



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

ELEKTROMOBILITA, SOUČASNOST A VIZE

ELECTROMOBILITY, TODAY AND VISION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Roman Valíček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Milčák

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Roman Valíček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Pavel Milčák**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Elektromobilita, současnost a vize

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Elektromobilita je v současné době na vzestupu a má evropskou i národní podporu. O čem si již méně hovoří je celková účinnost transformace PEZ na elektřinu, její výrobu a přenos.

Cíle bakalářské práce:

- shrnutí současného stavu elektromobility v ČR
- analýza výhledu elektromobility
- vliv nárůstu elektromobility na výrobu elektřiny a elektrizační soustavu, emisní stopy

Seznam doporučené literatury:

KRAUSOVÁ, Liliana, Ondřej PEŠEK a Martin BŘEZINA. Elektromobilita - trh a potenciál na území České republiky. Elektromobilita - trh a potenciál na území České republiky [online]. Vysoká škola ekonomická v Praze [cit. 2018-10-25].

MAZURA, Tomáš a Jindřich JEŽEK. Energetická náročnost provozu elektromobilu. Univerzita Pardubice, 2014

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je vytvořit přehled o současném a předpokládaném budoucím stavu elektromobility v České republice a to včetně analýzy možných vlivů tohoto rozvíjejícího se oboru na další odvětví, zejména energetiku a ekologii.

Práce je rozdělena do několika úseků. První část je rešeršního charakteru a zabývá se nejprve obecnými poznatky souvisejícími s elektromobilitou a poté přechází v analýzu aktuální situace na našem území, ve které je detailněji rozebírána především problematika dobíjení elektromobilu a podpora elektromobility.

Druhá část práce se zaměřuje na vliv nárůstu elektromobility na elektrizační soustavu a na emisní stopu elektromobilu. Tyto kapitoly jsou podloženy vlastními výpočty a na jejich konci je provedeno vyhodnocení získaných výsledků. V závěru jsou shrnuty dosažené poznatky a je okomentován nadcházející vývoj elektromobility v budoucnosti.

Klíčová slova

Elektromobilita, elektromobil, dobíjecí stanice, nabíjecí konektory, Národní akční plán čisté mobility, energetický průmysl, elektrizační soustava, emise, oxid uhličitý, oxidy dusíku

Abstract

The main target of this bachelor thesis is to create an overview of current and future status of electromobility in the Czech Republic, including an analysis of possible impacts of this developing field to other sectors, especially energy industry and ecology.

This work is divided into several sections. The first part is research and it deals with general knowledge related to electromobility at first and then it analyzes the current situation in our country. The electric vehicle charging and electromobility support are discussed in detail.

The second part of the thesis focuses on the influence of electromobility growth on the power system and on the electromobile emission footprint. These chapters are based on self calculations and the results are evaluated at the end. The conclusion summarizes the findings and there is a comment about upcoming development of electromobility in the future.

Key words

Electromobility, electric car, charging stations, charging connectors, National Action Plan for Clear Mobility, energy industry, power system, emission, carbon dioxide, nitrogen oxides

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VALÍČEK, Roman. *Elektromobilita, současnost a vize [online]*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117095>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Ing. Pavel Milčák.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů).

V Brně dne 25. května 2019

Roman Valíček

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Pavlu Milčákovi za odborné vedení, cenné rady, připomínky a komentáře poskytované po celou dobu zpracovávání této bakalářské práce.

Obsah

Úvod	12
1 Historie elektromobility	13
1.1 Počátky elektromobilů.....	13
1.2 Vývoj elektromobility v ČR.....	14
2 Elektromobil.....	15
2.1 Elektromotor.....	15
2.2 Akumulace elektrické energie	16
3 Současný stav elektromobility v ČR.....	17
3.1 Dobíjecí sítě.....	18
3.2 Nabíjecí konektory	19
3.3 Podpora nabíjení.....	21
3.4 Státní podpora	21
3.5 Národní akční plán čisté mobility	21
3.5.1 Strategické cíle NAP CM.....	22
3.5.2 Harmonogram a plán realizace NAP CM	23
3.6 Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost	23
3.7 Memorandum o budoucnosti automobilového průmyslu v ČR a Akční plán o budoucnosti průmyslu v ČR.....	24
3.8 Podpora ze strany měst.....	25
4 Vliv nárůstu elektromobility	25
4.1 Vliv nárůstu elektromobility na energetický průmysl	25
4.1.1 Spotřeba energie elektromobilu	26
4.1.2 Vliv spotřeby energie při vývoji elektromobility na elektrizační soustavu	27
4.2 Vliv nárůstu elektromobility na ekologii	29
4.2.1 Emise CO ₂	30
4.2.2 Ostatní emise.....	37
5 Závěr	40
Seznam literatury a použitých zdrojů.....	41
Seznam tabulek	45
Seznam obrázků	46

Úvod

V dnešním světě patří mezi nejvýznamnější a nejvíce zastoupenou oblast dopravy, doprava zprostředkovaná osobními automobily. Tato skutečnost s sebou nese mnohá úskalí a problémy, především z pohledu znečišťování životního prostředí, neboť osobní vozy jsou obrovským producentem skleníkových plynů a ostatních škodlivých látek. Znečištění ovzduší zejména ve velkých městech mnohdy přesahuje dovolené limity, což působí velmi negativně na lidské zdraví. Nejen tento, ale i další faktory, jako jsou například omezené zásoby fosilních paliv, zapříčiňují to, že se v dopravě hledají nejrůznější alternativní cesty, mezi které se řadí také elektromobilita. Tímto směrem se bude pravděpodobně ubírat nadcházející vývoj dopravy a bude se mu dostávat stále větší pozornosti. Navzdory mnohým skeptickým postojům má již nyní elektromobilita značnou evropskou i státní podporu.

Téma současné a budoucí situace elektromobility na našem území není doposud nijak zvlášť oficiálně shrnuto a zpracováno a to i přesto, že postoj Evropské unie poměrně jednoznačně hovoří ve prospěch tohoto odvětví dopravy. Cílem této bakalářské práce je tedy alespoň přibližně analyzovat nynější a nadcházející stav a určit možné důsledky elektromobility na další odvětví.

1 Historie elektromobility

1.1 Počátky elektromobilů

Nejstarší zmínky z oblasti elektromobilů sahají až do první poloviny 19. století. Za jeden z prvních elektromobilů je považován vozík na elektrický pohon skotského vynálezce Roberta Andersona z roku 1839. Avšak kvůli malé kapacitě baterií a nemožnosti je nabíjet nastal úpadek v této oblasti, který prolomil v roce 1859 francouzský fyzik Gaston Planté sestrojením olověné baterie, kterou lze již bylo možné opětovně nabít. Ke konci 19. století dochází k rozvoji ve výrobě a prodeji elektromobilů a to hlavně v USA, kde se elektromobily dostávají do popředí a tvoří až 30 % veškerých vozidel. V New Yorku se objevují kolem roku 1897 první elektrické taxi. O dva roky později belgický konstruktér a podnikatel Camille Jenatzy pokořil dosud pomyslnou hranici 100 km/h ve svém elektromobilu nesoucí název „La Jamais Contente“. Na našem území se touto problematikou zabýval český vynálezce František Křižík, který sestrojil roku 1895 svůj první elektromobil. Jeho vůz poháněl jednosměrný elektromotor dosahující výkonu 3,6 kW, který byl napájen pomocí olověného akumulátoru. Elektromobily zažívaly svoji slávu ještě pár let po roce 1900, avšak poté nastal jejich úpadek a byly nahrazovány vozidly se spalovacími motory. O pokles zájmu se jako jeden z mnoha zasloužil v USA Henry Ford se svojí stejnojmennou automobilkou. Jeho výroba vynikala především svoji produktivitou a levnými součástkami, mezi které nepatřily dražší baterie elektromobilů a proto byla cena nesrovnatelně nižší oproti vozidlu na elektrický pohon.



Obrázek 1.1. - Camille Jenatzy ve svém elektromobilu [40]

Faktory jako nízká cena pohonných hmot v důsledku objevení nových ložisek ropy a vynalezení elektrického startéru v roce 1912 způsobily další pokles zájmu o elektromobily. Nekomfortní, fyzicky náročné a často i nebezpečné startování pomocí kliky již nebylo nadále pro-

blémem aut se spalovacími motory. Využití elektromobilů se v následující době omezilo po většinou na městskou hromadnou dopravu a průmysl. Události jako druhá světová válka, Sinajská válka nebo tzv. ropné šoky patřily mezi období, kdy docházelo k nedostatku ropy, a proto se hledaly další alternativní cesty v automobilismu. Lidé si začali uvědomovat, svoji závislost na ropě a také fakt, že její zásoby jsou vyčerpateľné. Avšak automobilové společnosti neprojevovaly zájem o zařazení elektromobilů do své sériové výroby. Změna, která přiměla společnost znovu aktivně hovořit o elektromobilech, souvisí až s negativním dopadem spalovacích motorů na životní prostředí a se znečištěním výfukovými plyny [1], [2].

1.2 Vývoj elektromobility v ČR

Po Františku Křižíkovi se elektromobilitou zabýval vsetínský elektrotechnik a vynálezce Josef Sousedík, který si v roce 1927 požádal o patent na jeho elektrický automobil s hybridním pohonem. Jeho vozidlo využívající podvozek Tatra 57 mělo všechna kola opatřena nábojovými hnacími elektromotory, které Sousedík také vynalezl a nechal si patentovat. Elektromotory napájela akumulátorová baterie nebo dynamo. Ta měla za úkol nabíjet akumulátor a do provozu ho uváděl malý spalovací motor se vzduchovým chlazením. Při použití v městském prostředí využíval automobil svůj elektrický pohon, který bral energii z akumulátoru. Zajímavostí na tuto dobu byla rekuperace elektrické energie, využívaná při jízdě ze svahu nebo při brzdění. Dojezd na elektrický pohon dosahoval 60 kilometrů při rychlostech až 80 km/h. Sousedíkům sen bylo uvedení tohoto hybridního elektromobilu do sériové výroby, avšak kvůli nezájmu veřejnosti, se nikdy nenaplnil. Po úpadku elektromobility začátkem 20. století došlo k mírnému znovuoživení až v důsledku ropné krize v roce 1973. V této době na našem území probíhal projekt EMA pod záštitou výzkumného ústavu elektrických strojů v Brně. Jednalo se o prototyp městského osobního automobilu na elektrický pohon s dojezdem 30 kilometrů. Vývoj však byl státem zastaven a jediný exemplář je vystaven v brněnském muzeu [3], [4].



Obrázek 1.2 - Elektromobil EMA [41]

Od této doby se na našem území omezil rozvoj elektromobilů pouze na přestavbu benzínových a naftových motorů na elektrický pohon. Jednou z mála firem, které se touto změnou zabývají je moravská společnost EVC Group. Automobilka Škoda Auto plánuje od roku 2020

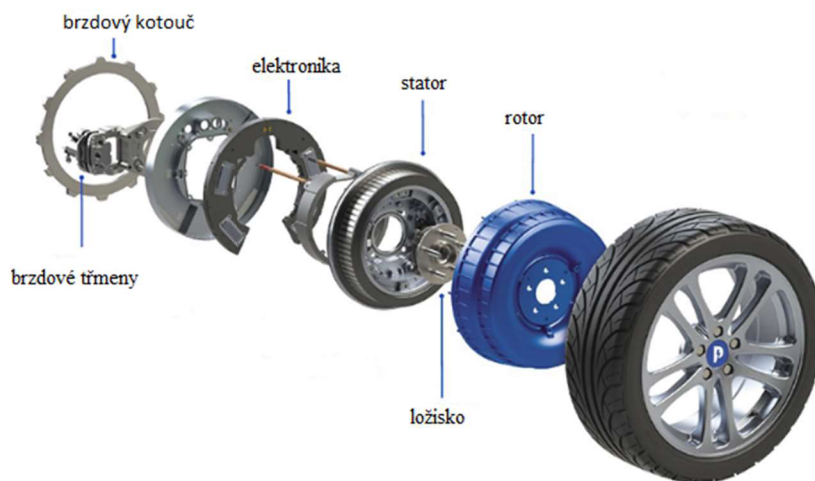
zahájit výrobu elektromobilů a do roku 2025 představit a uvést na trh dalších pět elektrických modelů, mezi kterými by se měly jako první objevit Cítigo a Superb [37].

