



**Ekonomické, energetické a ekologické aspekty elektromobility**

**Economy, Energy and Environmental Aspects of Electromobility**

Diplomová práce

Studijní program: Projektové řízení inovací

Studijní obor: Projektové řízení inovací

Vedoucí práce: Ing. Oldřich Bronec, CSc.

**Bc. Vojtěch Sláma**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sláma** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **458423**  
Fakulta/ústav: **Masarykův ústav vyšších studií**  
Zadávací katedra/ústav: **Institut manažerských studií**  
Studijní program: **Projektové řízení inovací**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Ekonomické, energetické a ekologické aspekty elektromobility**

Název diplomové práce anglicky:

**Economic, Energy and Environmental Aspects of Electromobility**

Pokyny pro vypracování:

Práce se zabývá problematikou ekonomických, energetických a environmentálních aspektů elektromobility. Cílem je zevrubné posouzení přínosů a rizik elektromobility pro společnost a pro uživatele elektromobilů v osobní i nákladní dopravě. Práce bude rozdělena do třech částí: 1. Teoretická část: tato část se bude zabývat základními pojmy elektromobility a také problematiky jejich ekonomických, energetických a environmentálních aspektů v kontextu současného vývoje společnosti a ekonomiky a technologií automobilového průmyslu. 2. Metodická část: navrhne celkový cíl práce, který následně rozloží do skupiny ekonomických, energetických a environmentálních ukazatelů, které budou předmětem praktického studia. 3. Praktická část: se bude zabývat vyčíslením aktuálních hodnot navržených ukazatelů a porovná je s obdobnými hodnotami automobilů se spalovacím motorem. Ze srovnání vyplynou jednak výhody a limity elektromobility a současně zadání pro výrobce, prodejce i uživatele, kterými směry by se elektromobilita měla dále ubírat, aby se stala reálným přínosem pro společnost a ekonomiku.

Seznam doporučené literatury:

Danielle Attias etc.: The Automobile Revolution: Towards a New Electro-Mobility Paradigm, Springer International Publishing Switzerland 2017, ISBN: 978-3-319-45837-3  
Ronzheimer, Ira Nadine - Durán Lima, José Elías - Budnevich, Cristóbal - Gomies, Matthew: Towards the measurement of electromobility in international trade, United Nations, Santiago, 2022  
Christian Beergren, Per Kageson: Speeding up European Electro-Mobility, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2017

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Oldřich Bronec, CSc. Masarykův ústav vyšších studií ČVUT v Praze**

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

Datum zadání diplomové práce: **09.12.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **27.04.2023**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Ing. Oldřich Bronec, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Dagmar Skokanová, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. PhDr. Vladimíra Dvořáková, 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

SLÁMA Vojtěch. *Ekonomické, energetické a ekologické aspekty elektromobility*. Praha: ČVUT 2023. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Masarykův ústav vyšších studií.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citoval a uvádím je v příloženém seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této závěrečné práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Praze dne:

podpis: .....

## **Poděkování**

Za vedení, velikou trpělivost a podporu bych rád poděkoval mému vedoucímu práce Ing. Oldřichu Broncovi, CSc.

Za podporu děkuji své milované přítelkyni, která mě po celou dobu náročného studia plně podporovala.

## **Abstrakt**

Předmětem této práce je posouzení elektromobility a zevrubné posouzení přínosů a rizik elektromobility pro společnost i uživatele. Práce posuzuje elektromobilitu ze tří základních aspektů, a to z ekonomického, energetického a ekologického. Tato práce si klade za cíl shrnout základní parametry elektromobility, které je potřeba vysvětlit. Dále si pak práce klade za cíl vyhodnotit jednotlivé aspekty. Závěrem práce jsou doporučení pro výrobce, jakým by se elektromobilita měla ubírat a jak by se měla ve společnosti využívat.

## **Klíčová slova**

Elektromobilita, elektromobil, ekonomika, energetika, ekologie, uhlíková stopa

## **Abstract**

The subject of this thesis is an assessment of electromobility and a detailed assessment of the benefits and risks of electromobility for society and users. The thesis assesses electromobility from three basic aspects: economic, energy, and environmental. This thesis aims to summarize the basic parameters of electromobility that need to be explained. The thesis then aims to evaluate each aspect. Finally, the thesis concludes with recommendations for manufacturers on how electromobility should be pursued and used in society.

## **Key words**

Electric mobility, electric car, economy, energy, ecology, carbon footprint.

# Obsah

1	Úvod.....	10
2	Legislativní základ nástroje pro ochranu klimatu .....	12
2.1	Evropská legislativa aplikovaná pro automobilový průmysl.....	12
3	Historie Elektromobility.....	14
3.1	Prvopočátky elektromobilů.....	14
3.2	Vývoj baterií .....	16
3.3	První baterie .....	16
3.4	Li-ion Baterie .....	17
3.5	Milníky v elektromobilitě .....	18
3.5.1	Přelom 19. a 20. století .....	18
3.5.2	20. století.....	18
3.5.3	Přelom 20. a 21. století .....	19
3.5.4	Fenomén Tesla 2007 – současnost .....	19
4	Elektromobilita a současná technologie.....	20
4.1	BEV – Battery Electric Vehicle.....	21
4.2	HEV – Hybrid Electric Vehicle .....	21
4.3	PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle .....	21
4.4	FCEV – Fuel-Cell Electric Vehicle .....	22
5	Technologie dobíjení elektromobilů .....	23
6	Aktuální stav vozového parku.....	25
6.1	Aktuální stav elektromobility v oblasti nákladní dopravy.....	26
7	Praktická část.....	27
7.1	Ekonomické aspekty elektromobility .....	27
7.2	Energetické aspekty elektromobility .....	27
7.3	Ekologické aspekty elektromobility .....	27
8	Ekonomické aspekty elektromobility.....	28

8.1	Ekonomie provozu .....	29
8.1.1	Pomalé dobíjení AC.....	30
8.1.2	Rychlé dobíjení DC .....	31
8.1.3	Servis elektromobilů.....	34
8.2	Ekonomika výroby.....	35
8.2.1	Cena baterií.....	36
9	Energetické aspekty elektromobility.....	38
9.1	Dobíjecí infrastruktura v EU.....	39
9.2	Počet elektromobilů v EU a jejich nároky na infrastrukturu .....	41
9.2.1	Význam pro energetiku.....	43
10	Ekologické aspekty elektromobility .....	45
10.1	Problematika baterií elektromobilů.....	46
10.2	Složení baterií v elektromobilech.....	47
10.3	Zdroje surových materiálů pro výrobu baterií.....	49
10.3.1	Lithium .....	50
10.3.2	Kobalt .....	51
10.3.3	Nikl .....	52
10.3.4	Magnesium .....	53
10.4	Recyklace baterií .....	54
10.4.1	Metody recyklace.....	56
10.5	Výroba a provoz vozidel z pohledu ekologie, výpočet uhlíkové stopy .	58
10.5.1	Výroba vozidla.....	60
10.5.2	Provoz vozidel .....	62
10.5.3	Porovnání uhlíkové stopy způsobené výrobou vozidel .....	64
10.5.4	Porovnání uhlíkové stopy způsobené provozem vozidel.....	66
10.6	Celková uhlíková stopa vozidel .....	72
10.6.1	Break Even Point .....	74



10.6.2	Závěr ekologických aspektů .....	78
11	Doporučení .....	79
11.1	Doporučení aspektů pro budoucí vývoj elektromobility .....	82
11.1.1	Hledisko výroby a recyklace .....	82
11.1.2	Hledisko užití .....	83
12	Závěr .....	84
13	Seznam zdrojů .....	85
14	Seznam tabulek .....	91
15	Seznam grafů .....	92
16	Seznam obrázků .....	93

# 1 Úvod

Cílem této práce je shrnout poznatky a přinést základní informace o elektromobilitě, její historii, současnosti a zhodnotit její implementační potenciál, úroveň technologie a predikovat možný vývoj na základě současného stavu a světových trendů.

Vyhodnocení potenciálu v jednotlivých kategoriích (tj. ekologický, ekonomický, energetický aspekt), a i samotné fungování elektromobility, se opírá o několik základních pilířů. Ty jsou vymezeny především uplatňovanou legislativou na úrovni evropské politiky, tlakem na výrobce klasických automobilů se spalovacím motorem k výrobě nízko emisních a v konečné fázi bezemisních vozidel.

Hlavní motivaci pro výrobce spalovacích automobilů v současné době hrají regulativní nástroje v podobě směrnic Evropské unie, které určují emisní cíle pro výrobce automobilů. Hlavní motivace pro snižování emisí vychází z 90. let minulého století jako je Rámcová úmluva OSN o ochraně klimatu z roku 1992 a Kjótského protokolu.

Rámcová úmluva OSN o ochraně klimatu z roku 1992, je základem pro motivaci v boji s emisemi  $CO_2$ . Úmluva o ochraně klimatu pak vychází z Vídeňského (1985) a Montrealského protokolu (1987) o ochraně ozónové vrstvy. Rámcová úmluva OSN tak poskytuje základní stavební kámen nastavení pravidel pro snižování emisí a ochraně klimatu.

Kjótský protokol, vyhotovený v roce 1997 pak stanovuje cíle pro snížení emisí skleníkových plynů vzhledem k roku 1990 a dále se tak většina dalších cílů opírá o poměrné snížení emisí k tomuto roku.

V rámci celosvětové snahy o snižování emisí si pak Evropská unie stanovuje pravidla pomocí směrnic na návrh Evropské komise. Směrnice je pak vydána v podobě nařízení Evropského parlamentu a Evropské rady k postoupení transpozice do právního prostředí jednotlivých členských států. Směrnice EU tak definují jak závazné, tak i nezávazné cíle pro plnění politiky a jednotlivé státy je přejímají a zavádějí. V některých státech EU se tak podmínky o ochraně klimatu můžou lišit.

Asi nejviditelnější politikou EU je otázka emisí  $CO_2$ , která značně dopadá na výrobce automobilů a motivuje je tak k vývoji ekologičtějších vozů. Evropské dokumenty, na které tato práce odkazuje v dalších kapitolách, nutí výrobce k omezení výroby automobilů s vyššími emisemi  $CO_2$  a zároveň jim dává jistotu, že investované peníze do vývoje nových typů ekologických vozů nebudou zmařeny.

Tato diplomová práce se bude zabývat jednotlivými ekonomickými, energetickými a ekologickými trendy elektromobility v oblasti osobní a nákladní dopravy, tak i legislativním základem jako zdůvodnění současného trendu. Práce se bude zabývat především elektromobilitou v zemích EU, jako lídra elektromobility ve světě. Je předpokladem, že další méně rozvinuté země budou jednotlivá pravidla EU přebírat a navazovat na tyto trendy. Trh elektromobilů v EU lze v rámci světa považovat za nejrozvinutější. Jedná se zároveň o společenství, ve kterém jsou data velmi dobře sdílena a lze je tak přesněji vyhodnotit.

## 2 Legislativní základ nástroje pro ochranu klimatu

Obecně, jak už bylo zmíněno v úvodu, motivace k omezujícím nařízením proti emisím  $CO_2$  vychází z Kjótského protokolu z roku 1997 a jemu předcházejících konferencí, jako například Konference OSN pro rozvoj a životní prostředí 1992 v Riu de Janeiru. Předcházející summity a konference měly zásadní dopad na to, jak dnes vnímáme ochranu klimatu a udržitelný rozvoj. K jejich definici došlo především z důvodu značného celosvětového zhoršení kvality ovzduší. Jako hlavní indikátor zhoršení kvality ovzduší byl určen oxid uhličitý neboli  $CO_2$ , který vzniká při spalování fosilních paliv jako důsledek chemické reakce hoření. Další indikátor zhoršení kvality klimatu byl růst globální teploty a s ním spojená celosvětová rizika pro život člověka na planetě. Česká republika tuto dohodu ratifikovala v roce 2001 a jako celá EU se snaží cíle s předstihem plnit. Závazek Kjótského protokolu je snížit emise skleníkových plynů, nejen oxid uhličitý, ale i emise methanu, oxidu dusného, hydrofluorohlovidů, polyfluorovodíků, fluoridu sírového, a to o 5,2 % vůči roku 1990, nebo 1995. Pro přepočty plynů existují stanovené vzorce. [1]

Nejbližším důležitým milníkem byla např. „Pařížská dohoda“, kde se zúčastněné státy dohodly, že je potřeba udržet nárůst globální teploty pod 2 °C ve srovnání před průmyslovou revolucí a usilovat o úroveň 1,5°C.

### 2.1 Evropská legislativa aplikovaná pro automobilový průmysl

Omezení výroby automobilů se vždy týká emisí  $CO_2$  vyprodukovaných automobilem v gramech na ujetý kilometr s vázanou kombinovanou spotřebou dle výpočtu WLTP. K tomuto údaji se pak vztahuje legislativa omezující výrobu automobilů. Ta ukládá automobilkám produkovat auta vždy s určitou průměrnou emisivitou  $gCO_2/km$ . Nyní platná legislativa vychází z Nařízení Evropského parlamentu a rady (ES) č. 443/2009 ze dne 23. dubna 2009. Toto nařízení stanovuje výkonnostní limity pro nově vyrobené osobní automobily v rámci integrovaného přístupu Společenství ke snižování emisí  $CO_2$ .

Tato snaha o snížení vychází ze závazku, že rozvinuté země do roku 2020 sníží emise skleníkových plynů o 30 % oproti roku 1990. Pro ČR platil závazek s nižším koeficientem 20 % jako výjimka pro „ostatní rozvinuté země“. Toto nařízení byl vydáno s motivací snížit emise celkově v evropské unii, avšak specificky pro automobilový průmysl jako jeden z hlavních zdrojů znečištění ovzduší. Definice normy pro způsoby měření a sledování emisí  $CO_2$  vycházejí z rozhodnutí Evropského parlamentu a Rady č. 1753/200/ES.

Nařízení č. 443/2009 stanovuje cíl plnit průměrné emise  $CO_2$  v hodnotě 95 g  $CO_2$ /km pro nové osobní automobily od roku 2020.

Vzhledem k tomu, že zmíněné nařízení č. 443/2009 bylo již mnohokrát změněno, plánuje se zrušení tohoto nařízení. Avšak se zachováním nařízení se počítá do roku 2024 beze změn.

Od roku 2025 se vstoupí v platnost Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 2019/631 aplikovat tzv. redukční faktor k roku 2025 a to dle vzorce:

$$\text{Cíl pro voz. Park EU2025} = \text{Cíl pro voz. Park EU2021} * (1 - \text{redukční faktor})$$

Redukční faktor je v tomto případě roven 15 %. Ve stejném případě to platí pro roky 2021 až 2024. Tento výpočet se aplikuje pro vozidla vyrobená výrobcem v daném roce a jedná se o osobní vozy a lehké užitkové vozy.

V roce 2022, 27. října schválil evropský parlament v rámci „Fit for 55“ zákaz prodeje vozů vypouštějící emise  $CO_2$  do roku 2035. Tento zákaz se týká osobních automobilů a lehkých užitkových vozidel (jako jsou například dodávky).

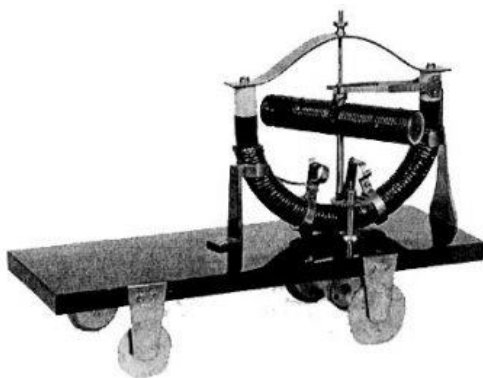
### 3 Historie Elektromobility

Automobily na elektrický pohon mají zajímavou a dlouhou historii, dokonce delší, než vozidla se spalovacím motorem, která dnes z většiny používáme. Počátky elektromobility sahají až do první poloviny 19. století. V případě vynálezu spalovacího motoru, patentovaného Karlem Benzem, se pohybujeme až ke konci druhé poloviny 19. století.

Tato kapitola bude pojednávat o prvních základních krůčcích v otázce elektromobility, jejím překotném vývoji, respektive stagnaci, v průběhu 20. století. Avšak elektromobily se na scénu zájmu vrátili na počátku 21. století a upíná se na ně pozornost jako hlavního řešení možnosti bezemisní silniční dopravy po celém světě.

#### 3.1 Prvopočátky elektromobilů

Určit první elektromobil je dle dostupných historických zdrojů snadné, ale definice elektromobilu, jak ho dnes vnímáme je už složitější. Jako první elektromobil můžeme buďto považovat vynález maďarského inženýra a fyzika Jedlika Anoyse Ištvána v roce 1828. Ten je považován za vynálezce elektromotoru, když jako první zavedl v točivém elektromagnetickém stroji princip rotoru a statoru. Nicméně otázka elektromobilu, zatím ještě bez baterie, stále trvá. Za elektromobil to však někdo počítat nemusí, protože jak již bylo zmíněno, neměl baterii, kterou by byl stroj poháněn a vynález byl spíše velikosti skateboardu, nežli automobilu. I tak je mnohými považován za vynálezce elektromobilu. [2]



Obrázek 1: První původce elektromobilu [2]

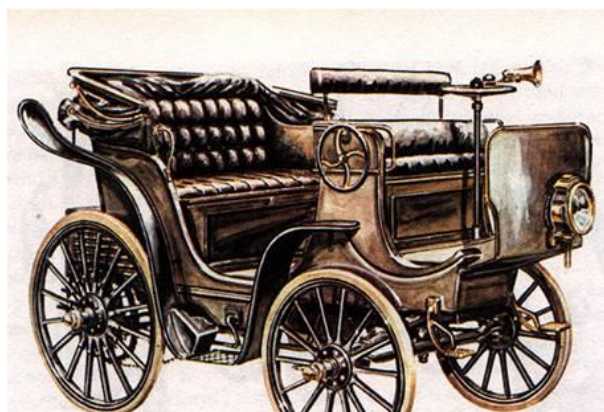
Další vynálezce, tentokrát Skot, profesor chemie a techniky Sibrandus Stratingh přispěl další tvůrčím dílem do položení základů k elektromobilitě. V roce 1835 představil profesor Stratingh elektromobil trochu podobným těm současným. Stroj byl poháněn pomocí primárních článků s použitím principů Michaela Faradaye. Po vynálezu elektromobilu v roce 1841 profesor Stratingh zemřel a nemohl tak ve zdokonalování pokračovat. [2]

Později byl elektromobil vylepšen o olověný akumulátor, který byl schopen vozidlo pohánět. Maximální rychlost v té době činila 4 míle za hodinu a vjezd dokázalo maximálně svojí vlastní váhu. Vylepšený model prvního většího elektromobilu můžete vidět níže na obrázku. [2]



Obrázek 2: Elektromobil profesora Stratingha [2]

S vývojem baterií se zlepšovali i vlastnosti elektromobilů. Především díky vynálezu olověné baterie francouzským fyzikem Gastonem Plantém. V roce 1895 tak mohl český vynálezce využít minulých poznatků vědy a sestrojil zřejmě první český elektromobil viz obrázek níže. Zajímavé u tohoto Křižíkova stroje je, že jako dnešní elektromobily umístil elektromotory ke kolům na hřídele. [3]



Obrázek 4: Křižíkův elektromobil [3]

## 3.2 Vývoj baterií

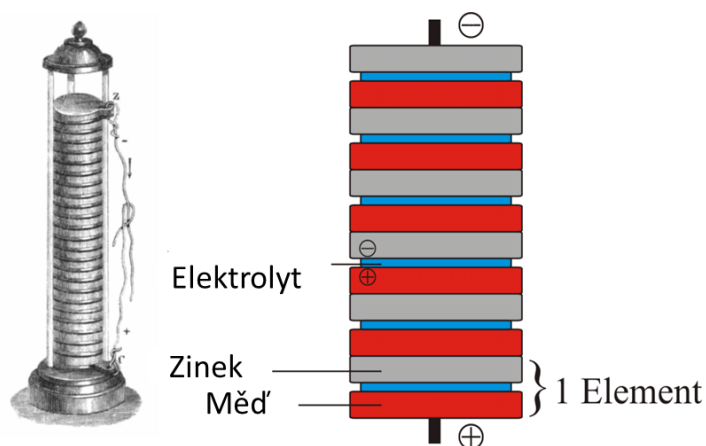
K elektromobilům už neodmyslitelně patří bateriová úložiště elektřiny, neboli akumulátory, které skladují elektrickou energii a pohání za pomoci stejnosměrných motorů elektromobil vpřed. Ačkoliv v současné době máme zdokonalené a velmi spolehlivé elektromotory, především díky jejich širokému využití v průmyslu, ale i například v železniční dopravě, nejsou elektromobily zatím state of art výrobky. Jejich nejpálčivějším problémem, ať už z pohledu investičního, ale i technického, jsou baterie.

Už jen podle baterií jsme schopni posoudit, jak je, který elektromobil kvalitní, a to především díky deklarovanému dojezdu na jedno nabití. Vzhledem k tomu, že je dobíjení časově náročnější než doplnění pohonných hmot do klasického automobilu se spalovacím motorem, je parametr o dojezdu jeden z nejdůležitějších při výběru elektromobilu.

## 3.3 První baterie

Základní principy pro fungování baterie položil v roce 1799 Alessandro Volt, po kterém byla následně pojmenována jednotka napětí 1 V, kterou jeden jeho galvanický článek emitoval. Voltův článek se skládá ze tří částí. Základem je katoda a elektroda, v případě Voltova článku se jednalo o zinkovou anodu a měděnou elektrodu ponořenou v elektrolytu v podobě kyseliny sírové. [4]

V roce 1800 Alessandro Volta využil znalostí z vývoje Voltova článku a sestrojil tzv. Voltův sloup, skládající se opět ze zinkových a měděných elektrod, které prokládal plátky kůže, na kterou kladl okyselený roztok. Alessandro Volta tak sestrojil první baterii na světě a princip anody, katody a elektrolytu zůstává stejný dodnes. [4]



Obrázek 5: Bateriový článek [4]



V budoucím vývoji baterií už vynálezci následovaly principy a jen měnili látky elektrolytu a materiály elektrod. Významným vynálezcem baterií byl Francouz Gaston Planté, který vymyslel olověný akumulátor v roce 1859. Tento typ akumulátoru používáme dodnes například v autobateriích. Jejich nevýhodou sice je, že se nesmí vybit pod kapacitu cca 40 %, jinak se baterie zničí, ale poskytují krátký, avšak relativně vysoký výkon. Klíčové pro Plantého baterii bylo, že jí bylo možné dobíjet a položil tak první základ elektromobility.[4]

### **3.4 Li-ion Baterie**

Lithium-iontové baterie jsou na trhu již od roku 1991, kdy je na trh zařadila japonská společnost SONY. Jejich původ ale sahá až do počátků 20. století, respektive do roku 1912 kdy na bateriích prováděl experimenty G.N. Lewis. Hlavní vývoj probíhal v 60. – 80. letech 20. století, aby se baterie mohla uvést v roce 1991 na trh. Je s podivem, že za tak významný objev, který umožnil rozvoj společnosti ve všech směrech dostali hlavní autoři Li-Ion baterie Nobelovu cenu až v roce 2019. Ocenění vědci byli: John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham a Akira Jošino. Jejich vynález je dodnes využíván i v automobilovém průmyslu pro pohon elektromobilů. Baterie mají vysokou kapacitu a jsou schopny vysokých výkonů. Problémem je především degradace vlivem teploty. [5]

## 3.5 Milníky v elektromobilitě

### 3.5.1 Přelom 19. a 20. století

Na počátku světové mobility byly elektromobily dokonce populárnější a prodávanější nežli motory se spalovacím motorem. Technicky byly elektromotory prověřenější, nežli motory spalovací a spalovací motor byla nová technologie. Jen pro srovnání, vynález spalovacího motoru Karla Benze se datuje do roku 1888.

Nicméně rychlost a jednoduchost spalovacího motoru zvítězila hned na počátku 20. století započítáním produkce automobilu značky Ford, modelu T. Výroba tohoto modelu byla první pásová na světě a zcela elektromobily vytlačila.

### 3.5.2 20. století

Vývoj ve dvacátém století více, či méně stagnoval a k žádnému průlomů nedošlo. Když nepočítáme průlom ve vynálezu Li-Ion baterie, ale pro elektromobilitu jí nikdo nevyužíval. Elektromobily tak měli spíše specifické úkoly. Jedním z nich bylo logicky použití ve vesmíru, kde není vzduch a nelze tak palivo jednoduše spalovat. Jediný automobil, který kdy jezdil po měsíci, je tedy elektromobil – Lunar Rover. 70. léta jsou také známá ropnou krizí a automobilové společnosti se snažili přicházet s novými nápady na pohon, jako odpověď na astronomické ceny ropy. Reakci na vysoké ceny automobilky Peugeot můžete vidět na obrázku níže. [6]



Obrázek 6: Peugeot elektromobil [6]

### **3.5.3 Přelom 20. a 21. století**

Zásadní pro 90. léta bylo uvědomění si, že zdroje planety jsou konečné a že spalování fosilních paliv v současném množství otepluje planetu a významně znečišťuje ovzduší. Na Kjótské konferenci toto bylo stvrzeno mnoha státy OSN a svět začal hledat způsob, jak se dopravovat bezemisně.

Průkopníkem v elektromobilitě byla společnost General Motors a jejich vozidlo EV1. EV1 bylo vydáno jako koncept v roce 1990 a na trh bylo uvedeno v roce 1996 jako první sériově vyráběný elektromobil. Na tehdejší poměry se jednalo o dobré parametry elektromobilu. Zvládlo jet maximální rychlostí 160 km/h, ujelo až 145 km a vážilo, dnes už těžce představitelných 998 kg. Tento model byl převratný nejen technologií, ale úřad v Kalifornii od roku 1998 přikázal, aby se v americké státě prodala minimálně 2 % bezemisních aut, což v té době byli jen elektromobily. Avšak projekt nebyl tak úspěšný, jak se očekávalo a prodalo se jen něco přes 1100 vozů. Když se započítali všechny náklady na vývoj a výrobu, jedno auto stálo GM 900 tis. [7]

### **3.5.4 Fenomén Tesla 2007 – současnost**

U automobilu EV1 od General Motors se inspirovali i zakladatelé Tesly, dnes populárního výrobce automobilů. Poté co do společnosti vstoupil Musk a společnost zainvestoval, začal vývoj modelu Roadster. Ten se začal prodávat v roce 2007 a znamenal revoluci v elektromobilitě. Tesla Roadster nabízela dojezd 320 km a výkon až 215 kW a od té doby jsou elektromobily vnímány jako budoucnost udržitelné mobility. Zajímavostí je, že je to první sériově vyráběné auto, používané na zemi, které se dostalo do vesmíru. [8]

















Závěrem této kapitoly lze konstatovat, že klíčovými nedostatky, díky kterým nedošlo k rozvoji elektromobility, jsou především nedostatečný dojezd vozů na jedno nabití, tak jako rychlost nabíjení. Spolehlivost nabíjení také hraje svojí roli vzhledem k uživatelskému pohodlí. Avšak jedná se o bezemisní způsob mobility, a tak jsou auta legislativně zvýhodňována, aby se docílilo emisních cílů.

