Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Bakalářská práce

Elektromobilita

Vedoucí práce
Doc. Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Autor práce
Karel Riegert

© 2022 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Karel Riegert

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Elektromobilita

Název anglicky

Electromobility

Cíle práce

Cílem práce je vytvořit ucelený přehled problematiky elektromobility od historie až po současnost. Dále rozdělení elektromobilů, srovnání elektrovozidel s vozidly s konvenčním pohonem z pohledu materiálové náročnosti, reálné produkce emisí a ekonomické zhodnocení výkonově srovnatelných vozidel.

Metodika

Metodika řešené problematiky bakalářské práce bude založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů.

Práce bude strukturovaná dle následující osnovy:

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Přehled řešené problematiky
4. Praktická část práce
5. Závěr
6. Seznam použitých zdrojů
7. Přílohy

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

elektromobil, provozní parametry, spotřeba, emise, cena

Doporučené zdroje informací

Heidler, Jan. Elektromobily. ŠKODA AUTO a.s. Střední odborné učiliště strojírenské, odštěpný závod, 2017

Hromádko, J.: Speciální spalovací motory a alternativní pohony, Nakladatelství Grada, Praha, 2012, ISBN 978-80-247-4455-1

VLK, F. Automobilová elektronika 3, Systémy řízení motoru a převodů : [benzinové motory, dieselové motory, výkon vozidla, vstřikovací systémy, zapalování, snímání dat]. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-7063-1

VLK, F. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel : výkon vozidla, brzdné vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, řiditelnost a ovladatelnost, životnostní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy. Brno: Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0

Předběžný termín obhajoby

2021/2022 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 2. 11. 2021

doc. Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Elektromobilita" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.03.2022 _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Martinu Kotkovi, Ph.D za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za poskytované zázemí a neustálou podporu při studiích. V neposlední řadě bych rád zmínil i své přátele, kteří mě svou pílí motivovali ke studiu, děkuji.

Elektromobilita

Abstrakt

První částí práce je úvod, kde se nachází seznámení s obsahem práce. Druhá část práce se zabývá historií elektromobility až po současnou situaci, vysvětlením základních pojmů, uvedením hlavních výhod a nevýhod při provozu elektromobilu, či pořízení elektromobilu v současné situaci, následované rozdělením hybridních pohonů vozidel. Dále se práce zabývá dopadem elektromobility na životní prostředí, produkcí emisí CO_2 při výrobě baterií a chodem samotných elektráren. Dále ekonomickou dostupností elektromobilů v různých zemích a rozdělení zemí podle typu výroby elektrické energie. Následně jsou vysvětleny základní principy cirkulární ekonomiky a jejího využití při recyklaci použitých, nebo vyřazených akumulátorů. Ve třetí části jsou uvedeny technologická porovnání, nejprve u elektromobilů značky VW Golf a Toyota RAV4 a následně porovnání vlastností jednotlivých elektromobilů rozdělených do kategorií „Do 1 300 000 Kč“ a „Nad 1 300 000 Kč“. Poslední kapitola práce se věnuje nákladové analýza.

Klíčová slova: elektromobil, elektromotor, akumulátor, hybrid, provozní parametry, spotřeba, emise, cena, dobíjecí stanice

Electromobility

Abstract

The first part of the thesis is the introduction, where the content of the thesis is introduced. The second part of the thesis deals with the history of electromobility up to the current situation, explaining the basic concepts, listing the main advantages and disadvantages in the operation of an electric car, or the acquisition of an electric car in the current situation, followed by a breakdown of hybrid vehicle drives. Furthermore, the thesis deals with the environmental impact of electromobility, the production of CO_2 emissions in battery production and the operation of the power plants themselves. Furthermore, the economic availability of electric vehicles in different countries and the distribution of countries according to the type of electricity production. Then the basic principles of the circular economy and its application in the recycling of used or discarded batteries are explained. In the third part, technological comparisons are presented, first for VW and Toyota electric vehicles and then comparing the characteristics of individual electric vehicles divided into the categories "Up to 1 300 000 CZK" and "Above 1 300 000 CZK". The last chapter of the thesis is devoted to cost analysis.

Keywords: electric car, electric motor, battery, hybrid, operating parameters, consumption, emissions, price, charging station

Obsah

1 Úvod 1

2 Cíl práce 2

3 Metodika 2

4 Přehled řešené problematiky 3

4.1 Historie elektromobility 3

4.2 Základní pojmy 4

4.2.1 Elektromobilita 4

4.2.2 Elektromobil 5

4.2.3 Elektromotor 5

4.2.3.1 Třífázový synchronní motor 6

4.2.3.2 Třífázový asynchronní motor 7

4.2.4 Akumulátor 8

4.2.4.1 Lithiové akumulátory 8

4.2.4.2 Olověné akumulátory 9

4.2.4.3 Niklový akumulátor Ni-MH 10

4.2.4.4 Superkapacitory 10

4.2.4.5 Srovnání technologií 10

4.3 Výhody elektromobilu 11

4.3.1 Levnější servis 11

4.3.2 Ekologičtější provoz 11

4.3.3 Tichý chod 11

4.3.4 Jízdní vlastnosti 12

4.3.5 Snadné ovládání 12

4.3.6 Registrační značka EL 12

4.3.7 Dálnice zdarma 12

4.4 Nevýhody elektromobilů 12

4.4.1 Cena 13

4.4.2 Dojezd 13

4.4.3 Doba dobíjení 13

4.4.4 Dostupnost dobíjecích stanic 13

4.4.5 Omezená nabídka 14

4.5 Rozdělení hybridních vozidel 15

4.5.1 Plug-in hybrid 15

4.5.2 Hybridní vozidlo 16

4.5.3 Mild-hybrid 16

4.6 Dopad na životní prostředí 17

4.7 Minimální produkce CO2 emisí ... 17
4.8 Ekonomická dostupnost ... 19
4.9 Baterie jako příležitost pro cirkulární ekonomiku ... 20
4.9.1 Recyklace akumulátorů ... 21
4.9.2 Recyklace baterií s užitím v zemědělství ... 23
5 Vlastní zpracování ... 25
5.1 Technologické porovnání modelů VW Golf a Toyota RAV4 ... 25
5.2 Elektromobily do 1 300 000 Kč ... 26
5.3 Elektromobily nad 1 300 000 Kč ... 28
5.4 Elektrárny a emise CO2 ... 30
5.4.1 Komplexní pohled na elektrárny ... 31
5.5 Nákladová analýza ... 34
6 Závěr ... 35
7 Citovaná literatura ... 36

1 Úvod

Automobilový průmysl je jedním z nejvíce rostoucích průmyslů dnešní doby, přestože zatím stále elektromobil jako takový nemusí být vhodný pro každého, do budoucna se dají očekávat velká vylepšení, například z hlediska výdrže baterie a s ní spojeného dojezdu, který může být aktuálně stále nedostačující pro širokou skupinu lidí. Při ohlédnutí pár let zpět, například na mobilní telefony, které se dříve nosily v kufříku a mohly mít hmotnost i několik kilogramů, v porovnání s dnešními telefony si lze všimnout neskutečného pokroku.

Největším problémem automobilového průmyslu jsou opatření z hlediska emisí oxidu uhličitého, které Evropská unie neustále zpřísňuje, a proto by elektromobily mohly mít do budoucna velký potenciál ve směru ochrany klimatu a byznysu automobilového průmyslu.

Pojem elektromobilita je poslední dobou velmi rozebírané téma, které rozděluje společnost na dvě skupiny. První skupina to vidí jako zajímavou inovaci, která v budoucnu bude nedílnou součástí každodenního života, zato druhá skupina to naopak vidí jako cestu do pekel.

Teoretická část práce se zabývá přehledem vývoje elektromobility od historie až po současnou situaci. Dále jsou vysvětleny základní pojmy (Elektromobilita, elektromobil, elektromotor, akumulátor), případně jejich podrobnější rozdělení. Jsou zde uvedené výhody a nevýhody pro pořízení, či provoz elektromobilu v současné situaci. V praktické části se nachází problematika dopadu na životní prostředí z pohledu emisí CO2 a skleníkových plynů, vzniklých při výrobě akumulátorů, nebo ze samotné výroby elektrické energie v elektrárnách.

2 Cíl práce

Cílem práce je vytvořit ucelený přehled problematiky elektromobility od historie až po současnost. Dále vysvětlení používaných pojmů, rozdělení elektromobilů, uvedení výhod a nevýhod elektromobilů, srovnání elektrovozidel s vozidly s konvenčním pohonem z pohledu materiálové náročnosti, reálné produkce emisí a ekonomické zhodnocení výkonově srovnatelných vozidel.

3 Metodika

Metodika řešené problematiky bakalářské práce bude založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů.