2 Elektromobil

Z hlediska zaměření této bakalářské práce, je vhodné uvést si základní poznatky o fungování elektromobilu a jeho odlišnosti od běžného automobilu se spalovacími motory. Hlavní rozdíl spočívá v různém principu přeměny energie na mechanický pohyb. Pro spalovací motory jsou klíčovým prvkem termodynamické jevy, které vznikají při spalování paliva, zatímco elektromotory pro přeměnu na mechanický pohyb využívají elektromagnetické jevy při průchodu elektrického proudu magnetickým polem. Hlavní komponenty, které zajišťují funkci elektromobilu můžeme rozdělit do několika oblastí, v následujících kapitolách bude detailněji rozebrán především pohon a akumulace elektrické energie [5].

2.1 Elektromotor

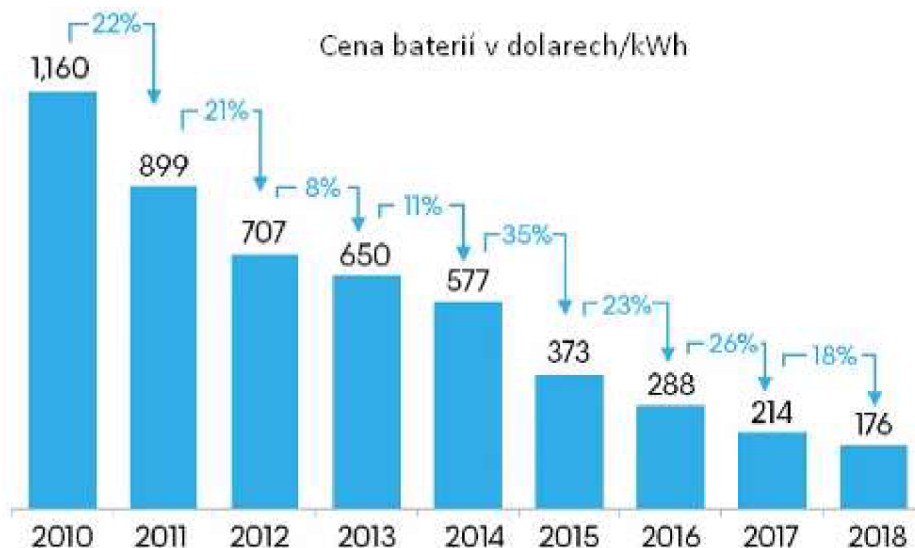
Jedná se o primární pohonnou jednotku elektromobilu. Oproti spalovacímu motoru není potřeba, aby elektromotor dosahoval příliš vysokého jmenovitého výkonu, neboť dokáže vytvořit vysoký krouticí moment již od nulových otáček. Další předností elektromotoru je jeho vysoká účinnost přesahující mnohdy 90 % a možnost rekuperace. Právě tento systém je v současné době otázkou zájmu společností vyrábějících automobily. Firma Audi při testování prototypu Audi e-tron dospěla k prodloužení dojezdu vozu o 30 % díky svému inovativnímu řešení rekuperace. To má za následek výrazné snížení energetické náročnosti vozu [6]. V současnosti jsou nejvíce využívány střídavé asynchronní a synchronní motory. Speciálním technickým řešením je umístění elektromotorů přímo v nábojích kol. Kola jsou samostatně elektricky poháněna a nevyžadují transmissi, dochází i k celkovému zjednodušení konstrukce a šetření prostoru v karoserii vozu. Avšak každý elektromotor váží zhruba 35 kilogramů a takovéto navýšení hmotnosti v místech kola ovlivňuje jízdní vlastnosti především na nerovných vozovkách, což lze brát za nevýhodu tohoto řešení [7].



Obrázek 2.1 - Uložení elektromotoru v kole [42]

2.2 Akumulace elektrické energie

Obdobně jako je u běžných vozů přítomna palivová nádrž, také elektromobily potřebují určitý zásobník energie. Tím je jedna z nejdůležitějších částí elektromobilu, akumulátor. Jedná se o zařízení, které je schopno v sobě opakovaně uchovat elektrickou energii. Nyní elektromobily využívají především akumulátory založené na elektrochemickém principu. Ten spočívá v přeměně dodávané elektrické energie při nabíjení na chemickou a při vybíjení, kdy elektromobil využíváme v provozu, se zpět mění akumulovaná chemická energie na elektrickou, která putuje do příslušného elektrického obvodu vozidla. V současných elektromobilech dostupných na trhu se uplatňují zejména lithium-iontové akumulátory, kterých je celá řada. Odlišují se od sebe v mnoha ohledech. Od chemického složení, přes parametry jako jsou kapacita, životnost nebo elektrický výkon, které jsou pro danou baterii klíčové. I přes to, že se do vývoje akumulátorů pro elektromobily vkládají nemalé finanční prostředky, omezená kapacita baterií je limitujícím prvkem, který brání elektromobilům v rychlejšímu rozvoji [8]. Další omezující faktor je cena baterií. Navzdory značnému poklesu za poslední desetiletí představuje nadále výraznou část celkové ceny elektromobilu. Podle průzkumu agentury Bloomberg, která zmapovala vývoj ceny lithium-iontových baterií v minulých osmi letech, došlo oproti roku 2010 ke snížení ceny až o 85 %, což je nezanedbatelný posun a pokud tato snižující se tendence bude přetrvávat, mohlo by již v blízké budoucnosti dojít k tomu, že výrobní cena elektromobilu bude srovnatelná s auty se spalovacími motory. Detailnější průběh ceny baterií v amerických dolarech vztažených na kWh v jednotlivých letech je zaznamenán v následujícím obrázku [9].



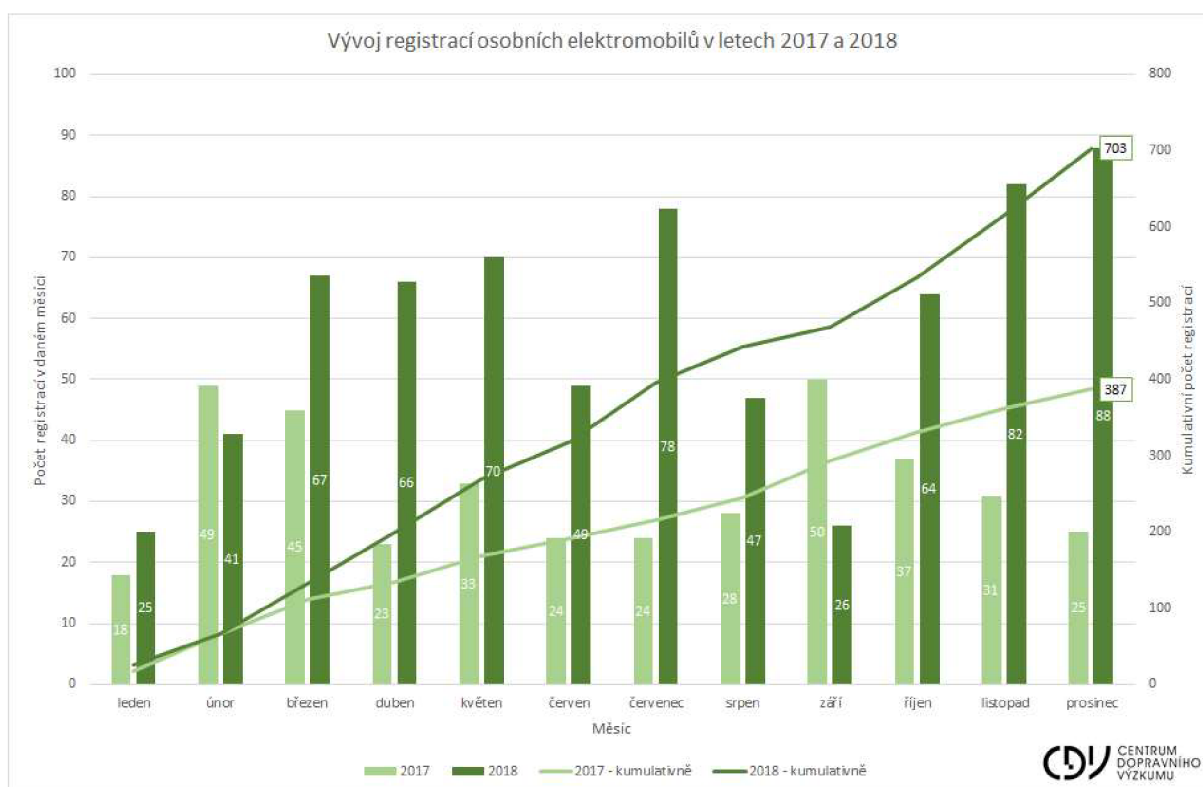
Obrázek 2.2 - Cena Li-Ion baterií podle agentury BloombergNEF [43]

V současné době se cena baterií pohybuje okolo 170 dolarů na kWh, což činí necelých 4000 Kč. Pokud bychom počítali s kapacitou baterie 33 kWh nejvíce se vyskytujícího elektromobilu na našem území, kterým je Volkswagen e-Golf, vyjde nám při nynějších podmínkách částka 132 tisíc korun. Což je rozhodně znatelná částka z milionu korun, za který se elektrický golf v základní sériové výrobě prodává. Do budoucna se ale počítá s dalším sni-

žením ceny baterií a s rozvojem jejich kapacity, a proto lze předpokládat, že baterie nebudou tolik brány jako omezující prvek elektromobilu.

3 Současný stav elektromobility v ČR

Elektromobilitu řadíme mezi odvětví dopravy, které se během posledních let dynamicky rozvíjí, avšak v České republice jsme v této oblasti zatím oproti zemím, jako je Francie, Německo, Norsko nebo Velká Británie, nováčkem. Přestože nárůst o 82 procent v počtu elektromobilů v roce 2018 značí zvyšující se zájem ze strany uživatelů, stále se jedná pouze o zlomek ze všech registrovaných automobilů. V minulém roce přibylo 703 vozů čistě na elektrický pohon a dalších 278 plug-in hybridů. Vývoj registrací v jednotlivých měsících je zaznamenán v následujícím grafu.



Obrázek 3.1 - Vývoj registrací elektromobilů [44]

Nejvíce registrací mají na svědomí automobilky Volkswagen a především jejich elektrický Volkswagen GOLF s dominantním podílem 27 %, dále Nissan, Tesla nebo BMW [9].

O zlepšení situace u nás se snaží stát a energetické společnosti, které značnou mírou podporují tento směr prostřednictvím výstavby sítě dobíjecích stanic. Podrobněji jsem problematiku dobíjecích stanic popsal v následující kapitole. Stát, který se musí řídit normami a legislativou Evropské unie, podporu elektromobility uskutečňuje pomocí dotačních programů například

ke koupi nového elektromobilu nebo vydáváním nových nařízení zvýhodňující majitele těchto vozů. Tato strategie je součástí vybudovaných a uznávaných akčních plánů, které počítají s elektromobilitou v budoucnosti jako s běžnou a potřebnou alternativou dopravy.

3.1 Dobíjecí sítě

Dobíjecí infrastruktura je jedním z nejdůležitějších podmínek pro provoz elektromobilů. V současné době v ČR nalezneme téměř 400 veřejných nabíjecích míst. Tento počet se každoročně zvyšuje o několik desítek. Elektromobil může být dobíjen několika způsoby, především v závislosti na typu dobíjecí stanice. Nejčastější rozdělení je podle typu proudu a to na střídavý (AC) a jednosměrný (DC). Nabíječky využívající střídavý proud, který je dostupný v běžných zásuvkách, se uplatňují kvůli pomalé rychlosti nabíjení v důsledku transformace na DC pouze pro nouzový režim nebo pro nabíjení přes noc. Tento typ je označován jako nabíjení druhého stupně. Při napětí 500 V a použití stejnosměrného proudu hovoříme o nabíjení čtvrtého stupně. Standardním dobíjením na veřejnosti (výkon do 22kW) se elektromobil plně dobije do dvou hodin. Pomocí rychlého/ultrarychlého dobíjení (výkon až 100kW) lze dobít 80 % kapacity akumulátoru do 30 minut [10]. Jednotlivé modely dobíjení by měli souviset s lokalitou, ve které se daná nabíječka nachází (viz tabulka 3.1).