## 4 Elektromobilita a současná technologie

Termín elektromobilita se obecně vztahuje k vozidlům, které pro svůj pohyb využívají elektrickou energii. Mezi vozidla, patřící pod pojem elektromobilita řadíme i vlaky, trolejbusy, tramvaje a další kolejové i nekolejové dopravní prostředky. Tato DP se zabývá pouze osobními automobily na elektrický pohon pro srovnání s konvenčními způsoby dopravy. Elektromobily můžeme rozdělit do následujících tří skupin:

- **ICEV:** konvenční automobily se spalovacím motorem
- Hybridní
  - **HEV:** Hybridní – elektrina získaná rekuperací, používaná při rozjezdu.
  - **PHEV:** Plug-in hybridní – možnost nabíjení ze zásuvky a kombinace spalovacího motoru a baterie při provozu. I samostatně.
- **BEV:** Čistě elektrické, nutnost dobíjení.

Schématická zobrazení jednotlivých způsobů dopravy jsou uvedena na obrázku níže.

	 KONVENČNÍ	 HYBRID	 PLUG-IN HYBRID	 ELEKTRICKÉ
<b>ZDROJ ENERGIE</b>				
<b>SPOTŘEBA</b>				
<b>EMISE</b>				

Obrázek 7: Přehled druhů elektromobilů [9]

## **4.1 BEV – Battery Electric Vehicle**

Battery Electric Vehicle, neboli vůz poháněný pouze elektrickou energií, kterou uskládá v akumulátoru (baterii) a dále využívá pomocí stejnosměrného elektromotoru. Elektromobil lze dobít pouze z elektrické sítě, ať už se jedná o domácí střídavý rozvod 230 V, případně 400 V, v případě rychlých dobíjecích stanic stejnosměrným proudem a to až 1 000 A (dle typu vozidla). Při jízdě elektromobil využívá i brzdnou sílu stejnosměrných motorů, tzv. rekuperaci, kdy se baterie elektromobilu dobíjí brzděním. Rekuperace pak prodlužuje kýženou vlastnost elektromobilu – dojezd. Dojezd elektromobilu se v současné době pohybuje na velkém rozptýlu, a to od 100 do 700 km na jedno nabití, dle typu baterie a vozu.

## **4.2 HEV – Hybrid Electric Vehicle**

Hybridní automobily využívají především spalovací motor, který je jejich hlavním zdrojem energie pro pohyb. Nicméně v hybridním automobilu se nachází kromě spalovacího motoru i elektromotor s malou baterií, která je schopna auto dopravit na vzdálenost nižších jednotek kilometrů. Jedná se tedy o kombinaci těchto dvou pohonů. Baterie se dobíjí jen výše zmíněnou rekuperací a získaná energie je pak využívána při rozjezdu, jízdě pomalou rychlostí, případně pro prudké zrychlení. Jedná se totiž o stav, kdy je spotřeba spalovacího motoru největší a elektromotor s baterií jsou schopny tyto stavy kompenzovat.

## **4.3 PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle**

Jako v předchozím případě se jedná o kombinaci spalovacího motoru a elektrického pohonu. V tomto případě je v automobilu akumulátor s větší kapacitou. V případě plug-in hybridních automobilů se pohybuje dojezd čistě na elektřinu v rozmezí desítek kilometrů (cca 50 km). Myšlenka plug-in hybridů je taková, že pro dlouhé cesty lze využít spalovací motor a například pro cesty ve městě a na krátké vzdálenosti, lze využít elektrický pohon.

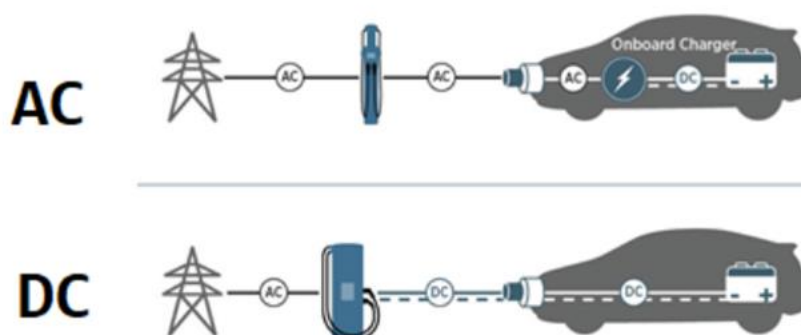
#### **4.4 FCEV – Fuel-Cell Electric Vehicle**

Jedná se o auto, které používá vodíkové palivové články, ze kterých za procesu katalytického slučování získá elektrickou energii. Jedná se teoreticky vzato o primární článek. V článku reaguje vodík a okysličovadlo za vzniku vodní páry a elektrické energie. Vodíkový pohon je velmi čistý, vodík je zároveň nejčastějším prvkem ve vesmíru a jedná se tak o velmi dobrý zdroj. Největší nevýhodou pohonu na vodík je především zatím nedostatečný vývoj v oblasti skladování vodíku v automobilu, jeho možnost distribuce kvůli dosud nevybudované infrastruktuře a jeho třaskavosti. Vzhledem k soustředění velkých automobilek na BEV zůstávají FCEV prozatím na okraji zájmu. V této práci nebude uvažován rozvoj vodíkových elektromobilů kvůli potřebě mnohaletého vývoje ve zmíněných oblastech.

## 5 Technologie dobíjení elektromobilů

Typy dobíjení dělíme do několika skupin dle typu konektoru, případně dle typu proudu a dále dle výkonu.

Dle proudu můžeme dělit dobíjení na dobíjení střídavým proudem (značeno jako AC – Alternating Current, nebo stejnosměrným proudem (značeno jako DC – Direct Current). Akumulátor v elektromobilu je vždy dobíjen stejnosměrným proudem, proto se v elektromobilu nachází usměrňovač, který převede proud ze střídavého na stejnosměrný. Nicméně usměrňovač je omezen velikostí elektromobilu, čímž je omezen i jeho výkon a tak nabíjecí výkony ze zdroje střídavého proudu jsou vždy nižší, než je tomu u stejnosměrného. U nabíjení ze zdroje DC už není potřeba proud měnit na stejnosměrný a dobíjení baterie tak probíhá přímo. Pak už záleží na výrobci baterii a jejich technologické kvalitě, jak velký výkon pojmu. [10]

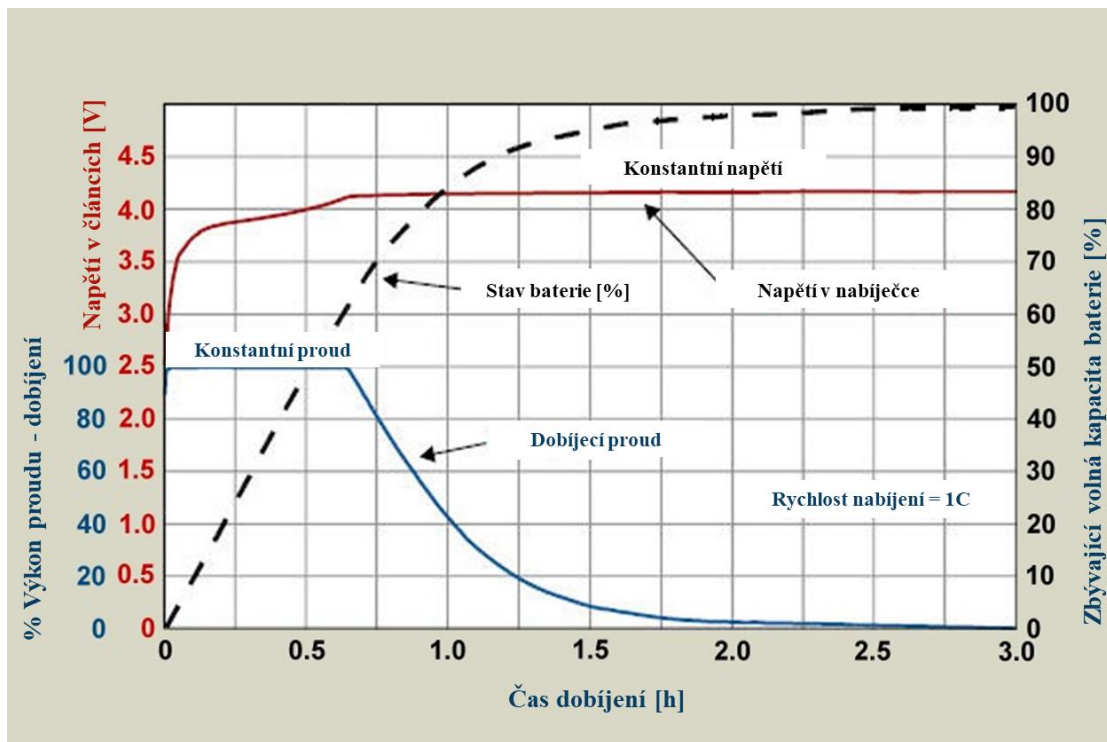


Obrázek 8: Dobíjení AC vs DC [11]

Dobíjení u elektromobilů má svá určitá specifika. U dobíjení baterie vzniká mnoho rizik, především díky tomu, že při dobíjení se mění chemické vlastnosti baterie, přičemž vzniká teplo. Zahříváním se baterie ničí. Z pravidla čím větší energie při dobíjení, tím se baterie více zahřívá a tím více je pak náchylná k poškození a ztrácí tak svoji původní kapacitu rychleji nežli při šetrném dobíjení.

Rychlost nabíjení není však to jediné, co může snižovat v průběhu používání elektromobilu kapacitu baterie. Výrobci doporučují používat elektromobil tak, že nabíjení by mělo probíhat vždy od 20 – 80 % kapacity baterie. Nabití na 100 % kapacity baterie je doporučováno jen ve výjimečných případech, například při jízdě na delší vzdálenosti. [12]

## Obecný diagram dobíjení baterie



Graf 1: Průběh dobíjení baterie [13], vlastní zpracování

Zároveň nelze prohlásit že nabíjení na 50 kW nabíječe nabijete elektromobil s kapacitou baterie 50 kWh přesně za jednu hodinu. Jak zobrazuje graf výše, nabíjecí proud není konstantní, což souvisí s odporem baterie, který se zvětšuje a znemožňuje tak rychle dobíjet.

Obecně elektromobily velmi dobře, tzn. téměř na plný výkon dobíjecí stanice, nebo maximální výkon, který je umožněn výrobcem elektromobilu, dobíjí od cca 5 % kapacity baterie, do 60 – 80 % kapacity baterie. [11]

Toto opatření přispívá nejen k bezpečnosti dobíjení, ale i k delší životnosti baterie. Jak je vidět z grafu výše dobíjecí proud v průběhu dobíjení klesá, jak zároveň s ním stoupá celková stav nabití baterie. Aby toto bylo možné, probíhá mezi elektromobilem a dobíjecím bodem, nebo stanicí, komunikace a dobíjení je tak bezpečné a méně poškozuje baterii. [11]



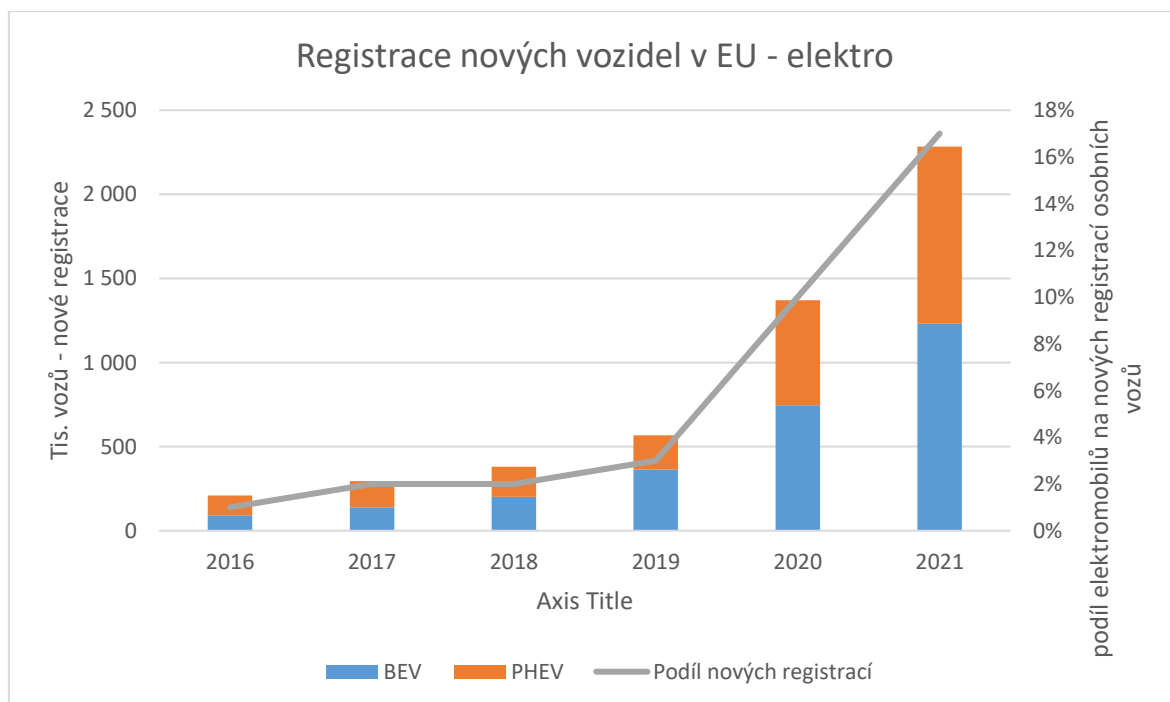
## 6 Aktuální stav vozového parku

Aktuálně je v zemích evropské unie používáno přibližně 280 mil. vozidel, od osobních, přes užitkové, nákladní vozy a autobusy s meziročním nárůstem o přibližně desítku milionu ročně (za léta 2016 – 2022). V dostupných datech je v EU k roku 2020 je konkrétně:

- 246 mil. osobních automobilů
- 28 mil. dodávek a užitkových vozů
- 6,2 mil. nákladních automobilů
- 700 tis. autobusů. [14]

Cílem EU je balíčku „Fit for 55“ snižovat emise způsobené dopravou a to o 90 % do roku 2050. V oblasti transportní dopravy na silnicích jsou nastaveny cíle státy evropské unie na snížení o 55% do roku 2030 u osobních automobilů a o 50 % u užitkových vozidel, jako jsou dodávky. Další cíl, který však určuje strategie „Sustainable and Smart mobility strategy“, v překladu Strategie udržitelné a chytré mobility, a to je mít v užívání 30 mil. osobních automobilů, které nevypouští žádné emise – tj. bezemisních do roku 2030.

K roku 2021 dosáhl počet registrací elektromobilů (BEV a PHEV kombinovaně) 2,2 milionu vozů, u BEV byl přírůstek 1,2 mil. a u PHEV 1 mil. registrací. Celkový poměr nových registrací elektromobilů byl v EU 17 %.



Graf 2: Registrace nových vozidel v EU [14]

## 6.1 Aktuální stav elektromobility v oblasti nákladní dopravy

Ačkoliv osobní doprava elektromobily v posledních letech zaznamenává nárůst, situace u nákladních automobilů je značně složitější. Problémem nákladních automobilů je především fakt potřeby velké baterie, která by byla schopna utáhnout těžká břemena ještě s potřebou dojezdu na velké vzdálenosti a rychlého dobíjení.

V současné době bylo zaregistrováno globálně k roku 2021 asi 14 200 tzv. Heavy Duty Vehicles, což v globálním pohledu znamená asi 0,3 procenta. Ve velké části se tak jedná spíše o experimentální vozidla. [16]

Pro nákladní dopravu by mohly být schůdné například rychlé a jednoduché výměny baterií, vybitou za nabitou. Čímž by se mohl vyřešit malý dojezd nákladních vozů, nicméně by toto řešení vyžadovalo budování nové infrastruktury pro dobíjení, skladování a výměnu vybitých baterií.

Dále pak by mohlo být řešení nákladní dopravy v principu podobné tzv. hybridním trolejbusům, kdy trolejbus nejen že se dokáže napájet z trakčního vedení, ale má instalovanou baterii sloužící k pohonu vozidla. Dokáže tak překonat krátké vzdálenosti, aniž by v místě bylo potřeba budovat trakční vedení. Nicméně je zde opět otázka budování infrastruktury celoevropského měřítká. Tento přístup v Praze například testuje Dopravní podnik. [17]

Na základě dostupných dat, lze hodnotit nákladní elektro dopravu jako ve velmi ranném stádiu vývoje, bez jasně vyřešeného konceptu. V rámci nákladní dopravy přichází v úvahu lehká užitková vozidla. [18]

## **7 Praktická část**

Cílem metodické části je určit klíčové parametry týkající se jednotlivých aspektů elektromobility, a to z pohledu ekonomického, energetického a z pohledu ekologie. Tyto informace pak budou v praktické části propojeny, identifikovány jejich limity a doporučení pro výrobce, uživatele i prodejce, kterými by měla elektromobilita ubírat.

### **7.1 Ekonomické aspekty elektromobility**

Z ekonomického pohledu bude práce identifikovat několik základních parametrů s cílem vyhodnotit hlavní ekonomické ukazatele. Mezi hlavní ekonomické ukazatele bude patřit nákladová cena elektromobilu, a to z pohledu provozních nákladů na paliva v souvislosti s chováním uživatelů elektromobilu.

Dalšími ukazateli bude pořizovací a výrobní cena elektromobilu a jeho jednotlivých částí. V praktické části pak budou uvedena doporučení pro snížení jak provozních, tak i pořizovacích nákladů.

### **7.2 Energetické aspekty elektromobility**

Cílem kapitoly energetické aspekty elektromobility bude identifikovat jednotlivé energetické parametry ovlivňující elektromobilitu, jako je počet dobíjecích míst, průměrné dobíjecí časy a vliv na energetickou síť.

### **7.3 Ekologické aspekty elektromobility**

V této kapitole bude věnována pozornost především uhlíkové stopě při výrobě, ale i při provozu elektromobilu ve srovnání s automobilem se spalovacím motorem. Tato data budou dána do kontextu a dále porovnána v praktické části práce.

## 8 Ekonomické aspekty elektromobility

Abychom správně pochopili ekonomické aspekty elektromobility, je potřeba nejprve definovat klíčové faktory, které budou do ekonomické rovnice vstupovat.

V ekonomických aspektech elektromobilů hodnotíme z pohledu spotřebitele a z pohledu výrobce, neboť rozvoj elektromobility a prodeje elektromobilů budou závislé na ceně produktu, která musí být přiměřená k finančním možnostem spotřebitele.

V případě jakéhokoliv automobilu musí spotřebitel zvažovat dvě investice, pravidelnou v podobě provozu a údržby vozidla a jednorázovou investici v podobě nákupu a uhrazení pořizovací ceny (ať už se jedná o pořízení formou leasingu, nebo uhrazení částky z vlastních zdrojů).

Na druhé straně jsou výrobní jednotkové náklady na výrobu vozu, která se skládá z položek jako je výroba, doprava a montáž komponent. Elektromobily mají oproti autům se spalovacím pohonem výhodu v jednoduchosti konstrukce a obecně nižšího počtu komponent, ze kterých se vozidlo skládá. Nicméně na druhou stranu je u elektromobilů potřeba počítat s vyšší potřebou vzácných kovů pro výrobu bateriových článků.

Dále je pak z ekonomického pohledu potřeba analyzovat cenu elektrické energie pro dobíjení elektromobilu. Ta, jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, se skládá z několika parametrů a je při počítání nákladů na provoz vozidla vzít v úvahu několik zjednodušení a průměrné ceny, jakož i chování uživatelů elektromobilů.

Následující kapitoly tak budou mapovat nejdříve provozní náklady na dobíjení elektromobilů. Dále pak celkovou cenu elektromobilu a jeho jednotlivých nejdražších komponent.

## 8.1 Ekonomie provozu

Ceny silové elektřiny pro dobíjení elektromobilů můžeme rozdělit na dvě základní skupiny, a to na domácí dobíjení, případně dobíjení v zaměstnání, z většiny pomalé dobíjení střídavým proudem. Druhá skupina je komerční dobíjení, kdy poskytovatel za účelem zisku buduje dobíjecí stanice, ať už AC, či dražší rychlodobíjecí stanice DC.

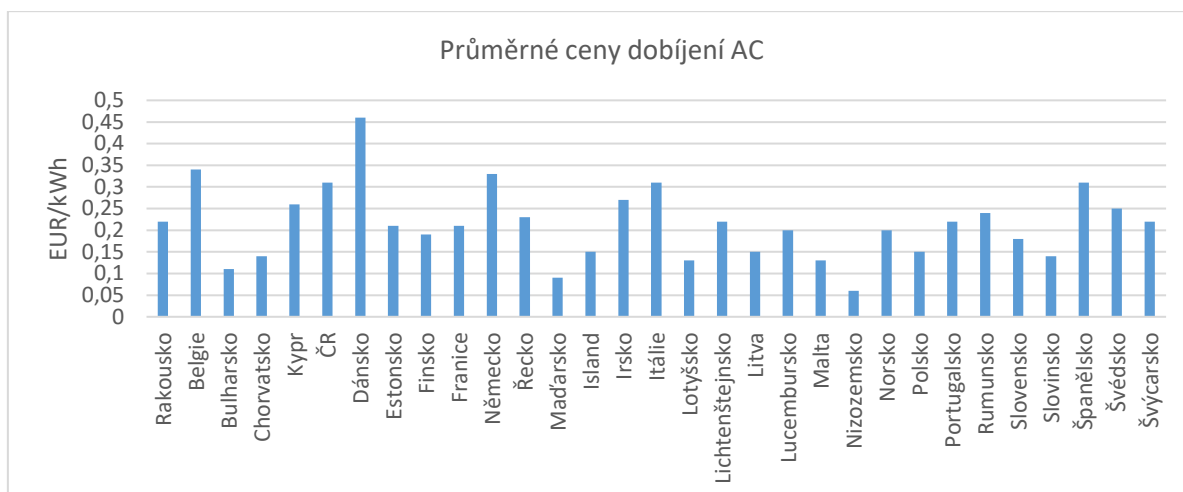
V rámci domácího nabíjení, či nabíjení v práci, je celková cena za dobitou kilowatthodinu nižší, a to z důvodu, že poskytovatel nemusí poskytovat vysokou flexibilitu na nabíjení a nemusí tak počítat s vysokým rizikem výkyvu sítě.

V druhém případě u komerčního dobíjení se cena liší dle poskytovatele i o desítky procent, přičemž záleží nejen na zvolené rychlosti dobíjení. Poskyvatelé nabízí různé typy tarifů, ať už je to měsíční poplatek neomezeného nabíjení AC, případně předplacené nabíjení AC i DC. Záleží i na tom, jestli máte s poskytovatelem smlouvu. V případě, že s poskytovatelem majitel elektromobilu smlouvu nemá a platí za nabíjení hotově, cena může být značně dražší.

Cenotvorba dobíjení elektromobilů je tak velmi dynamická a nabízí zákazníkům velkou flexibilitu možností dobíjení, kde záleží na mnoha faktorech. To je základní rozdíl oproti tradičnímu tankování aut se spalovacím motorem, kde zákazník sleduje jen jednu hodnotu, a to cenu pohonné hmoty za litr.

### 8.1.1 Pomalé dobíjení AC

Uživatelé elektromobilů je v rámci EU nejvíce preferované pomalé dobíjení pomocí AC ať už doma nebo v místě pracoviště. Dle organizace Eco-movement tento typ dobíjení preferují uživatelé v 70 % případů, tj. 70 % spotřebované elektřiny u elektromobilů pochází z pomalého dobíjení střídavým proudem. [19]



Graf 3: Průměrné ceny dobíjení AC [19]

Na grafu výše lze vyčíst průměrné ceny elektrické energie pro pomalé dobíjení střídavým proudem AC. Cena za kWh vychází z ceny elektrické energie pro domácnosti v daných zemích. Mediánem pro cenu pomalého dobíjení je 0,21 EUR/kWh, průměr cen je s mediánem shodný. Cena nabití 70 kWh baterie, na kterou při odhadované spotřebě 20 kWh/100 km může uživatel ujet přibližně 350 km vyjde uživatele na 14,7 EUR, což je při předpokládaném kurzu 24 Kč za 1 EUR je 352 Kč. Při předpokládané spotřebě automobilu 6,5 l/100 km a cenně paliva 37 Kč/l je cena za 1 km v nákladech na palivo 2,4 Kč, v případě elektrické energie z AC je náklad 1,008 Kč.

### 8.1.2 Rychlé dobíjení DC

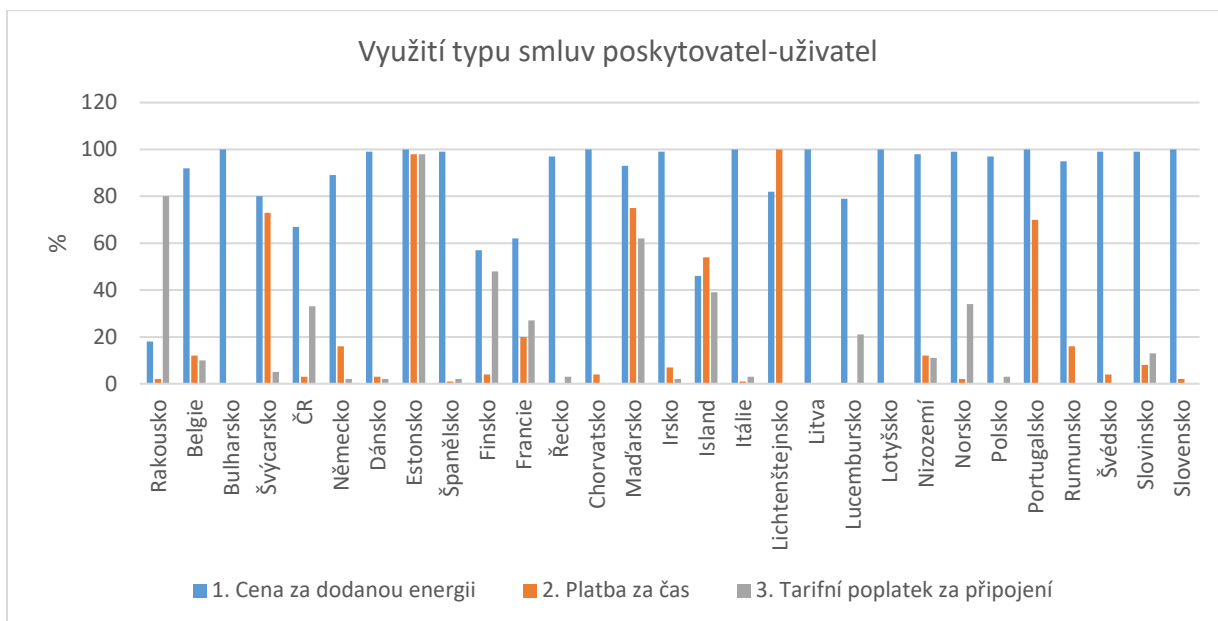
U rychlého dobíjení stejnosměrným proudem DC má uživatel opět dvě možnosti. Díky „Nařízení evropského parlamentu o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva a o zrušení směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/94/EU“ má zákazník právo nabíjet i bez smlouvy a jiným dlouhodobým komerčním vztahem s poskytovatelem, nicméně cena se může značně lišit. Toto dobíjení se v literatuře označuje jako ad hoc dobíjení. [19]

Druhou možností dobíjení je na základě smlouvy s provozovatelem dobíjecí stanice, tzv. eMSP charging (e-mobility service provider). Uživatel, jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, má několik variant smluvního vztahu.