4 Přehled řešené problematiky

4.1 Historie elektromobility

Automobil poháněný elektřinou není vůbec nový nápad. Poprvé se elektromobily začínaly objevovat již v první polovině 19. století. První prototyp motoru poháněného elektřinou sestavil Ányos Jedlik v roce 1828. Šest let na to se objevil prototyp malého modelu elektrického auta, které se pohybovalo po kolejích a vynalezl ho Thomas Davenport. Bohužel prototypy obou výrobců neuspěly kvůli omezení technologie jejich doby. O 31 let později, tedy roku 1859, byla vynalezena olověná baterie panem Gastonem Plantém, který byl Francouzského původu. Jeho baterie se oproti dřívějším doposud vyrobeným bateriím pyšnila vylepšeními, jako je zvýšená kapacita, nebo možnost ji opakovaně dobíjet. Tato inovace poskytla zvýšený dojezd a umožnila i vyšší dojezd vozidla. USA se rokem 1900 pyšnilo 38 % produkcí automobilů. Bylo zde vyrobeno kolem 1574 elektrických vozů. (1) (2) (3)

Vozidlo Jamaise Contenteho roku 1899 dokonce překonalo rychlostní rekord, když překročilo hranici rychlosti 100 km/h. Vozidlo bylo poháněno dvěma motory o výkonu 25 kW. S karoserií tvořenou prvky hořčíku a hliníku o hmotnosti cca 200 kg a olověnými bateriemi vážilo vozidlo 1 tunu včetně motoru. Poté vynálezce Thomas Edison roce 1901 sestrojil niklové baterie, které se dnes stále používají. (1) (2)

V České republice byl první elektromobil vyroben Františkem Křižíkem roku 1895. Užíval stejnosměrný motor s výkonem 3,6 kW poháněl ho 42 článkový olověný akumulátor. Pozdější Křižíkův vůz byl již vybaven dvěma elektromotory a v nové výbavě nechyběl ani benzinový agregát, který uměl vyrábět elektrickou energii a poskytoval vozidlu delší dojezd. Nejednalo se tedy o plný elektromobil, ale o hybrid. (1) (2) (3)

V přelomu 19. a 20. století byl představen vůz Ford model T viz. Obrázek 1. Dosahoval rychlosti až 60 km/h a dokázal ujet okolo 200 km. Jeho výroba byla poměrně rychlá a vzhledem k použití laciných součástek se jeho cena snížila z 850 dolarů na polovinu.

Velkou ztrátou z hlediska výroby elektromobilů byl nález dalšího ropného ložiska, které mělo za následek výrazné snížení ceny benzínu. Ještě nižší zájem o elektromobily přišel s rokem 1912, kdy se na trhu objevil elektrický startér, který opět velmi podpořil benzínová vozidla, protože odpadla nutnost nepohodlného a někdy až namáhavého ručního startování

vozu. V porovnání s elektromobily, které měly malou rychlost a nedojely zdaleka tak daleko, následoval růst automobilů se spalovacím motorem. Elektromobily začaly opět vzbuzovat zájem až v průběhu druhé světové války kvůli nedostatku ropy, ačkoli ne na dlouho. (4)

První uvedení elektromobilu na trh uskutečnila firma General Motors v roce 1990 uvedením elektromobilu EV1. Těchto vozidel se za dalších 12 let vyrobilo dalších 1 117 kusů.

První elektromobil, jehož prodej přesáhl 10 000 prodaných kusů, bylo Mitsubishi MiEV v roce 2011. Ovšem nejprodávanější elektromobil, který dokonce sesadil Mitsubishi MiEV, byl Nissan Leaf viz. Obrázek 2, díky kterému se spustila první větší vlna výroby elektromobilů i u ostatních výrobců automobilů. (1) (2) (4)

Obrázek 2 Ford Model T 1915 (27)

Obrázek 1 Nissan Leaf 2010 (26)

4.2 Základní pojmy

4.2.1 Elektromobilita

Pojem Elektromobilita lze asi nejjednodušeji vysvětlit jako pohyb soupravy, nebo vozidla za použití elektrické energie.

Pod tímto pojmem představuje například provoz elektrických aut, elektrických motocyklů, dnes stále častěji využívaných elektrokol, ale také prostředky využívané v městské hromadné dopravě, jako je metro, vlak, tramvaj, trolejbus, nebo také elektrická letadla.

Elektromobilita je inovativním způsobem dopravy, který by se do budoucna mohl stát jediným způsobem dopravy, protože elektřina je na rozdíl od ropy obnovitelný zdroj. Je to ekologičtější a udržitelnější způsob dopravy, než je tomu u spalovacích automobilů, protože elektromobily neprodukují primární emise. (2) (5)

4.2.2 Elektromobil

Pod pojmem elektromobil, nebo také elektroauto, je motorové vozidlo využívající namísto zážehového, či vznětového motoru motor elektrický. Asi první věcí, které si každý všimne je, že elektromobil jezdí opravdu potichu.

V dnešní době ovšem vstupuje do trendu i tzv. hybridní automobil, který využívá jak motor spalovací, tak motor elektrický a je schopen vlastnosti obou motorů kombinovat tak, aby se dosáhlo co největší efektivnosti, došlo k minimalizaci spotřeby paliva a elektrické energie.

Namísto nádrže na naftu, či benzín využívají elektromobily nejčastěji akumulátory. V praxi je možno se také setkat i s různými alternativami akumulátorů, jako je například vodíkový palivový článek. (2)

4.2.3 Elektromotor

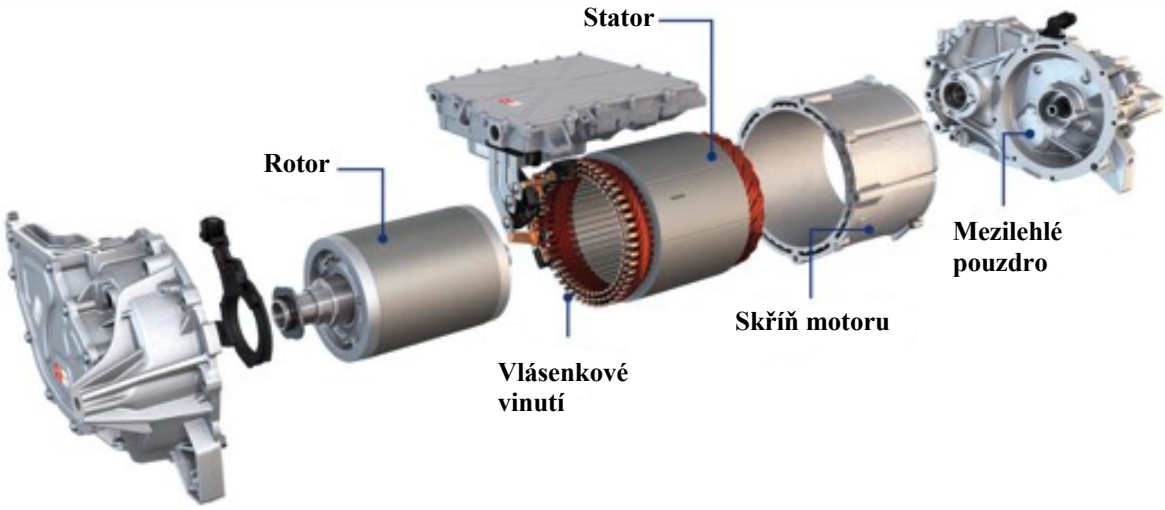
Elektromotor je stroj, který přeměňuje energii elektrickou na energii mechanickou. Je tvořen dvěma hlavními částmi, které se nazývají stator a rotor viz obrázek 3. Princip elektromotoru je založen na průchodu elektrického proudu magnetickým polem cívky, díky čemuž vzniká točivý moment, který je přes hřídel přenášen na poháněné zařízení, např. elektromobil.

Elektromotor by se z hlediska požadavků měl vyznačovat vysokým okamžitým a měrným výkonem, vysokým kroutícím momentem i při nižších rychlostech, rychlým nástupem výkonu, vysokou spolehlivostí a účinností a ideálně příznivou cenou.

Elektromotor může být napájen stejnosměrným, nebo střídavým proudem přiváděným z akumulátoru.

Samozřejmostí elektromotorů využívaných v dnešních elektromobilech je i režim rekuperace, kde například při jízdě z kopce, nebo za pomoci setrvačností se elektromotor přemění v generátor, který naopak přeměňuje energii mechanickou na energii elektrickou, díky čemuž se akumulátor dobíjí. Při správném využívání režimu rekuperace lze tedy dosahovat delších dojezdových vzdáleností na jedno nabití.