Tabulka 3.1 - Modely dobíjení elektromobilů [17]


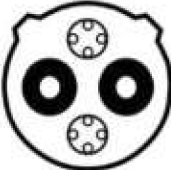




Typová lokalita	Hlavní tahy, klíčové městské lokality	Nákupní centra, parkoviště	P+R, dlouhodobá parkování
Účel	Dobíjení		Parkování
Adekvátní čas dobíjení	<30 min	<2 hodiny	<8 hodin
Dobíjecí stanice (výkon)	22-100 kW	10-22 kW	< 10 kW
Přípojka	Distribuční síť / spotřeb. síť	LDS / spotřeb. síť	LDS / spotřeb. síť
Kapacita přípojky	250A/ 400V	64A/400V	64A /400V

Rychlodobíjecí stanice (DC)
Normální dobíjecí stanice (AC i DC)

Mezi další typ nabíjení, které představuje ekonomicky nejvýhodnější řešení, řadíme domácí nabíjení. Nejjednodušší způsob nabíjení je za použití standardní 230 V zásuvky, která dokáže dobít každý moderní elektromobil. V interiéru elektromobilů totiž nalezneme jejich vlastní nabíječky, které jsou schopny střídavý proud ze zásuvky transformovat na jednosměrný. Pomocí tohoto postupu se však zvýší dojezd po hodině nabíjení v průměru pouze o 15 km, proto je vhodné použít, pokud to domácnost umožňuje, vícefázové 16 A zásuvky. Pomocí nichž lze zvýšit dojezd vozu za stejný čas rovnou o 55 km. Moderní variantou je použití nástěnné nabíječky tzv. wallboxu. Toto zařízení s výkonem většinou do 22 kW umožní nabití elektromobilu až desetkrát rychleji jak běžná zásuvka. Zároveň vyžaduje 32 A jištění. Cena těchto nabíječek se pohybuje od 10 do 60 tisíc korun [11].

3.2 Nabíjecí konektory

Způsoby, jak propojit elektromobil s nabíjecí infrastrukturou, jsou řízeny jednotlivými evropskými standarty. I přes snahu výrobců elektromobilů domluvit se na konkrétním typu nabíjení, pořád v praxi užíváme více typů konektorů.

Střídavý proud AC	Stejnoseměrný proud DC	Kombinovaný (CSS)
Typ 1 Yazaki (Japonsko/USA) 	CHAdeMO (Japonsko/USA) 	Typ 1 CSS (Japonsko/USA) 
Typ 2 Mennekes (Evropa) 	Tesla Supercharger (Japonsko/USA) 	Typ 2 CSS (Evropa) 

Obrázek 3.2 - Typy konektorů [45]

IEC 62196 Typ 2

Jedná se o nejpoužívanější konektor pro nabíjení střídavým proudem u nás. V lednu 2013 byl Evropskou komisí označen jako oficiální typ v rámci Evropské unie. Tento konektor pochází z Německa od firmy Mennekes, jak se také konektor běžně nazývá. Tvarově připomíná kruh se zploštělou horní hranou, obsahuje sedm připojovacích kolíků, kdy tři z nich slouží k nabíjení. Původně byl určen pro nabíjení v rozsahu 3 – 50 kW.

Combined Charging System (CSS)

Tento systém dobíjení zahrnuje konektory Combo 1 a Combo 2, které umožňují dobíjení pomocí jednofázového a třífázového střídavého proudu, ale také stejnosměrným proudem. To má za následek vysoce výkonné dobíjení při dosažení výkonu 80 – 350 kW. V Evropské

unii musí mít podle směrnice 2014/94/EU všechny nabíjecí stanice kompatibilitu s konektorem Combo 2.

CHAdEMO

K dalšímu typu konektoru používaným v Evropě patří CHAdEMO, což je zkratka pro „CHArge de MOve“ – pohyb pomocí nabíjení. Jedná se o rychlé nabíjení stejnosměrným proudem. Tento model je rozšířen nejvíce především v Japonsku, ale svoje značné zastoupení má i ve Velké Británii a Německu [12],[13].

Tesla Supercharger

Speciálně pro automobily značky Tesla slouží 480 voltové stejnosměrné vysokorychlostní nabíjení. Tato síť dobíjecích stanic k lednu 2019 čítala přes 12 000 zařízení po celém světě. V České republice byl v roce 2017 postaven třetí a doposud poslední Supercharger a to u Olomouce [14],[15].



Obrázek 3.3 - Tesla Supercharger [46]

3.3 Podpora nabíjení

V České republice o rozvoj a podporu dobíjení a dobíjecí infrastruktury nejvíce usilují především energetické firmy Skupina ČEZ, E.ON a PRE. Skupina ČEZ se touto tematikou zabírá od roku 2009. Hlavní vizí této společnosti je vybudování rozsáhlé funkční sítě dobíjecích stanic. V současné době si drží, s více než stovkou dobíjecích stanic, prvenství v ČR. Výše uvedené firmy také nabízejí výhodné dvoutarifové sazby C27d a D27d pro majitele nebo nájemce elektromobilů. Nízký tarif platící v čase od 18:00 do 8:00 umožňuje domácnostem nebo podnikatelům čerpat levnou noční elektřinu po dobu 8 hodin [16].

Další společností, která se hodlá zúčastnit výstavby dobíjecích stanic, je Škoda Auto. Do roku 2025 plánuje uvést až 7 tisíc dobíjecích bodů za náklady ve výši 32 milionu eur. Umístěny by měly být v okolí Mladé Boleslavi, Kvasinách a Vrchlabí a cíleny budou především pro zaměstnance automobilky [38].

3.4 Státní podpora

Nejen distribuční a energetické společnosti se účastní podpory elektromobility, tento postoj zaujímá i samotný stát. Za situace, kdy se rozvoj a využití alternativních paliv v dopravě stává jak v evropském, tak i celosvětovém kontextu stále důležitějším tématem a vlády jednotlivých vyspělých zemí aktivně podporují tento trh, musí se pochopitelně i ČR ubírat podobným směrem vzhledem k důležitosti automobilového průmyslu na našem území. Avšak podpora elektromobility v České republice nemá dlouhého trvání a její začátek se oficiálně datuje až k roku 2015, kdy byl přijat Národní akční plán čisté mobility. Tento a veškeré další strategické dokumenty řešící otázku rozvoje elektromobility na našem území vycházejí z požadavků Evropské unie.

3.5 Národní akční plán čisté mobility

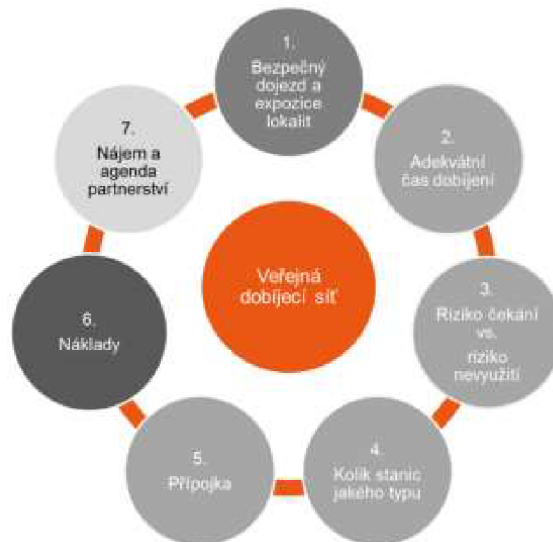
Dokument, který byl dne 20. listopadu 2015 schválen vládou, připravilo Ministerstvo průmyslu a obchodu ve spolupráci s ostatními institucemi, tuzemskými výrobci vozidel a energetickými společnostmi. Jeho globálním cílem je vybudovat dostačující podmínky pro větší uplatnění alternativních paliv a pohonů v sektoru dopravy a také dosažení podobných podmínek s vyspělými státy Evropské unie. Elektromobilita by měla být v budoucnosti uznávána jako běžná technologie a její rozvoj podporován v dlouhodobém horizontu. Mezi důležité faktory podporující rozvoj podle NAP CM patří:

- a) **Regulace emisí CO₂** – je předmětem mezinárodních dohod jako např. Kjótského protokolu. Především ze strany EU představuje hlavní způsob jak snížit nežádoucí projevy změny klimatu.

- b) Tlak na zlepšování kvality ovzduší** – souvisí primárně s problematikou měst a městských aglomerací. Elektromobilita díky bezemisnímu provozu dokazuje, že je vhodným nástrojem k řešení emisní situace.
- c) Přístup zákazníků** – zvyšující se poptávka o produkty méně zatěžující životní prostředí.
- d) Připravenost dodavatelů** – technologický pokrok v oblasti dojezdové vzdálenosti, rychlodobíjení a rozšiřující se nabídka elektromobilů.

3.5.1 Strategické cíle NAP CM

Vize, jejímž obsahem je rozvoj elektromobility a dosažení až 250 000 vozidel na elektrický pohon v roce 2030, s sebou nese další řadu strategických cílů, které je potřeba naplnit. Prvním z nich je usnadnění výstavby dobíjecí infrastruktury a s tím spojená opatření. Jedná se o investiční podporu v budování veřejné i neveřejné dobíjecí infrastruktury.



Obrázek 3.4 - Klíčové faktory výstavby dobíjecích stanic [17]

Druhý cíl pojednává o stimulaci poptávky po elektromobilech. Souvisí se zvýšením zájmu o vozidla na elektrický pohon. To je dosaženo řadou podpor ze strany státu na pořízení vozidla ať už pro subjekty státní správy a samosprávy, ale také pro podnikatele. Mezi další cíl patří vytváření vhodných podmínek pro lepší vnímání elektromobility. Řada možných zákazníků trpí různými obavami z pořízení elektromobilu např. kvůli výdrži baterií nebo poruchovosti. Mezi možnosti jak zatraktivnit využití elektromobilu můžeme zařadit řadu zvýhodnění v běžném provozu. Parkování na veřejných parkovištích a jinak vyhrazených místech (modré zóny) zdarma nebo využití speciálních pruhů pro veřejnou dopravu a taxi [17].

3.5.2 Harmonogram a plán realizace NAP CM

Harmonogram obsahuje soupis primárních cílů a očekávání v oblasti čisté mobility a je rozdělen do několika období. Z hlediska elektromobility pro období do roku 2020 je vytyčeno několik základních poznatků. Běžný dojezd elektromobilu se bude pohybovat okolo 150-200 km na jedno dobítí. Dobíjecí infrastrukturu nalezneme ve městech s více jak 100 000 obyvateli, krajských městech a dálničních trasách. Převažující bude rychlé dobíjení na veřejných stanicích. V provozu se budou vyskytovat převážně plug-in hybridy, čistě elektrická vozidla budou využívána v MHD. Ke konci tohoto období by měl roční prodej dosáhnout přibližně 7000 kusů vozidel na elektrický pohon. V nadcházejícím období a to v letech 2021 – 2030 můžeme očekávat jak rozvoj dobíjecí infrastruktury i do menších měst, tak značný nárůst prodeje elektromobilů až na 25 000 kusů ročně. Po roce 2030 by měla být elektromobilita brána jako standartní technologie a její dobíjecí síť stejně rozšířena jako běžné čerpací stanice na ropné produkty [17].

3.6 Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost

Tento projekt realizovalo v břenu roku 2016 Ministerstvo průmyslu a obchodu, jehož součástí je program Nízkouhlíkové technologie – Elektromobilita, akumulace energie a druhotné suroviny, který má tyto cíle: *„Cílem programu podpory a Výzvy je podpořit konkurenceschopnost podniků a udržitelnost české ekonomiky prostřednictvím zaváděním inovativních technologií v oblasti elektromobility, nakládání s energií a využití druhotných surovin. Zvýšení využití efektivnějších a spolehlivějších nízkouhlíkových technologií, které se zatím v ČR běžně neuplatňují. Výstupem projektů realizovaných v rámci této Výzvy bude rozšiřování nabíjecí infrastruktury, počet pořízených elektromobilů, využití potenciálu pro zavádění moderních nízkouhlíkových technologií v oblasti nakládání energií a zvýšení soběstačnosti ČR v surovinových zdrojích substitucí primárních zdrojů druhotnými surovinami, čímž se zvyšuje vedle konkurenceschopnosti rovněž i celkový inovační potenciál ČR.“*

V současné době je z oblasti elektromobility otevřena Výzva IV programu Nízkouhlíkové technologie, která byla vyhlášena 30. 11. 2018 a žádosti o její čerpání jsou přijímány do 31.5 2019. Výše příspěvků na investici tuzemských podniků dosáhne do roku 2020 téměř 1 miliardy korun. Dotační příspěvky jsou určeny pro všechny podnikatelské subjekty a pro podniky vlastněné ze 100 % veřejným sektorem. Velikost dotace závisí na velikosti podniku a pohybuje se od 50 tisíc až do 100 milionů. Příspěvek se vztahuje především na pořízení elektromobilů a neveřejných rychlonabíjecích stanic s možností doplnění o baterii pro elektromobily [18].