1. Smlouva s měsíčním poplatkem, který zaručuje nízkou jednotkovou dobíjecí cenu s omezeným počtem kWh. [19]
2. Smlouva s neomezeným počtem kWh. [19]
3. Složené sazba stanovená z ceníku poskytovatele + příplatek (v rámci spolupráce poskytovatelů „A“ a „B“ v případě, že uživatel má smlouvu s „A“ a nabíjí u „B“). [19]
4. Sazba pro dobíjení v zahraničí. [19]

Sazba, kterou poskytovatel uživateli dobíjecí stanice se skládá z několika základních komponent, a to jak v případě ad hoc dobíjení, tak i v rámci eMSP.

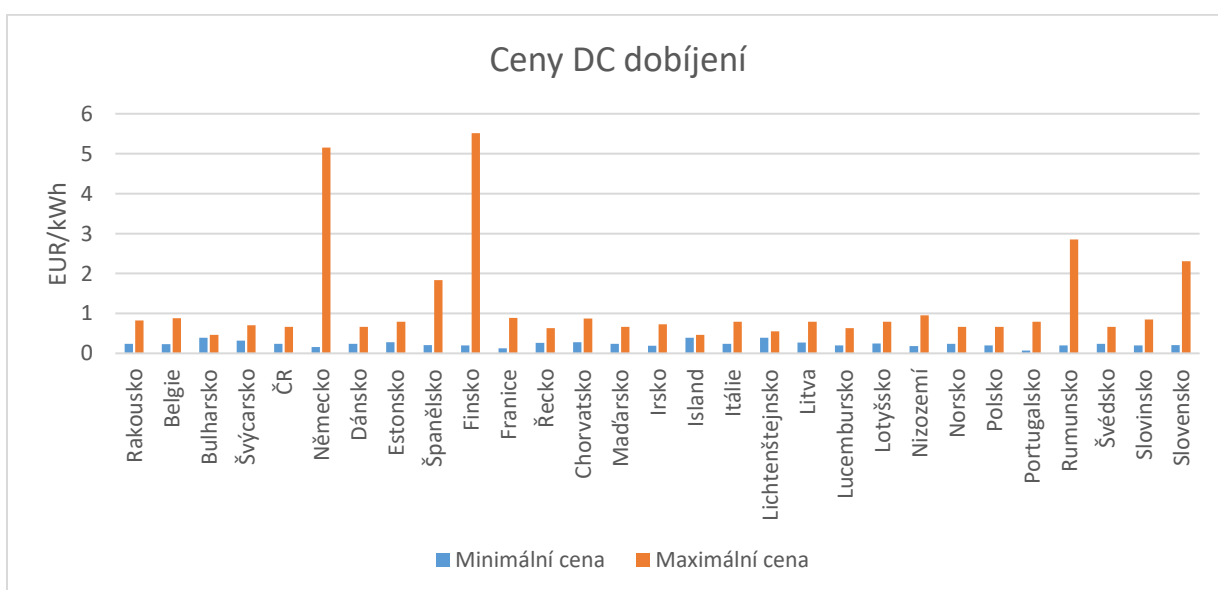
1. Cena silové elektřiny, tj. cena za dodanou kWh. [19]
2. Platba za čas, po který je elektromobil připojen k dobíjecímu bodu a je dobíjen, částka nezávisí na dobitých kWh. [19]
3. Tarifní poplatek za připojení. Tato hodnota nijak nesouvisí na množství energie dodané do baterie elektromobilu, ani na čase na nabíječce stráveným. [19]
4. Ostatní poplatky a pokuty v případě, že je elektromobil již dobitý, a přesto stále připojený k dobíjecímu místu, bude uživateli naúčtován poplatek za blokování dobíjecího místa. [19]



Graf 4: Využití typu smluv poskytovatel-uživatel [19] (vlastní zpracování)

Jak je z grafu patrné, zdaleka nejvyužívanějším typem smlouvy s poskytovatelem dobíjení pro elektromobily je platba za kWh, jako je tomu zvykem u běžných odběrů silové elektřiny. 2. nejpoužívanějším způsobem je platba za čas. Kromě Rakouska je účtování tarifního poplatku za připojení výjimkou.

Pakliže srovnáme evropské ceny rychlého dobíjení, pohybují se, až na výjimky, v rozsahu 0,2 – 0,8 EUR/kWh, cena se liší především dle země a rychlosti dobíjecích stanic viz následující graf níže. Nejnížší ceny za dobíjení jsou dle dat z grafu v Portugalsku, Francii, Německu a Nizozemí.



Graf 5: Ceny DC dobíjení [19] (vlastní zpracování)



Cena nabití 70 kWh baterie, na kterou při odhadované spotřebě 20 kWh/100 km může uživatel ujet přibližně 350 km vyjde uživatele na 14 – 56 EUR, což je při předpokládaném kurzu 24 Kč za 1 EUR je 336 – 1334 Kč. Při předpokládané spotřebě automobilu 6,5 l/100 km a ceně paliva 37 Kč/l je cena za 1 km v nákladech na palivo 2,4 Kč, v případě elektrické energie z DC je náklad 0,96 – 3,81 Kč. Především ultra rychlé nabíjení, které je z pravidla dražší, může i se spojeným nepohodlím nabíjení být dražší, nežli tankování pohonných hmot.

### 8.1.3 Servis elektromobilů

Elektromobily jsou v principu, pakliže z úvahy vyjmeme baterie, konstrukčně jednodušší. U elektromobilů odpadá potřeba složité strojní konstrukce motorů a s tím spojené jejich řízení, které obsahuje velké množství komponent od bloku motoru, několika pohyblivých válců spojených přes mechanismy klikových hřídelí až k pohonnému ústrojí vozu, které je spojeno přes spojku a převodovku. Spálený benzín je dále potřeba odvádět ve formě spalin z motoru spalínovým systémem, který zachytává nebezpečné plyny, především NO<sub>x</sub>.

U všech těchto částí, většiny z nich pohyblivých, dochází k opotřebení a postupné degradaci materiálu. Tyto děje pak v důsledku tvoří většinu nákladů spojenou se servisem klasických vozů se spalovacím motorem.

Výzkum společnosti Consumer reports, které na základě průzkumu u stovek tisíc uživatelů vozidel se spalovacím motorem a elektromobilů porovnávali náklady na servis jejich vozidel. Níže jsou uvedeny průměrné náklady vztahující se k nákladům za servis vozidla v USD/míle, respektive po přepočtu kurzem USD/EUR 0,92 k začátku r. 2023. [20]

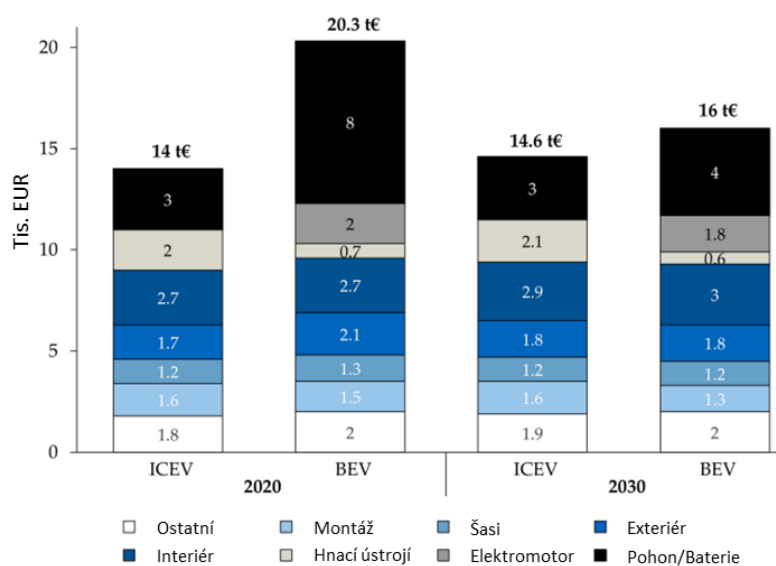
- BEV: 0.03 USD/míle -> 0,171 EUR/km (zaokrouhleně),
- ICEV: 0.06 USD/míle -> 0,343EUR/km (zaokrouhleně) [20]

Náklady na provoz, vyjma dobíjení, případně tankování paliv, jsou v případě elektromobilů poloviční, oproti vozům se spalovacím motorem.

## 8.2 Ekonomika výroby

Pro určení výrobní ceny a co ji bude ovlivňovat je potřeba identifikovat jednotlivé náklady na pracovních úkonů a komponentů obsažených v elektromobilu viz následující graf. Graf ukazuje jednotlivé položky tvořící cenu elektromobilu jako jsou náklady na interiér, exteriér, hnací ústrojí, pohon vozu a další. Na první pohled je zřejmé, že za obecně vyšší cenou elektromobilů stojí cena baterií. Oproti automobilu se spalovacím pohonem se jedná o téměř trojnásobný nárůst nákladů na pohon, kde uvažujeme u klasického automobilu spalovací motor a u elektromobilu cenu baterie k roku 2020. Predikce v roce 2030 počítá se snížením nákladů na výrobu baterií na polovinu. Nyní cena baterií tvoří přibližně 40 % ceny vozu. [21]

Druhá odlišnost v nákladech ICEV oproti BEV spočívá v případě elektromobilu v ušetření nákladů na hnací ústrojí, jako je převodovka, spojka, spalínovody, atd. Oproti tomu bychom teoreticky do hnacího ústrojí pro elektromobil započítat elektromotor, pak by náklady na hnací ústrojí byly v neprospěch BEV o 75 % dražší, než je tomu u ICEV. [21]



Graf 6: Rozložení cen jednotlivých komponentů v BEV a ICEV [21] (vlastní zpracování)

Z grafu můžeme jasně identifikovat, že nejsilnějším faktorem, že průměrná cena elektromobilů je vyšší, než u ICEV je cena baterie. Současně, je průměrný rozdíl ceny dvou typů vozů přibližně o 40 – 45%. Graf od poradenské společnosti Oliver Wyman pak predikuje snížení ceny baterií na polovinu, což by znamenalo rozdíl v ceně dvou typů vozidel o 9 % v neprospěch elektromobilů.

### 8.2.1 Cena baterií

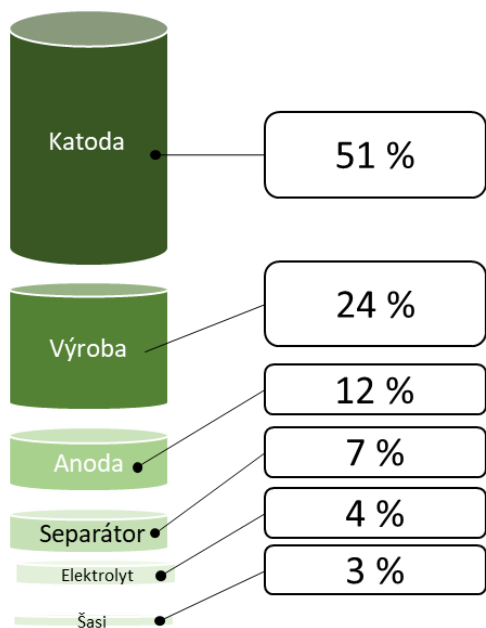
Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, jako hlavní prvkem ovlivňující cenu elektromobilu byly identifikovány baterie, které se podílí na finální ceně vozu přibližně ze 40 % což při srovnání s automobily se spalovacím motorem je nárůst o 300 % na nákladech za pohonné ústrojí neboli náklady na baterie.

Jak již bylo pospáno v kapitole č. 3, baterie se skládá ze tří základních komponent, jimiž jsou katoda, anoda a elektrolyt. Abychom získali celkovou cenu je potřeba započítat kromě výše zmíněných komponent výrobu baterií, obal baterie a oddělovací články – separátory, které oddělují anodu a katodu.

Vysoká cena katod je dána především tím, že se vyrábí ze vzácných materiálů jako je lithium, kobalt, nikl a magnezium. Tyto materiály je potřeba těžít, zpracovávat do požadované kvality.

Výrobci baterií a elektromobilů je nemají přímý vliv na globální ceny vzácných kovů, mohou ale ovlivnit výrobní cenu jednotlivých výrobních postupů a zefektivnit tak jejich výrobu, a to především v částech elektrod, tj. katod a anod. Jejich cena souhrnně dosahuje podílu cca 63 % ceny baterie. Další možnost, jak baterie zlevnit, je zefektivnění a automatizace montáže bateriových článků a úprava jednotlivých postupů.

Výrobní cenu baterie dle souhrnných studií uvažovat jako 100 USD za kWh kapacity baterie. Při kurzu 0,92 bude cena 92 EUR/kWh. [22]



Graf 7: Cenotvorba jednotlivých komponent baterie [22] (vlastní zpracování)

Závěrem lze konstatovat, že elektromobily, při zachování marží u osobní automobilů by měly být ceny elektromobilů přibližně o 32 % vyšší než ceny automobilů se spalovacím motorem. Rozdílem v ceně je především baterie, jež u elektromobilu je největším investičním nákladem a to až 40 %.

## 9 Energetické aspekty elektromobility

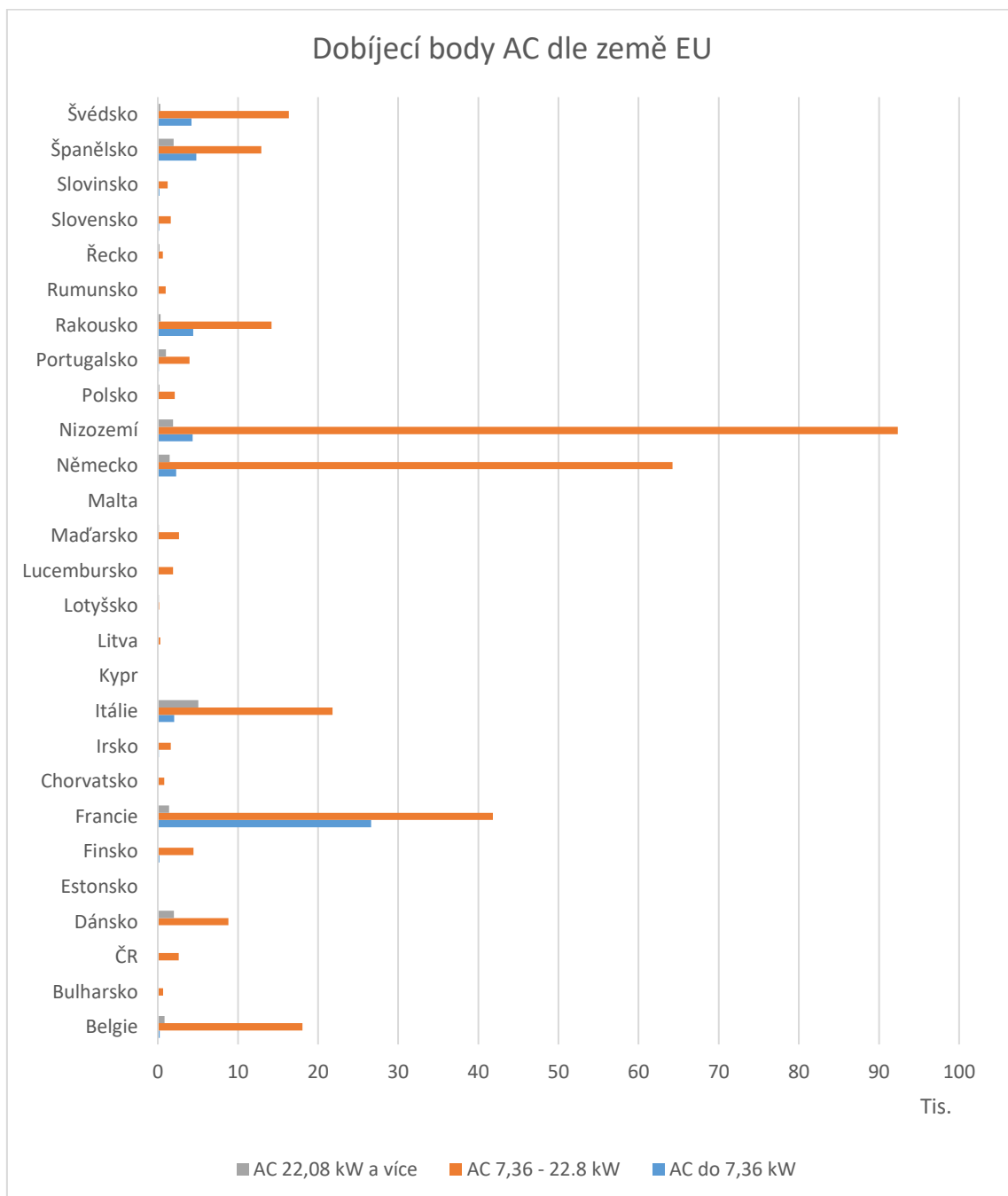
Elektromobilita s sebou přináší i velkou energetickou proměnu celého automobilového průmyslu. V konečném důsledku předpokládáme změnu paliva v celosvětovém kontextu pro více jak jeden a čtvrt miliardy vozidel (dle různých odhadů). Tento krok bude vyžadovat proměnu samotného průmyslu elektroenergetiky, aby se dokázal s takovou poptávkou vyrovnat.

Tato kapitola se bude zaměřovat nejen na energetickou náročnost, kterou elektromobily svojí spotřebou elektrické energie způsobí elektrizační soustavě, ale i na otázky zdrojů surových materiálů, které jsou při výrobě baterií elektromobilů potřeba. Zároveň budou mapovány zdroje surových materiálů pro výrobu baterií.

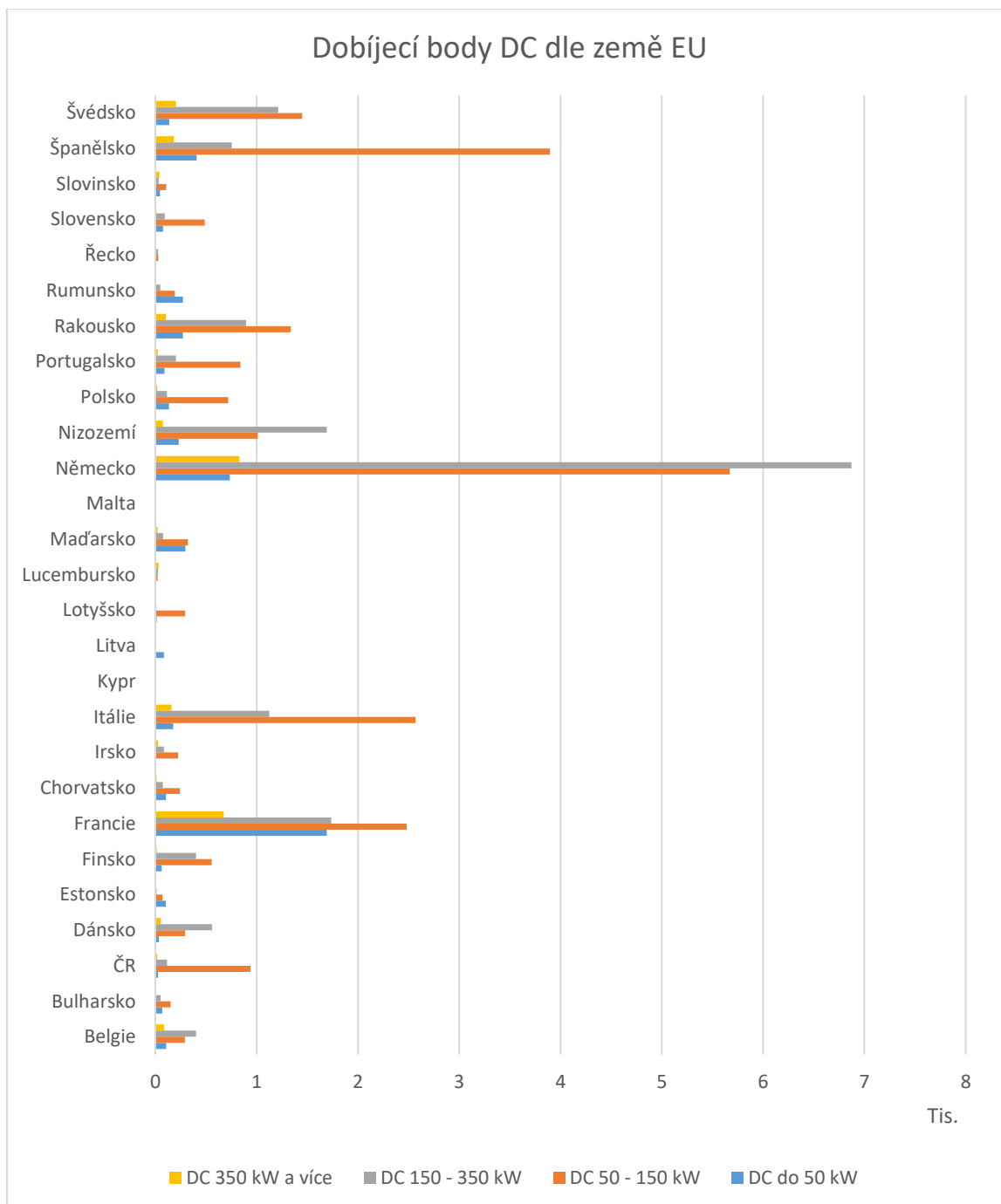
Část mapující energetické aspekty se pokusí stanovit průměrné nájezdy při užití elektromobilu, přičemž data budou vycházet i z užití automobilů se spalovacím motorem. Z těchto parametrů bude posléze dopočítána potřeba nových zdrojů.

## 9.1 Dobíjecí infrastruktura v EU

Na následujícím grafu můžeme porovnat počet dobíjecích bodů AC dle zemí EU. Mezi země s nejhustší sítí dobíjecích bodů AC patří země západní Evropy a to Nizozemí, které nabízí uživatelům elektromobilů skoro 100 000 dobíjecích bodů o různých rychlostech. Následuje Francie s přibližně 69 tis. Nabíjecími body AC a Německem s přibližně 68 tis. dobíjecími body. Státy s nejmenším počtem dobíjecích bodů se pohybují v desítkách případně stovkách dobíjecích bodů v zemi. [23]



Graf 8: Dobíjecí AC dle země EU [23] (vlastní zpracování)



Graf 9: Dobíjecí body DC dle země EU [23] (vlastní zpracování)

Co se týká dobíjecích bodů DC pro rychlé dobíjení patří mezi nerozvinutější země EU Německo, které nabízí uživatelům elektromobilů až 14 tis. dobíjecích DC bodů, přičemž je v Německu instalován i největší počet tzv. Ultra-fast nabíječek s výkonem nad 350 kW. Druhou nejdostupnější zemí EU pro rychlé dobíjení je Francie s více jak 6,5 tis. dobíjecími body.



## 9.2 Počet elektromobilů v EU a jejich nároky na infrastrukturu

Počet jakýchkoli automobilů, ať už se jedná o automobily se spalovacím motorem, nebo elektromobily je vždy těžké určit kvůli nepřesnému vykazování vyřazených aut. Jedná se vždy o odhady. Nejlépe sledovaným parametrem z pohledu elektromobility tak zůstává nový počet registrací.

Dle dat Evropské Asociace Výrobců Automobilů (ACEA – European Automobile Manufacturers Association) zaznamenal prodej BEV nárůst mezi lety 2020 a 2021 o 64,1 % a prodej PHEV nárůst o 68,8 %. V číslech, se v roce 2021 prodalo 1, 28 mil. BEV a 1,04 mil. PHEV. Kumulativní prodeje tak od roku 2010 dosáhly u BEV 3,2 mil. prodaných kusů a u PHEV 2,5 mil. prodaných kusů.

Z předchozí kapitoly víme, jaké je složení dobíjecích stanic v rámci EU, níže jsou uvedena sumarizovaná data v tabulkách pro AC a DC dobíjení.

