probíhá nabíjení nejčastěji.

Za účelem snížení odběru na lokální úrovni bylo v práci navrženo modelové řízení nabíjecích stanic značky Schneider Electric pro vybranou budovu v Praze – Vršovicích. Na základě dat pocházejících z dvouměsíčního měření v budově a ověřených informací o možnosti zvýšení hlavních domovních pojistek, byly navrženy dvě varianty nabíjení. První navrhovaná varianta uvažuje nabíjení bez řízení, která zahrnuje navýšení vstupních domovních pojistek a navýšení bytových jističů z hodnot 1x25 A na 3x32 A. Druhá varianta uvažuje implementaci inteligentního řízení bez nutnosti navýšení hlavních domovních pojistek, avšak s navýšením bytových jističů z 1x25 A na 3x20 A. Testováním navrženého inteligentního řízení v prostorech UCEEB, byla prokázána jeho funkčnost na elektromobilech značky Renault Zoe a BMW i3. S ohledem na zjištěná specifika v chování testovaných modelů lze učinit závěr, že pro zajištění plné funkčnosti tohoto inteligentního řízení nabíjení pro všechny druhy elektromobilů bude nutné testování provést na všech typech elektrických vozidel.

Ekonomické porovnání nabíjení s inteligentním řízením a nabíjení bez řízení na konci práce ukazuje, že náklady na pořízení a provoz chytrého nabíjení po dobu deseti let

jsou u měřené budovy o sto tisíc korun vyšší. Je však nutné uvědomit si, že možnost nabíjení bez řízení nebude při rostoucím počtu elektromobilů u podobných budov možná.

## Seznam použité literatury

- [1] I. S. J. L. S. Bruno G. Pollet, „Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From,“ Elsevier, 2012.
- [2] S. K. M. T. Pesaran AA, „Impact of the 3Cs of batteries on PHEV value proposition. In: 9th proc. advanced automotive battery and EC capacitor conference,“ Long Beach, California;, 2009.
- [3] J. Horčík, „Hyrid.cz-Degradace baterií v elektromobilu Tesla Model S,“ 12 březen 2015. [Online]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/degradace-baterii-v-elektromobilu-tesla-model-s>. [Přístup získán 1. květen 2019].
- [4] A. U. A. K. Bolun Xu, „Modeling of Lithium-Ion Battery Degradation for,“ IEEE Transactions on Smart Grid, 2016.
- [5] R. V. P. R. H. Jose Rizalino M. Delos Reyes, „Winter Happens: The Effect of Ambient Temperature,“ IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY,, 2016.
- [6] F. Lamert, „E.1. Research Report EV Range Testing FINAL 1-9-19,“ American Automobile Association, Inc. , 2019.
- [7] M. Šidlák, „idnes,“ idnes, 5 listopad 2018. [Online]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/ecotest-adac-elektromobilita-tesla-nissan-hyundai-spotreba-dojezd.A181031\\_112502\\_automoto\\_taj](https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/ecotest-adac-elektromobilita-tesla-nissan-hyundai-spotreba-dojezd.A181031_112502_automoto_taj).
- [8] J. Eickelmann, Driving Force Elektromobility, Schwalenberg: Phoenix Contact E-Mobility, 2017.
- [9] Č. n. institut, *ČSN-EN 62196-1-Vidlice, zásuvky, vozidlová zásuvková spojení a vozidlové přívodky - Nabíjení elektrických vozidel vodivým připojením - Část 1: Obecné požadavky*, Český normalizační institut, 2015.
- [10] Č. n. institut, *ČSN-EN 61851-1 Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením-Část 1: Všeobecné požadavky*, Český normalizační institut, 2002.