3.7 Memorandum o budoucnosti automobilového průmyslu v ČR a Akční plán o budoucnosti průmyslu v ČR

Memorandum podepsal dne 11. října 2017 ministr průmyslu a obchodu Jiří Havlíček a prezident Sdružení automobilového průmyslu Bohdan Wojnar. „Vláda deklarovala zájem posilovat konkurenceschopnost českého automobilového průmyslu v globální hospodářské soutěži a podporovat jeho postavení jako jednoho ze stěžejních pilířů české ekonomiky.“ (konec citace)

Mezi východiska, které vedly k tomuto rozhodnutí patří především velký vliv automobilového průmyslu v ČR, kdy tvoří 9 % HDP a zaměstnává přibližně 150 000 lidí přímo, nepřímo téměř 400 000 a obstarává 25 % exportu České republiky. Dále je podle vlády nutné navazovat na rozvíjející se trendy, jako jsou rozvoj alternativních pohonů (především elektromobility), digitalizace a autonomního řízení. Toto jsou zároveň i hlavní cíle Akčního plánu pro budoucnost automobilového průmyslu v ČR, který podle nich můžeme rozdělit do třech oblastí. Z hlediska a povahy bakalářské práce mě bude zajímat především první část popisující elektromobilitu. Ta je rozdělena na několik oddílů, mezi které patří:

a) Analýza možnosti podpory nákupu a provozu elektromobilů

Cílem je zvýšení podílu nízko/bezemisních vozidel ve vozovém parku. Z důvodu značně vyšší ceny elektromobilu oproti vozu s konvenčním pohonem se uvažují po vzoru států jako Francie či Německo o přímé podpoře pro nákup. Ve Francii je zavedený například příspěvek až 6300 EUR na pořízení vozu s emisemi nepřekračujícími 20 g CO₂.

b) Zrychlené odpisy na elektromobily

Ve spolupráci s Ministerstvem financí se navrhuje varianta na snížení nákladů vlastnictví pro firemní zákazníky. Ve Velké Británii se využívají mimořádné odpisy a to až 100 % hodnoty v prvním roce pro vozidla s určitou hodnotou emisního zatížení.

c) Využití operativního leasingu při podpoře nákupu elektromobilů

Kombinace přímé podpory pro nákup a operativního leasingu, která může zapříčinit zvýšený zájem o elektromobily jak ze stran státní správy, tak fyzických osob.

d) Označení elektromobilu pro zvýhodnění v městském provozu

Využívání pruhů pro hromadnou dopravu a taxislužbu, neomezený vstup do nízkoemisních zón a možnost parkování na speciálně vyhrazených místech. Pro snadnou identifikaci by měli mít vozidla využívající alternativní pohon vyhrazenou registrační značku.

e) Osvobození elektrického vozidla od správného poplatku za registraci

f) Přizpůsobení elektrotechnické kvalifikace pro výrobu a servis elektrických vozidel

Poskytnutí vyhovujícího množství absolventů škol a pracovních sil s potřebnou kvalifikací v souvislosti s bezemisními automobily. Elektrotechnická kvalifikace po vzoru německé. Zmiňovaná kvalifikace bude umožňovat provozování činností při vývoji, výrobě a opravách bez podmínky kompletního vzdělání z elektrotechnické oblasti [19].

3.8 Podpora ze strany měst

Městská podpora elektromobility se odvíjí v závislosti na strategických plánech udržitelné městské mobility (SUMP). Tyto plány si každé město se zhruba 40 000 tisíci obyvateli a více vypracovává samostatně a jsou jakýmsi nástrojem, podle kterého se dané oblasti řídí. Cílem těchto plánů je nejen zlepšit celkovou mobilitu a zvýšit její dostupnost, snižovat objem individuální motorové dopravy, využívat a rozvíjet více městskou hromadnou dopravu, ale také především snížit její dopady na životní prostředí. S tímto problémem souvisí využití ekologičtějšího dopravního systému za pomoci čistých vozidel a alternativních energií. To otevírá dveře elektromobilitě, která může být v této problematice řešením [20].

Naše dvě největší města Praha a Brno jsou obě součástí tzv. Smart City. Jedná se o koncept, který využívá různé technologie pro zlepšení kvality života v konkrétních městech. Jeho součástí je oblast chytré dopravy tzv. smart mobility. Praha podporuje elektromobilitu ať už prostřednictvím bezplatných parkovacích míst v jinak placených modrých a fialových zónách nebo postupnou elektrifikací městské hromadné dopravy. V hlavním městě je také největší počet dobíjecích stanic. Ostatní česká města, ačkoliv se mnohdy řídí akčními plány obsahující rozvoj elektromobility, v současné době neposkytují jiná zvýhodnění a další kroky v podpoře elektromobility jsou tak otázkou do budoucna [21],[22].

4 Vliv nárůstu elektromobility

V minulé kapitole jsem se zabýval současným stavem elektromobility a upřesnil jsem její předpokládaný vývoj. Došel jsem k jasnému závěru, který očekává značný nárůst elektromobility v budoucnosti. Díky této skutečnosti je nutné vyvodit možné důsledky na další odvětví, která s ní úzce souvisí. Zejména se jedná o energetiku a ekologii.

4.1 Vliv nárůstu elektromobility na energetický průmysl

Pro stanovení možného dopadu elektromobility na energetický průmysl, především na výrobu elektřiny a elektrizační soustavu je nutné nejprve vyčíslit průměrnou spotřebu elektromobilu a dále s ní pracovat.

4.1.1 Spotřeba energie elektromobilu

Průměrnou spotřebu energie elektromobilu ovlivňuje řada faktorů v závislosti na typu vozu, použité baterii nebo typu dobíjení, při kterém se paradoxně projevují největší ztráty energie. Při dobíjení je uváděna účinnost zhruba 80 %, která vychází z různých testovaných měření [23].

Stanovení potřebné energie pro nabití 1 kWh určím ze vztahu:

$$P_S = P_D \cdot \frac{100}{\eta} = 1 \cdot \frac{100}{80} \cong 1,25 \text{ kWh}, \quad (1)$$

kde η je průměrná účinnost při dobíjení [%]

P_S je energie odebraná z elektrizační soustavy [kWh]

a P_D je energie nabitá při procesu nabíjení do baterie elektromobilu [kWh].

Je tedy zřejmé, že pro nabití 1 kWh je zapotřebí vyrobit při započítání ztrát pouze při samotném nabíjení o 0,25 kWh více. Pokud bych bral v potaz i samotné ztráty energie v elektrárnách a ztráty v přenosové a distribuční soustavě toto číslo by ještě narostlo. Dále budu uvažovat tedy vypočítaný koeficient $k_s = 1,25$.

Pro určení spotřeby energie při nájezdu 100 kilometrů vycházím z následující tabulky, která zobrazuje průměrnou spotřebu několika modelů elektromobilů běžně se vyskytujících v ČR.

Tabulka 4.1 - Test spotřeby elektromobilů ADAC [47]

Model	Výrobce uváděná spotřeba [kWh/100 km]	Naměřená spotřeba v ADAC Ecotestu [kWh/100 km]
Hyundai Ioniq Electric Style	11,5	14,7
VW e-Golf	12,7	17,3
BMW i3 94 Ah	12,6	17,4
Smart Fortwo Coupé EQ Prime	12,9	18,3
Opel Ampera-e First Edition	14,5	19,7
Renault Zoe Intens	13,3	20,3
Nissan Leaf Acenta (ZE0)	15	20,5
Nissan Leaf Acenta (ZE1)	15,2	22,1
Tesla Model S P90D	20	24
Tesla Model X 100D	20,8	24
Nissan e-NV200 Evalia	25,9	28,1

Zjištěná průměrná spotřeba vybraných vozidel podle německého automobilového klubu ADAC na základě této tabulky činí 20,582 kWh na 100 kilometrů. K této hodnotě započítáním výše zmíněného koeficientu, který uvádí spotřebu elektřiny pro nabití 1 kWh, se dosáhne celkové spotřeby elektřiny na 100 kilometrů:

$$P_{CS} = P_{ADAC} \cdot k_S = 20,582 \cdot 1,25 = 25,73 \text{ kWh/100 km}, \quad (2)$$

Kde P_{CS} je celková potřebná energie pro 100 km jízdy elektromobilu [kWh/100 km],

P_{ADAC} je průměrná spotřeba energie elektromobilu na 100 km podle ADAC [kWh],

a k_S je koeficient vyjadřující potřebnou energii pro nabití 1 kWh.

Vyčíslení spotřeby energie na 100 kilometrů umožňuje vypočítat roční spotřebu elektromobilu. Mnohé zdroje uvádí roční nájezd českých řidičů mezi 10-20 tisíci kilometry [24]. V průměru se tedy jedná o 15 tisíc kilometrů za rok pro osobní automobil. S touto hodnotou se bude vstupovat do dalšího výpočtu.

$$P_{EVrok} = \frac{P_{CS} \cdot 15000}{100} = \frac{25,73 \cdot 15000}{100} \cong 3859 \text{ kWh} = 3,859 \text{ MWh}, \quad (3)$$

kde P_{EVrok} je roční spotřeba energie elektromobilu [MWh].

Výše uvedené výpočty slouží k hrubému odhadu spotřeby energie pro elektromobily. V současné době nejsou k dispozici oficiální údaje k této problematice, a proto se mohou hodnoty více či méně odlišovat od skutečnosti. Z hlediska analýzy vlivu elektromobility na elektrizační soustavu byla brána v potaz průměrná spotřeba podle ecotestu společnosti ADAC, která u všech zmíněných typů elektromobilů byla vyšší než spotřeba udávaná výrobci.

4.1.2 Vliv spotřeby energie při vývoji elektromobility na elektrizační soustavu

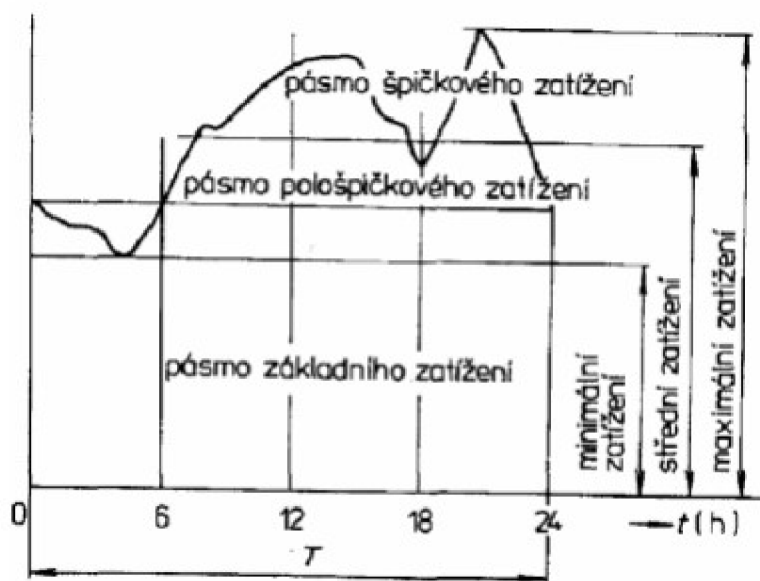
Při současném nízkém počtu elektromobilů bude jejich vliv na elektrizační soustavu pravděpodobně zanedbatelný. Pokud se bude uvažovat odhadovaný počet čistých elektromobilů v roce 2019 jako 3500, tak výsledná roční spotřeba energie bude:

$$P_{EV2019} = P_{EVrok} \cdot 3500 = 3,859 \cdot 3500 \cong 13506,5 \text{ MWh} \cong 13,507 \text{ GWh}, \quad (4)$$

kde P_{EV2019} je energie spotřebovaná za rok při současném počtu elektromobilů [GWh].