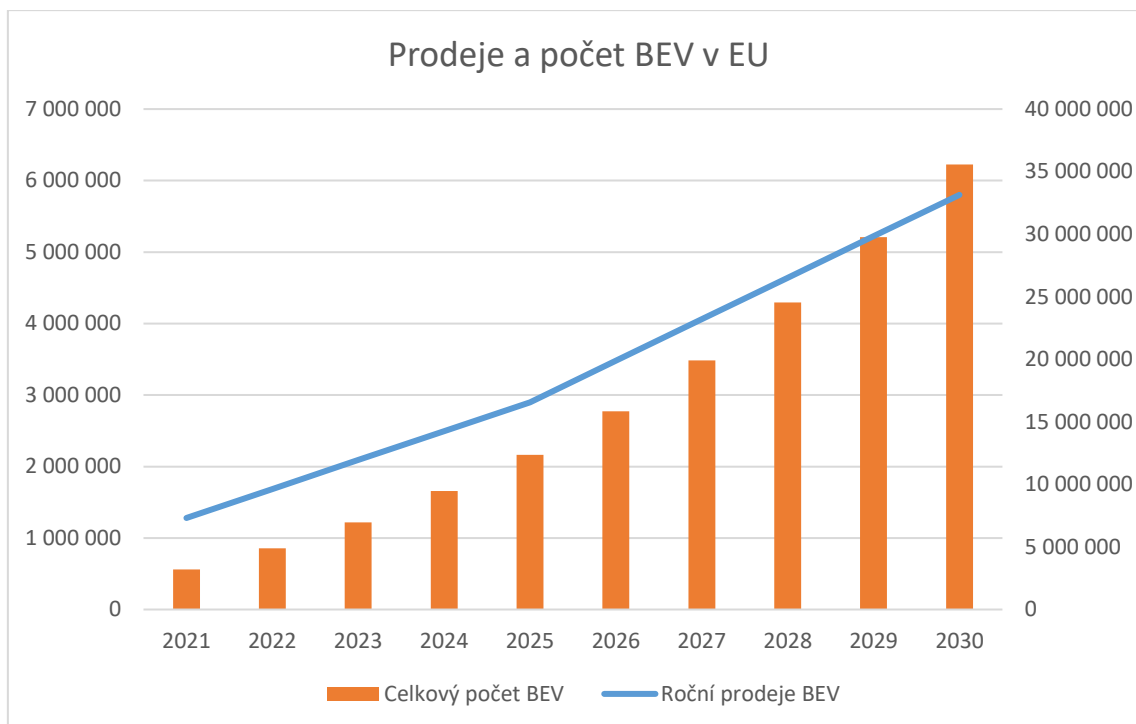
Počet dobíjecích bodů AC – sumarizovaná data	
AC do 7,36 kW	50 005
AC 7,36 - 22.8 kW	316 411
AC 22,08 kW a více	17 497
<b>EU celkově AC</b>	<b>383 913</b>

Tabulka 1: Počet dobíjecích bodů AC v EU [23] (vlastní zpracování)

Počet dobíjecích bodů DC – sumarizovaná data	
DC do 50 kW	5 176
DC 50 – 150 kW	24 206
DC 150 – 350 kW	16 626
DC 350 kW a více	2 599
<b>EU celkově DC</b>	<b>48 607</b>

Tabulka 2: Počet dobíjecích bodů DC v EU [23] (vlastní zpracování)

Z výše uvedených dat vyplývá, že pro aktuální počet dobíjecích bodů AC je v EU 8 BEV na jedno dobíjecí místo a 66 BEV pro jedno dobíjecí místo AC. Vezmeme-li v úvahu predikci vývoje prodeje elektromobilů, která předpokládá nárůst počtu prodejů v roce 2025 na 2,9 mil. prodaných BEV a 5,8 mil. prodaných BEV v roce 2030, bude potřeba věnovat pozornost rozšíření sítě dobíjecích bodů a zároveň počtu zdrojů elektrické energie. Data jsou vyobrazena na následujícím grafu.



Graf 10: Prodeje a počet BEV v EU [23] (vlastní zpracování)

Lze takto díky predikci vývoje prodejů elektromobilů BEV odhadnout, že do roku 2030 (5 let předtím, než bude prodej jiných, než bezemisních osobních automobilů zakázán), bude na evropských silnicích více než 30 milionů osobní elektromobilů BEV, což bude znamenat značnou zátěž pro energetickou infrastrukturu.

Z dat můžeme odečíst vyřazené elektromobily, jejichž životnost se omezuje z pravidla na 8 – 10 let, to znamená, že v reálném provozu v roce 2025 a 2030 bude po odečtení vyřazených vozů:

2025: cca 12 mil. BEV

2030 cca 32 mil. BEV. [24]

Kdybychom chtěli udržet poměr veřejných dobíjecích míst jako doposud, znamenalo by to nutnost vybudovat dalších 1,2 mil. dobíjecích bodů AC a 130 tis. dobíjecích bodů DC do roku 2025.

Do roku 2030, tj. v horizontu dalších 5 let, bude potřeba vybudovat dalších 2,8 mil. dobíjecích bodů AC a 355 dobíjecích bodů DC.

### 9.2.1 Význam pro energetiku

Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, do roku 2030 bude muset vyrůst několik set tisíc dobíjecích bodů DC a několik milionů veřejných dobíjecích bodů AC. S tímto trendem se budou muset vyrovnat nejen dodavatelé elektro nabíječek, ale bude potřeba v rámci stávajících městských prostor a dálnic přijít s řešením pro nabíjecí stanice od rychlejšího legislativního schvalování, jako je např. stavební povolení tak celkově nového technického řešení jako je například nabíjení u lamp veřejného osvětlení.

Pakliže pro zjednodušení zachováme poměry různých druhů AC i DC dobíjení, dostaneme při započítání max. výkonu nabíječky potřebnou kapacitu zdrojů, které ukazují následující tabulky:

Dobíjecí body AC predikce				
Typ dobíjení	2021	Poměr	2025 Počet dobíjecích bodů	2030 Počet dobíjecích bodů
AC do 7,36 kW	50 005	13 %	193 301	505 832
AC 7,36 - 22.8 kW	316 411	82 %	1 223 126	3 200 695
AC 22,08 kW a více	17 497	5 %	67 637	176 993
<b>EU celkově AC</b>	<b>383 913</b>	<b>100 %</b>	<b>1 484 064</b>	<b>3 883 520</b>

Tabulka 3: Dobíjecí body AC predikce (vlastní zpracování)

Dobíjecí body DC predikce				
Typ dobíjení	2021	Poměr	2025 Počet dobíjecích bodů	2030 Počet dobíjecích bodů
DC do 50 kW	5176	11 %	20 008	52 358
DC 50–150 kW	24 206	50 %	93 571	244 859
DC 150–350 kW	16 626	34 %	64 270	168 182
DC 350 kW a více	2 599	5 %	10 047	26 291
<b>EU celkově DC</b>	<b>48 607</b>	<b>100 %</b>	<b>187 896</b>	<b>491 690</b>

Tabulka 4: Dobíjecí body DC predikce (vlastní zpracování)

Pro odhad potřebných zdrojů bude práce vycházet z evropského průměru ujetých kilometrů v osobních vozech, a to jak ICE, tak i PHEV a BEV. Dle dostupných dat připadá na jeden osobní automobil přibližně 11 300 ujetých kilometrů za rok. [24]

Analýzou dostupných dat ze strany výrobců a prodejců elektromobilů v EU byla určena průměrná spotřeba 20 kWh na 100 km s průměrnou kapacitou baterie 70 kWh. Což znamená, že průměrný evropský elektromobil je schopen urazit na jedno nabití cca 350 km. [25]

Tedy s průměrným nájezdem 11 300 km ročně a průměrnou spotřebou 20 kWh na 100 km spotřebuje 1 elektromobil 2 260 kWh za rok. K roku 2021 spotřebují elektromobily BEV přibližně 7, 232 TWh elektrické energie za rok.

Celková vyrobená energie v EU za rok čítá 2782 TWh pro srovnávaný rok 2021. [26]

V případě naplnění predikcí počtu aut z Tabulky 1 a 2 kapitoly 9.2 bude spotřeba, při zachování současných spotřeb a ročních nájezdů, znamenat zvýšení roční spotřeby elektrické energie pro elektromobily BEV v rámci EU na 27,2 TWh pro rok 2025 a 72 TWh pro rok 2030, což je přibližně 10 procent celkové vyrobené elektřiny v EU při zachování současné roční výroby z roku 2021.

## 10 Ekologické aspekty elektromobility

Hlavním důvodem, proč se celá tranzice k bezemisním automobilům, za které jsou považovány i elektromobily, děje jsou ekologické aspekty. Bezemisní doprava má zajistit čistší ovzduší, méně skleníkových plynů vypouštěných do ovzduší automobilovou dopravou, zároveň je elektromobilita i tišším způsobem dopravy.

Elektromobily, především tedy BEV, emise při svém provozu nevypouští, nicméně elektrická energie nepochází vždy z obnovitelných nebo bezemisních zdrojů energie jako jsou větrné, sluneční a vodní elektrárny, případně jaderné elektrárny, ale pochází i z paliv fosilních, které mohou mít i horší parametry, co se týká vypouštěných koncentrací CO<sub>2</sub>, nežli je tomu u aut se spalovacím motorem.

Ani výroba elektromobilu není bezemisní, a především výroba baterií zatěžuje životní prostředí, ať už jde o těžbu vzácných kovů pro výrobu baterií jako je lithium, nikl, kobalt a další vzácné kovy, jejichž dobývání a následné zpracování je značně energeticky náročné a emisně náročné.

Cílem této kapitoly je porovnat výrobu aut se spalovacím motorem, BEV a PHEV. A to jak výrobní část obou typů vozidel, která se bude lišit, tak i jejich užívání. Pakliže budeme předpokládat, že provoz BEV bude v rámci vypouštěných CO<sub>2</sub> ekologičtější, klade si práce za to nalézt tzv. „Break even point“, tj. čas po jaké době bude z pohledu vypouštěných CO<sub>2</sub> výhodnější užívat elektromobil (BEV).

V rámci této kapitoly budou zhodnoceny možnosti ekologické likvidace a recyklace Výroba baterií a jejich životnost

## 10.1 Problematika baterií elektromobilů

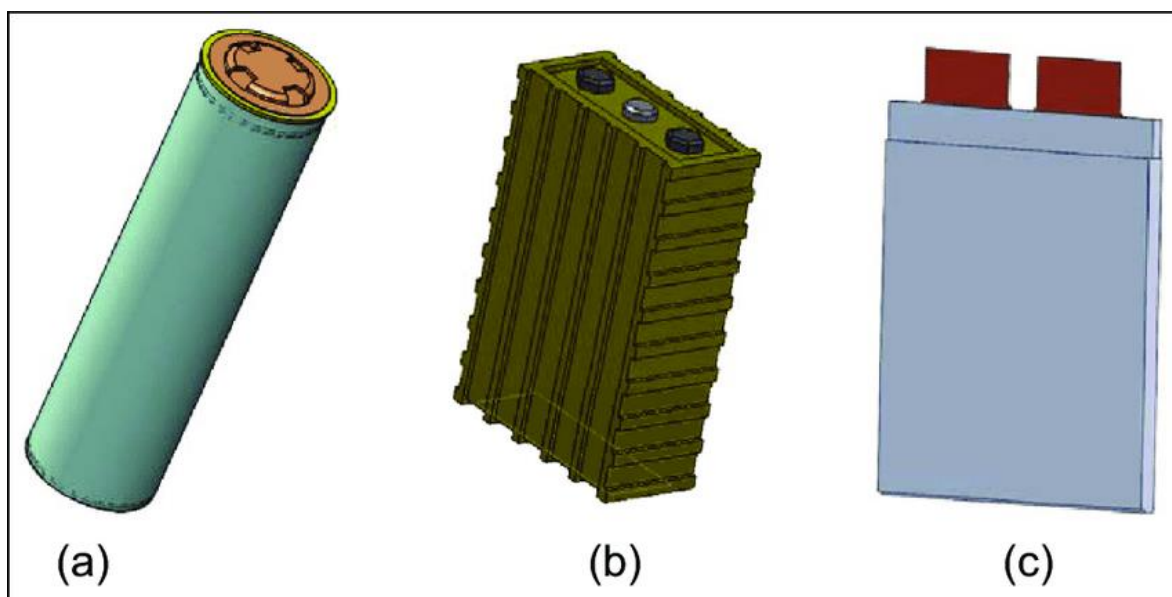
Klíčovým faktorem vysokých cen baterií, jak již bylo popsáno v kapitole 8.2.1, jsou především prvky baterie jako je katoda, která tvoří cca poloviční náklady na výrobu baterie, dále pak anoda, která přispívá do celkové ceny baterie přibližně 12 %. Problémem vysoké ceny těchto komponent jsou především vzácné kovy jako je lithium, magnezium, kobalt a nikl, a další.

Problém vzácných kovů a omezených ložisek na Zemi se však netýká jen baterií do elektromobilů, případně baterií pro stacionární uložení energie. Celá tranzice v udržitelné energetice a v bezemisním celospolečenském fungování na vzácných kovech silně závisí a je na nich životně závislá. Tudiž nelze brát v úvahu, že pouze výroba elektromobilů zapříčiní zvýšení cen vzácných kovů, nebo jejich nedostatek. Nicméně, vzhledem k předpokládanému počtu elektromobilů bude značným faktorem ovlivňující cenu vzácných kovů. S vysokou potřebou vzácných kovů se lze potkat například v solární, jaderné i vodíkové energetice a zdroje tak budou potřeba i v dalších oblastech rozvoje bezemisní ekonomiky.

## 10.2 Složení baterií v elektromobilech

Z principu samotného elektromobilu je zřejmé, jak již bylo zmíněno, že jeho kritickou částí je baterie. Proto bude vhodné definovat alespoň do základního přehledu, jak jednotliví výrobci elektromobilů a jejich baterií po technické stránce k věci přistupují, a to jak z hlediska konstrukce, tak z hlediska chemického složení.

Konstrukci baterií můžeme rozdělit do třech základních konstrukčních schémat, a to do cylindrického (a), prizmatického (b) a sáčkového (c). [27]



Obrázek 9: Rozdělení baterií dle konstrukce [27]

Cylindrické baterie jsou podobné tužkovým bateriím, jedná se o válcovité baterie se dvěma póly. Jejich výhodou je především bytelná konstrukce a to, že jsou již samy o sobě zapouzdřené, což pomáhá v rámci manipulace s nimi a jejich montáží. Zároveň se jedná o ověřenou technologii. Tento typ konstrukce baterie využívá například automobilka Tesla do svých elektromobilů. [27]

Prizmatické baterie jsou konstruované jako několik článků v jednom obalu, většinou ve tvaru kvádrů. Jejich výhodou je, že jejich konstrukce zpravidla může obsahovat více článků, a tudíž je jejich energetická hustota větší, nežli je tomu u baterií cylindrických. Zároveň výsledný výkon na konci jednoho článku, je vyšší, nežli tomu je u baterií cylindrických. Tento druh konstrukce využívá ve svých elektromobilech například koncern Volkswagen. [27]

Sáčkové baterie jsou na rozdíl od cylindrických konstruovány jako desky, pro lepší představu jako tabulka čokolády. Články jsou zabaleny v plastovém obalu, který je potažen hliníkovým nátěrem/nástřikem. Tyto baterie poskytují vysokou energetickou hustotu a kompaktní rozměry, nicméně jejich využití je díky slabé mechanické ochraně obtížné. Tento druh konstrukce v elektromobilech využívá například automobilka Hyundai, nebo koncern GM.

Jak již bylo zmíněno v přechozích kapitolách, nejpoužívanějším typem baterie v oblasti elektromobilů jsou Li-ion baterie. Jednotlivé baterie se liší i v chemickém složení, jedná se o různé principy chemického složení katod, nebo anod. Li-ion baterie dělíme následovně:

- LCO: Lithium-kobaltová
- LMO: Lithium-iontová baterie s oxidem manganičitým
- LFP: Lithium-železo fosfátová baterie
- NMC: Lithium-nikl-mangan-kobalt
- NCA: Lithium-nikl-kobalt-aluminium
- LTO: Lithium Titanové [28]

Typy složení jednotlivých baterií (respektive složení jednotlivých katod a anod) lze kombinovat a při vývoji a výrobě jsou tak výrobci závislí na jiných zdrojích surových materiálů. Odkud surové materiály pochází a jaké státy na světě mají rezervy popisuje následující kapitola.



### 10.3 Zdroje surových materiálů pro výrobu baterií

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, klíčovým z hlediska ceny a složitosti výroby elektromobilu jsou právě baterie. Nejen, že se jedná o novou, stále vyvíjenou technologii, ale zároveň je baterie složena z několika vzácných kovů, jejichž zdroje jsou ve světě značně omezené. Pro zmapování zdrojů vzácných kovů slouží tato kapitola.

Základem pro zdravé fungování ekonomiky je vždy dobrá alokace zdrojů pro výrobu produktů. U vzácných kovů je všeobecně známo že jejich alokace, a to jak z pohledu zdrojů surového materiálu, tak i jejich prvotního zpracování není z pohledu EU vždy ideální.

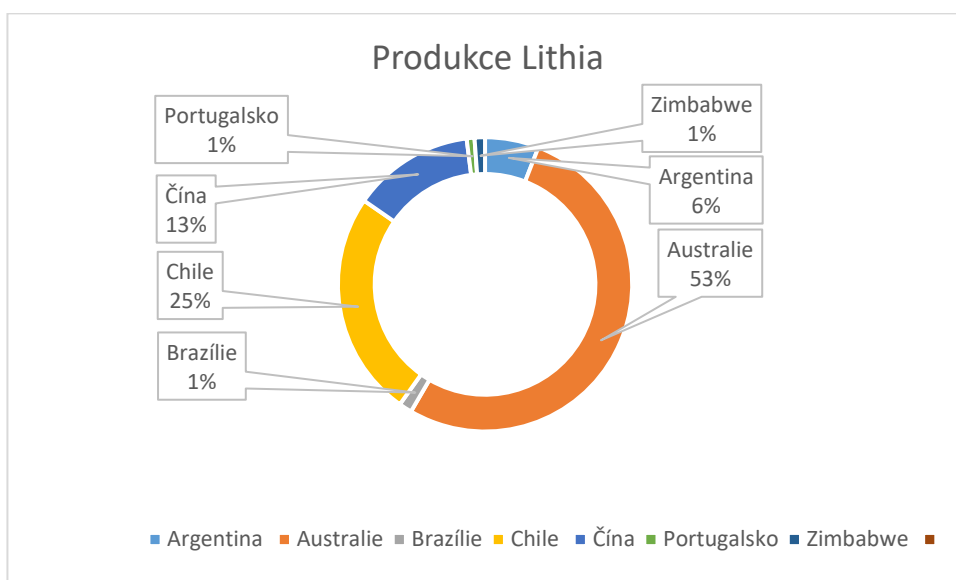
Toto globální rozdělení zdrojů může mít závažné následky na celé odvětví elektromobility, jako je tomu s riziky u produkce ropy. Proto v této kapitole budou zmapovány zdroje vzácných kovů a vyhodnocena jejich rizika přes index politické stability k průměrné celosvětové hodnotě indexu -0,07. Nejstabilnějším státem v hodnocení indexu je Lichtenštejnsko s indexem 1,67 a nejméně stabilním státem Somálsko s indexem – 2,68. [29]

Index pro Českou republiku je 0,96 a nachází se na 30. místě žebříčku.

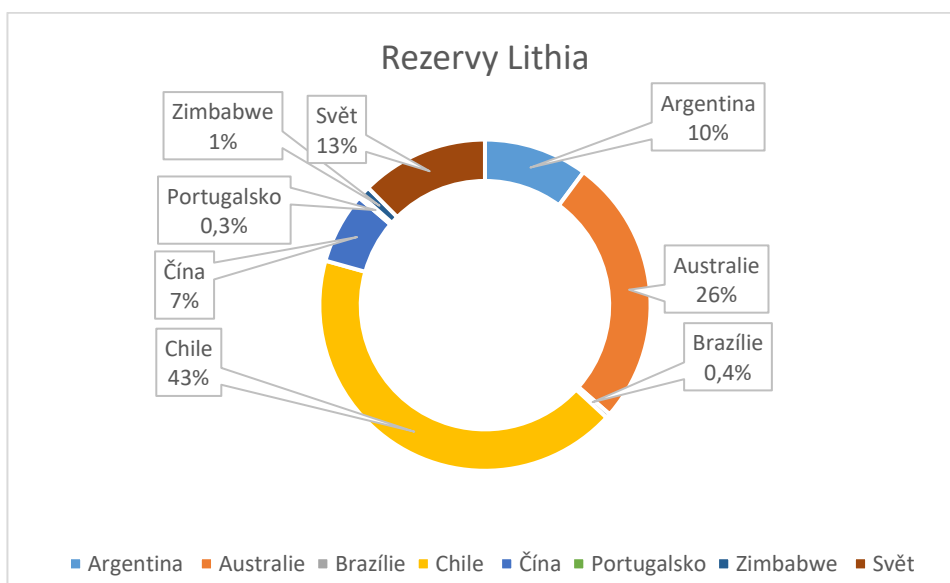
### 10.3.1 Lithium

Lithium je základním stavebním prvkem Lithium iontových baterií. V bateriích plní funkci elektrolytu, většinou v podobě solí. Jeho zdroje a produkce je pro výrobu baterií klíčová.

Největšími producenty lithia jsou v současné době Chile a Austrálie, které dohromady pokrývají 78 % celosvětové produkce lithia, jak je patrné z grafů níže. Největší zásoby se nachází v Chile, Austrálii a Argentíně, dohromady až 79 % celosvětových rezerv. Index politické stability je pro Chile 0,06 a pro Austrálii 0,85, což je z hlediska rizika pro zdroje těžkých kovů velmi dobrý výsledek. [29]



Graf 11: Produkce Lithia [31] (vlastní zpracování)

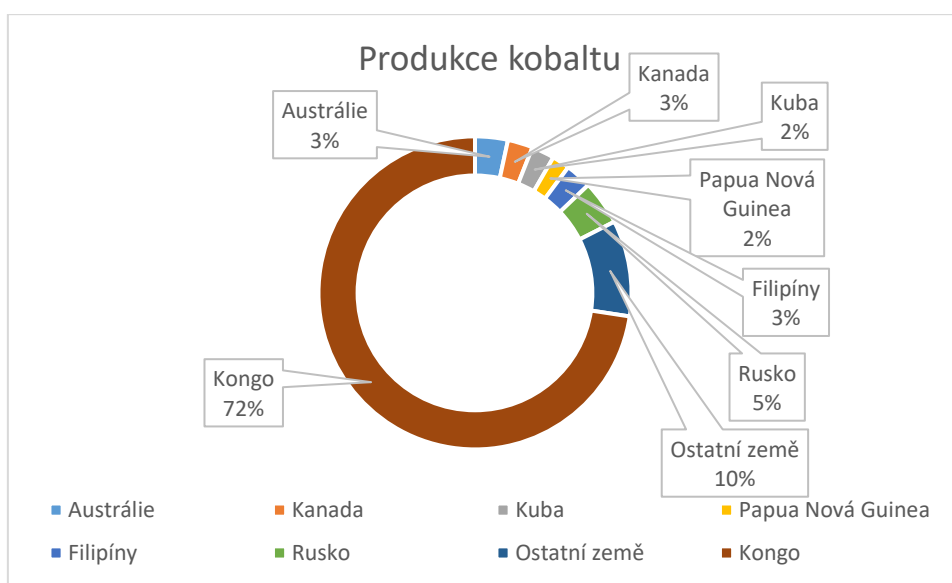


Graf 12: Rezervy Lithia [31] (vlastní zpracování)

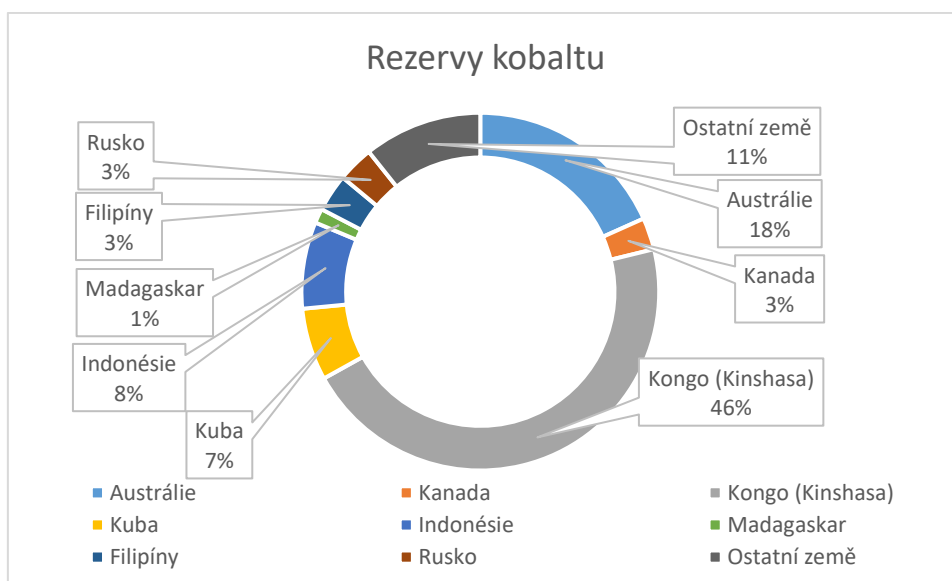
### 10.3.2 Kobalt

Kobalt je základním prvkem pro výrobu baterií do elektromobilů především u NMC baterií, respektive je používán pro výrobu katod, jehož koncentrace je v této části 10 – 20 %. [30]

Dle grafů níže, kobalt je potenciálně jedním z nejrizikovějších materiálů. Současná světová produkce je alokována v Kongu a 72 %, přičemž index politické stability v Kongu je -0,61. Pro pokrytí dodávek kobaltu by se měla rozvíjet těžba v zemích jako je Austrálie, nebo Kanada. [29]



Graf 13: Produkce kobaltu [31] (vlastní zpracování)

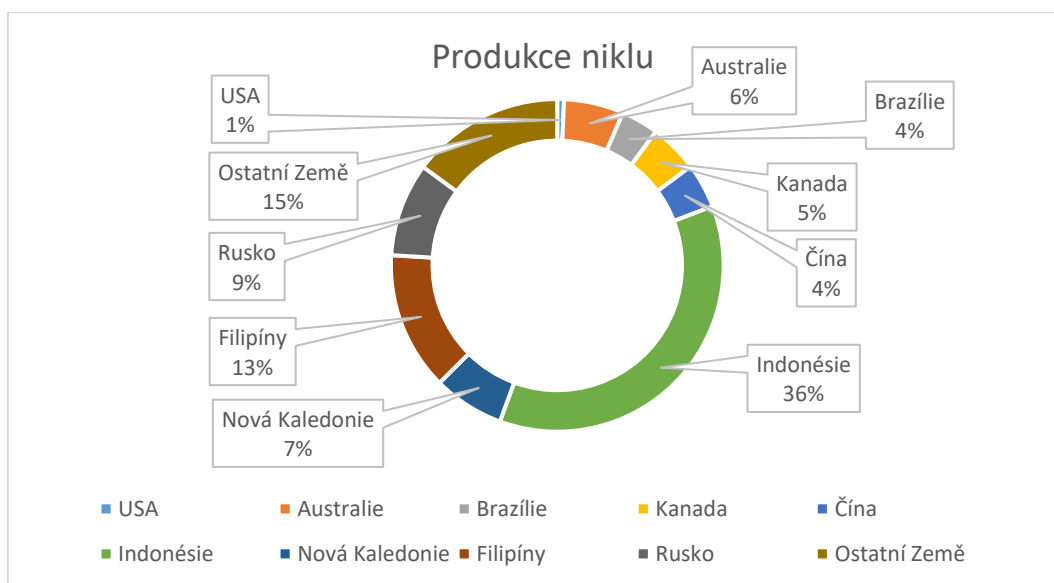


Graf 14: Rezervy kobaltu [31] (vlastní zpracování)