- [11] I. Hradil, „Hybrid,“ 4 2011. [Online]. Dostupné z:  
<http://www.hybrid.cz/siemens-bmw-vyvijeji-bezkontakti-nabijeni-elektromobilu>.
- [12] S. E. CZ, „Schneider Electric,“ 2018. [Online]. Dostupné z:  
<https://www.schneider-electric.cz/cs/download/document/S1520/>.
- [13] Portál „novinky.cz,“ 2018. [Online]. Dostupné z:  
<https://www.novinky.cz/auto/492223-bmw-a-porsche-maji-supernabijecku-je-rychla-skoro-jako-tankovani.html>.
- [14] Portál: „greencarcongress,“ 12 2018. [Online]. Dostupné z:  
<https://www.greencarcongress.com/2018/12/20181213-fastcharge.html>.
- [15] M. dopravy, „Ministerstvo dopravy-Ročenky dopravy ČR,“ 2017. [Online].  
Dostupné z: <https://www.mdcz.cz/Statistiky>. [Přístup získán 3. 3. 2019].
- [16] „European Alternative Fuels Observatory,“ [Online]. Dostupné z:  
<https://www.eafo.eu/countries/czech-republic/1729/summary>. [Přístup získán 4. 3. 2019].
- [17] ČSÚ, „Projekce obyvatelstva České republiky - 2018 - 2100,“ 28. 11. 2018.  
[Online]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/projekce-obyvatelstva-ceske-republiky-2018-2100>. [Přístup získán 3. 3. 2019].
- [18] Dílčí studie pro pracovní tým A25 - Predikce vývoje elektromobility,  
„Ministerstvo průmyslu a obchodu,“ 23. 10. 2018. [Online]. 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). [Přístup získán 11. 3. 2019].
- [19] Č. s. úřad, „www.czso.cz,“ 1. 1. 2018. [Online]. Dostupné z:  
<https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-see2a5tx8j>. [Přístup získán 7. 3. 2019].
- [20] M. p. a. obchodu, „www.mpo.cz,“ 2015. [Online]. Dostupné z:  
<https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/54377/62106/640972/priloha001.pdf>.  
[Přístup získán 20. 3. 2019].

- [21] K. Naughton, „The Near Future of Electric Cars: Many Models, Few Buyers,“ 2017. [Online]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/news/features/2017-12-19/the-near-future-of-electric-cars-many-models-few-buyers>. [Přístup získán 20. březen 2019].
- [22] M. dopravy, „mdcr.cz,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Dopravni-park>. [Přístup získán 15 březen 2019].
- [23] S. D. Automobilů, 2018. [Online]. Dostupné z: <http://portal.sda-cia.cz/stat.php?n#rok=2015&mesic=12&kat=OA&vyb=vlas&upr=&obd=r&jine=false&lang=CZ&str=nova>. [Přístup získán 22 březen 2019].
- [24] P. H. T. Cetl, „EVOLUCE INFRASTRUKTURY PRO ELEKTROMOBILY,“ ČESKÁ ELEKTROTECHNICKÁ SPOLEČNOST PRAHA, 2016.
- [25] K. Figenbaum, „Learning from Norwegian Battery Electric and Plug-in Hybrid Vehicle users,“ 2016. [Online]. Dostupné z: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=43161>. [Přístup získán duben 2019].
- [26] M. p. a. obchodu, „mpo.cz,“ Prosinec 2014. [Online]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/52841/60959/636207/priloha006.pdf>. [Přístup získán 29 březen 2019].
- [27] „Czech Republic - Government Bonds,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.investing.com/rates-bonds/czech-republic-government-bonds>. [Přístup získán 15. duben 2019].
- [28] Renault, „easyelectriclife.groupe.renault.com,“ [Online]. Dostupné z: <https://easyelectriclife.groupe.renault.com/en/day-to-day/charging/install-charging-point-home/>.



## Seznam tabulek:

Tabulka 1: Vlastnosti baterií [1] .....	5
Tabulka 2: Porovnání udávané kapacity baterie a spotřebované energie při nabíjení elektromobilu (porovnání účinnosti nabíjení) [6] .....	10
Tabulka 3: Popis nabíjení při režimu 1 .....	15
Tabulka 4: Popis nabíjení při režimu 2 .....	15
Tabulka 5: Popis nabíjení při režimu 3 .....	16
Tabulka 6: Popis nabíjení při režimu 4 .....	17
Tabulka 7: Stručný přehled typů nabíjecích stanic .....	18
Tabulka 8: Ukázka, co rozhoduje o rychlosti nabití BEV .....	19
Tabulka 9: Popis používaných konektorů pro AC nabíjení .....	24
Tabulka 10: Popis používaných konektorů pro DC nabíjení .....	24
Tabulka 11: Stručný přehled počtu elektromobilů [15] .....	27
Tabulka 12: koeficient osobních aut na obyvatele v jednotlivém správním obvodu	30
Tabulka 13: Klíčové faktory pro rozvoj elektromobility dle MPO. ....	32
Tabulka 14: Počet EV do roku 2050 .....	33
Tabulka 15: Shrnutí pro elektromobil ze skupiny jedna. ....	38
Tabulka 16: Shrnutí pro elektromobil ze skupiny dva .....	39
Tabulka 17: Shrnutí pro jeden elektromobil ze skupiny 3 .....	40
Tabulka 18: Přehled počtu elektromobilů a spotřeba elektrické energie pro jejich nabíjení .....	41
Tabulka 19: Predikce vývoje spotřeby elektrické energie v ČR do roku 2040 .....	43
Tabulka 20: Tabulka celkové roční spotřeby při započtení elektromobility do roku 2050. ....	44
Tabulka 21: Náklady při využití varianty s inteligentním řízením pro nabíjení deseti elektromobilů .....	56
Tabulka 22: Náklady při využití varianty bez řízení pro nabíjení elektromobilů .....	57
Tabulka 23: Výsledek výpočtu NPV pro obě varianty .....	58