Ze zprávy Energetického regulačního úřadu vyplývá, že v roce 2018 bylo vyrobeno 81 896,4 GWh elektřiny [25]. Na spotřebu elektromobilů připadají necelé dvě desetiny procenta z celkové vyrobené sumy, což je zanedbatelné množství. Z tohoto hlediska je v současné době a blízké budoucnosti, nejméně do roku 2025, dopad na elektrizační soustavu nepatrný. Za předpokladu, že zákazníci budou využívat k dobíjení především domácí síť a čerpat tak z výhod, které nabízejí noční tarify, nelze očekávat výrazné změny v zatížení dis-

tribuční soustavy. To by naopak mohlo prospět k tomu, že pomocí inteligentního nabíjení by bylo možné vhodně pokrýt diagram zatížení a snížit špičkové pásmo a ustálit základní zatížení.



Obrázek 4.1 - Diagram zatížení [48]

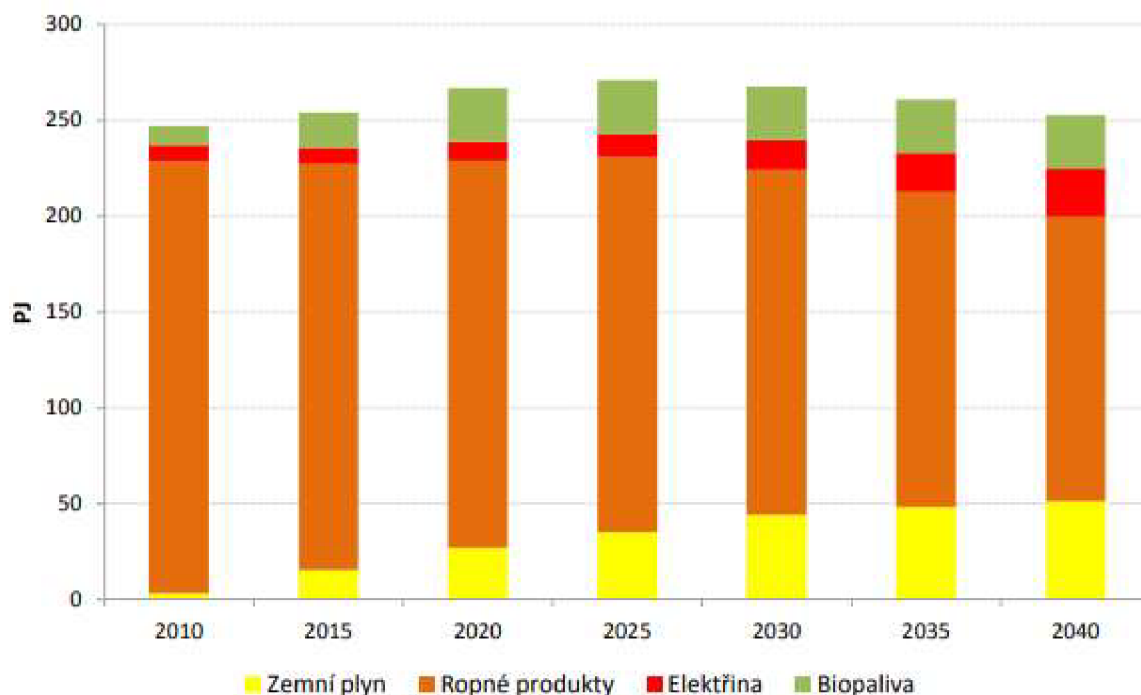
Další otázka nastává, pokud se hovoří o dlouhodobém horizontu rozvoje elektromobility. V současnosti nelze přesně určit, jakým směrem se bude toto odvětví v budoucnosti vyvíjet, avšak podle dosavadních znalostí lze soudit, že se alternativním palivům bude stále více dostávat pozornosti. Pokud budu vycházet z prognóz a cílů NAP CM, které se zaměřují na počet 250 tisíc elektromobilů kolem roku 2035, dostane se suma, která by již mohla ovlivnit některá odvětví energetického průmyslu. Roční spotřebu energie pro provoz takového počtu elektromobilů lze vypočítat pomocí následujícího vzorce:

$$P_{EV2035} = P_{EVrok} \cdot 250\,000 = 3,859 \cdot 250\,000 \cong 964772 \text{ MWh} \cong 964,8 \text{ GWh} \quad (5)$$

Vzhledem k aktuální roční výrobě elektrické energie se již jedná téměř o 1,8% podíl. Na tento nárůst spotřeby se bude muset reagovat různými opatřeními, jako jsou modernizace a posilování distribuční soustavy. Nárůst odběru elektrické energie v oblasti dopravy se do budoucna bere na vědomí, což také znázorňuje následující tabulka a graf Státní energetické koncepce:

Tabulka 4.2 - Vývoj a struktura konečné spotřeby energie v dopravě [49]

Spotřeba energie v dopravě		2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Zemní plyn	PJ	3,1	15,3	26,8	35,1	44,1	48,1	51,1
Ropné produkty	PJ	225,6	212,0	202,2	195,9	180,0	164,4	148,8
Elektřina	PJ	8,5	8,6	9,7	12,1	15,6	20,4	24,9
Biopaliva	PJ	9,8	18,3	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1
Celkem	PJ	246,9	254,2	266,9	271,1	267,8	261,0	252,9



Obrázek 4.2 - Vývoj a struktura konečné spotřeby energie v dopravě [49]

Z těchto údajů je patrné, že se elektromobilita bude stále více podílet na spotřebě energie, ale ne do takové míry, aby se o ní mohlo hovořit jako o problému, na který se bude muset budoucí distribuční síť důkladně připravovat. Nárůst výkonu s ní spojený nebude dostatečný k tomu, aby vyžadoval rozsáhlé úpravy sítě. Jedny z možných změn, které se nárůstu elektromobility týkají, jsou spíše lokálního charakteru a souvisí s dobíjecími body. U dobíjecích stanic o velkých výkonech by mohlo dojít k poklesům fázových napětí v síti. Tento nežádoucí jev se nejspíše bude řešit modernizací a posílením transformátorů připojených do distribuční soustavy. Další problém související s dobíjením je spojován se sídlištními oblastmi a centry měst, kde mají zákazníci omezené možnosti dobíjení. Do budoucna se uvažuje o rozšíření nabíjecích míst napojením přímo na veřejné osvětlení, které by mohly tento problém z části eliminovat. Oproti tomu elektroinstalace v rodinných domech není v mnohých případech dimenzována na to, aby byla schopna zajistit běžný provoz domácnosti a zároveň nabíjet elektromobil výkonnější stanicí. Nabíječky o větších výkonech by vyžadovaly úpravu rozvodů a jištění [27],[28].

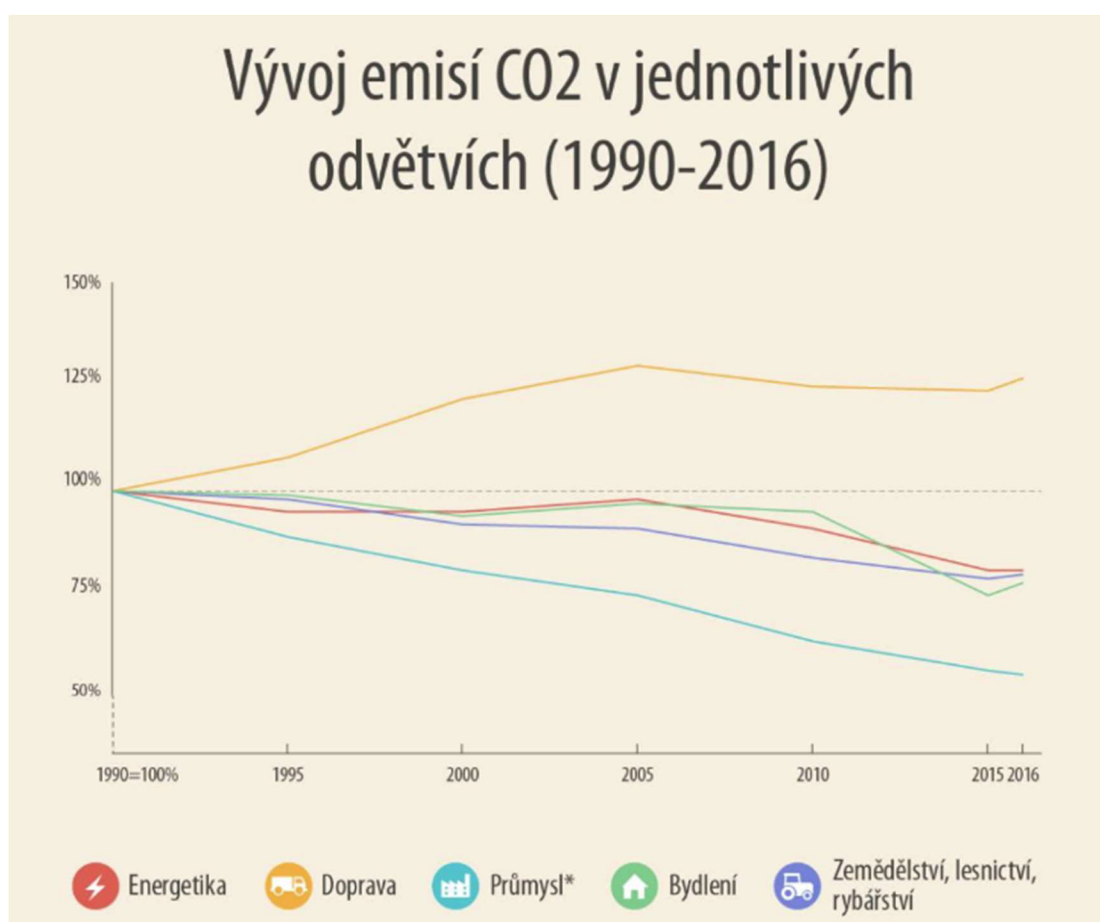
4.2 Vliv nárůstu elektromobility na ekologii

O elektromobilech se hovoří, jako o vozidlu, které při svém provozu neprodukuje žádné škodlivé emise. Toto je klíčový faktor, proč se právě v elektromobilitě hledá řešení, jak postupně snížit znečištění ovzduší a podíl nežádoucích emisních plynů, zejména pak oxidu uhličitého.

Samotný provoz lze označit za ekologický, avšak vlastní výrobu elektromobilu a jeho součástí a způsob jakým se vyrábí elektrická energie nikoli. Právě od energetického mixu se především odvíjí to, jak elektromobilita více či méně pomůže zlepšit celkovou ekologickou a emisní situaci.

4.2.1 Emise CO₂

Oxid uhličitý se nejvýrazněji podílí na emisích, které souvisí s dopravou. Největším znečišťovatelem z dopravy jsou osobní vozy, které tvoří 60,7 %. Celková produkce oxidu uhličitého od roku 1990 klesá, avšak toto neplatí u dopravy, u které emise stále narůstají, jak je znázorněno v následujícím grafu.