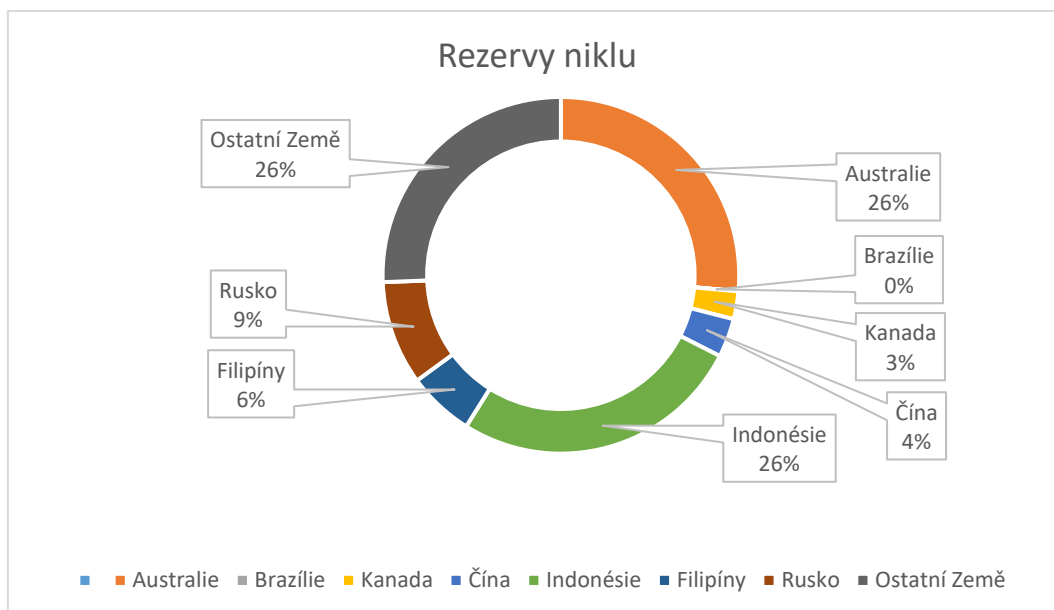
### 10.3.3 Nikl

Dalším důležitým kovem je pro současné baterie nikl, který v bateriích elektromobilů zvyšuje dojezdovou vzdálenost elektromobilu, díky jeho vysoké energetické hustotě. [32]

Současná produkce niklu je alokována především v Indonésii, na Filipínách a v Rusku, jak je patrné z grafů níže. Indonésii lze hodnotit, vzhledem k jejímu politickému indexu -0,51 jako mírně rizikovou alokaci zdroje. Nicméně produkce je dále rovnoměrněji rozložena i do dalších stabilnějších zemí, vyjma Ruska. Díky velkým rezervám v Austrálii, je zde potenciál pro zlepšení politického rizika. [29]



Graf 15: Produkce Niklu [31] (vlastní zpracování)

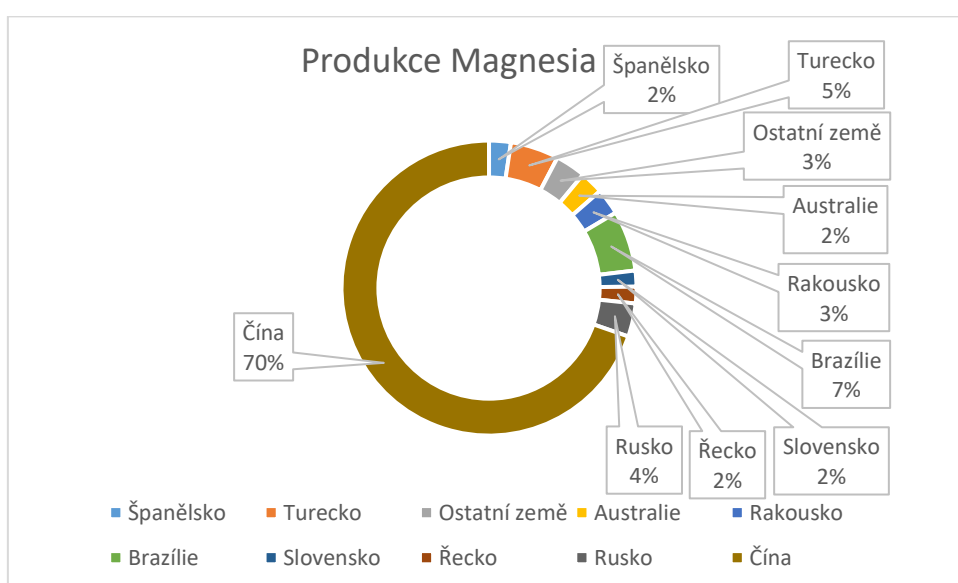


Graf 16: Rezervy niklu [31] (vlastní zpracování)

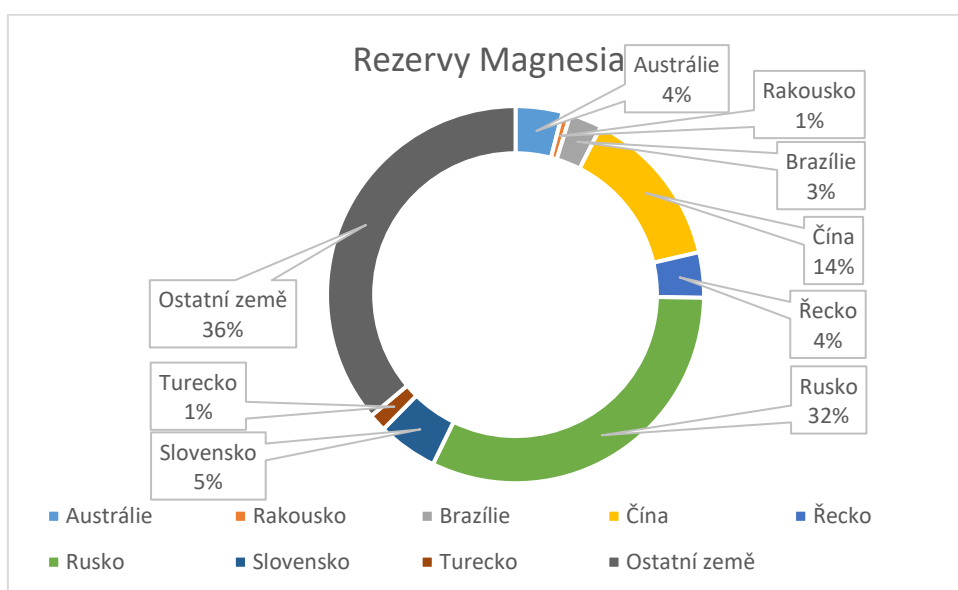
### 10.3.4 Magnesium

Dalším vysoce rizikový prvkem je magnesium, které v baterii umožňuje přenášet elektrony mezi katodou a anodou. [33]

Celosvětově největším producentem magnesia je Čína, která produkuje 70 % celosvětové produkce tohoto prvku. Index politické stability je v Číně -0,48, ale jak je známo z historie a současné politické situace, je tato závislost značně riziková. Dalším rizikem je, že 32 % světových zásob magnesia se nachází v Rusku, v Číně 14 %. Světové zásoby jsou nicméně rozprostřené i dále po světě, tudíž nemusí být potřeba magnesia až tak rizikovým faktorem v případě otevření nových dolů a zpracovatelských továren. [29]



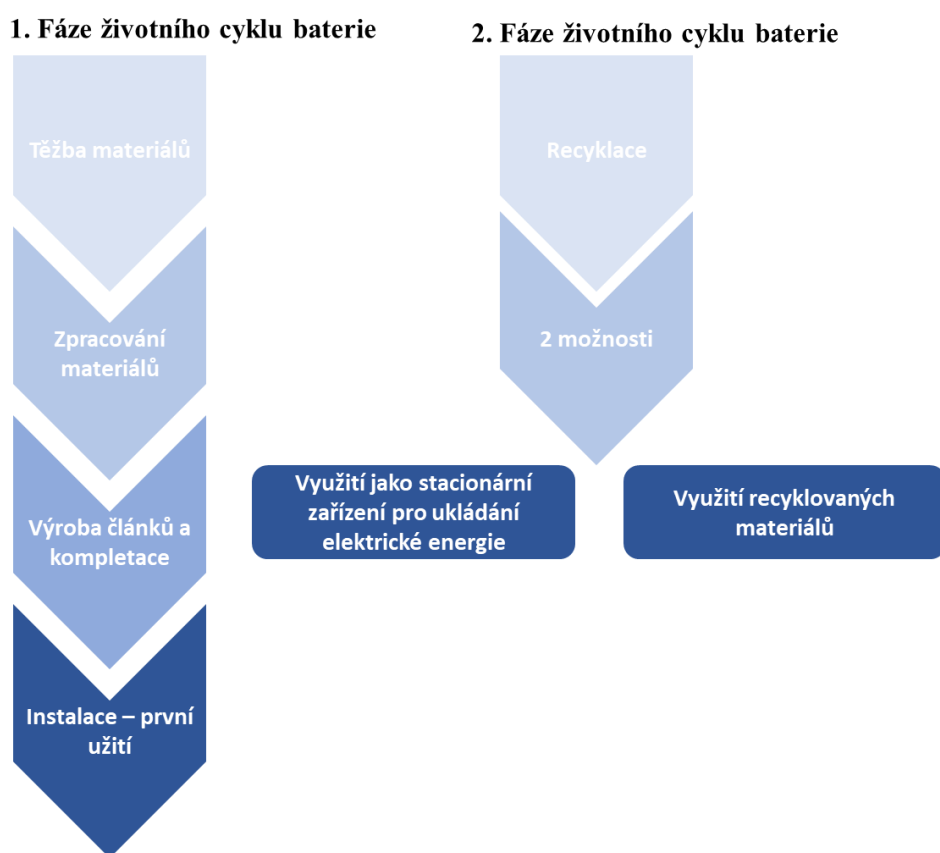
Graf 17: Produkce Magnesia [31] (vlastní zpracování)



Graf 18: Rezervy magnesia [31] (vlastní zpracování)

## 10.4 Recyklace baterií

V současné době je jediným státem na světě, který je schopný zpracovávat větší množství baterií k recyklaci Čína. Většina (více jak 50 %) baterií tak končí buďto ve spalovnách, nebo na skládkách, což vzhledem k tomu, že se jedná o nebezpečný odpad, není vůbec ekologicky vhodné. Vzhledem k tomu, jak byly v předchozí kapitole prezentovány přírůstky prodeje, bude potřeba s odstupem přibližně deseti let ekologicky likvidovat. Pro tento účel vydal Evropský parlament směrnici „End of Life Vehicles Directive“, neboli směrnicí o konci životnosti vozidel. [34]



Obrázek 10: Přístupy k recyklaci baterií (vlastní zpracování)

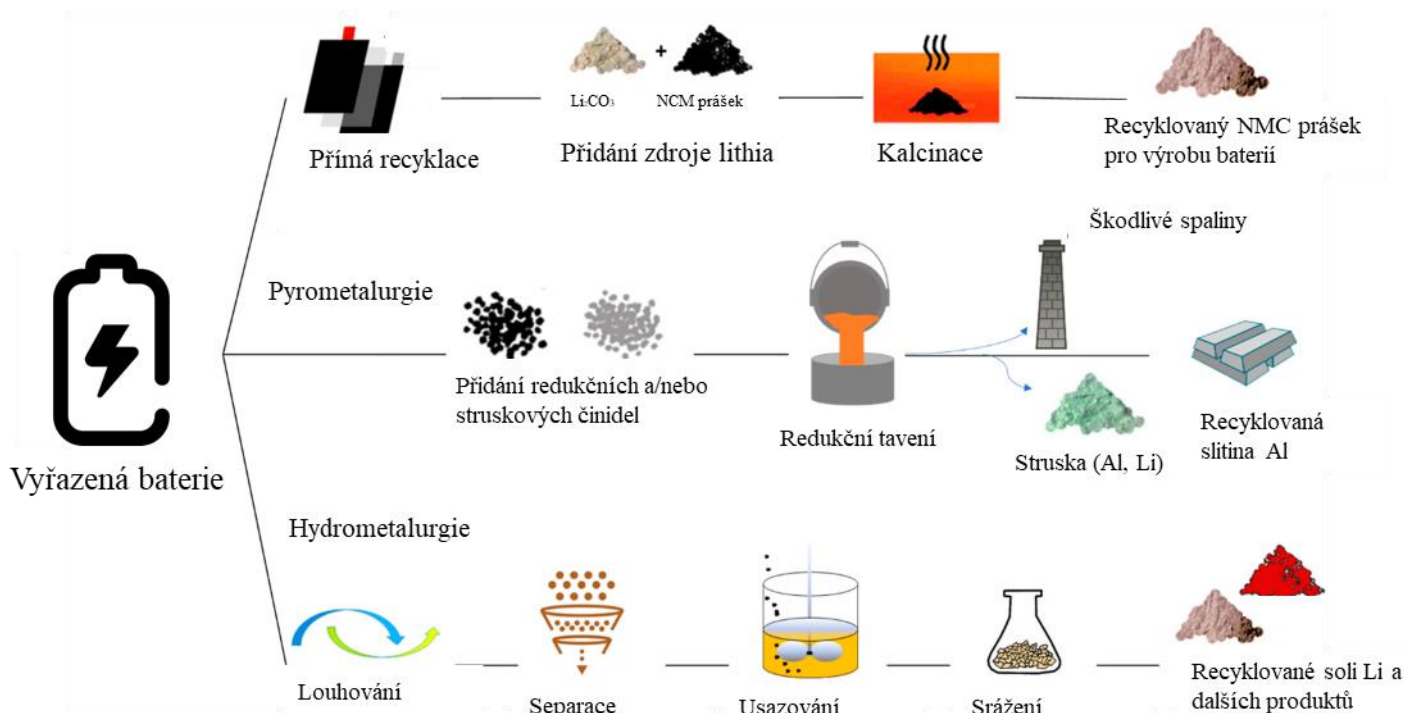
Jak popisuje výše uvedený obrázek, existují dvě možnosti, jak baterie elektromobilů využívat. Po skončení životnosti, kterou různé studie uvádějí jako 8 – 10 let zůstává stále relativně vysoká kapacita baterie a to 80 % celkové kapacity. To umožňuje využití baterií pro stacionární úložiště energie s širokým polem využití. Baterie lze tak využívat v malých, či velkých instalacích pro skladování elektrické energie například ze solárních panelů a vyrobenou elektřinu ze dne, pak používat večer v domácnosti, místo často nevýhodných přetoků z domácí elektrárny do sítě. [35]

Druhým možným přístupem je recyklace klíčových komponent baterie a získání vzácných kovů a tímto způsobem pak můžou být materiály použity pro baterii novou. Toto řešení umožňuje celkové snížení nákladů na jednotlivou baterii a dále tak snižuje ekologickou náročnost výroby baterií. Regulační orgány a zúčastněné strany v odvětví elektromobility očekávají, že automobilový průmysl může zlepšit bilanci recyklovaných baterií (jak bylo uvedeno na předchozí stránce 50 %) využitím jedinečných vlastností trhu a časem vytvořit nový uzavřený systém. [35]

Problémem u současné recyklace je především náročnost recyklačního procesu. Díky rozdílné a složité konstrukci současných bateriových článků je zapotřebí specializované manuální práce pro recyklaci. Hlavním cílem velkých výrobců automobilů by tak mělo být co největší zjednodušení konstrukce baterií s ohledem na to, aby šlo baterie lehce rozebrat a co nejvíce automatizovaně recyklovat.

## 10.4.1 Metody recyklace

Metody recyklace v případě baterií elektromobilů nemají určený rámec, podle kterého by se měly recyklovat. Nicméně existují tři základní metody recyklace viz níže.



Obrázek 11: Přehled metod recyklace [36] (vlastní zpracování)

### Přímá metoda

Přímá metoda spočívá v rozebrání baterie, především katody, která se demontuje za účelem opětovného použití, případně se katoda vymění (v katodě se u většiny baterií nachází nejhodnotnější kovy a materiály). Celková přímá metoda recyklace vyžaduje kompletní rozebrání baterie, stále funkční komponenty, nebo materiály lze recyklovat, nebo rovnou opětovně použít. Funkční baterie, jejichž jednotlivé prvky doznaly určitého poškození, mohou být vyměněny a může tak vzniknout baterie funkční jen za výměny součásti baterie. Tyto baterie, ať už jsou složeny z recyklovaných částí, nebo jejich části byly vyměněny, mohou sloužit jako stacionární bateriová úložiště. Nicméně pro každou takovou baterii bude potřeba vytvořit něco jako klasifikační protokol, který bude určovat kvalitu baterie, především tedy možnosti počtu nabití a nabíjecí kapacitu baterie. [36]



## **Pyrometalurgie**

Pyrometalurgie využívá tepelné chemické reakce k přeměně oxidů kovů, které jsou v bateriích použity na kovy, které mohou být znovu, případně jejich sloučeniny. Na začátku recyklačního procesu dochází k základnímu odstranění obalových materiálů. Dále pak baterie prochází nadrcením, nebo rozemletím na proužky/kostičky. Toto probíhá ve vakuu, neboť by baterie mohly při drcení vybuchovat. Tato nadrcená směs pokračuje k tepelnému zpracování. Tavení směsi probíhá buďto ve vakuu, nebo v inertní atmosféře, aby se oxidy kovů přeměnily na požadovanou kovovou slitinu obsahující, na základě složení baterie, vzácné kovy jako je kobalt, nikl, měď a strusku obsahující lithium a hliník. [36]

Výhodou pyrometalurgie je především jednoduchost procesu rozebrání baterie, která je jen nadrcena. Výsledkem recyklace je prášek/kovová struska s vzácnými kovy, které lze poté použít při výrobě nových baterií. Nevýhodou u pyrometalurgie je tepelná náročnost procesu a možnost úniku nebezpečných plynů do ovzduší spalinami. [36]

## **Hydrometalurgie**

Při užití hydrometalurgické metody se pro extrakci vzácných kovů z baterií používají různé vodné roztoky. Připravená baterie, které jsou před procesem upraveny tak, že jsou bateriím odebrány měděné a hliníkové sběrače proudu. Dále se baterie louhují pomocí vodných roztoků kyselin, jako je kyselina sírová  $H_2SO_4$ , peroxid vodíku  $H_2O_2$ , nebo kyselina chlorovodíková  $HCl$  a kyselina dusičná  $HNO_3$ . Jakmile jsou kovy louhováním ve vodném roztoku s kyselinou extrahované, selektivně se srážejí jako soli pomocí změny pH, nebo se extrahují pomocí organických rozpouštědel obsahující extrakční činidla. [36]

## 10.5 Výroba a provoz vozidel z pohledu ekologie, výpočet uhlíkové stopy

Celá myšlenka elektromobility stojí na snaze docílit čisté formy dopravy neboli bezemisního způsobu dopravy lidí a materiálu. Obecně u elektromobilů platí, že se jedná o bezemisní vozidla, tedy vozidla, která nevypouštějí žádné emise CO<sub>2</sub>, ani další skleníkové plyny jako jsou například plyny skupiny NO<sub>x</sub>.

U elektromobilů je potřeba brát v úvahu jak jejich pozitivní přínos, což je bezemisní provoz, ale i druhou stranu, kterou je fakt, že výroba baterií, ale i samotná výroba elektřiny z bezemisní není. Výroba baterií je tepelně a energeticky náročný proces, který v sobě zahrnuje těžbu nerostných surovin, jejich zpracování, většinou při vysokých teplotách, které v sobě nesou onu energetickou náročnost, dále pak dlouhé dodavatelské řetězce od výrobců jednotlivých komponent, až po finální montáž v závodu automobilky vyrábějící kompletní elektromobily.

Jak je zřejmé z kapitoly „10.3 Zdroje surových materiálů pro výrobu baterií“ většina nalezišť surových materiálů, které jsou klíčové pro výrobu baterií se ve velkých koncentracích na místech, kde se aktuálně největší trhy s elektromobily nenachází. V rámci transportu tak při výrobě baterií dochází ke zvyšování vyprodukovaných emisí. U elektromobilů lze prohlásit, že při svém provozu sice žádné emise nevypouští, nicméně nepřímo emise vypouští elektrárny, které elektřinu vyrábějí. V této kapitole bude dále vyjádřena i tato nepřímá emisivita elektromobilů.

U klasického automobilu se spalovacím motorem také fungují relativně dlouhé dodavatelské řetězce, nicméně výroba bloku motoru a výroba baterie do elektromobilu se liší, jak z pohledu finančního, tak z pohledu vyprodukovaných emisí při výrobě vozidla. Zároveň i výroba paliva s sebou nese značné ekologické škody.

Cílem této kapitoly je porovnat automobily se spalovacím motorem a elektromobily z hlediska jejich uhlíkové stopy tzv. „cradle to grave“, neboli v této práci specificky od kolébky po konec životnosti. V případě vozidel bude počítáno s uhlíkovou stopou při jejich výrobě, provozu. Za předpokladu, že provoz elektromobilu je méně emisně náročný nežli provoz automobilu se spalovacím motorem, bude cílem této kapitoly je najít tzv. Break-point, kdy se ušetřené emise z provozu protnou spolu s výrobními emisemi jednotlivých vozů. Vzhledem k průměrným spotřebám bude v této kapitole vynechán typ elektromobilu HEV neboli mild hybrid, který využívá elektrickou energii je z rekuperace při brzdění, protože vzhledem ke spotřebě lze lehce zaměnit za benzínový, nebo naftový vůz nižší kategorie a

v celkovém hodnocení dopadu elektromobility na životní prostředí by neměl značný vliv, zároveň se jedná jen o přechodový stupeň v elektromobilitě.

### **Předpoklady pro výpočet uhlíkové stopy**

Výpočet uhlíkové stopy budou využity veřejně dostupné studie, které se zabývají buďto měřím samotných dat, případně samotná data agregují a vyhodnocují.

Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, výpočet uhlíkové stopy bude vycházet z přístupu k těmto výpočtů specifického „cradle to grave“ a v tomto scénáři je potřeba definovat dvě základní části života vozidla, a to:

1. Výroba vozidla
2. Užití vozidla

Bohužel pro případ likvidace vozidel zatím neexistují validní veřejně dostupná data, která by sama o sobě pokrývala toto téma. Jak již bylo popsáno v předchozích kapitolách, způsoby recyklace baterií sice existují, ale nejedná se o zmapovaný proces a ve velkém měřítku zatím k recyklaci nedochází. V práci proto budou zmíněna doporučení, jak s bateriemi nakládat a nebude počítána likvidace jak baterií, tak aut se spalovacím motorem.

Kategorie vozidel jsou:

1. BEV
2. PHEV
3. ICEV

### 10.5.1 Výroba vozidla

V první fázi je zřejmé již z předchozích kapitol, že vyšší uhlíkovou stopu výroby bude mít elektromobil, a to kvůli baterii, která se skládá z několika vzácných a těžko dostupných kovů, která je spojena s devastací přírody, znečišťováním podzemních vod, dlouhými transportními trasami materiálu. Zároveň je zpracování jednotlivých kovů do stavu, kdy je možno z nich vyrobit baterii značně energeticky náročné, z čehož pak vychází vysoká uhlíková stopa produktu.

Pakliže vynecháme baterii elektromobilu uhlíková stopa elektromobilu je částečně nižší, díky větší jednoduchosti konstrukce popsané v předchozích kapitolách. Průměrné hodnoty vztahované k typu vozidla jsou uvedeny v následující tabulce:

Uhlíková stopa výroby vozidel	
Typ vozidla	t CO <sub>2</sub> eq.
ICEV (benzín)	7,2
ICEV (nafta)	7,2
PHEV (bez baterie)	7,9
BEV (bez baterie)	6,5

Tabulka 5: Uhlíková stopa výroby vozidel [37] (vlastní zpracování)

Emise způsobené výrobou baterií jsou uvedeny v tabulce níže. Jedná se o hodnoty vztahované k celkové kapacitě baterie. Z tabulky je zřejmé, že uhlíková stopa baterie se liší nejen dle typu, ale i dle místa výroby. To je způsobeno výše zmíněnou rozdílností energetického mixu jednotlivých států, které baterie vyrábí. Vyšší uhlíkovou stopu tak bude mít oproti Evropě například Čína, která jejíž velká část energie pochází ze spalování uhlí, při kterém se do ovzduší uvolňuje velké množství CO<sub>2</sub>.

Uhlíková stopa baterie v kg CO <sub>2</sub> eq/kWh				
Typ baterie	Evropa	USA	Čína	Japonsko
NMC111	56	60	77	73
NMC622	54	57	69	68
NCM811	53	55	68	67
NCA	57	59	72	70
LFP	34-39	37-42	51-56	50-55

Tabulka 6: Uhlíková stopa baterie v kg CO<sub>2</sub> eq/kWh [37] (vlastní zpracování)

V hodnotách uvedených v tabulce výše lze pozorovat jisté závislosti ve velikosti uhlíkové stopy u jednotlivých typů baterie. Dále pak lze pozorovat závislost regionální, resp. kde byla baterie konkrétně vyrobena. Jedinou výjimkou jsou baterie LFP neboli Lithium-železo-fosfátové baterie, které vykazují nižší emisivitu při výrobě.

Pro účely dalších výpočtů budou tedy použity průměrné hodnoty uhlíkových stop jednotlivých baterií, čímž se zredukuje na jednu hodnotu reprezentující daný region. Průměrné hodnoty uhlíkové stopy reprezentující produkci v daném regionu jsou uvedeny v tabulce níže.