U elektromobilů se nevyužívá pouze jeden typ elektromotoru, ale jsou zde různé varianty těch nejčastěji používaných. Patří sem např. třífázový synchronní motor s permanentními magnety, motor asynchronní, nebo jejich kombinace, kterou kvůli zlepšení jízdních vlastností využívá například Tesla, či Audi e-tron GT. (6)



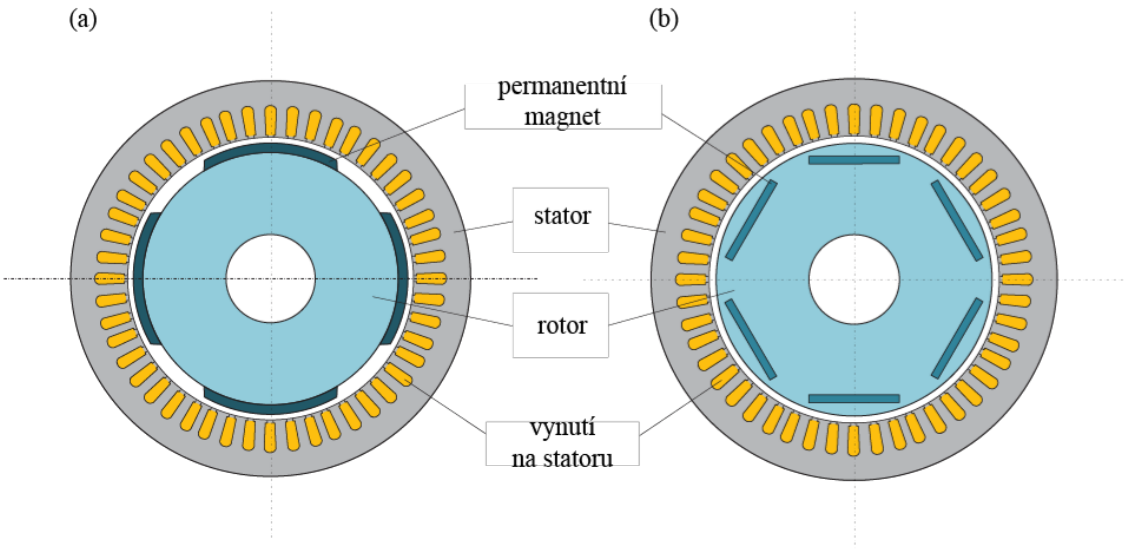
Obrázek 3 Rozložený elektrický pohon Volkswagen (28)

4.2.3.1 Třífázový synchronní motor

Třífázový synchronní motor je točivý stroj napájený třífázovým střídavým proudem s vhodně umístěnými permanentními magnety viz obrázek 4. To, že je motor synchronní znamená, že magnetické pole rotoru, a tudíž i celý rotor se otáčí stejně (synchronně) jako pole statoru (nenastává žádný skluz), a tudíž jsou otáčky rotoru přímo úměrné frekvenci proudu.

Třífázové synchronní motory díky jejich vysoké účinnosti, která se z pravidla pohybuje mezi 95 – 98 % a nízkou hmotností, si našly využití právě u již zmíněných elektromobilů.

Tento typ elektromotoru využívá široká skupina automobilek, jako například Audi u svého modelu e-tron GT, Volkswagen, Renault, nebo i Tesla, která to ovšem pojala ještě o něco složitěji. (7)



Obrázek 4 Uložení permanentních magnetů z pohledu příčného řezu motoru (a) povrch rotoru, (b) vnitřek rotoru (29)

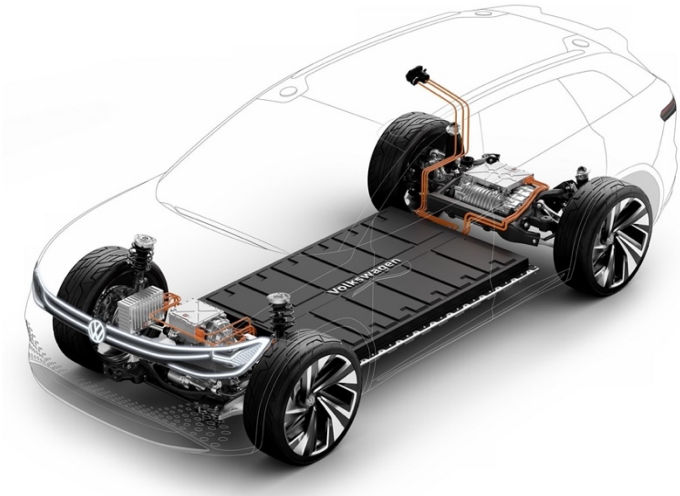
4.2.3.2 Třífázový asynchronní motor

Asynchronní, nebo také indukční motor představený Nikolou Teslou v roce 1882 je další z nejpoužívanějších elektromotorů nejen v automobilovém průmyslu. Motor je tvořen statorem s třífázovým vinutím a rotorem tvaru klece viz obrázek 5. Odpadá zde nutnost použití měniče při napájení motoru střídavým proudem. Principem činnosti asynchronního motoru je ve statoru vytvořené magnetické pole, které rotuje a indukuje napětí do rotoru, rotor je ovšem spojen dokrátka, díky čemuž v něm vzniká proud. Proud procházející vodiči rotoru vyvolá magnetické pole, které působí na rotující pole statoru a rotor se začne otáčet. (6) (7)

Obrázek 4 Třífázový AS motor (8)

4.2.4 Akumulátor

Akumulátor je přístroj, který umí opakovaně uchovávat elektrickou energii a používá se jako zdroj energie elektromobilů a velmi důležité je jejich umístění, které musí být vhodně umístěné v elektromobilu tak, aby nebyly příliš blízko cestujícím, nebo nenarušovaly jízdní vlastnosti vozidla viz obrázek 6. (5)



Obrázek 6 Uložení baterie pro Volkswagen I.D. Roomzz (9)

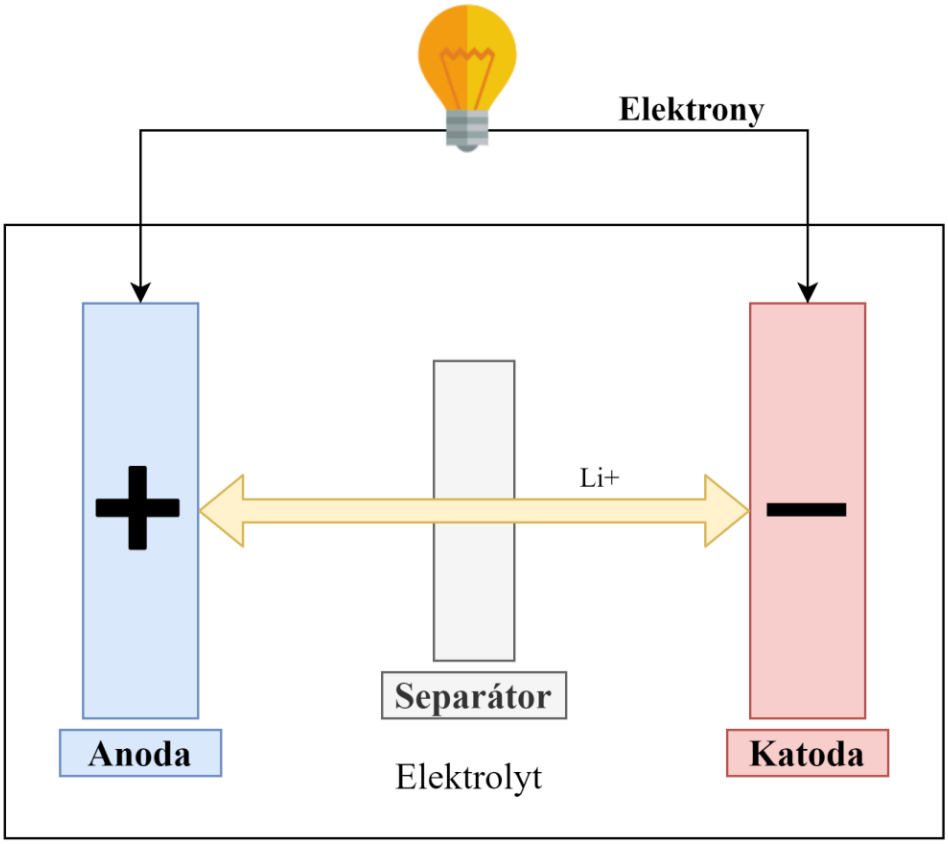
Současná predikce je taková, že akumulátory jsou a budou hlavním zdrojem energie pro elektromobily navzdory jejich nedostatkům. Existuje již několik druhů materiálů, které se používají při výrobě akumulátorů a jejich rozvoj je stěžejní z hlediska zvýšení zájmu o elektromobily. Cílem vylepšení akumulátorů je prodloužení výdrže, zkrácení dobíjecího času, nebo zvýšení hustoty energie akumulátoru, která má vliv hlavně na hmotnost samotného akumulátoru.

Jako jedny z nejpoužívanějších akumulátorů se používají například akumulátory Lithiové, Olověné, Niklové (Ni-MH), Zebra akumulátory (Na-NiCl), Superkapacitory a další. (10)

4.2.4.1 Lithiové akumulátory

Lithiový akumulátor je jedním z nejpoužívanějších akumulátorů nejen v oblasti elektromobilů.