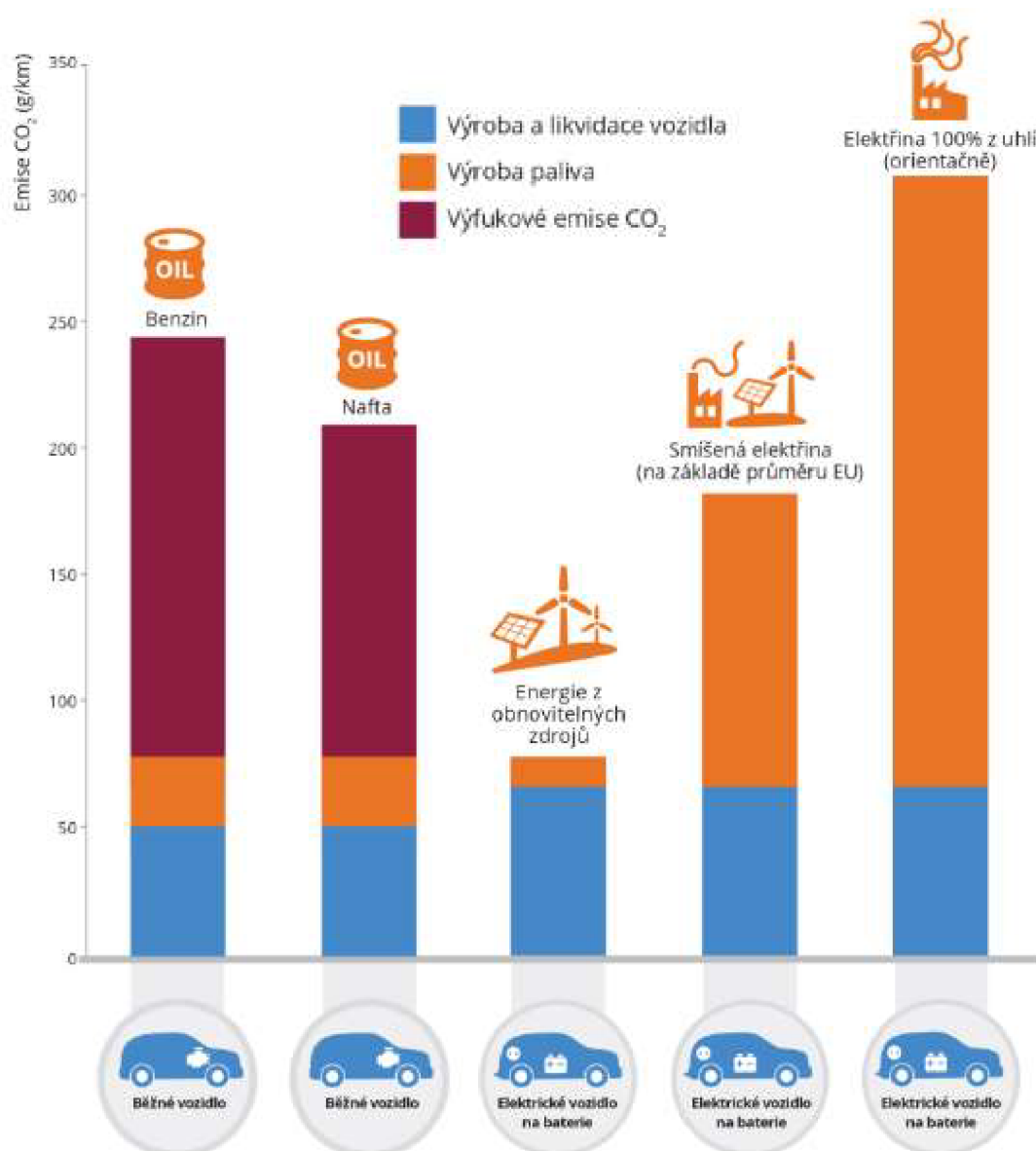
Obrázek 4.3 - Vývoj emisí v jednotlivých odvětvích [50]

Roční produkce se pohybuje kolem 18 milionů tun tohoto plynu, což odpovídá 17 % veškerých emisí v ČR. Evropský parlament usiluje o snížení emisních norem pro oxid uhličitý u nových aut až o 40 % do roku 2030.

Běžné vozidla se spalovacími motory při svém provozu vypouštějí do atmosféry průměrně 161 g/km oxidu uhličitého (CO₂). V České republice se tato hodnota pohybovala v roce 2017

kolem 127,7 gramů na kilometr. Podle nařízení Evropské unie musí automobil vyrobený od roku 2021 produkovat pouze 95 gramů emisí oxidu uhličitého na jeden kilometr, jinak bude příslušná automobilka nucena uhradit odpovídající pokutu. Tuto normu prozatím splňují pouze Volvo a Toyota a to především kvůli plug-in hybridům, které tvoří značný podíl jejich nabídky na trhu. U výrobců automobilů by měly do roku 2030 tvořit jejich nabídku z alespoň 35 % elektrické a hybridní vozy. Elektromobilita je tedy jedním ze způsobů, jak stále se zvyšující emise snížit.

Aby mohl být u elektromobilu vypočítán jeho dopad na životní prostředí, je nutné zohlednit energetický mix, který je charakteristický pro daný stát. Také emise vytvořené při výrobě a likvidaci vozidla jsou u elektromobilu vyšší než u aut se spalovacími motory (viz obr. 4.4).



Obrázek 4.4 - Škála emisí CO₂ v životním cyklu různých druhů vozidel a paliv [51]

Z obrázku je také patrné, že hodnotu celkových emisí u elektromobilů výrazně ovlivňují zdroje elektrické energie. Pokud by byla energie vyráběna pouze v uhelných elektrárnách, tak emise spojené s výrobou paliva značně převyšují i spalovací motory a v takovémto případě

by elektromobilita postrádala smysl. Oproti tomu energie získaná převážně z obnovitelných zdrojů se bere jako ta nejvíce ekologická cesta, kterou by se státy nejen v Evropě měly vydat. Především asijské státy jako je Indie, Čína nebo Indonésie se s tímto problémem potýkají, neboť jejich značná část vyrobené energie pochází z uhelných elektráren, a proto emise oxidu uhličitého v těchto zemích dosahují nejvyšších hodnot. Naopak Francie využívající především jaderné zdroje nebo Švédsko, ve kterém se elektřina vyrábí hlavně pomocí obnovitelných zdrojů, mají svoji produkci emisí z elektromobilů na dobré úrovni. Podrobnější popis emisní zátěže u jednotlivých států zaznamenám v tabulce 4.3 [29],[30].

Tabulka 4.3 - Průměrné emise elektromobilů v jednotlivých státech [52]

Země	Celkové emise CO₂ [g/km]
Indie	370
Jižní Afrika	318
Austrálie	292
Indonésie	270
Čína	258
USA	202
Velká Británie	189
Německo	179
Francie	93
Švédsko	81
Island	70

Pro výpočet emisí CO₂ v České republice je nejprve nutné zohlednit energetický mix této země (tabulka 4.4).

Tabulka 4.4 - Energetický mix ČR (2017) [53]

<i>Zdroj energie</i>	<i>Podíl na výrobě elektřiny [%]</i>
Obnovitelné zdroje	7,60
Sluneční	2,14
Větrné	0,45

Vodní	1,43
Biomasa	3,58
Fosilní zdroje	57,39
Hnědé uhlí	43,77
Černé uhlí	5,38
Zemní plyn	5,45
Druhotné zdroje a ostatní	2,79
Jaderné zdroje	35,01

Dále je potřeba uvést také emise, které budou vyprodukovány elektrárnami při použití jednotlivých paliv (tabulka 4.5) vztažené na vyrobenou kWh. V případech vodních, solárních, větrných a jaderných elektráren jsou zahrnuty také emise při výrobě dané elektrárny, proto nejsou považovány za zcela bezemisní. Pro spalovací elektrárny na uhelná paliva byly provedeny výpočty směřující ke zjištění přesnějších hodnot emisí oxidu uhličitého.

Tabulka 4.5 - Emise CO₂ v závislosti na palivu a typu elektrárny [54]

Použité palivo/typ elektrárny	Emise CO₂ [g/kWh]
Hnědé uhlí - spalovací	797
Černé uhlí - spalovací	1306
Ropa - spalovací	720
Zemní plyn - spalovací	460
Solární	65
Jaderná	25
Vodní	17
Větrná	12

Emise CO₂, které vzniknou při vyrobení 1 kWh spálením odpovídajícího množství hnědého uhlí lze vyčíslit následujícím výpočtem, ve kterém se nejprve zjistí množství potřebného uhlí k vyrobení 1 kWh a dále se pro toto množství vypočítá hodnota emisí oxidu uhličitého. Prvním krokem výpočtu bude určit výkon spalovacích elektráren na hnědé uhlí:

$$P_{HUrok} = el_{clk/2018} \cdot p_{\%HU} = 81896,4 \cdot 0,4377 \cong 35846 \text{ GWh/rok}, \quad (6)$$

kde P_{HUrok} je vyrobená elektřina hnědouhelnými elektrárnami [GWh/rok]

$el_{clk/2018}$ je celková výroba elektřiny za rok 2018 [GWh/rok] [24]

a $p_{\%HU}$ je podíl zastoupení hnědého uhlí v energetickém mixu ČR.

Přepočtem se získá:

$$P_{HU} = \frac{P_{HUrok} \cdot 1000}{hod_{rok}} = \frac{35846 \cdot 1000}{365 \cdot 24} \cong 4092 \text{ MW}, \quad (7)$$

kde P_{HU} je průměrný výkon hnědouhelných elektráren [MW]

a hod_{rok} je počet hodin za rok.

Dále je nutné zohlednit výhřevnost hnědého uhlí, které se běžně na našem území používá. Podle zprůměrování hodnot výhřevnosti z několika zdrojů vychází hodnota zhruba 11,5 MJ/kg [32],[33]. Dále se uvažuje tepelná účinnost při výrobě energie v uhelných elektrárnách, která se pohybuje okolo 38 % [34].

$$m_{pal} = \frac{P_{HU}}{\eta \cdot Q_r^i} = \frac{4092000}{0,38 \cdot 11500} \cong 936,38 \frac{kg}{s} = 3370968 \frac{kg}{h}, \quad (8)$$

kde m_{pal} je množství hnědého uhlí spotřebovaného v uhelných elektrárnách za 1 hodinu [kg/h],

P_{HU} je průměrný výkon hnědouhelných elektráren [kW],

η je tepelná účinnost uhelných elektráren,

Q_r^i je výhřevnost hnědého uhlí [kJ].

Aby se zjistilo množství hnědého uhlí, které je potřebné k vyrobení 1 kWh, provede se tato kalkulace:

$$m_{1kWh} = \frac{m_{pal}}{P_{HU}} = \frac{3370968}{4092000} \cong 0,824 \text{ kg/kWh}, \quad (9)$$

kde m_{1kWh} je množství hnědého uhlí pro vyrobení 1 kWh [kg/kWh].

Z této hodnoty se následně určí množství CO₂, které se vyprodukuje spálením stanoveného počtu hnědého uhlí. Nejprve se určí podíl uhlíku v tomto palivu. Složení uhlí se běžně uvádí jako:

$$C + H + S + O + N + W + A = 100 \%, \quad (10)$$

kde C, H, S, O, N odpovídá procentuálnímu zastoupení hořlavých složek jednotlivých prvků [%],

W je obsah vody [%],

a A je obsah popelavých látek [%].

Uhlík je zastoupen zhruba 26,4 %. Na jeden kilogram hnědého uhlí tedy odpovídá 0,264 gramů uhlíku [35].

Tabulka 4.6 - Molární hmotnost vybraných prvků [55]

Prvek	Molární hmotnost [g/mol]
Kyslík	15,9994
Uhlík	12,011
Dusík	14,0067
Síra	32,06
Vodík	1,0079

Pokud se uvažuje dokonalé spalování, použije se tato rovnice:



Na základně zjištěných molárních hmotností (viz tabulka 4.6) lze stanovit molární hmotnost oxidu uhličitého a z té následně určit množství oxidu uhličitého vzniklého spálením 1 kg uhlíku.

$$M_{CO_2} = M_C + M_{O_2} = 12,011 + 2 \cdot 15,9994 = 44,0098 \text{ g/mol}, \quad (12)$$

kde M_{CO_2} je molární hmotnost oxidu uhličitého [g/mol],

M_C a M_{O_2} je molární hmotnost uhlíku a kyslíku [g/mol].

$$m_{CO_2 1kgC} = \frac{M_{CO_2}}{M_C} = \frac{44,0098}{12,011} = 3,664 \text{ kg}, \quad (13)$$

kde $m_{CO_2 1kgC}$ je množství oxidu uhličitého vzniklého spálením 1 kg uhlíku [kg].

Tato hodnota vynásobená podílem uhlíku v HU podle [34] určí množství CO₂ vyprodukovaného spálením 1 kg HU takto:

$$m_{CO_2HU} = m_{CO_2} \cdot \%C_{HU} = 3,664 \cdot \frac{26,4}{100} \cong 0,9673 \text{ kg}, \quad (14)$$

kde m_{CO_2HU} je množství oxidu uhličitého vzniklého spálením 1 kg hnědého uhlí [kg],

$\%C_{HU}$ je procentuální zastoupení uhlíku v hnědém uhlí.

Výsledná hodnota vyprodukovaného oxidu uhličitého vzniklého spálením množství hnědého uhlí potřebného k vyrobení 1 kWh bude:

$$m_{CO_2HU1kW} = m_{CO_2HU} \cdot m_{1kWh} = 0,9673 \cdot 0,824 \cong 0,797 \text{ kg/kWh}, \quad (15)$$

kde $m_{CO_2HU1kWh}$ je hodnota uvolněného oxidu uhličitého při vyrobení 1 kWh [kg/kWh].

Takto strukturovaný výpočet lze provést také pro určení emisí CO₂ ze spalování černého uhlí. Je nutné přepočítat veškeré vzorce s odpovídajícími koeficienty, zohlednit podíl černého uhlí v energetickém mixu, jeho výhřevnost i procentuální zastoupení uhlíku. Téměř totožným výpočtem s obměněnými hodnotami se dojde k výsledku 1,306 kg oxidu uhličitého, který vznikne spálením množství černého uhlí nutného k vyrobení 1 kWh.