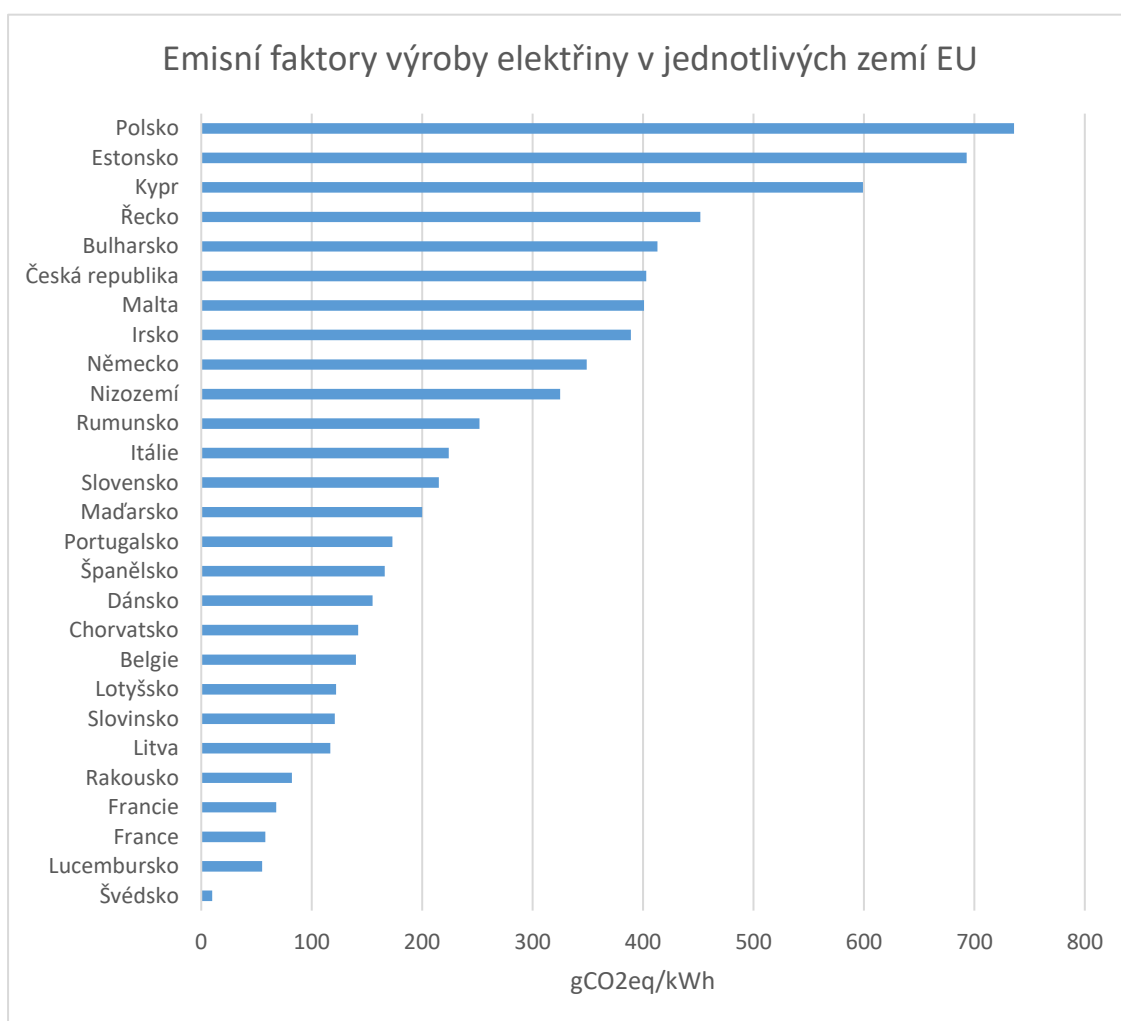
Uhlíková stopa baterie průměr v kg CO <sub>2</sub> eq/kWh				
Typ baterie	Evropa	USA	Čína	Japonsko
Průměr baterií	56	60	77	73

*Tabulka 7: Uhlíková stopa baterie průměr v kg CO<sub>2</sub> eq/kWh (vlastní zpracování)*

## 10.5.2 Provoz vozidel

Dalším obdobím, kdy dochází k produkci emisí, je provoz vozidel. U spalovacího motoru vzniká CO<sub>2</sub> při spalování benzínu, nebo nafty. U BEV žádné emise nevznikají, nicméně emise budou počítány z emisivity evropského energetického mixu, respektive uhlíkové stopy evropské elektřiny, jehož průměrná hodnota je 260 gCO<sub>2 eq</sub>/kWh. [38]

Vzhledem k tomu, že ne v každé zemi je stejný energetický mix pro výrobu elektřiny bude pro další porovnání použita data jednotlivých evropských zemí, protože u provozu elektromobilu značně záleží, kde budete s elektromobile jezdit, jak je patrné na následujícím grafu. Pakliže budete používat elektromobil v zemích jako je Švédsko, Francie nebo Rakouskou, bude provozní uhlíková stopa elektromobilu velmi nízká. Naproti tomu, pakliže bude elektromobil používán v zemích s vysokým podílem uhelných elektráren v energetickém mixu jako je Polsko, Estonsko, nebo Řecko, bude provozní uhlíková stopa elektromobilu značně vyšší.



Graf 19: Emisní faktory výroby elektřiny jednotlivých zemí EU [39] (vlastní zpracování)

Následující tabulka uvádí spotřeby jednotlivých typů automobile, aut se spalovacím motorem, přes hybridní automobily, až po čisté elektromobily. Následující data budou použita pro další výpočty. Kategorie Executive reflektuje spotřebu vozidel nejvyšší kategorie, jako jsou prémiová SUV, limuzíny a lehká užitková vozidla.

Spotřeby paliv/energie				
Typ pohonu	Malá	Střední	Velká	Executive
Benzín (l/100 km)	6,5	7,5	8,8	8,5
Nafta (l/100 km)	5,4	6,2	6,7	6,9
PHEV (l/100 km)	N/A	4,5	5,0	5,2
PHEV (kWh/100 km)	N/A	7,8	8,4	11,4
PHEV (kapacita baterie kWh)	N/A	12	13	15
BEV (kWh/100 km)	16	17,5	19	20,5
BEV (kapacita baterie kWh)	45	60	75	90

Tabulka 8: Spotřeby paliv/energie jednotlivých typů automobilů [48] (vlastní zpracování)

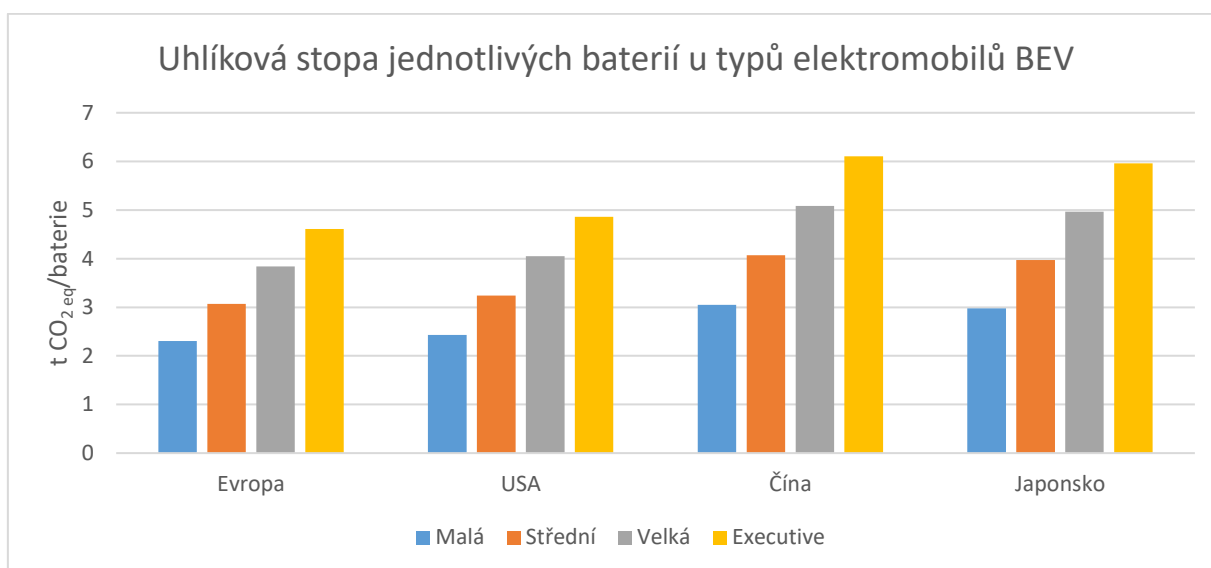
Hodnoty CO<sub>2</sub> pro spalování benzínu a nafty budou vypočítány z hodnoty určující obsah CO<sub>2</sub> v litru pohonné látky neboli CO<sub>2</sub>, které se uvolní jejím spálením. Tento způsob by měl být přesnější pro porovnání těchto pohonů, ale i modelů aut, které má každé jinou spotřebu. V hodnotách CO<sub>2</sub> na litr pohonné látky jsou započítány i rafinerské a těžební procesy tzv. metodou „Well to Tank“, neboli od těžby až po nádrž.

Hodnoty CO<sub>2 eq</sub> na jeden litr spalného benzínu nebo nafty:

- Benzín: 3140 g CO<sub>2eq</sub>/l, [40]
- Diesel: 3310 g CO<sub>2eq</sub>/l. [40]

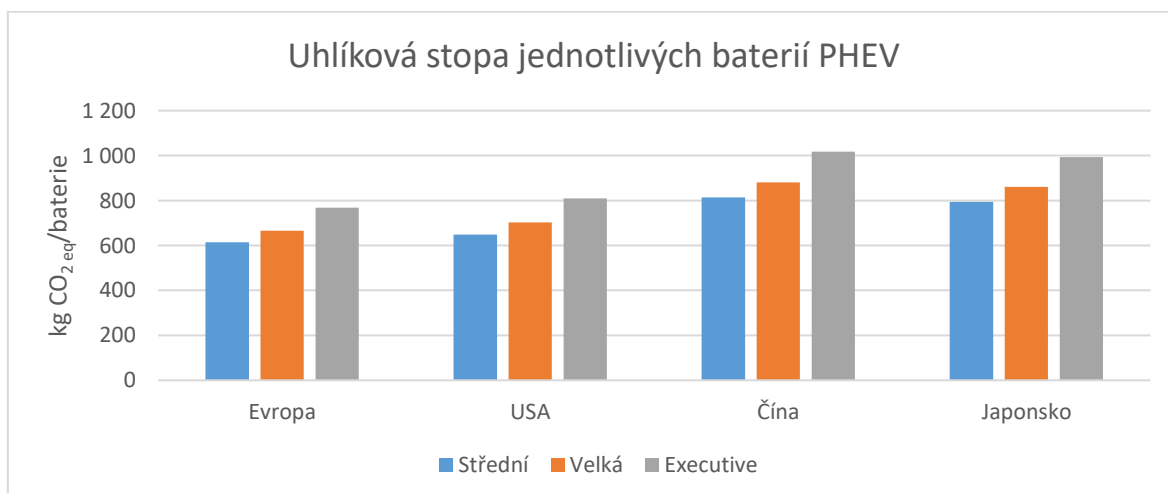
### 10.5.3 Porovnání uhlíkové stopy způsobené výrobou vozidel

V rámci výroby jsou v následující kapitole porovnány jednotlivé uhlíkové stopy výroby baterií dle regionu. Jak je vidět v následujícím grafu, který vychází z předchozí kapitoly „Výroba vozidla“, u malých elektromobilů je rozdíl v t CO<sub>2</sub> eq přibližně 0,7 t CO<sub>2</sub> eq, pakliže porovnáme výrobu velkých aut, případně Executive (například SUV, limuzíny, nebo lehká užitková vozidla) je navýšime uhlíkovou stopu jednoho automobilu až o 1,4 t CO<sub>2</sub> eq. Rozdíl tak v rámci uhlíkové stopy může být v případě výroby baterie pro nejvyšší třídy automobilů až dvojnásobný.



Graf 20: Uhlíková stopa jednotlivých baterií a typů elektromobilů BEV (vlastní zpracování)

Na následujícím grafu je dále uvedeno uvolněné množství CO<sub>2</sub> při výrobě hybridních vozidel, resp. Plug-in hybridních vozidel v kg CO<sub>2</sub> eq.



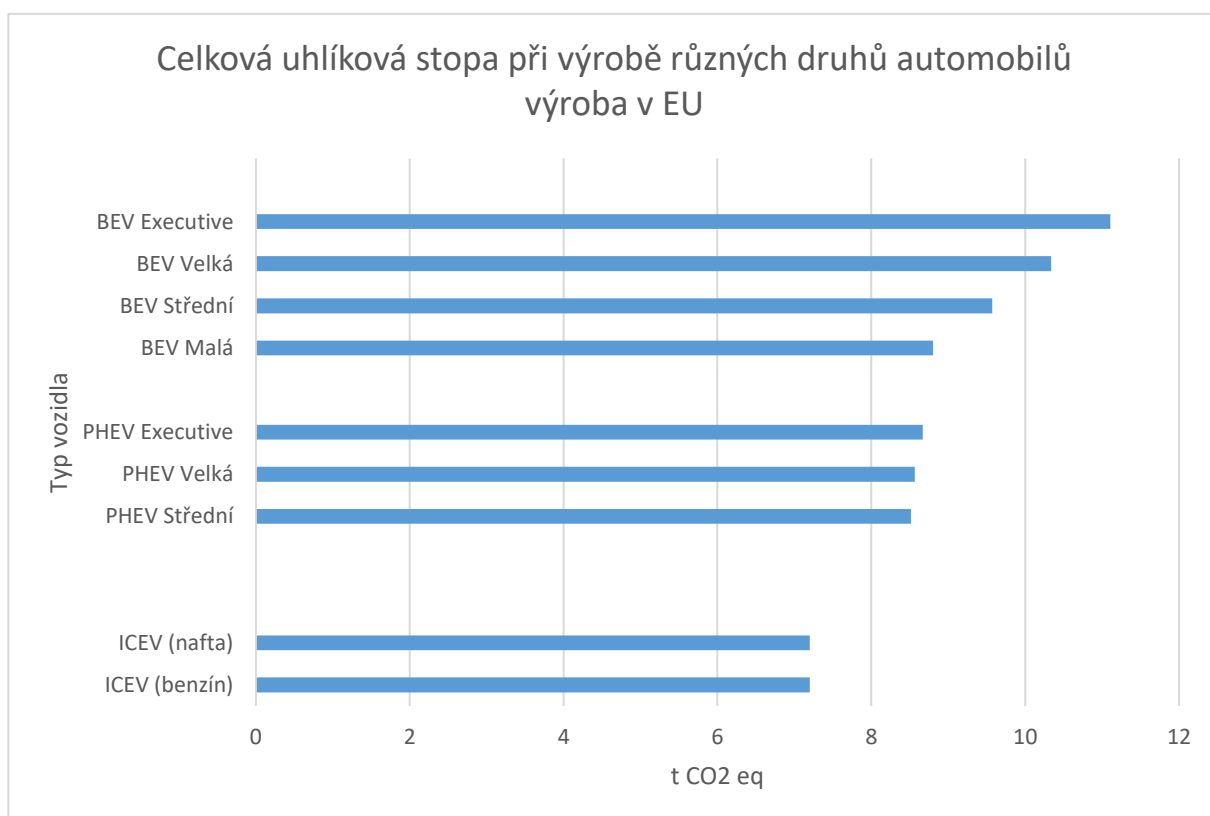
Graf 21: Uhlíková stopa jednotlivých baterií a typů elektromobilů PHEV (vlastní zpracování)



Z grafu výše je patrné, že nedochází k tak velkým rozdílům, u středních a Executive automobilům, rozdíl mezi největšími bateriemi je přibližně 250 kg CO<sub>2</sub> eq.

V následujícím grafu jsou sečteny předchozí hodnoty jednotlivých uhlíkových stop vyprodukovaných při výrobě jednotlivých druhů automobilů. V tomto případě jsou do hodnot emisí započítány z výroby započítány i uhlíkové stopy z výroby baterií. Na následujícím grafu je jasně patrná ztelně vyšší uhlíková náročnost výroby elektromobilů. Ačkoliv je při výrobě čistého elektromobilu BEV použito ztelně méně komponentu, jako je blok spalovacího motoru, výfukového systému pro odvod spalin, převodovka a spojka, výroba baterie značně současné elektromobily ztelně zatěžuje.

Porovnáme-li automobil se spalovacím motorem, ať už benzínovým, či naftovým, pohybuje se počáteční deficit od 1,6 t CO<sub>2</sub> eq od 3,9 t CO<sub>2</sub> eq. U plug-in hybridních automobilů se rozdíl oproti automobilů jen se spalovacím motorem pohybuje od 1,3 t CO<sub>2</sub> eq do 1,47 t CO<sub>2</sub> eq.



Graf 22: Celková uhlíková stopa při výrobě různých druhů automobilů výroba v EU (vlastní zpracování)

Závěrem kapitoly lze konstatovat, že výroba, ať už čistě elektrických nebo plug-in hybridních automobilů je značně ekologicky náročnější nežli výroba automobilů se spalovacím motorem. Dále z dat vychází, že plug-in hybridní elektromobil kategorie

Executive je velmi podobně ekologicky náročný jako malý elektromobil s kapacitou baterie 40 kWh.

#### 10.5.4 Porovnání uhlíkové stopy způsobené provozem vozidel

V následující kapitole budou porovnány ekologické parametry provozu jednotlivých typů vozidel, a to spalovacích automobilů a elektromobilů. Ačkoliv pro spalovací motory existují agregovaná a zprůměrovaná data týkající se uhlíkové stopy spalování a výroby paliv, výroba elektrické energie, jak je patrné z kapitoly Provoz vozidel.

Pro zjednodušení zobrazení závislosti energetického mixu na vliv vypouštění CO<sub>2</sub> provozem elektromobilu, budou jednotlivé státy rozděleny do jednotlivých čtyř kategorií, dle pořadí v příděle emisního faktoru elektrické energie. Jednotlivé kategorie budou složeny vždy ze sedmi států a jejich průměr bude daným emisním faktorem elektrické energie. Toto rozdělení by mělo poskytnout dobrou představu o tom, jaký vliv má energetický mix pro výrobu elektrické energie na provoz elektromobilů v rámci EU. Hodnoty vychází z kapitoly „Provoz vozidel“.

Průměrné emisní faktory jsou:

1. Kategorie 1 – 6: 73 gCO<sub>2eq</sub>/kWh
2. Kategorie 7 – 14: 157 gCO<sub>2eq</sub>/kWh
3. Kategorie 15 – 21: 308 gCO<sub>2eq</sub>/kWh
4. Kategorie 22 – 27: 528 gCO<sub>2eq</sub>/kWh

Průměrné emisní faktory jednotlivých kategorií budou vynásobeny hodnotou spotřeby jednotlivých kategorií vozů, z čehož vznikne uhlíková stopa provozu elektromobilu na 100 km. Uhlíková stopa byla spočítána dle vzorce:

$$U = K_{1-4} * S_e$$

Kde:

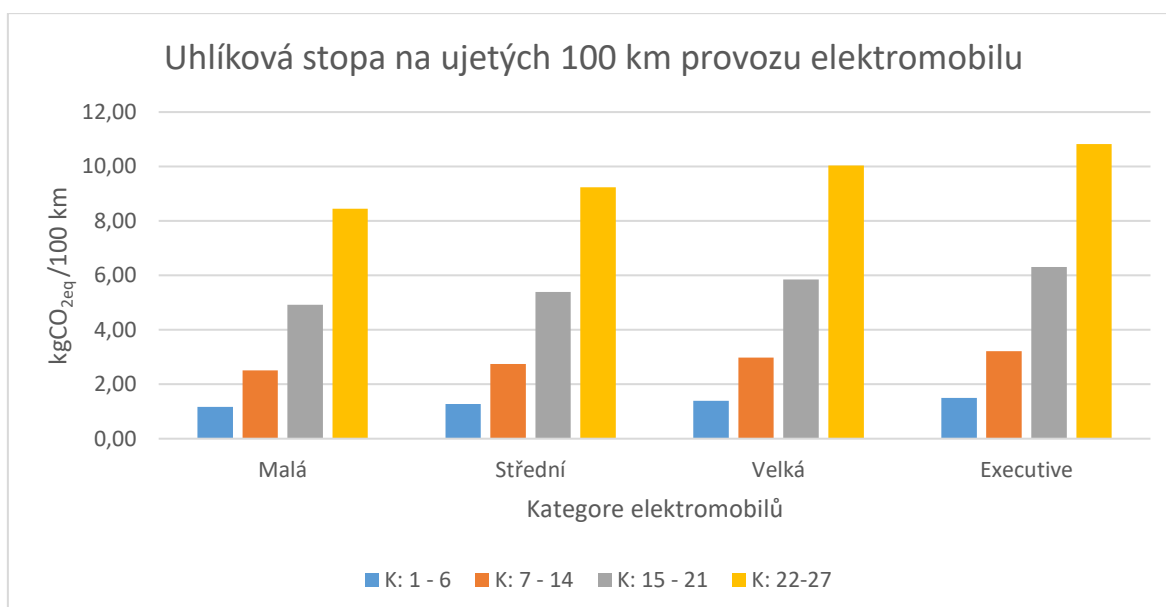
- U je uhlíková stopa v kgCO<sub>2eq</sub>/100 km,
- K<sub>1-4</sub> jsou průměrné emisní faktory výroby elektrické energie dle rozdělení výše v kgCO<sub>2eq</sub>/kWh,
- S<sub>e</sub> průměrná spotřeba elektromobilu dle kapitoly Spotřeba vozidel.

### 10.5.4.1 CO<sub>2</sub> z provozu elektromobilu

Výsledné hodnoty výpočtu pro kategorii **BEV** zobrazuje následující tabulka a následující graf.

Uhlíková stopa na ujetých 100 km provozu elektromobilu v kgCO <sub>2</sub> eq/100 km				
	K: 1 - 6	K: 7 - 14	K: 15 - 21	K: 22-27
<b>Malá</b>	1,17	2,51	4,93	8,45
<b>Střední</b>	1,28	2,75	5,39	9,24
<b>Velká</b>	1,39	2,98	5,85	10,03
<b>Executive</b>	1,50	3,22	6,31	10,83

Tabulka 9: Uhlíková stopa na ujetých 100 km provozu elektromobilu v kgCO<sub>2</sub> eq/100 km (vlastní zpracování)



Tabulka 10: Uhlíková stopa na ujetých 100 km provozu elektromobilu (vlastní zpracování)

Z grafu výše je patrné, že při provozu elektromobilu vzhledem k nepřímé produkci CO<sub>2</sub> závisí na tom, jaký energetický mix daná země, ve které elektromobil užíváme, má. Pokud srovnáme kategorii malého elektromobilu (BEV), se spotřebou 16,5 kWh/100 km v zemích v nejnižší emisní kategorii je až desetinásobně nižší než uhlíková stopa v kategorii zemí s nejvyššími emisemi.

Tyto výsledky ukazují, že elektromobilita bude mít dopad na emise CO<sub>2</sub> z dopravy jedině, pakliže dojde k transformaci energetiky směrem k obnovitelným zdrojům energie.

### 10.5.4.2 CO<sub>2</sub> z provozu automobilu se spalovacím motorem

Průměrné emisní faktory jsou:

1. Benzín: 3140 g CO<sub>2eq</sub>/l
2. Diesel: 3310 g CO<sub>2eq</sub>/l

Průměrné emisní faktory jednotlivých kategorií budou vynásobeny hodnotou spotřeby jednotlivých kategorií vozů, z čehož vznikne uhlíková stopa provozu automobilu se spalovacím motorem (ICEV) na 100 km. Uhlíková stopa byla spočítána dle vzorce:

$$U = K * S_{sp}$$

Kde:

U je uhlíková stopa v kgCO<sub>2 eq</sub>/100 km,

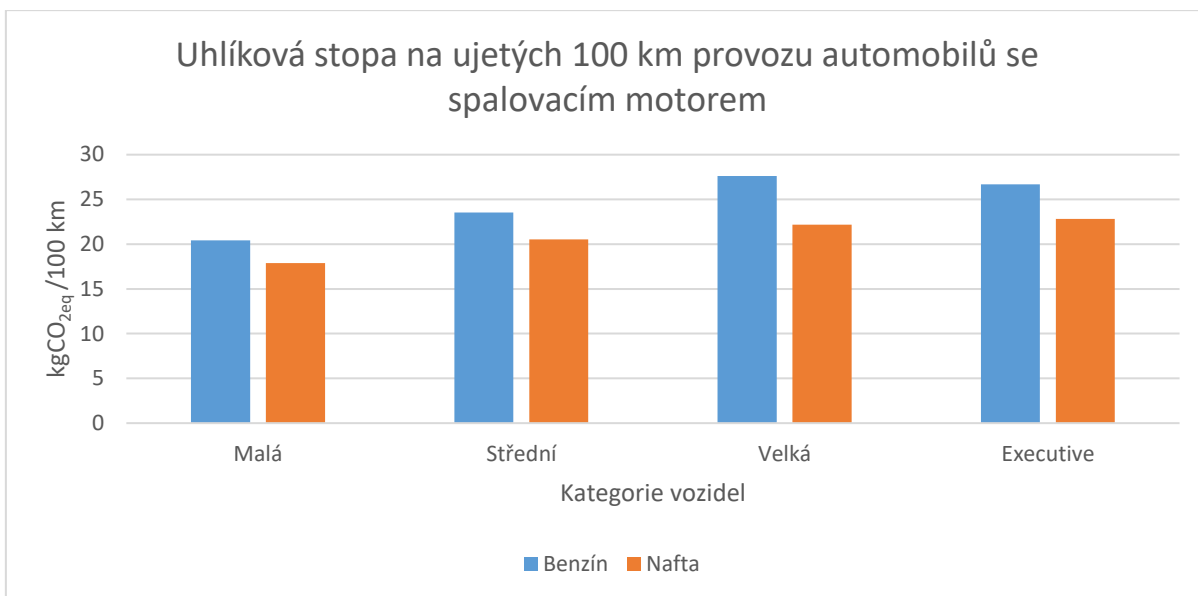
K jsou průměrné emisní faktory spáleného benzínu a nafty v kgCO<sub>2 eq</sub>/l,

S<sub>sp</sub> průměrná spotřeba automobilu dle kapitoly Spotřeba vozidel.

Výsledné hodnoty výpočtu pro kategorii automobilů se **spalovacím motorem** zobrazuje následující tabulka a následující graf.

Uhlíková stopa na ujetých 100 km provozu ICEV v kgCO <sub>2 eq</sub> /100 km		
	Benzín	Nafta
Malá	20,41	17,87
Střední	23,55	20,52
Velká	27,63	22,18
Executive	26,69	22,84

Tabulka 11: Uhlíková stopa na ujetých 100 km provozu ICEV v kgCO<sub>2 eq</sub>/100 km (vlastní zpracování)



Graf 23: Uhlíková stopa na ujetých 100 km provozu automobilů se spalovacím motorem (vlastní zpracování)

Z grafu výše je patrné, že obecně benzínová auta, díky průměrně vyšší spotřebě i při nižší emisivitě benzínu mají vyšší uhlíkovou stopu na průměrných 100 ujetých kilometrech. Emisní stopa se nicméně v hodnotách okolo 10 %.

### 10.5.4.3 CO<sub>2</sub> z provozu hybridního elektromobilu se spalovacím motorem

Průměrné emisní faktory spálení jednoho litru benzínu jsou dle předchozí kapitoly „Provoz vozidla“, jsou:

1. Benzín: 3140 g CO<sub>2eq</sub>/l

Průměrné emisní faktory jednotlivých kategorií vzniklé spálením paliva, nebo emisním faktorem elektřiny budou vynásobeny hodnotou spotřeby jednotlivých kategorií vozů, z čehož vznikne uhlíková stopa provozu automobilu se spalovacím motorem (PHEV) na 100 km. Uhlíková stopa byla spočítána dle vzorce:

$$U = K_{1-4} * S_e + K * S_{sp}$$

Kde:

U je uhlíková stopa v kgCO<sub>2eq</sub>/100 km,

K<sub>1-4</sub> jsou průměrné emisní faktory spáleného benzínu a nafty v kgCO<sub>2eq</sub>/l,

S průměrná spotřeba automobilu dle kapitoly Spotřeba vozidel.