Princip fungování je rozdělen do dvou stavů. Při stavu vybíjení se přesouvají ionty lithia z anody na katodu viz obrázek 7. Při stavu nabíjení je tomu přesně naopak.



Obrázek 7 Schéma Lithiového akumulátoru (7)

Mezi výhody používání Lithiového akumulátoru se řadí již zmíněná energetická hustota, která je zde nadprůměrná, slabší ekologický dopad, možnost recyklace a také nižší cena. Nevýhodou je snížená bezpečnost, životnost a nutnost udržení vhodné pracovní teploty. (7)

4.2.4.2 Olověné akumulátory

V automobilovém průmyslu je tento typ akumulátoru oblíbený již pěknou řádku let. Akumulátor je vyroben z elektrod na bázi olova a namísto elektrolytu je zde využívána naředěná kyselina sírová.

Technologie tohoto akumulátoru je v dnešních dnech již velmi vyspělá a vyznačuje se zejména vysokým výkonem a nízkou cenou. Velké zastoupení má akumulátor také v implementaci do hybridních automobilů právě kvůli možnosti rychlého dodaní vysokého výkonu. Nevýhodou může být například nižší cena, samovybíjení, nebo životnost. (7)

4.2.4.3 Niklový akumulátor Ni-MH

Niklový akumulátor se vyznačuje zejména nižší hmotností, protože nikl je lehčí materiál, než například již zmíněné olovo a vhodnými elektrochemickými vlastnostmi, umožňujícími kvalitní akumulaci energie.

Ni-MH akumulátor je od ostatních niklových akumulátorů rozdílný hlavně tím, že je zde použit vodík, má příznivější vliv na lidské zdraví a zároveň zvyšuje výkonnost akumulátoru. Jako nevýhoda se u niklového akumulátoru dá považovat vysoká cena, samovybíjení a opět nižší životnost. (7)

4.2.4.4 Superkapacitory

Superkapacitory jsou dvouvrstvé kondenzátory, které umí dodávat vysoký měrný výkon. Zároveň je definuje nízká hustota energie a obtížná výroba, kvůli čemuž se nehodí jako náhrada za elektro-chemické akumulátory. Zakomponovávají se zpravidla do hnacího ústrojí, kde se uplatňují zejména při náročnějších úkonech, kde je třeba využít vyššího výkonu, jako je tomu například při jízdě do kopce, nebo předjíždění s potřebou rychlejší akcelerace. Jako jedna z výhod superkapacitorů je schopnost rychlého dobíjení a možnosti rekuperace. (7)

4.2.4.5 Srovnání technologií

Typ baterie	Hustota energie		Měrný výkon		Životnost	Pracovní teploty	Cena
	[Wh/kg]	[Wh/l]	[W/kg]	[W/l]	cyklů	[°C]	Kč/kWh
Li-Ion	120	450	300	160	400–1200	20–60	37 500
Olověné	40	65	175	200	100–2000	20–60	3 750
Ni-MH	90	220	600	190	500–1000	20–60	20 500
Superkapacitory	5	-	14k	-	500k	20–65	250 000
Cílové hodnoty	150	230	300	460	1 000	40–50	3 750

Tabulka 1 Porovnání baterií

4.3 Výhody elektromobilu

Mezi hlavní výhody elektromobilu patří např. ekologičtější provoz, tichý chod, energický projev, nebo snadnější ovládání.

4.3.1 Levnější servis

Vzhledem k tomu, že elektromobil využívá jako zdroj energie určitý typ akumulátoru, odpadá zde povinnost běžné údržby, jako je například výměna olejového filtru, svíček, či oleje samotného. Při používaní elektromobilu po dobu několika let se tak může peněžní úspora za servis nasčítat a díky tomu ušetřit finanční prostředky. Peněžní úspora ovšem záleží na požadavcích na vybavení a odbornosti techniků proškolených pro servis elektromobilů. (11)

4.3.2 Ekologičtější provoz

Vzhledem k tomu, že elektromobily alespoň papírově produkují nulové emise CO_2 a díky tomu v poslední době dostávají značnou podporu od evropských států, by to mohla být cesta splnění čím dál přísnějších emisních závazků Evropské unie. Ačkoli výroba elektrické energie produkuje skleníkové plyny, tak stále platí, že vyšší efektivita pohonného ústrojí elektromobilu vykazuje emisní výhodnost i tam, kde se využívá převážně uhlí. Výroba elektromobilu vykazuje emisní zátěž hlavně z pohledu vysoké energetické náročnosti, zejména při výrobě baterie. Například Volkswagen poskytuje výsledky, které ukazují na vznik 1,5násobku emisí CO_2, než klasický vůz se spalovacím motorem. Výroba baterií je proto kompenzována obnovitelnými zdroji jak u výroby, tak při dodání. (11)

4.3.3 Tichý chod

Tichý chod je jako výhoda trochu sporný, protože ne každý má u jeho vozu rád, když namísto burácení motoru, je slyšet jen nepatrný svist. Na druhou stranu z hlediska průjezdů městy, vesnicemi, nebo obydlenými oblastmi to pro tamní občany může být velmi příjemná změna.

Tichost elektromobilů může mít ovšem i negativní vliv na bezpečnost například na přechodech pro chodce, a proto by měl být doplněn o uměle vytvořený zvuk motoru, jako tomu děla například Tesla. Elektromobil musí být dobře odhlučněn, aby nebyly slyšet třeba zvuky od

kol, které jsou běžně překryty zvukem spalovacího motoru. Například Škoda Enyaq iV se hlučností dá srovnat se strojkem na holení. (11)

4.3.4 Jízdní vlastnosti

Jako další výhoda elektromobilů je jejich energický rozjezd. Elektromobily se dokáží velmi rychle rozjíždět díky možnosti využití maximálního točivého momentu dostupného již od nulových otáček. Jejich energický projev se uplatňuje také při předjíždění. (11)

4.3.5 Snadné ovládání

Díky tomu, že elektromobily mají jinou převodovku, něž klasické automobily se spalovacím motorem, dokáží elektromobily plynule zrychlovat a zpomalovat a nemusí se zde ani řadit. Elektromobily nabízejí také možnost rekuperace, což je vlastnost, která při brždění, nebo zpomalováním motorem dobíjí akumulátor, což má za následek delší dojezd vozidla. (11)

4.3.6 Registrační značka EL

Každý vlastník elektromobilu získá značku začínající písmeny EL, která umožňuje parkování v modrých zónách v Praze zdarma. V situaci, že zde není poskytnuta značka EL, je zde stále možnost velmi levného parkování, které stojí 100 Kč ročně. (11)

4.3.7 Dálnice zdarma

Jako další benefit je, že zde odpadá nutnost koupě elektronické dálniční známky a pokud je elektromobil užíván pro podnikatelské účely, nemusí se platit ani dálniční daň. Do budoucna by se měly objevit i benefity ve formě možnosti využití pruhů určených pro městskou hromadnou dopravu nebo taxikáře. (11)

4.4 Nevýhody elektromobilů

Mezi nevýhody elektromobilů v současné situaci může patřit například cena, dále kratší dojezd, delší doba dobíjení, nebo omezená dostupnost dobíjecích stanic.

4.4.1 Cena

Jako prvním a zároveň největším důvodem, proč nejsou elektromobily zatím tolik zastoupené v dnešní dopravě, je jejich cena.

Elektromobily jsou v porovnání s automobily se spalovacím motorem stále dražší. Cena pořízení elektromobilu se na českém trhu pohybuje okolo 500 000 Kč, za které je možné dostat malé městské vozidlo. V porovnání s vozidly se spalovacím motorem, se za 500 000 Kč dá pořídit už poměrně slušně vybavený rodinný vůz. (11)

4.4.2 Dojezd

V dnešní době se dá jen již těžko setkat s elektromobilem, který by na jedno plné nabití ujel cca 150 km. Aktuální dojezd elektromobilu oceňujícího se částkou okolo jednoho milionu korun, se pohybuje okolo 400 km, což už může být příznivé například pro uživatele, kteří by elektromobil využívali převážně ve městech, nebo na dojíždění do sousedních měst, či obcí, které od sebe nejsou příliš vzdálené. Ovšem fakt, že s vozidlem se spalovacím motorem, které má dojezd okolo 1000 km na jednu nádrž, se elektromobil stále nemůže měřit. (11)

4.4.3 Doba dobíjení

Dnešní doba přinesla nejen prodloužení dojezdu, ale také zkrátila dobu nabíjení, která ovšem stále není ideální. Pokud se elektromobil bude dobíjet z klasické zásuvky 230 V, doba nabíjení se bude pohybovat okolo 8 až 12 hodin, což je ideální využívat přes noc. Při použití domácí nabíječky, neboli wallboxu se elektromobil dobije cca za 3-5 hodin. Na plné dobití baterie za použití rychlonabíjecí stanice se elektromobil dobije za cca 90 minut a pokud se bude nabíjet na 80% kapacity baterie, dobije se již za 30 minut. Rychlonabíjecí stanice je tedy vhodné využívat při cestách na delší vzdálenosti a čas dobíjení využít například na posezení u kávy. (11)