Z těchto údajů lze na základě následujícího vzorce vypočítat emise oxidu uhličitého, které odpovídají jedné vyrobené kilowatthodině:

$$\begin{aligned} m_{CO_2} = & m_{CO_2HU} \cdot p_{HU} + m_{CO_2\check{C}U} \cdot p_{\check{C}U} + m_{CO_2ro} \cdot p_{ro} + m_{CO_2zp} \cdot p_{zp} + m_{CO_2se} \cdot p_{se} + \\ & m_{CO_2je} \cdot p_{je} + m_{CO_2vod} \cdot p_{vod} + m_{CO_2ve} \cdot p_{ve} = 797 \cdot \frac{43,77}{100} + 1306 \cdot \frac{5,38}{100} + 720 \cdot \frac{2,79}{100} + \\ & 460 \cdot \frac{5,45}{100} + 65 \cdot \frac{2,14}{100} + 25 \cdot \frac{35,01}{100} + 17 \cdot \frac{1,43}{100} + 12 \cdot \frac{0,45}{100} \cong 474,71 \text{ g/kWh}, \quad (16) \end{aligned}$$

kde m_{CO_2} vyjadřuje celkovou hmotnost CO₂ vztáženou na výrobu 1 kWh [g/kWh],

m_{CO_2N} vyjadřuje hmotnost CO₂ podle typu paliva (N) na 1 kWh [g/kWh]

a p_n vyjadřuje procentuální podíl jednotlivých zdrojů energie v energetickém mixu České republiky.

Aby se tato hodnota dala použít je potřeba ji přepočítat na množství emisí CO₂ na 1 kilometr. Nejprve se bude vycházet z naměřené spotřeby elektromobilů společností ADAC z tabulky 4.1, která se vynásobí koeficientem zahrnující ztráty při dobíjení. Tato hodnota činí 25,73 kWh/100 km a dále se převede pomocí výpočtu následovně:

$$m_{CO_2/1km} = p_{RS} \cdot \frac{m_{CO_2}}{100} = 25,73 \cdot \frac{474,71}{100} \cong 122,14 \text{ g/km}, \quad (17)$$

kde $m_{CO_2/1km}$ je množství emisí CO_2 vztažené na 1 kilometr jízdy [g/km], p_{RS} je průměrná spotřeba elektromobilů na základě tabulky 2 [kWh/100 km].

Při současné energetické situaci hodnota emisí oxidu uhličitého vztažená na kilometr jízdy elektromobilu vychází o téměř 30 g více, než dovoluje předepsaná norma pro rok 2021. Tuto hodnotu ovlivňují především fosilní paliva, které jsou nyní stále hojně zastoupeny v tuzemské energetice. Počítá se s tím, že v budoucnosti jejich využití bude klesat a budou se upřednostňovat nízko-emisní zdroje energie, především obnovitelné zdroje a jádro. V takovémto očekávaném průběhu by emise připadající na elektromobil výrazně poklesly a z hlediska ekologie by se elektromobilita pomohla tyto emise eliminovat. Pro znázornění, pokud by se v energetickém mixu ČR snížil podíl fosilních paliv na polovinu a oproti tomu se úměrně zvýšil podíl obnovitelných zdrojů energie, dosahoval by elektromobil hodnoty zhruba 66 gramů oxidu uhličitého na jeden ujetý kilometr, což je hodnota, ke které se v nynější době přibližují jen ty nejvíce „ekologické“ státy z hlediska produkce tohoto plynu.

4.2.2 Ostatní emise

Dalšími významnými emisními plyny jsou oxidy dusíku běžně označované jako NO_x , nejčastěji se hovoří o oxidu dusnatém NO a oxidu dusičitém NO_2 . Kvůli těmto a dalším škodlivinám jsou od roku 1992 v Evropské unii zavedeny emisní normy s označením EURO. Ty kontrolují a regulují množství nejen oxidů dusíku, ale také oxidu uhelnatého (CO), uhlovodíků (HC) a pevných částic (PČ) na jeden ujetý kilometr. Tyto normy se postupně modernizují, upravují a v intervalu zhruba pěti let vycházejí nové. Nově vydané normy se v závislosti na typu vozidel, pro které jsou určeny, označují číslicemi. Pro osobní a lehké užitkové automobily se uvádí norma číslovaná arabskými číslicemi a pro autobusy a těžké nákladní automobily jsou normy označeny římskými číslicemi. Důležité je zmínit, že norma se vztahuje pouze na vozidla, která jsou nově uváděna na trh. Nejnovější platnou normou je EURO 6, která vešla v platnost roku 2015, která později byla ještě více zpřísněna verzí 6.2.[36],[39].

Tabulka 4.7 - Přehled emisních limitů normy EURO 6 [56]

	CO [g/km]	NO _x [g/km]	PČ [g/km]
Benzínový motor	1,00	0,06	*
Naftový motor	0,50	0,08	0,005

* U benzínových motorů není hodnota emisí pevných částic uváděna.

Emise elektromobilu budou vztaženy na hodnotu emisí vypuštěných do ovzduší elektrárnami při výrobě požadované elektrické energie obdobně, jako tomu bylo pro určení emisí oxidu uhličitého. Při výpočtu je nutné znát emisní faktor různých typů elektráren produkujících škodlivé emise vztažený na množství vyrobené elektrické energie, což je zaznamenáno v tabulce 4.8.

Tabulka 4.8 - Měrné výrobní emise odpovídající spotřebě elektrické energie [57]

Typ výroby	Emisní faktor – v g/MWh			
	TZL	SO ₂	NO _x	CO
Černouhelná elektrárna	54,89	1360	1724	62,64
Hnědouhelná elektrárna	74,58	1489	1333	164,8
Elektrárna na zemní plyn	0,043	0,234	2841	956,2

$$m_{NOx} = \frac{\varepsilon_{\check{C}U}}{1000} \cdot p_{\check{C}U} + \frac{\varepsilon_{HU}}{1000} \cdot p_{HU} + \frac{\varepsilon_{zp}}{1000} \cdot p_{zp} = \frac{1724}{1000} \cdot \frac{5,38}{100} + \frac{1333}{1000} \cdot \frac{43,77}{100} + \frac{2841}{1000} \cdot \frac{5,45}{100} = 0,8310398 \text{ g/kWh}, \quad (18)$$

kde m_{NOx} je množství emisí NO_x z vybraných typů elektráren [g/kWh],

ε_n je emisní faktor dané elektrárny [g/MWh],

a p_n vyjadřuje procentuální podíl jednotlivých zdrojů energie v energetickém mixu České republiky.

Tato hodnota týkající se vzniklých emisí NO_x při výrobě 1 kWh se převede na emise NO_x vztažené na 1 km jízdy elektromobilu.

$$m_{NOx/1km} = p_{RS} \cdot \frac{m_{NOx}}{100} = 25,73 \cdot \frac{0,8310398}{100} \cong 0,2138265 \text{ g/km}, \quad (19)$$

kde $m_{NOx/1km}$ je množství emisí CO₂ vztažené na 1 kilometr jízdy [g/km],
 p_{RS} je průměrná spotřeba elektromobilů na základě tabulky 2 [kWh/100 km].

Obdobně se vypočítají také hodnoty emisí oxidu uhelnatého (CO) a pevných částic neboli tuhých znečišťujících látek (TZL). Výsledky jsou zaznamenány v tabulce 4.9.

Tabulka 4.9 - Emise elektromobilu

Emise elektromobilu [g/km]		
TZL	CO	NO _x
0,000013856	0,03283557	0,2138265

Tabulka 4.10 - Porovnání emisí elektromobilu s normou EURO 6

	CO [g/km]	NO _x [g/km]	PČ (TZL) [g/km]
Elektromobil	0,03283557	0,2138265	0,000013856
Benzínový motor	1,00	0,06	*
Naftový motor	0,50	0,08	0,005

Z této tabulky je patrné, že hodnoty emisí přepočtené pro elektromobil nevychází ve všech případech ve prospěch elektromobility. U emisí dusíku hodnota vztažená na jeden kilometr jízdy elektrického vozidla převyšuje nařízenou evropskou normu pro naftové motory více než 2,5×, normu pro benzínové motory poté 3,5×. Vyšší než dovolená hodnota těchto emisí je zapříčiněna především značným podílem uhelných elektráren na našem území, které se řadí mezi významné zdroje produkující tyto škodliviny. Emise oxidu uhelnatého jsou 30× nižší než dovoluje norma pro benzínové motory a jelikož se především doprava podílí na produkci tohoto skleníkového plynu, lze konstatovat, že elektromobilita by při svém rozvoji významně přispěla ke zlepšení v tomto směru. Také emise pevných částic vycházejí výrazně nižší pro elektromobil než pro naftové motory (360× nižší hodnota). Všechny hodnoty jsou porovnávány vzhledem k normě EURO 6, která počítá s nejhorsím dovoleným znečištěním, avšak lze předpokládat, že mnohé vozy tuto normu mnohonásobně překračují. Souhrnně lze říci, že elektromobilita může být opravdu nástrojem nejen k tomu, aby nově vyrobená vozidla splnila emisní požadavky a normy, ale aby se zlepšila ekologická situace a došlo k celkovému snížení emisních plynů a znečišťujících látek.

5 Závěr

Jeden z hlavních cílů této bakalářské práce bylo vypracování přehledu o současném stavu elektromobility v České republice. Tomuto shrnutí předcházela rešeršní část zabývající se světovým i tuzemským historickým vývojem elektromobility. V další kapitole byly v krátkosti popsány jedny z nejdůležitějších komponent elektrického vozidla a to elektromotor a baterie sloužící k akumulaci elektrické energie.

Třetí kapitola se již zabývá aktuální situací spojenou s elektromobilitou na našem území. Byla zde popsána problematika dobíjení, možné typy dobíjení, dostupné konektory a také především stav dobíjecí sítě. Ačkoli prozatím není tato síť natolik rozvinutá, počet dobíjecích bodů se každoročně zvyšuje o několik desítek. Největší zásluhu na výstavbě nových stanic mají především energetické společnosti jako jsou ČEZ, E.ON a PRE, dále také výrobce automobilů ŠKODA AUTO. Výše zmíněné energetické společnosti také nabízejí zvýhodněné tarifní sazby pro domácí nabíjení elektromobilu, převážně v nočních a ranních hodinách. Další část třetí kapitoly pojednávala o státní a městské podpoře elektromobility. Jako první a zároveň nejdůležitější schválený státní dokument je považován Národní akční plán čisté mobility, mezi jehož primární cíle patří podpora výstavby veřejných a neveřejných dobíjecích stanic a zatraktivnění poptávky po elektromobilech. Na tento bod se zaměřují i další projekty, mezi které se řadí Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost, jehož součástí je možnost získání dotačních příspěvků pro podnikatelské subjekty.

Náplní čtvrté kapitoly bylo určit možný dopad při předpokládaném rozvoji elektromobility v budoucnosti na energetický průmysl a ekologickou situaci. Tato kapitola je podložena vlastními výpočty a v závěru každé z podkapitol jsou shrnuty dosažené poznatky a vyvozeny možné scénáře. Lze konstatovat, že i přes odhadovaný nárůst počtu elektromobilů podle prognóz NAP CM patrně nedojde k výrazným změnám v elektrizační soustavě. Využívání nočního nabíjení vozidel by naopak mohlo přispět ke stabilizaci denního diagramu zatížení. Z ekologického pohledu se při současném energetickém mixu naší země se značným zastoupením elektráren na fosilní paliva elektromobilita prozatím nejeví jako nejvíce účinný nástroj vedoucí ke snížení emisí. Výpočtem zjištěné množství emisí oxidu uhličitého vztaženého na kilometr jízdy je sice nepatrně nižší, než je průměrná hodnota automobilů se spalovacími motory, avšak stále přesahuje stanovené limity Evropské unie. Emise CO a pevných částic naproti tomu vykazují hodnoty značně nižší u elektrických vozidel, než dovoluje norma EU-RO 6. Elektromobilita dostává největšího významu, pokud se bude energetická situace vyvíjet ve prospěch nízko-emisních zdrojů energie, jako jsou obnovitelné zdroje a jádro. Při snížení počtu uhelných elektráren, které se řadí mezi významné znečišťovatele ovzduší, bude elektrina považována za čistější, a proto také doprava pomocí elektromobilů zásadně předčí svoji ekologičností auta se spalovacími motory. Především ovzduší ve městech zatížené výfukovými plyny běžných vozidel bude zásadně zlepšeno.