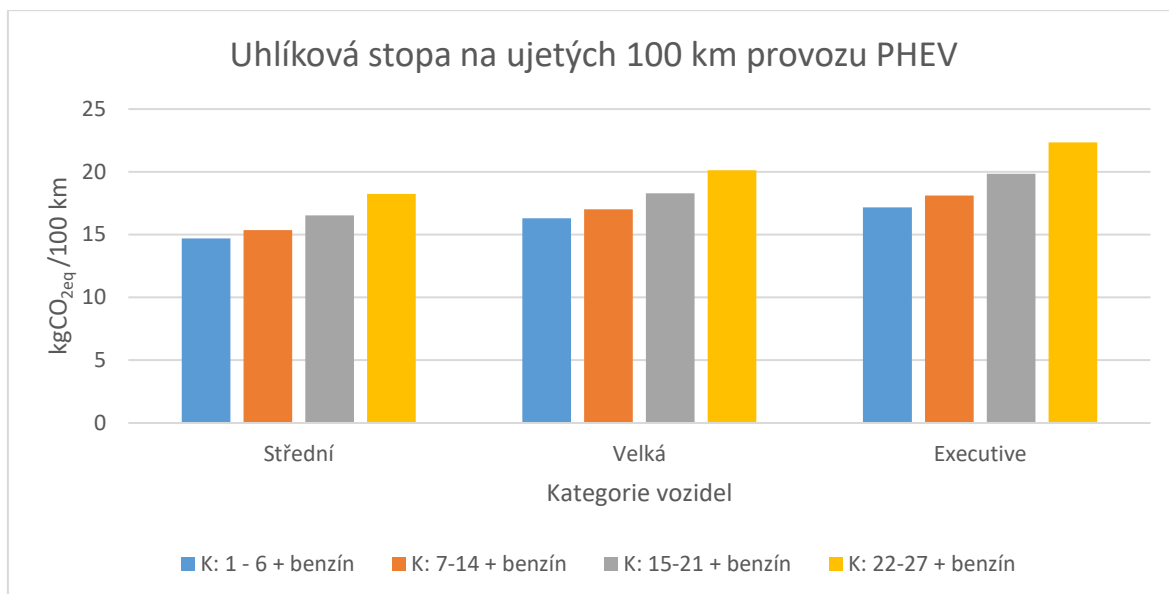
K<sub>1-4</sub> jsou průměrné emisní faktory spáleného benzínu a nafty v kgCO<sub>2eq</sub>/l,

S<sub>sp</sub> průměrná spotřeba automobilu dle kapitoly Spotřeba vozidel.

Výsledné hodnoty výpočtu pro kategorii automobilů se **PHEV** zobrazuje následující tabulka a následující graf.

Uhlíková stopa na ujetých 100 km provozu PHEV v kgCO <sub>2eq</sub> /100 km	
	<b>Střední</b>
<b>K: 1 - 6 + benzín</b>	14,70
<b>K: 7-14 + benzín</b>	15,35
<b>K: 15-21 + benzín</b>	16,53
<b>K: 22-27 + benzín</b>	18,25

Tabulka 12: Uhlíková stopa na ujetých 100 km provozu PHEV v kgCO<sub>2eq</sub>/100 km (vlastní zpracování)



Graf 24: Uhlíková stopa na ujetých 100 km provozu PHEV (vlastní zpracování)

Z grafu je patrné, že rozdíly mezi jednotlivými hodnotami nejsou velké rozdíly v uhlíkové stopě. V porovnání se spalovacími motory z předchozí kapitoly je úspora ve formě vyprodukovaného CO<sub>2</sub> asi o 10 – 20 %.

## 10.6 Celková uhlíková stopa vozidel

V kapitole „10.5 Výroba a provoz vozidel z pohledu ekologie, výpočet uhlíkové stopy“ byla vypočítána uhlíková stopa jak elektromobilů BEV a PHEV, tak i uhlíková stopa, kterou produkují automobily se spalovacím motorem ICEV. Vzhledem k tomu, že z předchozí kapitoly jsou agregovaná data jak o emisích vycházejících z výroby, tak i z provozu jednotlivých druhů dopravy.

Tato data budou v rámci práce sloužit k výpočtu tzv. „Break even point“. Výroba elektromobilu, a to jak PHEV, tak i BEV je emisně náročnější, právě kvůli výrobě baterií, nežli tomu je u ICEV. Na druhou stranu je patrné, že z pohledu provozu jsou elektromobily emisně méně náročné, alespoň v podmínkách evropské energetiky. Klíčovou otázkou pak je, pakliže bude bráno v úvahu celková uhlíková stopa výroby a následného provozu, zdali bude elektromobilita ve výsledku čistším způsobem dopravy při součtu výrobní a provozní uhlíkové stopy, a to za současných podmínek evropské energetiky.

Tzv. „Break even point“ (BEP) tedy bude bod na časové ose, kdy se celková uhlíková stopa nastřádaná provozem ICEV a elektromobilu protne.

Další otázkou bude, kolik a v jakých scénářích je schopna elektromobilita ušetřit CO<sub>2</sub> z bezemisního provozu. V tomto případě je potřeba stanovit průměrnou životnost elektromobilu, jak BEV, tak PHEV a ICEV a jaký průměrný nájezd v rámci EU průměrný spotřebitel ujede za rok. Tímto způsobem bude známo, kolik kilometrů s daným autem spotřebitel za jeho životnost ujede.

Jak bylo popisováno v předchozích kapitolách, zvyky uživatelů jednotlivých typů automobilů se liší především u BEV a ICEV, což je způsobeno především způsobem tankování/dobíjení a dále celkovým možným dojezdem u elektromobilů, který mnohem méně diskomfortní nežli u ICEV. Z veřejně dostupných dat lze také definovat životnost baterie, se kterou životnost elektromobilu BEV prakticky skončí.

Výrobci elektromobilů poskytují ve většině případů záruku na baterie elektromobilů na 5 – 8 let, přičemž nájezd elektromobilu by měl být do 160 000 km.

U ICEV je záruka automobilu ve většině případů 2 roky s tím, že existuje možnost prodloužení záruky na až 8 let. Reálné stáří automobilů v EU je nicméně značně vyšší. Evropský průměr stáří vozidla je 11,8 let. [41]



Když bude brán průměrný nájezd v EU a to 11 300 km za rok, bude průměrný nájezd po dobu 12 let, u ICEV 135 000 km. [24]

Data o možném nájezdu u ICEV budou pouze orientační, protože celková možnost nájezdu je mnohem vyšší díky možnosti jednoduchých oprav, nebo výměnou vadných dílů. Nicméně z dat je patrné, že většina pasažérů v EU by neměla mít problém s garancí 160 000 km u BEV: Norma „Euro 7“ by měla dále garantovat možný nájezd až 240 000 km a až 15 let životnosti.

Pro účely nalezení „Break Even Pointu“ bude použit jednotný nájezd pro jednotlivé typy pohonu automobilů.

### 10.6.1 Break Even Point

V této kapitole bude dopočítána celková uhlíková stopa elektromobilů, plug-in hybridů a spalovacích motorů. V předchozích kapitolách bylo počítáno s velkým množstvím kategorií, co se týká například emisního faktoru elektrické energie pro prezentaci důležitosti rozvoje obnovitelné energetiky jako možného paliva budoucnosti.

Nicméně srovnání takto velkého množství kombinací by bylo příliš rozsáhlé, a především by se z něj ztrácela přehlednost. Pro tyto účely byly vypočítány průměry jednotlivých kategorií.

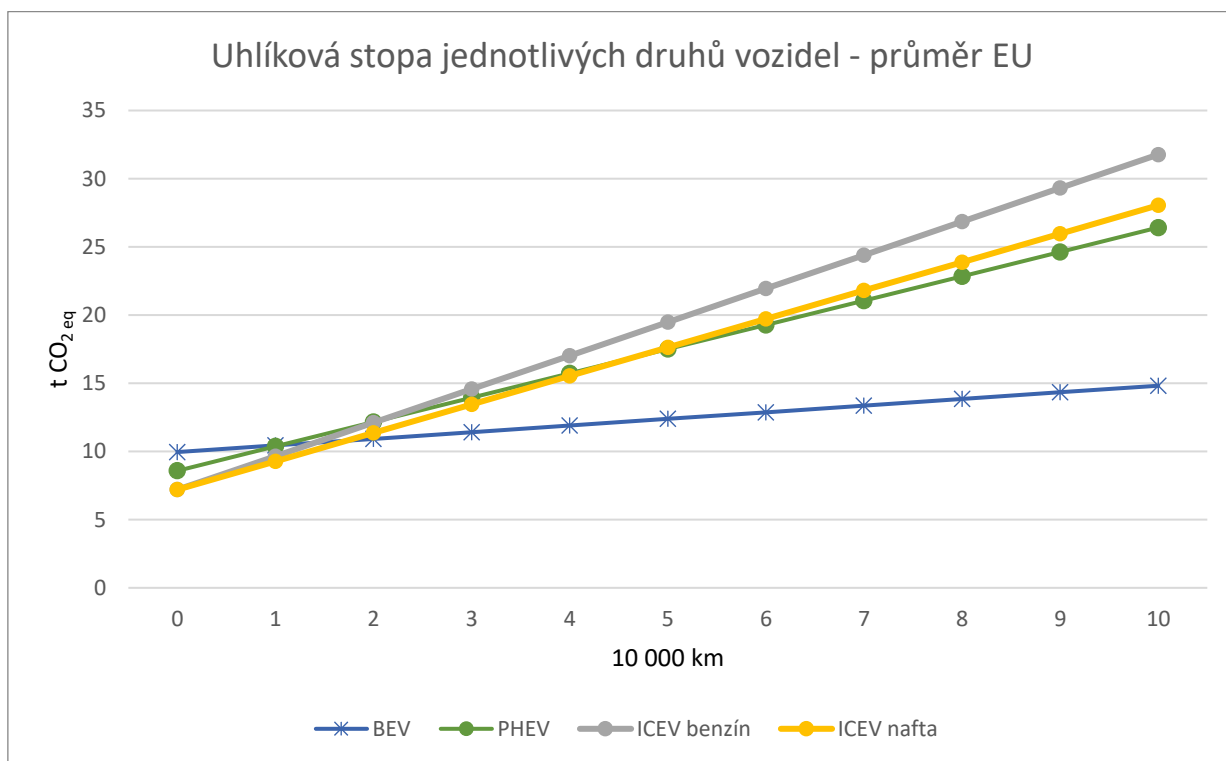
Pro elektromobily byly zprůměrovány jednotlivé hodnoty emisního faktoru, které elektromobily vyprodukují na 100 km v rámci všech kategorií velikosti elektromobilu, hodnota daného průměru je 486 kg CO<sub>2 eq</sub>/100 km.

Pro PHEV byly zprůměrovány hodnoty emisního faktoru, které PHEV vyprodukují na 100 km a spotřeby benzínu jednotlivých kategorií velikosti vozidla byly taktéž zprůměrovány. Průměrné vyprodukované emise jsou 1784 kg CO<sub>2 eq</sub>/100 km.

U vozidel se spalovacím motorem došlo také ke zprůměrování spotřeby paliv jednotlivých kategorií velikosti vozidla. Průměrné vyprodukované emise jsou 2457 kg CO<sub>2 eq</sub>/100 km pro benzinové palivo a 2085 kg CO<sub>2 eq</sub>/100 km pro naftové palivo.

S těmito hodnotami bylo nadále počítáno k sestavení uhlíkové stopy jednotlivých druhů vozidel. Princip posouzení jednotlivých druhů vozidel je následující. Pakliže vezmeme v úvahu, že v rámci BEV a PHEV začíná vozidlo se značným uhlíkovým deficitem (více vyprodukovaného CO<sub>2</sub>), ale uhlíková stopa provozu vozidel je i dle předchozí kapitoly emisně méně náročná, mělo by dojít v rámci životnosti vozidel ke stavu, kdy uhlíková stopa vygenerovaná výrobou a provozem jednotlivých druhů vozidel si bude rovna. Tento bod je tzv. „Break even point“.

Pro porovnání uhlíkové stopy v rámci života produktu byl sestaven graf se dříve zmíněnými průměrnými spotřebami a průměrnou velikostí jednotlivých druhů vozidel. Graf vyjadřuje aktuální uhlíkovou stopu v roce, počáteční bod 1 je uhlíková stopa z výroby vozu a prvního ro, tedy se započítáním výroby konstrukce, tak i se započítáním výroby baterií u PHEV a BEV.



Graf 25: Uhlíková stopa jednotlivých druhů vozidel – průměr EU (vlastní zpracování)

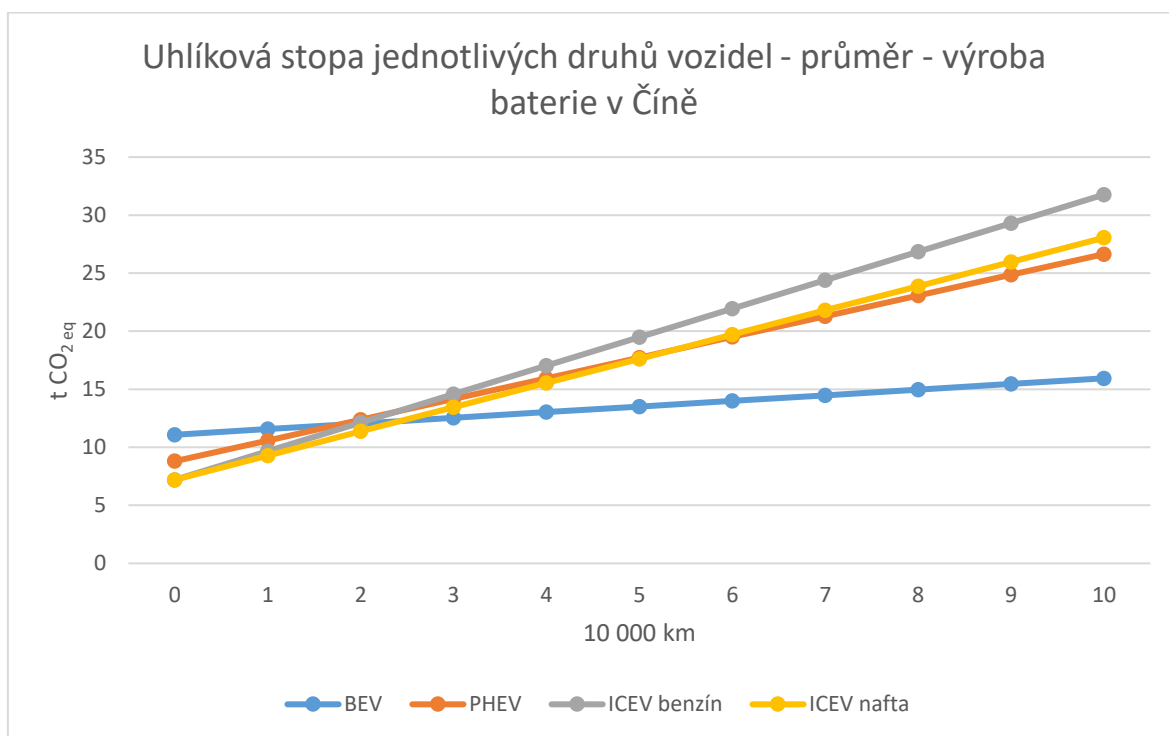
V bodu 0 je vidět, že BEV začíná s největším uhlíkovým deficitem ze všech kategorií, a to kvůli výrobě baterie, jejíž průměrná velikost pro tento případ byla uvažována na 67,5 kWh, u PHEV tomu bylo 13,3 kWh s průměrným výrobním emisním faktorem baterie v EU.

Na grafu je patrné, že celková hodnota uhlíkové stopy se u jednotlivých vozidel vzhledem k PHEV a ICEV láme přibližně po 15 000 km provozu automobilů. Po tomto bodu již automobily se spalovacím motorem a PHEV vyprodukovali spolu s výrobou a provozem více emisí CO<sub>2</sub>, nežli BEV za stejnou dobu provozu i se započítáním výroby.

Co se týká emisí CO<sub>2</sub>, lze konstatovat, že elektromobilita je v tomto ohledu čistším způsobem dopravy nežli vozidla se spalovacími motory. Po 80 tis. km ujetých v elektromobilu vzniká rezerva v CO<sub>2</sub> dokonce na výrobu elektromobilu nového. Při předpokládaném dojezdu 160 tis. km za životnost baterie se jedná o dostatečnou rezervu pro výrobu i dalšího elektromobilu.

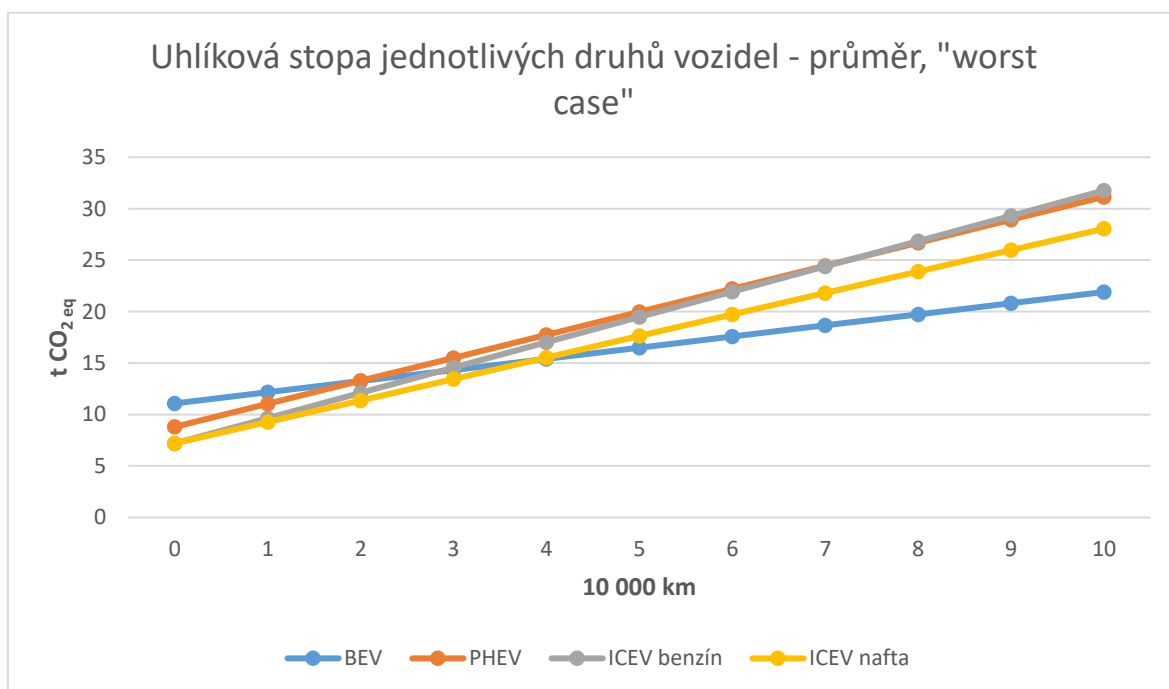
Nicméně scénář viz graf výše zahrnoval výrobu baterií v EU. Jak již bylo v práci zmíněno, většina baterií se na světě vyrábí právě v Číně, kde z kapitoly o výrobě baterií je patrné, že právě jejich uhlíková stopa je daleko vyšší, nežli je tomu při výrobě v rámci evropského energetického mixu.

Závislost posunu BEP je zobrazena na grafu níže. BEP se posunulo v nájedzu dále, na přibližně 20 tis. km nájedzu vozidel. Vzhledem k tomu, že se jedná o nejméně ekologicky uvažovaný způsob výroby, je zde stále značná úspora z pohledu vyprodukovaného CO<sub>2</sub>.



Graf 26: Uhlíková stopa jednotlivých druhů vozidel - průměr - výroba baterie v Číně (vlastní zpracování)

Další uvažovaný scénář je, pakliže se uživatel vozidla nepohybuje s vozidlem v zemi, jejíž energetický mix neodpovídá průměrnému emisnímu faktoru EU, což je 260 kgCO<sub>2 eq</sub>/kWh. V tomto případě je uvažováno s nejhorším scénářem, a to s emisním faktorem vycházející z průměru států spadající do 4. kategorie emisního faktoru elektrické energie, tedy hodnotě 528 kgCO<sub>2 eq</sub>/kWh, nejvyšší uvažované průměrné spotřebě elektrické energie 20,5 kWh/100 km a výrobě baterie v Číně. S tzv. „Worst case“ scénářem neboli s nejhorším možným, bylo uvažováno v tomto případě u BEV a PHEV. U PHEV bylo uvažováno se spotřebou 5,2 l/100 km a spotřebou 11,4 kWh/100 km a opět nejhorší kategorií emisního faktoru výroby elektrické energie 528 kgCO<sub>2 eq</sub>/kWh, kategorie vozidle Executive.



Graf 27: Uhlíková stopa jednotlivých druhů vozidel - průměr, "worst case" (vlastní zpracování)

V tomto případě má BEV opět zřetelně nejlepší uhlíkovou stopou, nicméně rozdíl BEV oproti ICEV benzín, je ve prospěch BEV jen 10 t CO<sub>2 eq</sub> a oproti naftovému ICEV jen 6 t CO<sub>2 eq</sub>.

V tomto modelu je patrné, že při daných spotřebách a daném energetickém mixu nedává z pohledu zlepšení uhlíkové stopy smysl pořizovat vozidlo PHEV, protože jeho uhlíková stopa je téměř totožná (mírně vyšší) s klasickým spalovacím benzínovým motorem na 100 000 km.

## 10.6.2 Závěr ekologických aspektů

V předchozí kapitole byly z pohledu uhlíkové stopy hodnoceny jednotlivé typy elektromobilů a jejich dopad na životní prostředí formou zhodnocení jejich uhlíkové stopy při výrobě a následném provozu.

Z dat vyplývá, že elektromobilita může být čistým a téměř bezemisním způsobem dopravy. Nicméně záleží na mnoha faktorech jako je místo výroby baterií a především, čistota elektrické energie, kterou do auta dodáváme, respektive její emisní faktor.

V případě, že bychom elektrickou energii vyráběli jen z tzv. nečistých zdrojů, jako je spalování uhlí, data naznačují, že by naše uhlíková stopa při výrobě a užití elektromobilu mohla být i vyšší, nežli je tomu u klasických spalovacích motorů. Z toho lze usoudit, že bez rozvoje zelené energetiky nemá elektromobilita vzhledem ke svým limitacím, jako je krátká dojezdová vzdálenost a zdlouhavé nabíjení, racionální, ani ekologický smysl.

PHEV jsou dále dobrou volbou, která spojuje kompromis mezi pohodlím uživatele a ekologií provozu. Nicméně tento kompromis platí jen v případě čistého alespoň na úrovni průměru států EU.

## 11 Doporučení

V rámci této práce byly zkoumány jednotlivé ekonomické, ekologické a energetické aspekty elektromobility. Vzhledem k tomu, že se jedná o komplexní téma, které má mnoho aspektů k vyhodnocení, poslouží ke shrnutí následující SWOT analýza, které všechny aspekty z miněné v práci, shrne.

	Pomocné	Škodlivé
Vnitřní původ	<b>Silné stránky</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Bezemisní provoz.</li><li>• Nevypouští zplodiny v aglomeracích.</li><li>• Tišší provoz.</li><li>• Jednodušší výroba (méně komponent).</li><li>• Menší potřeba výměny komponent v rámci pravidelného servisu.</li></ul>	<b>Slabé stránky</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Dojezd elektromobilu na jedno nabití.</li><li>• Potřeba dobíjení.</li><li>• Výroba baterií a jejich životnost.</li><li>• Uhlíková stopa baterií a možnost úniku těžkých kovů.</li><li>• Výrobní cena.</li></ul>
Vnější původ	<b>Příležitosti</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Funkce BEV pro vyrovnání sítě.</li><li>• „Second life“ baterie pro energetiku.</li><li>• Možnost domácí výroby paliva.</li><li>• Využití EV v komunitní energetice.</li></ul>	<b>Hrozby</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Špatně alokované zdroje surových materiálů pro výrobu baterií.</li><li>• Nedostatečná a nekoncepční recyklace baterií.</li><li>• Výroba baterií v Číně.</li></ul>

Tabulka 13: SWOT analýza (vlastní zpracování)

Z výsledků práce lze konstatovat, že elektromobilita má za určitých podmínek budoucnost jako hlavní prostředek pro dopravu osob a zboží, prozatím v případě zboží jen v rámci lehkých užitkových vozidel v rámci městské aglomerace.

### Silné stránky

Mezi silné stránky elektromobility patří zejména potenciál v rámci snižování uhlíkové stopy z osobní dopravy. Tento potenciál může být naplněn, pakliže dojde k postupnému přechodu k výrobě elektrické energie z obnovitelných zdrojů, případně k výrobě z jaderných zdrojů, které při výrobě elektrické energie neprodukují CO<sub>2</sub>. Elektromobilita má zároveň potenciál zpříjemnit ovzduší ve městech, které je spalovacími

motory, především dopravních špičkách velmi znečištěné a snižuje tak kvalitu života v oblastech s vysokou dopravou. Zároveň díky absenci spalovacího motoru je provoz tišší, což zpříjemňuje jak komfort posádky, tak opět komfort obyvatel ve městech. V neposlední řadě je pak výroba a údržba elektromobilu jak levnější, tak jednodušší díky absenci mnoha součástí klasického spalovacího motoru a hnacího, nebo převodového ústrojí a odvodu a čištění spalin.

Velkou výhodou elektromobility je pak možnost výroby „vlastního paliva“ a levnějších možností dobíjení, než je tomu u klasických pohonných hmot a při správném dobíjení může být provoz elektromobilu až o třetinu levnější.

### **Slabé stránky**

Na druhou stranu je potřeba podotknout, že průměrný dojezd elektromobilu se pohybuje v oblasti 300 – 500 km na jedno nabití (u malých BEV i méně). Tímto se značně snižuje komfort jízdy na delší vzdálenosti. Rychlé dobíjení je pak dražší a cena jízdy se tak může zvýšit spolu s dobou, kterou řidič v autě a při nabíjení na cestě stráví. Aby bylo nabíjení časově optimalizováno, je potřeba dostatečný počet nabíjecích bodů nejen na hlavních dálničních tazích, ale i v místě bydliště a práce, aby se čas pro dobíjení prolul s činnostmi v místě, kam řidič potřebuje dojet.

Dalším aspektem, který může ohrožovat celkovou realizovatelnost přechodu k elektromobilitě je celkový koncept výroby baterií. Ten je postaven na vzácných kovech nutných pro výrobu a tyto zdroje jsou často alokovány na místech se špatnou politickou stabilitou, což může mít za následek nečekané výpadky v dodavatelských řetězcích. Výroba baterií je v neposlední řadě ekologicky i energeticky náročný proces, který má vysoký škodlivý potenciál. Potřeba těžkých kovů a celková inovativnost baterií je pak důsledkem až o třetinu vyšších nákladů na výrobu elektromobilu. Zároveň životnost baterie garantovaná většinou na 160 000 km, nebo 8 let je pro zákazníka značným diskomfortem.