## Seznam obrázků:

Obrázek 1: 100 % elektrický.....	2
Obrázek 2: Plug-in hybrid elektrický.....	2
Obrázek 3: Hybrid elektrický.....	2
Obrázek 4: Graf hustoty energie a výkonové hustoty na základě tabulky č. 1.....	4
Obrázek 5: Schéma principu funkce BMS.....	6
Obrázek 6: Nelineární proces degradace baterie.....	7
Obrázek 7: Graf nabíjecího procesu elektromobilu Renault Zoe.....	9
Obrázek 8: rozdělní způsobů nabíjení.....	11
Obrázek 9: Popis nabíjení s popisem režimů a orientačním časem nabíjení.....	12
Obrázek 10: Jednoduché schéma připojení EV-režim 1.....	12
Obrázek 11: Jednoduché schéma připojení EV-režim.....	13
Obrázek 12: Kabel pro nabíjení EV přímo z elektrické sítě [28].....	13
Obrázek 13: Jednoduché schéma připojení EV-režim 3.....	14
Obrázek 14: Jednoduché schéma připojení EV-režim 4.....	14
Obrázek 15: Princip indukčního nabíjení [11].....	15
Obrázek 16: Wallbox od společnosti Schneider Electric [12].....	18
Obrázek 17: EV link Parking od společnosti Schneider Electric [12].....	19
Obrázek 18: Rychlonabíjecí stanice od společnosti Siemens o výkonu 50 kW.....	19
Obrázek 19: Schéma nabíjecí stanice o výkonu 450 kW [14].....	21
Obrázek 20: Stručný přehled počtu automobilů v ČR s rozdělením na jednotlivé typy energie pro pohon. [15].....	26
Obrázek 21: Vývoj populace v ČR od roku 2018 do roku 2050 dle ČSÚ [17].....	27
Obrázek 22: Graf vývoje počtu automobilů v ČR.....	28
Obrázek 23: Vývoj počtu elektromobilů na území ČR.....	31
Obrázek 24: Předpokládaný týdenní profil nabíjení skupiny jedna.....	35

Obrázek 25: Předpokládaný týdenní profil nabíjení skupiny dva.....	36
Obrázek 26: Předpokládaný týdenní profil nabíjení skupiny 3.....	37
Obrázek 27: Výkon dodaný při nabíjení elektromobilu v týdenním diagramu v letech 2019, 2025 a 2030.....	38
Obrázek 28: Výkon dodaný při nabíjení elektromobilu v týdenním diagramu v letech 2035, 2040, 2045 a 2050.....	39
Obrázek 29: Graf vývoje spotřeby elektrické energie do roku 2040 dle Sek.....	40
Obrázek 30: Graf průměrné týdenní spotřeby při uvažovaném nabíjení pro jednotlivé skupiny.....	41
Obrázek 31: Měřicí zařízení v činžovním domě ve Vršovcích.....	43
Obrázek 32: Graf dvouměsíčního měření s vyznačeným obdobím, kdy byl odběr nejvyšší.....	44
Obrázek 33: Zatížení jednotlivých fází ve vybraném týdnu.....	45
Obrázek 34: Schéma zapojení pro inteligentní řízení dvou nabíjecích stanic.....	47
Obrázek 35: Testování Renaultu Kangoo a BMW i3.....	48
Obrázek 36: Testování Renaultu Zoe a BMW i3.....	49
Obrázek 37: Změřená data z testování řízení nabíjení Renaultu Zoe a BMW i3..	49
Obrázek 38: Nabíjení bez inteligentního řízení v měřené budově.....	50
Obrázek 19: Nabíjení s inteligentním řízením v měřené budově.....	50

### **Seznam příloh:**

- 1) Změřená data Vršovice.xlsx
- 2) Analýza zatížení.xlsx
- 3) Ekonomické porovnání.xlsx