Seznam literatury a použitých zdrojů

- [1] VEJBOR, Jan. *Stručná historie elektromobilů* [online]. [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: <http://www.elektromobily-os.cz/stru%C4%8Dn%C3%A1-historie-elektromobilu>
- [2] WAGENKNECHT, Martin. Historie elektromobilů. In: *Fdrive.cz* [online]. 20. 09. 2016 [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/1-era-elektromobilu-185>
- [3] *První byla EMA* [online]. In: . 2009 [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.ceskatelevize.cz/porady/10209988352-zaslapane-projekty/409235100061017-prvni-byla-ema/>
- [4] KOŠŤÁL, Josef. Elektromobilita - budoucnost již začala. *Elektro* [online]. 2010, 2010(10), 6-10 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/obsah-cisla-10-2010--223>
- [5] *JAK FUNGUJE ELEKTRICKÝ MOTOR?* [online]. 17.5.2018 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace/mobilita/jak-funguje-elektricky-motor-10-otazek-a-odpovedi/>
- [6] *Jak funguje rekuperace v elektromobilech?* [online]. 9.8.2018 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.business-car.cz/technologie/jak-funguje-rekuperace-v-elektromobilech>
- [7] DUSIL, Tomáš. *Další revoluce: Budou mít auta elektromotory v kolech?* [online]. 16.1. 2018 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/elektromobil-budoucnosti-budou-mit-auta-elektromotory-v-kolech-112692>
- [8] KUBIŠ, František. *Baterie pro auta na elektřinu* [online]. 23.10.2013 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/baterie-pro-auta-na-elektřinu>
- [9] ŠPAČEK, Jakub. *Počet elektromobilů a hybridů* [online]. 10.10.2018 [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/pocet-elektromobilu-a-hyridu-registrovani-v-cesku-roste-letos-jich-pribylo-700-2849>
- [10] *Elektromobilita – osvětový materiál* [online]. [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/\\$FILE/SOPSZP-Elektro_osvetovy_material-20171031.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/$FILE/SOPSZP-Elektro_osvetovy_material-20171031.pdf)
- [11] *Jak na domácí nabíjení elektromobilu* [online]. 12.3.2018 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://www.ecofuture.cz/clanek/wallbox-nebo-zasuvka-co-se-vyplati-a-proc>
- [12] *Electric Vehicle Charging Guide* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <https://chargehub.com/en/electric-car-charging-guide.html>
- [13] *EV connector types* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <https://www.zap-map.com/charge-points/connectors-speeds/>
- [14] *Supercharging* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/support/supercharging>
- [15] WAGENKNECHT, Martin. *V Česku máme třetí Supercharger. Kde ho najdete?* [online]. 18.12.2017 [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/v-cechach-mame-treti-supercharger-kde-ho-najdete-1738>
- [16] *C27d + D27d – vaše sazby pro život s elektromobilem* [online]. [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <http://www.cezenergo.cz/cs/novinky/tiskove-zpravy/23.html>

- [17] MZP. *Národní akční plán čisté mobility* [online]. říjen 2015 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/\\$FILE/SOPSPZ-NAP_CM-20160105.pdf#page=26&zoom=100,0,136](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/$FILE/SOPSPZ-NAP_CM-20160105.pdf#page=26&zoom=100,0,136)
- [18] *Nizkouglikové technologie* [online]. [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://www.oppik.cz/dotacni-programy/nizkouglikove-technologie>
- [19] *Akční plán o budoucnosti automobilového průmyslu v ČR* [online]. 9.2017 [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.vlada.cz/assets/media-centrum/aktualne/Akcni-plan-o-budoucnosti-automobiloveho-prumyslu-v-CR.pdf>
- [20] *PLÁN UDRŽITELNÉ MĚSTSKÉ MOBILITY* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.dobramesta.cz/plan-udrzitelne-mestske-mobility>
- [21] Chytré město. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Chytr%C3%A9_m%C4%B8sto
- [22] *Smart Prague* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://smartprague.eu/en/>
- [23] OSIFIDOU, Elpiniki. *Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging* [online]. In: . [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217303730>
- [24] KOLMAN, Stanislav. *Češi ročně ujedou deset až dvacet tisíc kilometrů* [online]. 12.10.2018 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/cesi-rocne-ujedou-deset-az-dvacet-tisic-kilometru-77823>
- [25] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Čtvrtletní zpráva o provozu ES ČR* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Ctvrtletni_zprava_2018_IV_Q.pdf/f47bc2a0-05e3-4402-a1db-5b6e2b0a44a4
- [26] *Energetická bilance zatížení* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/36796081-1-4-energeticka-bilance-zatizeni.html>
- [27] *Domácí dobíjení elektromobilu?* [online]. 27.10.2017 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/nabijecky-elektromobil-nabijeni.A171022_124708_automoto_fdv
- [28] *Jaký vliv bude mít elektromobilita na českou distribuční síť?* [online]. 8.3.2018 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://www.ecofuture.cz/clanek/jaky-vliv-bude-mit-elektromobilita-na-ceskou-distribucni-sit>
- [29] *Emise CO₂ z aut: fakta a čísla* [online]. 26.3.2019 [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <http://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika>
- [30] *Ekologičtější auta aneb o čem je návrh na snížení CO₂ u nových aut.* [online]. 28.9.2018 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <http://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20180920STO14027/ekologictejsi-auta-aneb-o-cem-je-navrh-na-snizeni-co2-u-novych-aut>
- [31] *Shades of Green: Electric Cars' Carbon Emissions Around the Globe Read more at* <http://shrinkthatfootprint.com/electric-car-emissions#Cbog7h5ILCe7fQEa.99> [online]. [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <http://shrinkthatfootprint.com/electric-car-emissions>

- [32] MÁSLÍK, Vojtěch. *Srovnání uhlí z různých ložisek v ČR* [online]. Brno, 2017 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/69841/F2-BP-2017-Maslik-Vojtech-Bakalarska%20prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Bakalářská práce.
- [33] ING. NOVÁK, Jan. *Výhřevnosti paliv* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>
- [34] *Ministerstvo životního prostředí nechá posoudit obnovu uhelné elektrárny Pruněřov nezávislým mezinárodním týmem* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_tz100126prunerov_posouzeni_brifink
- [35] *TYPY UHLÍ* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.okd.cz/cs/tezime-uhli/uhli-tradicni-zdroj-energie/typy-uhli>
- [36] *Přehled emisních norem* [online]. 27.09.2018 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.srovnator.cz/clanky/prehled-emisnich-norem/>
- [37] *Škoda Auto vybuduje v České republice 7 000 dobíjecích bodů pro elektromobily* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/skoda-auto-vybuduje-v-ceske-republice-7-000-dobijecich-bodu-pro-elektromobily>
- [38] *ŠKODA AUTO vybuduje v České republice 7 000 dobíjecích bodů pro elektromobily* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-zpravy/skoda-auto-vybuduje-v-ceske-republice-7-000-dobijecich-bodu-pro-elektromobily/>
- [39] *Vyhláška č. 415/2012 Sb.* [online]. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://zakonyprolidi.cz/cs/2012-415/zneni-20180901#cast2>
- [40] *Jamais Contente* [online]. In: . [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <http://depris.cephes.free.fr/presscom/2002/060-02.htm>
- [41] *EMA* [online]. In: . [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.autickar.cz/clanek/galerie/ema-cesky-elektromobil-kteremu-nebylo-prano-predbehnout-svou-dobu/?fid=46012>
- [42] DAVIS, Sam. *In-Wheel Motor Systems Will Propel EV Performance* [online]. In: . 20.7.2018 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.powerelectronics.com/automotive/wheel-motor-systems-will-propel-ev-performance>
- [43] BLOOMBERG. *Battery Price Survey* [online]. In: . 19.12.2018 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: https://twitter.com/BloombergNEF?ref_src=twsrc%5Etfw%7CtwcaFmp%5Etweetemb ed%7Ctwterm%5E1
- [44] CENTRUM DOPRAVNÍHO VÝZKUMU. *Vývoj registrací elektromobilů* [online]. In: . [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/tisk/v-roce-2018-pribylo-na-ceskych-silnicich-temer-1-000-osobnich-elektromobilu-a-plug-in-hybridu>
- [45] *Typy konektorů* [online]. In: . 3.1.2018 [cit. 2019-02-14]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/vse-o-nabijeni-elektromobilu>
- [46] NEWSPRESS. [online]. In: . [cit. 2019-02-14]. Dostupné z: <https://autoweek.com/article/green-cars/tesla-supercharger-use-wont-be-completely-free-new-buyers-now>

- [47] ADAC. *Test elektromobilů ADAC* [online]. In: . [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/velky-test-elektromobilu-jakou-maji-realnou-spotrebu-a-kolik-energie-se-ztrati-pri-nabijeni-125150>
- [48] BEŠTA, M. *Elektrárny část I* [online]. In: . [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <http://www.mbest.cz/wp-content/uploads/2013/01/T2-Zdroje-energie.pdf>
- [49] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *STÁTNÍ ENERGETICKÁ KONCEPCE ČESKÉ REPUBLIKY* [online]. In: . 2014 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/52841/60959/636207/priloha006.pdf>
- [50] EVROPSKÁ AGENTURA PRO ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ. [online]. In: . [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <http://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika>
- [51] *Úroveň emisí CO2* [online]. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://www.eea.europa.eu/cs/signaly/signaly-2017/infografika/uroven-emisi-co2-produkovanych-behem/image/image_view_fullscreen
- [52] *Shades of Green: Electric Cars' Carbon Emissions Around the Globe Read more at* <http://shrinkthatfootprint.com/electric-car-emissions#Cbog7h5ILCe7fQEa.99> [online]. [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <http://shrinkthatfootprint.com/electric-car-emissions>
- [53] *Národní energetický mix* [online]. [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix/narodni-energeticky-mix>
- [54] ŠURKALA, Milan. *Emise CO2 u elektromobilů: Tesla horší než BMW?* [online]. 2.11.2016 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://www.svetmobilne.cz/emise-co2-u-elektromobilu-tesla-horsi-nez-bmw/4645-2>
- [55] *Periodická tabulka prvků* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <http://galerie2.sweb.cz/prvky.htm>
- [56] *Přehled emisních norem* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.srovnator.cz/clanky/prehled-emisnich-norem/>
- [57] *Emisní faktory při výrobě elektrické energie v ČR* [online]. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.emise.cz/userdata/file/Emisn%C3%AD%20faktory%20-%20elekt%C5%99ina.pdf>

Seznam tabulek

Tabulka 3.1 - Modely dobíjení elektromobilů	18
Tabulka 4.1 - Test spotřeby elektromobilů ADAC	26
Tabulka 4.2 - Vývoj a struktura konečné spotřeby energie v dopravě	28
Tabulka 4.3 - Průměrné emise elektromobilů v jednotlivých státech	32
Tabulka 4.4 - Energetický mix ČR (2017)	32
Tabulka 4.5 - Emise CO ₂ v závislosti na palivu a typu elektrárny	33
Tabulka 4.6 - Molární hmotnost vybraných prvků	35
Tabulka 4.7 - Přehled emisních limitů normy EURO 6	37
Tabulka 4.8 - Měrné výrobní emise odpovídající spotřebě elektrické energie	38
Tabulka 4.9 - Emise elektromobilu	39
Tabulka 4.10 - Porovnání emisí elektromobilu s normou EURO 6	39

Seznam obrázků

Obrázek 1.1. - Camille Jenatzy ve svém elektromobilu	13
Obrázek 1.2 - Elektromobil EMA	14
Obrázek 2.1 - Uložení elektromotoru v kole	15
Obrázek 2.2 - Cena Li-Ion baterií podle agentury BloombergNEF	16
Obrázek 3.1 - Vývoj registrací elektromobilů	17
Obrázek 3.2 - Typy konektorů	19
Obrázek 3.3 - Tesla Supercharger	20
Obrázek 3.4 - Klíčové faktory výstavby dobíjecích stanic	22
Obrázek 4.1 - Diagram zatížení	28
Obrázek 4.2 - Vývoj a struktura konečné spotřeby energie v dopravě	29
Obrázek 4.3 - Vývoj emisí v jednotlivých odvětvích	30
Obrázek 4.4 - Škála emisí CO ₂ v životním cyklu různých druhů vozidel a paliv	31