### **Příležitosti**

Vzhledem k tomu, že elektromobil je z principu vlastně pojízdná zásobárna elektrické energie, mohly by se elektromobily využívat nejen pro dopravu, ale i jako zdroje. Elektromobil pak může fungovat například jako prvek vyrovnávající špičky v síti a udržovat tak síť stabilní. Toho lze například využít jak v rodinných domech, například při využití dynamických cen při vysokých výkyvech, tak i pro potřeby komunitní energetiky při větším počtu elektromobilů. Tím se ale bude snižovat životnost baterií.



## **Hrozby**

Z hlediska hrozeb je pro elektromobilitu největším rizikem dostupnost zdrojů pro výrobu baterií, které jsou alokovány v nestabilních státech, což může potenciálně být i zdrojem válečných konfliktů, pokud bude závislost značná a zdroje nebudou dobře diversifikovány. I samotná výroba baterií, která je z velké většiny alokována v jednom státu je značné geopolitické riziko.

Z pohledu ekologie je největším rizikem dopad použitých baterií z elektromobilů. Prozatím není nastaven jednotný mechanismus, jak by měli výrobci s bateriemi nakládat po skončení jejich životnosti. Únik těžkých kovů z baterií, například při skládkování může mít fatální následky nejen na zdraví lidí, ale na celé ekosystémy.

## 11.1 Doporučení aspektů pro budoucí vývoj elektromobility

V následující kapitole budou sumarizována doporučení, kterými by se měla elektromobilita z pohledu výrobců, prodejců a uživatelů dále ubírat.

### 11.1.1 Hledisko výroby a recyklace

Z hlediska výroby je potřeba v elektromobilitě vyřešit především dvě otázky, kterými je jak správná diverzifikace zdrojů surových materiálů pro výrobu baterií, tak především vlastní výroby baterií. Velkou příležitostí je vytvoření uzavřeného kruhu bezodpadového hospodářství, kdy po recyklaci baterie lze vzácné materiály znovu recyklovat a použít pro výrobu baterií nových. Tím pádem budou z velké části elektromobily po skončení životnosti dodávat materiál pro stavbu nových elektromobilů. Tím lze navýšit možnosti obměny vozového parku a zajistit tak dostatek materiálu pro výrobu nových baterií, čímž se může snížit i cena samotných baterií.

Pro tyto účely je však potřeba nastavit jednotné mechanismy výroby baterií, které by pak zajišťovali jejich jednoduchou rozebíratelnost, čímž by se celý proces mohl automatizovat, zefektivnit a především zlevnit. Tím by se i snížila celková uhlíková stopa baterií a elektromobilita by mohla být výrobně čistší.

Dále by měli věnovat výrobci zvýšené úsilí, aby konstruovali baterie tak, že můžou po konci životnosti využívat ještě zbývajících 80 % své kapacity například jako úložiště pro potřeby energetiky. Tím umožní větší rozvoj obnovitelných zdrojů energie, díky poskytnuté kapacitě baterií pro ukládání elektřiny v době nadbytku výroby z těchto zdrojů. Nepřímo se tak může snížit i provozní uhlíková stopa elektromobilů. Správnou recyklací také může vzniknout levnější materiál pro výrobu nových baterií.

Pakliže v roce 2025 bude na evropských silnicích 12 mil. elektromobilů BEV, jejichž kapacita baterie bude v odhadu průměrně 60 kWh, bude přibližně v roce 2035 na konci životnosti 720 TWh úložné kapacity v bateriích, po snížení kapacity na 80 % vlivem opotřebení 576 TWh. To odpovídá 20 % roční produkce elektrické energie v EU, která činí 2 785 TWh. Přínos pro energetiku by mohl mít velký potenciál, pokud vzniknou jednoduché technické možnosti využití baterií, kterým skončila životnost. [26]

Data o tom, kolik je v baterii zbývajících kapacity, jak byla požívána by měla být uchovávána v něčem jako je černá skříňka u letadla, aby bylo možno rychle baterii

analyzovat a dále vhodně třídit. To znamená, aby se dalo lehce rozhodnout, zdali má baterie posloužit jako úložiště baterie, nebo bude její přínos lépe využitelný při recyklaci.

Nedokonalou recyklaci baterií lze hodnotit jako největší riziko elektromobility, ale i jako největší příležitost v rozvoji nejen ekologické výroby a zelené energetiky.

### **11.1.2 Hledisko užití**

Z hlediska užití je potřeba v rámci elektromobility budovat množství nabíjecích bodů. Pro pohodlí uživatele elektromobilu je potřeba, aby v místě parkování byla možnost dobíjení elektromobilu, čímž se sníží potřeba trávit čas na nabíjecích stanicích. Pakliže v místě potřeby parkování bude i nabíjecí bod, odpadá tak nutnost dobíjení na dedikovaných rychlodobíjecích stanicích, které jsou jak dražší, tak více škodí baterii elektromobilu.

V rámci dobíjení by měli být uživatelé vždy instruováni, aby elektromobil dobíjeli vždy na max. 80 %, pakliže neplánují delší cestu. Tímto způsobem lze dosáhnout vyšší životnosti baterie.

Výrobci by v rámci užití elektromobilu měli věnovat značné úsilí vývoji baterií, aby umožnili nejen jejich ekologickou výrobu a umožnili recyklaci. Pro standardní uživatelské pohodlí by se měli zaměřit na co největší navýšení kapacity baterií spolu s možnostmi rychlejšího dobíjení, aby odpadl problém nutných dlouhých zastávek při cestování na delší vzdálenosti.

## 12 Závěr

V rámci této práce byly zkoumány jednotlivé aspekty elektromobility. Téma bylo zmapováno a vyhodnoceno z pohledu ekologie, energetiky a ekonomie.

Ačkoliv jsou elektromobily dražším způsobem dopravy z hlediska pořizovacích nákladů, na druhou stranu jejich provozní náklady jsou nižší, ale rozdíl oproti pořizovací ceně nemohou pokrýt. Jsou však evidentně čistou formou dopravy oproti automobilům, se spalovacím motorem. A to i při posouzení ekologicky náročné výroby elektromobilu. Nicméně elektromobilita by jako taková postrádala smysl, pakliže ruku v ruce nebude docházet k přechodu na bezemisní energetiku.

Jako největší riziko elektromobility bylo vyhodnocena nekoncepční recyklace baterií elektromobilu po skončení životnosti, která nemá minimálně v EU dostatečnou infrastrukturu. Toto riziko může přerůst v ekologickou katastrofu, ale je to i příležitost, pakliže budou globálně nastaveny principy recyklace konstrukce baterií pro snadnou recyklaci, případně repasování na úložiště elektrické energie.

Z pohledu dopravy dává elektromobilita smysl jak v osobní, tak i v nákladní dopravě, avšak s určitými omezeními způsobenými jak omezeným dojezdem, tak technickými limity dobíjení.

Otázkou zůstává, zdali by se výrobci měli věnovat vývoji elektrických nákladních automobilů. Tuto otázku bude možné zodpovědět až po dalším vývoji baterií a stanovení jejich přesných technických limitů. Ke zvážení v tomto případě padá v úvahu vodíkový pohon.

Elektromobily mohou sloužit pro dopravu zboží v rámci městských a příměstských oblastí, toto mohou obsloužit lehká užitková vozidla. Pro větší vozidla narůstá i neúměrně velikost a váha baterie, což prodlužuje dobíjení a zvyšuje váhu vozidla.

## 13 Seznam zdrojů

[1] Kjótský protokol. Internetový portál energetické gramotnosti. <https://www.informacni-portal.cz/clanek/kjotsky-protokol#article-top> [cit. 22.04.2022].

[2] A Hungarian invented the electric car, and other Magyar claims to fame. budapest-bound.com. <https://www.budapest-bound.com/hungarian-invented-electric-car-fun-facts-hungary/> [cit. 22.06.2022].

[3] Electricvehiclesnews. <https://www.electricvehiclesnews.com/History/historyearlyII.htm?fbclid=IwAR3gHK5ozPRYIs3lfMXmX52ZQ55m6nbgkWaJVzKrmllSHSgP1z4QTb9vWUc> (cit. duben 19, 22).

[4] Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Voltaic\\_pile](https://en.wikipedia.org/wiki/Voltaic_pile) [cit. 22.01.2023].

[5] Lithium-ion battery - Wikipedia. [online]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery)

[6] Evexpert. <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/elektromobily-a-jejich-baterie> [cit. 22.04.2022].

[7] Elektrickevozy. <https://elektrickevozy.cz/clanky/historie-elektromobilu-od-prvniho-elektromotoru-po-soucasnostfbclid=IwAR3gHK5ozPRYIs3lfMXmX52ZQ55m6nbgkWaJVzKrmllSHSgP1z4QTb9vWUc> [cit. 22.01.2023].

[8] Autorevue.cz. <https://www.autorevue.cz/gm-ev1-wiki-historie-pribeh-pocatku-moderni-elektromobility> [cit. 19.04.2022].

[9] fdrive.cz. <https://fdrive.cz/clanky/historie-automobilky-tesla-1-dil-na-pocatku-byla-vize-4066> (cit. duben19, 22).

[10] Druhy elektromobilů – znáte je všechny? - Škoda Storyboard. [online]. Copyright © Škoda Auto a.s. 2023 [cit. 22.01.2023]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>

[11] EV charging: How do you to choose AC or DC?|Aswich Electrical Co., Ltd. Solar PV DC Isolator Manufacturer\_Wholesale Energy Storage Switch\_EV Charger Supplier\_Aswich [online]. Copyright © 2021 Aswich Electrical Co., Ltd ALL RIGHTS RESERVED [cit. 1. 04. 23]

[12] Impact of Charging Rates on Electric Vehicle Battery Life | Published in Findings. Findings [online]. Copyright © 2016 Elsevier B.V. All rights reserved. [cit. 04.04.2023]. Dostupné z: <https://findingspress.org/article/21459-impact-of-charging-rates-on-electric-vehicle-battery-life>

[13] [online]. Dostupné z: <https://www.energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/20937-nabijeni-elektromobilu-zatizeni-site-a-rizeni-vykonu-casti> [cit. 22.01.2023].

[14] [online]. Dostupné z: [https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/new-electric-vehicles-in-eu-2#tab-chart\\_3](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/new-electric-vehicles-in-eu-2#tab-chart_3) [cit. 22.01.2023].

[15] Report - Vehicles in use, Europe 2022 - ACEA - European Automobile Manufacturers' Association. ACEA - European Automobile *Manufacturers' Association* [online]. Copyright © 2023 ACEA [cit. 28.01.2023]. Dostupné z: <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-in-use-europe-2022/>

[16] Trends in electric heavy-duty vehicles – Global EV Outlook 2022 – Analysis - IEA. IEA – International Energy Agency [online]. Copyright ©IEA [cit. 24.03.2023]. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022/trends-in-electric-heavy-duty-vehicles?fbclid=IwAR3Tggi3ZzQHcb6mUu2p4zxBalOb0QACYaSY9Xwh9KomVbfywvrWh-kAL5w>

[17] [online]. Dostupné z: [http://www.idnes.cz/praha/zpravy/bateriovy-trolejbus-dopravni-podnik-testuje-na-z-palmovky-do-letnan.A190924\\_151133\\_praha-zpravy\\_rsr](http://www.idnes.cz/praha/zpravy/bateriovy-trolejbus-dopravni-podnik-testuje-na-z-palmovky-do-letnan.A190924_151133_praha-zpravy_rsr)

[18] Home - CALSTART [online]. Copyright © [cit. 24.02.2023]. Dostupné z: [https://calstart.org/wp-content/uploads/2023/01/CALSTART\\_Pathways\\_ZEMHDV\\_Mexico.pdf?fbclid=IwAR0XFxeVrgWP1VOh7H7DhXsetpuBOqH3ZbUSq-eDi0CXok8EFMTB\\_EMA8HQ](https://calstart.org/wp-content/uploads/2023/01/CALSTART_Pathways_ZEMHDV_Mexico.pdf?fbclid=IwAR0XFxeVrgWP1VOh7H7DhXsetpuBOqH3ZbUSq-eDi0CXok8EFMTB_EMA8HQ)

[19] [www.consumerreports.org. https://www.consumerreports.org/car-repair-maintenance/pay-less-for-vehicle-maintenance-with-an-ev/](https://www.consumerreports.org/car-repair-maintenance/pay-less-for-vehicle-maintenance-with-an-ev/) [cit. 23. 15 01].

[20] How We Work for Marketplace Change [online]. Dostupné z: <https://advocacy.consumerreports.org/wp-content/uploads/2020/09/Maintenance-Cost-White-Paper-9.24.20-1.pdf> [cit. 04.04.2023].

[21] WEVJ | Free Full-Text | An Overview of Parameter and Cost for Battery Electric Vehicles. MDPI - Publisher of Open Access Journals [online]. *Copyright* © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution [cit. 22.01.2023]. *Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2032-6653/12/1/21#metrics>*

[22] *Breaking Down the Cost of an EV Battery Cell*. *Visual Capitalist* [online]. *Copyright* © 2022 *Visual Capitalist* [cit. 24.01.2023]. *Dostupné z: <https://www.visualcapitalist.com/breaking-down-the-cost-of-an-ev-battery-cell/>*

[23] Country comparison | European Alternative Fuels Observatory. Homepage / European Alternative Fuels Observatory [online]. *Dostupné z: <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/european-union-eu27/country-comparison>*

[24] Change in distance travelled by car | ODYSSEE-MURE. Energy Efficiency Trends & Policies | ODYSSEE-MURE [online]. *Copyright* © [cit. 11.02.2023]. *Dostupné z: <https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-by-sector/transport/distance-travelled-by-car.html>*

[25] Energy consumption of full electric vehicles cheatsheet - EV Database. Compare electric vehicles - EV Database [online]. *Copyright* ©2023 EV Database [cit. 11.02.2023]. *Dostupné z: <https://ev-database.org/cheatsheet/energy-consumption-electric-car>*

[26] Electricity production, consumption and market overview - Statistics Explained. Sorry - 200190131 [online]. *Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_production,\\_consumption\\_and\\_market\\_overview](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_production,_consumption_and_market_overview)*

[27] Budde-Meiwes, Heide & Drillkens, Julia & Lunz, Benedikt & Muennix, Jens & Lehner (maiden name Rothgang), Susanne & Kowal, Julia & Sauer, Dirk Uwe. (2013). A review of current automotive battery technology and future prospects. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 227. 761-776. 10.1177/0954407013485567.

[28] BU-1003: Electric Vehicle (EV) - Battery University. Battery University Homepage [online]. *Copyright* © 2022 Isidor Buchmann. All rights reserved. Site by [cit. 19.03.2023]. *Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-1003-electric-vehicle-ev>*

[29] 301 Moved Permanently. 301 Moved Permanently [online] [cit. 22.02.2023].  
Dostupné z: [http://www.theglobaleconomy.com/rankings/wb\\_political\\_stability/](http://www.theglobaleconomy.com/rankings/wb_political_stability/)

[30] Sucuri WebSite Firewall - Access Denied. Sucuri WebSite Firewall - Access Denied [online]. Copyright © 2023 Sucuri Inc. All rights reserved. [cit. 23.03.2023].  
Dostupné z: <https://www.cobaltinstitute.org/essential-cobalt-2/powering-the-green-economy/batteries-electric-vehicles/>

[31] U.S. Geological Survey, 2022, Mineral commodity summaries 2022: U.S. Geological Survey, 202 p. [cit. 01.04.2023]. *Dostupné z <https://doi.org/10.3133/mcs2022>*.

[32] How nickel makes electric vehicle batteries better!. Knowledge for a brighter future [online],[cit.22.01.2023].  
*Dostupné z: <https://nickelinstitute.org/en/blog/2023/march/how-nickel-makes-electric-vehicle-batteries-better/>*

[33] Magnesium battery - Wikipedia. [online], [cit. 03.01.2023]. *Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Magnesium\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Magnesium_battery)*

[34] The Case for a Circular Economy in Electric Vehicle Batteries / BCG. Strategic Management Consulting | Boston Consulting Group [online]. Copyright © 2023 Boston Consulting Group [cit. 11.02.2023]. *Dostupné z: <https://www.bcg.com/publications/2020/case-for-circular-economy-in-electric-vehicle-batteries>*

[35] How long do electric car batteries last? | RAC Drive. RAC Breakdown Cover & Car Insurance | Route Planner | RAC [online]. Copyright © 2023 RAC Motoring Services. All rights reserved. [cit. 26.04.2023]. *Dostupné z: <https://www.rac.co.uk/drive/electric-cars/charging/how-long-do-electric-car-batteries-last/#how-long-are-warranties-on-electric-car-batteries>*

[36] ACS Energy Lett. 2022, 7, 2, 712–719, Publication Date:January 19, 2022, [cit. 26.03.2023]. *<https://doi.org/10.1021/acsenergylett.1c02602>*

[37] Home - International Council on Clean Transportation [online]. Copyright © [cit. 14.04.2023]. *Dostupné z: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/07/Global-Vehicle-LCA-White-Paper-A4-revised-v2.pdf>*



[38] Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe. [online], [cit. 12.12.2022]. *Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>*

[39] EU: power sector carbon intensity by country 2021 | Statista. Statista - The Statistics Portal for Market Data, Market Research and Market Studies [online]. Copyright © Statista 2023 [cit. 07.03.2023]. *Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/1291750/carbon-intensity-power-sector-eu-country/>*

[40] Producing gasoline and diesel emits more CO2 than we thought - Innovation Origins. [online]. Copyright ©Pixabay [cit. 12.03.2023]. *Dostupné z: <https://innovationorigins.com/en/producing-gasoline-and-diesel-emits-more-co2-than-we-thought/working-principles/>*

[30] EU approves effective ban on new fossil fuel cars from 2035 | Reuters. Reuters | Breaking International News & Views [online]. Copyright © 2023 Reuters. [cit. 29.01.2023]. *Dostupné z: <https://www.reuters.com/markets/europe/eu-approves-effective-ban-new-fossil-fuel-cars-2035-2022-10-27/>*

[33] Plug-in electric vehicles in Europe - Wikipedia. [online], [cit. 14.03.2023]. *Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in\\_electric\\_vehicles\\_in\\_Europe](https://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in_electric_vehicles_in_Europe)*

[34] European Electric Car Sales Will Ride Out The Economic Storm Before Accelerating Again. Forbes [online], [cit. 12.03.2023]. *Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/neilwinton/2022/10/12/european-electric-car-sales-will-ride-out-the-economic-storm-before-accelerating-again/?sh=7af782057829>*

[43] Electric Cars Weight Comparison Chart | myEVreview. homepage | myEVreview [online]. Copyright © 2021 [cit. 01.04.2023]. *Dostupné z: <https://www.myevreview.com/electric-cars-weight-comparison-chart>*

[44] [online], [cit. 12.04.2023]. *Dostupné z: [https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/average-statistics-of-new-passenger-cars#tab-chart\\_2\\_filters=%7B%22rowFilters%22%3A%7B%7D%3B%22columnFilters%22%3A%7B%22pre\\_config\\_parameter%22%3A%5B%22average%20mass%20%5Bkg%5D%22%5D%7D%7D](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/average-statistics-of-new-passenger-cars#tab-chart_2_filters=%7B%22rowFilters%22%3A%7B%7D%3B%22columnFilters%22%3A%7B%22pre_config_parameter%22%3A%5B%22average%20mass%20%5Bkg%5D%22%5D%7D%7D)*

[45] Average Range and Battery Size of PHEVs Currently Available in the US – EVStatistics. EVStatistics – Electric vehicle charts and statistics [online]. Copyright ©

2023 [cit. 15.04.2023]. *Dostupné z: <https://evstatistics.com/2021/09/average-range-and-battery-size-of-phevs-currently-available-in-the-us/>*

[46] Komentář: Z nových aut se stala extrémně těžká monstra. Ostatní řidiči by se jich měli bát | Autosalon TV. Autosalon TV [online]. Copyright © 2023 [cit. 16.04.2023]. *Dostupné z: <https://www.autosalon.tv/novinky/nova-auta/komentar-auta-tloustnou>*

[47] Sustainability | Free Full-Text | Estimation of CO2 Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric Vehicle Using LCA. MDPI - Publisher of Open Access Journals [online]. Copyright © 2019 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution [cit. 16.04.2023]. *Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/9/2690>*

[48] About Lithium | London Metal Exchange . Home | London Metal Exchange [online]. Copyright © 2023 The London Metal Exchange [cit. 16.04.2023]. *Dostupné z: <https://www.lme.com/Metals/EV/About-Lithium>*

[49] BU-1003a: Battery Aging in an Electric Vehicle (EV) - Battery University. Battery University Homepage [online]. Copyright © 2023 Isidor Buchmann. All rights reserved. Site by [cit. 22.04.2023]. *Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-1003a-battery-aging-in-an-electric-vehicle-ev?fbclid=IwAR03EaYU1fHKTmEIaGh9m8x3KzBlwc5K7clw1bJKQSJwKt9DleSex9jMKpQ>*

## 14 Seznam tabulek

Tabulka 1: Počet dobíjecích bodů AC v EU [23] (vlastní zpracování) .....	41
Tabulka 2: Počet dobíjecích bodů DC v EU [23] (vlastní zpracování) .....	41
Tabulka 3: Dobíjecí body AC predikce (vlastní zpracování) .....	43
Tabulka 4: Dobíjecí body DC predikce (vlastní zpracování) .....	43
Tabulka 5: Uhlíková stopa výroby vozidel [37] (vlastní zpracování) .....	60
Tabulka 6: Uhlíková stopa baterie v kg CO <sub>2 eq</sub> /kWh [37] (vlastní zpracování) .....	60
Tabulka 7: Uhlíková stopa baterie průměr v kg CO <sub>2 eq</sub> /kWh (vlastní zpracování)..	61
Tabulka 8: Spotřeby paliv/energie jednotlivých typů automobilů [48] (vlastní zpracování) .....	63
Tabulka 9: Uhlíková stopa na ujetých 100 km provozu elektromobilu v kgCO <sub>2 eq</sub> /100 km (vlastní zpracování) .....	67
Tabulka 10: Uhlíková stopa na ujetých 100 km provozu elektromobilu (vlastní zpracování) .....	67
Tabulka 11: Uhlíková stopa na ujetých 100 km provozu ICEV v kgCO <sub>2 eq</sub> /100 km (vlastní zpracování) .....	68
Tabulka 12: Uhlíková stopa na ujetých 100 km provozu PHEV v kgCO <sub>2 eq</sub> /100 km (vlastní zpracování) .....	70
Tabulka 13: SWOT analýza (vlastní zpracování).....	79

## 15 Seznam grafů

Graf 1: Průběh dobíjení baterie [13] , vlasní zpracování.....	24
Graf 2: Registrace nových vozidel v EU [14].....	25
Graf 3: Průměrné ceny dobíjení AC [19] .....	30
Graf 4: Využití typu smluv poskytovatel-uživatel [19] (vlastní zpracování).....	32
Graf 5: Ceny DC dobíjení [19] (vlastní zpracování) .....	32
Graf 6: Rozložení cen jednotlivých komponentů v BEV a ICEV [21] (vlastní zpracování) .....	35
Graf 7: Cenotvorba jednotlivých komponent baterie [22] (vlastní zpracování).....	36
Graf 8: Dobíjecí AC dle země EU [23] (vlastní zpracování) .....	39
Graf 9: Dobíjecí body DC dle země EU [23] (vlastní zpracování) .....	40
Graf 10: Prodeje a počet BEV v EU [23] (vlastní zpracování) .....	42
Graf 11: Produkce Lithia [31] (vlastní zpracování).....	50
Graf 12: Rezervy Lithia [31] (vlastní zpracování).....	50
Graf 13: Produkce kobaltu [31] (vlastní zpracování) .....	51
Graf 14: Rezervy kobaltu [31] (vlastní zpracování) .....	51
Graf 15: Produkce Niklu [31] (vlastní zpracování) .....	52
Graf 16: Rezervy niklu [31] (vlastní zpracování).....	52
Graf 17: Produkce Magnesia [31] (vlastní zpracování).....	53
Graf 18: Rezervy magnesia [31] (vlastní zpracování).....	53
Graf 19: Emisní faktory výroby elektřiny jednotlivých zemí EU [39] (vlastní zpracování) .....	62
Graf 20: Uhlíková stopa jednotlivých baterií a typů elektromobilů BEV (vlastní zpracování) .....	64
Graf 21: Uhlíková stopa jednotlivých baterií a typů elektromobilů PHEV (vlastní zpracování) .....	64
Graf 22: Celková uhlíková stopa při výrobě různých druhů automobilů výroba v EU (vlastní zpracování) .....	65
Graf 23: Uhlíková stopa na ujetých 100 km provozu automobilů se spalovacím motorem (vlastní zpracování).....	69
Graf 24: Uhlíková stopa na ujetých 100 km provozu PHEV (vlastní zpracování)..	71
Graf 25: Uhlíková stopa jednotlivých druhů vozidel – průměr EU (vlastní zpracování) .....	75
Graf 26: Uhlíková stopa jednotlivých druhů vozidel - průměr - výroba baterie v Číně (vlastní zpracování) .....	76
Graf 27: Uhlíková stopa jednotlivých druhů vozidel - průměr, "worst case" (vlastní zpracování) .....	77

## 16 Seznam obrázků

Obrázek 1: První původce elektromobilu [2] .....	14
Obrázek 2: Elektromobil profesora Stratingha [2] .....	15
Obrázek 3: Elektromobil Gastona Plantéma [3] .....	15
Obrázek 4: Křižíkův elektromobil [3] .....	15
Obrázek 5: Bateriový článek [4] .....	16
Obrázek 6: Peugeot elektromobil [6] .....	18
Obrázek 7: Přehled druhů elektromobilů [9] .....	20
Obrázek 8: Dobíjení AC vs DC [11] .....	23
Obrázek 9: Rozdělení baterií dle konstrukce [27] .....	47
Obrázek 10: Přístupy k recyklaci baterií (vlastní zpracování) .....	54
Obrázek 11: Přehled metod recyklace [36] (vlastní zpracování) .....	56

## Evidence výpůjček

Prohlášení:

Dávám svolení k půjčování této diplomové práce. Uživatel potvrzuje svým podpisem, že bude tuto práci řádně citovat v seznamu použité literatury.

Jméno a příjmení

V Praze dne: 26. 4. 2023

podpis: Vojtěch Sláma

<b>Jméno</b>	<b>Katedra / Pracoviště</b>	<b>Datum</b>	<b>Podpis</b>