4.4.4 Dostupnost dobíjecích stanic

Problematika dobíjecích stanic je stále velmi diskutované téma a ačkoli dobíjecích stanic je aktuálně stále více, pokud vlastník elektromobilu bydlí v delší vzdálenosti od většího města, které dobíjecí stanice nabízí a zároveň nemá možnost dobíjení doma, může se dostat do velmi nepříjemné situace. V České republice je aktuálně něco okolo 700 veřejných dobíjecích

stanic a počty stále rostou. ČEZ plánuje do roku 2025 uvést do provozu dalších cca 500 veřejných dobíjecích stanic. (11)

4.4.5 Omezená nabídka

Na českém trhu není příliš velké zastoupení elektromobilů, pokud jde o jejich typ. Vyskytují se zde buď dražší malé městské vozy, nebo drahé luxusní vozy ve formě sedanu a SUV. V nabídce tedy chybí rodinný vůz typu kombi. Koncern Volkswagen v České republice nabízí aktuálně pouze 7 typů elektromobilu. V porovnání s typy vozů se spalovacím motorem, kterých je 51, se do budoucna je určitě kam posouvat. (11)

4.5 Rozdělení hybridních vozidel

Hybridní pohon znamená, že automobil využívá kombinaci spalovacího a elektrického motoru. V praxi existují tři typy těchto hybridních pohonů a dělí se na Hybrid, Mild-Hybrid a Plug-in Hybrid.

4.5.1 Plug-in hybrid

Tento systém obsahuje elektromotor, který sám o sobě umí vozidlo dopravit několik desítek kilometrů. Výkon elektromotoru je tedy dostatečný i pro běžnou jízdu po městě. Kombinace obou typů motorů zajišťuje vysokou akceleraci. Uživatel vozu si může zvolit, zda chce primárně využívat spalovací motor, elektromotor, nebo je kombinovat. Akumulátor je dobíjen pomocí spalovacího motoru (což ovšem zvyšuje spotřebu spalovacího motoru), rekuperací a pomocí

Obrázek 8 Toyota RAV4 Plug-in hybrid 2020 (30)

zásuvky. Tento systém je tedy ideální pro uživatele, kteří jezdí nejčastěji kratší vzdálenosti (do 40 km denně) někde po městě s možností občasné potřeby ujetí delší vzdálenosti. Ukázkovým příkladem je Toyota RAV4 Plug-in hybrid viz obr 8. (12)

4.5.2 Hybridní vozidlo

Hybridní pohon má jeden, či více elektromotorů, které jsou schopné v určitých situacích zastat práci spalovacího motoru, např. při popojíždění v kolonách. Akumulátory se dobíjejí rekuperací při brždění, stejně jako tomu je u elektromobilů, ovšem zde je dobíjí i spalovací motor. V některých případech může být elektromotor použit k pohonu zadní nápravy. Díky elektromotoru dosahujeme nižší spotřeby, a to zejména ve městech. Ukázkový příklad může být hybridní Lexus NX 300h viz Obr 9. (12) (13)

Obrázek 9 Lexus NX 300 hybrid – 2020 (13)

4.5.3 Mild-hybrid

Mild-hybrid je aktuálně velmi oblíbeným řešením. Používá elektromotor jako pomocnou sílu pro spalovací motor. Elektromotor je využíván v situacích, kde jsou největší nároky na výkon a s ním spojenou spotřebou, jako tomu je u rozjíždění a předjíždění. Elektromotor ovšem nemá dostatečný výkon k pohonu samotného vozidla. U tohoto typu hybridního systému bývá z pravidla 24 V, nebo 48 V. Příkladem je Hyundai Tucson MHEV viz obr 10. (12)

Obrázek 10 Hyundai Tucson MHEV - Mild-hybrid 2021 (14)

4.6 Dopad na životní prostředí

Doprava je nedílnou součástí ekonomiky. Uplatňuje se zejména v přepravě zboží a osob. Ačkoli je velmi závislá na spalování ropy, které se pojí s vypouštěním částic prachu do ovzduší, emisemi a skleníkovými plyny, které znehodnocují ovzduší zejména ve městech a obcích. Skleníkové plyny mají také podíl na změně klimatu. Tyto záležitosti vyvolávají diskuse, ve kterých se jedná o potencionální možnosti náhrady spalovacích motorů. Nabízí se zde možnost postupného přechodu na elektromobily, která ovšem může vzbuzovat obavu z hlediska zátěže životního prostředí.

Jako převažující zdroj emisí CO_2 a skleníkových plynů v Evropě jsou vozidla poháněná spalovacími motory. V roce 2013 byla mezní hodnota oxidu dusičitého stanovena v Evropské unii přesažena ve více než 18 členských státech. Naftová vozidla oproti benzínovým produkují nižší procento CO_2, ovšem benzínové vozy vypouští do ovzduší 4× více CO_2 a až 22× více prachových částic. Zdravotnická světová organizace varuje, že částice prachu PM2.5 mohou způsobovat rakovinu plic, kardiovaskulární onemocněníči astma.

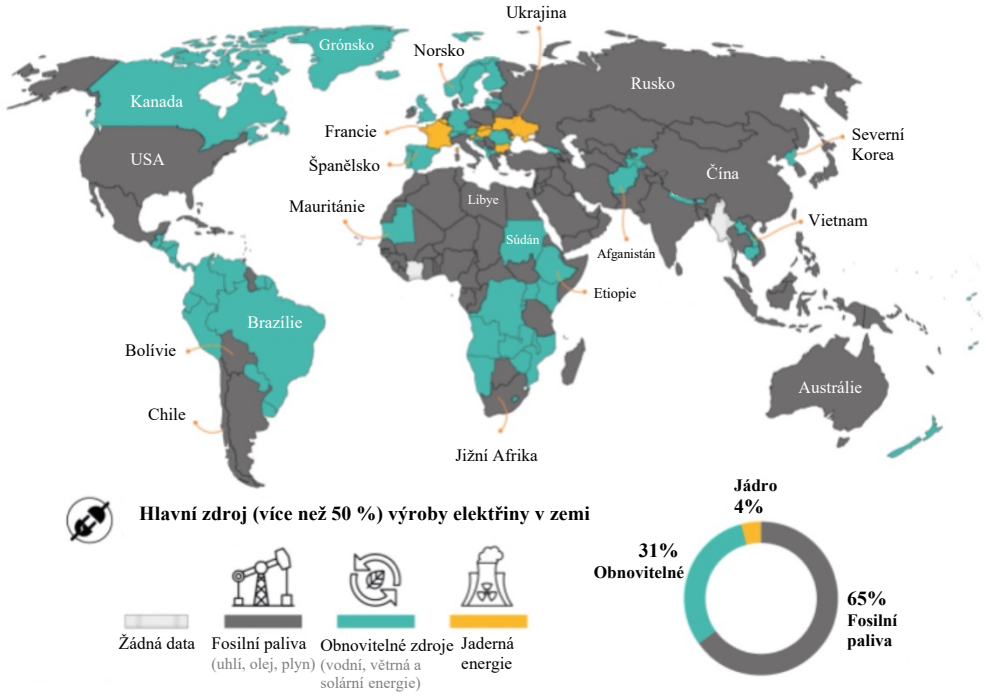
V roce 2011 byla vydána tzv. Bíla kniha Evropské unie, která by mohla být impulsem pro potřebnou redukci emisí. Přináší nové nápady na řešení tohoto problému a nabízí možnost snížení emisních látek až o 60% a sahá až do roku 2050. Součástí těchto řešení je i zvýšená podpora právě elektromobility a sní spojenou klimaticko-energetické strategie politiky Evropské unie sahající až do roku 2030. Bude nutné usnadnit pravidla týkající se distribučních soustav a do ní napojených veřejných, i soukromých dobíjecích stanic. (15)

4.7 Minimální produkce CO2 emisí

Jako jedna z uvedených výhod elektromobilů je ta, že nevypouští žádné plyny z výfuku, protože žádný výfuk nemají. Ačkoli emisí plyny zde vznikají také, a to jako vedlejší produkt při výrobě elektrické energie, která je využívána k jejich pohonu, stále jsou až o 90 % nižší, než je tomu u spalovacích vozidel. Tento snížený emisní vliv úzce souvisí s typem výroby elektrické energie v dané zemi. Poroste-li využívanost obnovitelných zdrojů k výrobě elektrické energie, bude se i snižovat množství emisí vypouštěných do ovzduší. (16)

Dopad elektromobilů na životní prostředí je nejmenší v zemích, kde jsou k výrobě elektrické energie využívány hlavně obnovitelné zdroje, či jaderné elektrárny, jako tomu je například ve Francii, Norsku a dalších viz Obrázek 7.

134 států (65 %) vyrábí elektřinu z fosilních paliv, 66 států (31 %) z obnovitelných zdrojů a 7 států (4 %) z jaderné energie



Obrázek 11 Různé typy energií využívané ve světě pro rok 2020 (17)

Technická specifikace samotného vozidla tedy nemá spojitost s invazivním používaním elektromobilů, ale největší roli hraje způsob vyrábění elektrické energie v dané zemi. Jakmile se začne využívat obnovitelná energie, začnou se snižovat i emise. Výroba elektromobilů, včetně jejich likvidace tedy do ovzduší vypouští mnohem menší procento emisí, než je tomu u aut se spalovacím motorem. (16) (17)

Za předpokladu, že Škoda Citigo-e iV spotřebuje 14,8 kW na 100 kilometrů, bude to mít za následek emise nižší než 101 gramů CO2 na kilometr, zatímco emise nejekonomičtější benzinové verze jsou 105 g/km. Pokud by elektrická vozidla měla být poháněna výhradně obnovitelnou energií, jejich dopad na životní prostředí by se drasticky snížil. (16)

4.8 Ekonomická dostupnost

Vývoj baterií je stále rychlejší a levnější, díky čemuž se zanedlouho budou cenově rovnat automobilům se spalovacím, či vznětovým motorem. Tento rok by podle expertů ze společnosti Bloomberg NEF, která podává pravidelné zprávy o cenách baterií, by měl být právě rokem vyrovnání cen obou typů automobilů. Tato energetická společnost mezinárodních rozměrů odhaduje, že by mohl v roce 2030 ve světě využívat více než 124 mil. elektromobilů. Za předpokladu naplnění klimatických cílů, by se počet mohl vyšplhat i na 220 mil. koncem roku 2029. Využívání elektromobilů namísto klasických automobilů může být za určitých podmínek pozorováno již 2 roky zpět, a to v zemích jako je Německo, Francie, Nizozemsko, nebo Velká Británie. V Norsku letos dokonce prodej elektromobilů převýšil prodej aut se spalovacími motory. Agentura International Council for Clean Transportation sledovala situaci v těchto zemích z hlediska srovnávání provozních nákladů a cen toho nejprodávanějšího vozidla v Evropě, což je Volkswagen Golf a jeho různé výrobní varianty eGolf, Golf hybrid, benzínový Golf a naftový Golf. Vítězem pozorování se stal eGolf viz Obrázek 12., který si

Obrázek 12 Volkswagen e-golf 2017 (18)

první příčku vysloužil díky nižším cenám daní a paliva a zároveň díky dotacím snižující kupní cenu tohoto elektromobilu. (15) (18)

4.9 Baterie jako příležitost pro cirkulární ekonomiku

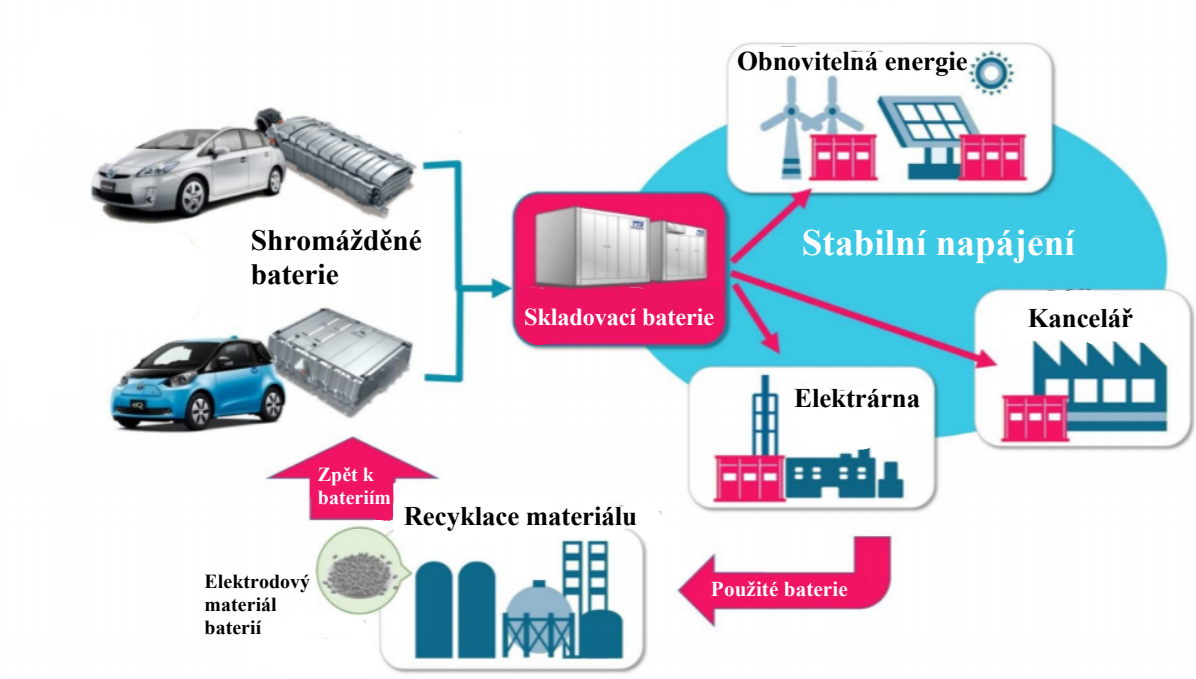
Jakmile výrobci elektromobilů začnou více využívat principy cirkulární ekonomiky, která souvisí recyklací a znovupoužití materiálů užívaných při výrobě baterií, razantně klesne i zátěž na životní prostředí.

Elektrický pohon je aktuálně to nejlepší z hlediska globálního přínosu. Vysoký výkon, nesrovnatelně vyšší účinnost oproti vozů se spalovacím motorem, menší zátěž na životní prostředí jsou skvělé vlastnosti. S přihlédnutím na vlády, které podporují přechod na elektrickou energii, je pořízení elektromobilu velmi výhodné.

Jednou z velkých nevýhod akumulátorů je jejich postupná ztráta kapacity, kvůli které se zkracuje celkový dojezd samotného elektromobilu. Z tohoto důvodu je nutné jejich postupné vyřazování a následná likvidace. Vyřazené akumulátory jsou ovšem zdrojem vzácných kovů, které mohou být zajímavou ekonomickou možností pro výrobu nových akumulátorů. Vyřešení problematiky recyklace těchto vyřazených akumulátorů by opět vedlo k jejich následnému zlevnění jejich pořizovací ceny nejen u elektromobilů, ale také v oblasti mobilních telefonů, notebooků a dalších technických bateriemi poháněných zařízení.

Jedna z možností využití vyřazených akumulátorů jsou tzv. stacionární systémy viz obrázek 12, využívané pro ukládání energie domácích uložišť kombinované se solárními panely umístěnými na střechách domů. Toto využití zastávají například automobilové firmy, jako je BMW, Nissan, či Toyota. Další velcí výrobci elektromobilů např. Tesla, nebo Volkswagen šli jiným směrem a problematiku řeší opětovným přepracováním akumulátorů, ze kterých vytěží co nejvíce použitelného materiálu, který se následně využívá pro výrobu nových akumulátorů. Nový proces recyklace Tesly dnes již dokáže ušetřit až 92 % prvků tvořících baterii, protože dokáže zpracovat nejen vyřazené akumulátory, ale i odpadní materiály vzniklé samotnou výrobou akumulátorů. Díky tomuto procesu, se zvýší zpětný zisk vzácných kovů, jako je kobalt, nebo lithium, či obyčejnějších materiálů jako jsou měď, hliník, nebo ocel. Tyto materiály se dají následně použít pro výrobu nových akumulátorů. Díky tomuto procesu, se zvýší zpětný

zisk vzácných kovů, jako je kobalt, nebo lithium, či obyčejnějších materiálů, jako je měď, hliník, nebo ocel. (15)

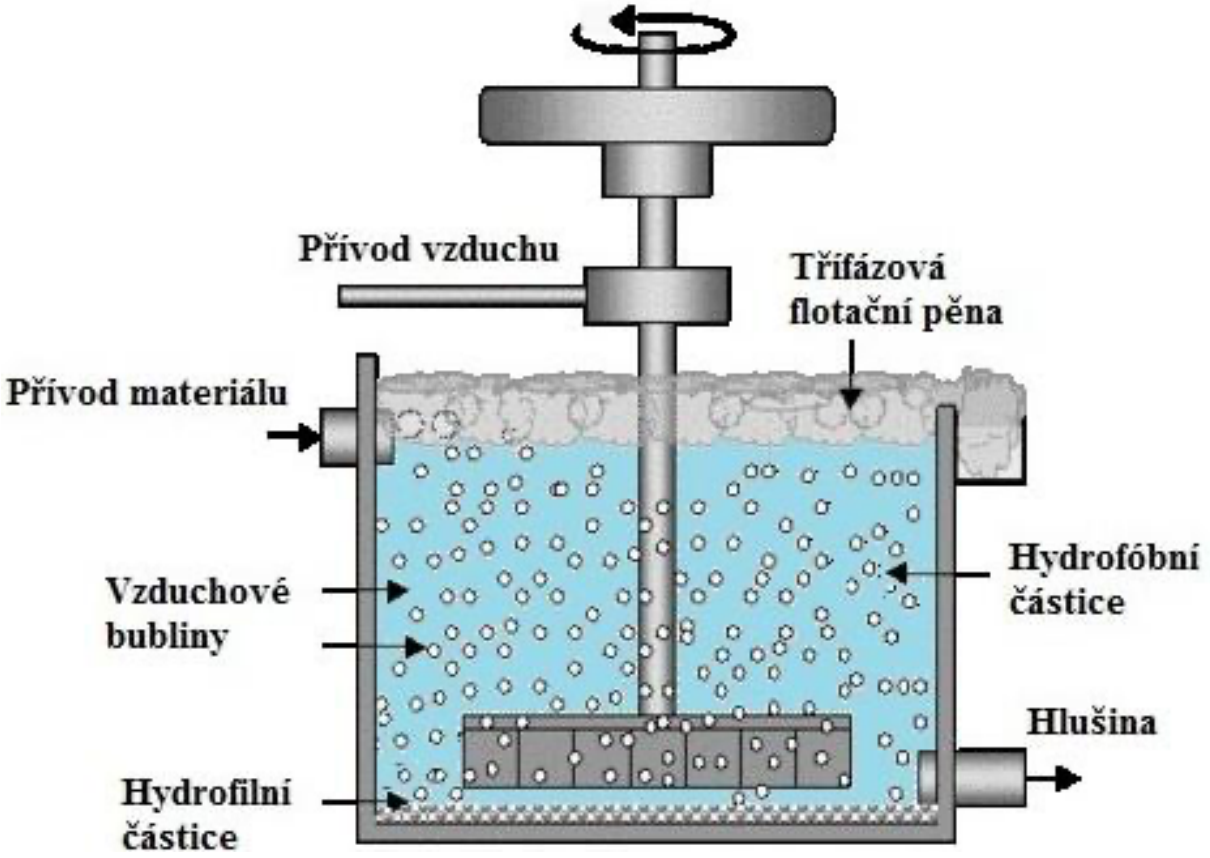


Obrázek 13 Stacionární systém (31)

4.9.1 Recyklace akumulátorů

Recyklace akumulátorů je stále více probíranou problematikou, která si již našla několik možností řešení. Nejen že je recyklace šetrnější k životnímu prostředí, ale dokonce je i výhodnější jak z hlediska ekonomiky, tak i energeticky. Studenti z Michiganské technické univerzity věnující se chemickému inženýrství přišli s nápadem, že se dá tato problematika řešit kombinací petroleje, vzduchu a vody. Profesor Pan, který byl vedoucím tohoto týmu studentů zjistil, že stejný princip, jakým se dostává železo z rudy, se dá uplatnit i na vysloužilé baterie. Studenty tedy nejdříve seznámil se základní problematikou zpracovávání minerálů a poté poslal do laboratoří. Tým studentů aplikoval postupy užívané v těžebních průmyslech. Tým dále použil klasické gravitační postupy k separaci hliníků a mědi, ovšem k separaci vzácných kovů

bylo nutné nalézt jiný postup oddělovaní. Studenti přišli s novým postupem zvaným pěnová flotace viz obrázek 14.



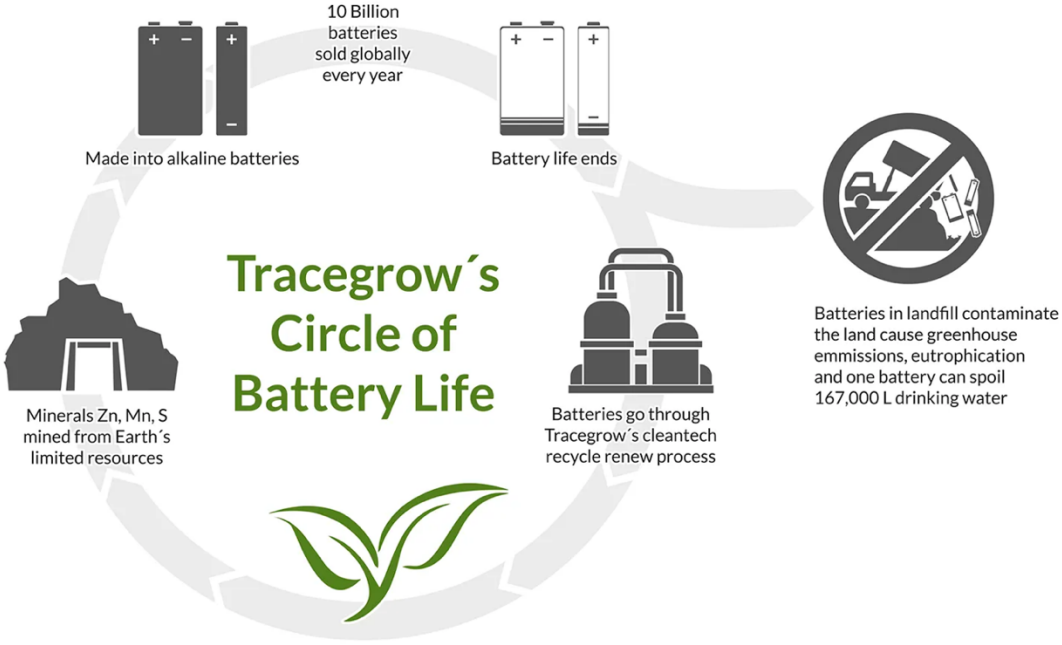
Obrázek 14 Schéma pěnové flotace (32)

Pěnová flotace je založena na principu rozdílné smáčitelnosti povrchů jednotlivých materiálů vodou. Nějaký materiál je smáčitelný velmi jednoduše, jiný zase obtížněji. Obsah akumulátoru, který je najemno rozmělněný, se během pěnové flotace promíchává s vodou, kterou probublávají bublinky vzduchu. U tzv. hydrofobních materiálů, které mají nižší smáčivost, se zachycují na bublinkách vzduchu, které je vynáší na povrch vodní hladiny, kde se hromadí ve formě pěny. Opačně je tomu u hydrofilních částí, které se na bublinkách nezachycují a klesají na dno, kde vytvoří tzv. flotační sedlinu, která je následně sbírána za použití speciálních sběračů. Sběrač může být např. petrolej. Získané materiály se dají znovu použít pro výrobu nových součástek, či akumulátorů.

Projekt při jeho rozvoji dokonce podpořila EPA (Evironment Protection Agency), což je vlastně americká obdoba Ministerstva životního prostředí. Mezi největší výhody této metody se řádí její energetická efektivnost a velmi nízké finanční náklady. (15) (19)

4.9.2 Recyklace baterií s užitím v zemědělství

Způsobu využití recyklace alkalických baterií se věnuje firma z Finska, která vyrábí ze stopových prvků z alkalických akumulátorů hnojiva a různé růstové směsi, které mají využití v zemědělství. Její inovativní postup umožňuje dále využít až čtyři pětiny prvků z vyřazených baterií pro rostlinný růst, které tyto jinak dále nevyužitelné akumulátory obsahují. Alkalické baterie fungují na principu reakce mezi oxidem manganičitým a zinkem. Každým rokem se vyrobí až 10 miliard těchto článků a jejich spotřeba stoupá o cca 5 % za rok. Před více než patnácti lety se v Evropské unii vyřazené baterie vyvážely na skládky, což ovšem nebylo dlouhodobé řešení z hlediska úložného prostoru. Proto byl tento zaběhlý způsob legislativně ukončen díky Evropské unii v roce 2004. Dnes se členské státy dohodly, že budou povinni recyklovat minimálně 50 % (cca 125 000 tun za rok) těchto vyřazených baterií. Část nadále nevyužívaných akumulátorů se vyváží do tavících pecí, ve kterých se z nich získává zinek. Nástup nové technologie Tracegrow viz obrázek 15, by měl řešení problému výrazně usnadnit. Firmou stanovený cíl je využít alespoň 80 % stopových prvků z alkalických akumulátorů. Díky jejich unikátní technologii, dokáží získat zpět prvky, jako je draslík, zinek, síra, nebo mangan a následně je využít pro vytvoření nových baterií.



Obrázek 15 Životní cyklus baterie použitím technologie Tracegrow

Prvky jsou získávány velmi šetrně, ekologicky s jejich následným využitím pro hnojiva a různé zemědělské mikronutrienty. Na konci procesu vzniká produkt ve formě tekuté směsi s obsahem zinku, manganu a menšího poměru síry a draslíku. Podle ředitele této společnosti je jejich přístup efektivní díky novému inovativnímu chemickému postupu, který dokáže separovat škodlivé části baterie od částí užitečných. Jejich postup zpracování je energeticky nenáročný a nevzniká během něj žádná odpadní voda. Průběh celého procesu spočívá nejprve v rozdrcení starých baterií, jejichž následná drť se musí vyfiltrovat a očistit loužením. Vzniklé škodlivé materiály, jako je nikl, rtuť a těžké kovy se během čistění oddělují a jsou vyváženy do skladů určených pro nebezpečné odpady. Firma dokonce provádí vlastní kontrolu čistoty produktů vlastními měřeními a testy, kde spolupracuje i s nezávislou kontrolní institucí. Výrobky musí splňovat všechny čistotní a nezávadnostní požadavky, aby mohli být vydány do prodeje.

Celosvětová půda vyplaví cca 20 milionů tun manganu a 13 milionů tun zinku ročně. Zinek je důležitý pro lepší zemědělské výnosy a celkovou výživnost zemědělské půdy, avšak cca 50 % světových zemí trpí právě jeho nedostatkem. (20)

5 Vlastní zpracování

Předmětem vlastního zpracování je technologické porovnání vozidel. Nejprve jsou porovnány modely Volkswagen Golf a Toyota RAV4 ve svých technologických provedeních.

Další porovnání se věnuje elektromobilům.

5.1 Technologické porovnání modelů VW Golf a Toyota RAV4

Je několik způsobů porovnání automobilů, např. podle výrobce, typu karoserie, ceny atd. V této části práce jsou porovnány stejná vozidla různé motorizace od dvou různých výrobců. Porovnání se zabývá modely Volkswagen Golf a Toyota RAV4 ve svých verzích z hlediska jak obecných, tak motorických vlastností.

Vozidlo	**Obecné vlastnosti**			
	Typ	**0-100 km/h [s]**	**Hmotnost [kg]**	**Cena (od) [Kč]**
VW Golf	Nafta	8.8	1 840	765 900
VW Golf	Benzín	8.5	1 880	596 900
VW Golf	Mild-Hybrid	9.4	1 840	701 900
VW e-Golf SE (2020)	Elektro	9.6	1 620	800 000
Toyota RAV4	Nafta	-	-	-
Toyota RAV4	Benzín	9,8	2 135	834 900
Toyota RAV4 (2019)	Plug-in Hybrid	6	1 990	1 400 000
Toyota RAV4 EV II	Elektro	7	1 830	850 000

Tabulka 2 Obecné vlastnosti vybraných vozů

Vozidlo	**Motor**				
	Typ	**Počet**	**Výkon [kW]**	**Točivý moment [nM]**	**Emise CO_2 [g/km]**
VW Golf (2022)	Nafta	1	110	360	97
VW Golf (2022)	Benzín	1	110	250	110
VW Golf 1,5 TSI (2022)	Mild-Hybrid	2	96	200	107
VW e-Golf SE (2020)	Elektro	1	100	290	0
Toyota RAV4	Nafta	-	-	-	-
Toyota RAV4	Benzín	1	129	208	134
Toyota RAV4 (2019)	Plug-in Hybrid	3	225 (185+174)	227 + 270 a 121	22
Toyota RAV4	Elektro	2	115	370	0

Tabulka 2.1 Motorické vlastnosti vybraných vozů

5.2 Elektromobily do 1 300 000 Kč

Vybrané elektromobily: Hyundai IONIQ (2021) – viz obrázek 15, VW e-Golf SE (2020), BMW i3s (2021), Kia e–Soul (2021), Hyundai Kona (2020), Škoda CITIGOe iV (2020), Nissan LEAF SL (2020), Renault ZOE (2020)

Obrázek 16 Hyundai IONIQ (2021)

Srovnání se věnuje nejprve baterii, protože jde o klíčovou komponentu elektromobilů viz tabulka 3.1.

Elektromobil	**Baterie**			
	Typ	**Jmenovité napětí [V]**	**Kapacita [kWh]**	**Dojezd [km]**
Hyundai IONIQ (2021)	Li-Ion	319	38,3	273
VW e-Golf SE (2020)	Li-Ion	323	35,8	198
BMW i3s (2021)	Li-Ion	353	42,2	246
Kia e–Soul (2021)	Li-Ion	356	64	391
Hyundai Kona (2020)	Li-Ion	356	64	415
Škoda CITIGOe iV (2020)	Li-Ion	357	36,8	234
Nissan LEAF SL (2020)	Li-Ion	360	40	243
Renault ZOE (2020)	Li-Ion	400	52	355

Tabulka 3.1 Klíčové vlastnosti baterií jednotlivých elektromobilů do 1,3 milionu Kč

Elektromobily do 1 300 000 Kč sdílí společnou vlastnost, kterou je užití Li-Ion akumulátoru. U elektromobilů do 1 000 000 Kč (ICONIQ, e-Golf, CITIGO, LEAF, ZOE) je chlazení akumulátorů zajištěno pouze pasivně (vzduchem). Elektromobily nad 1 000 000 Kč

(i3s, e-Soul, Kona) využívají chlazení baterie na vodní bázi. Umístění baterie je totožné u všech zmíněných modelů, a to mezi přední a zadní nápravou, díky čemuž je ideálně rozložené těžiště.

Srovnání se dále zabývá elektromotory, které jsou nedílnou součástí elektromobilů viz tabulka 3.2.

Elektromobil	Elektromotor			
	Počet	Typ	Výkon [kW]	Točivý moment
Hyundai IONIQ (2021)	1	PMSM	101	295
VW e-Golf SE (2020)	1	PMSM	100	290
BMW i3s (2021)	1	PMSM	135	270
Kia e–Soul (2021)	1	PMSM	150	395
Hyundai Kona (2020)	1	PMSM	150	395
Škoda CITIGOe iV (2020)	1	PMSM	61	212
Nissan LEAF SL (2020)	1	PMSM	110	320
Renault ZOE (2020)	1	PMSM	100	245

Tabulka 3.2 Klíčové vlastnosti elektromotorů jednotlivých elektromobilů do 1,3 milionu Kč

Společný znak pro vybrané elektromobily je jeden synchronní motor s permanentními magnety s výkony od 61 kW do 150 kW. Další společnou vlastností těchto elektromobilů, kromě BMW i3s je uložení motoru, které je vpředu. Přední uložení motoru u těchto vozů zajišťuje náhon na přední kola (FWD), zatímco u BMW, kde je motor uložen vzadu, je náhon na kola zadní (RDW). Všechny elektromotory u zvolených elektromobilů mají schopnost rekuperace a mají jednostupňovou převodovku. Podrobnější informace o vybraných elektromobilech viz tabulka 3.3.

Elektromobil	Obecné vlastnosti			
	0-100 km/h [s]	Hmostnost [kg]	Karoserie	Cena [Kč]
Hyundai IONIQ (2021)	9,7	1 527	Hatchback	899 900
VW e-Golf SE (2020)	9,6	1 615	Hatchback	800 000
BMW i3s (2021)	6,9	1 290	Hatchback	1 150 000
Kia e–Soul (2021)	7,6	1 682	Crossover	1 149 980
Hyundai Kona (2020)	7,6	1 685	SUV	1 100 000
Škoda CITIGOe iV (2020)	12,5	1 229	Hatchback	499 900
Nissan LEAF SL (2020)	7,9	1 591	Hatchback	950 000
Renault ZOE (2020)	9,9	1 502	Hatchback	835 000

Tabulka 3.3 obecné vlastnosti elektromobilů do 1,3 milionu Kč

Kromě jedné výjimky se všechny zvolené elektromobily se z 0 – 100 km/h dostanou pod 10 sekund. Výjimkou je Škoda CITIGO, která to zvládne za 12,5 sekundy, ale za to je o cca polovinu levnější než zbytek uvedených elektromobilů. Hmotnost elektromobilů se pohybuje od 1 229 kg do 1 685 kg.

5.3 Elektromobily nad 1 300 000 Kč

Vybrané Elektromobily: Mercedes-Benz EQS (2022), Tesla Model S Plaid (2021) viz obrázek 16, Porsche Taycan (2021), BMW iX (2021), Tesla X Long Range, Audi Q4 e-tron, Mercedes–Benz EQC (2020), Tesla 3 Long Range (2020)

Obrázek 17 Tesla Model S Plaid 2021

Srovnání se věnuje nejprve baterii, protože jde o klíčovou komponentu elektromobilů viz tabulka 4.1.

Elektromobil	**Baterie**			
	Typ	**Jmenovité napětí [V]**	**Kapacita [kWh]**	**Dojezd [km]**
Mercedes-Benz EQS (2022)	Li-Ion	396	107,8	547
Tesla Model S Plaid (2021)	Li-Ion	350	100	637
Porsche Taycan (2021)	Li-Ion	340	93,4	412
BMW iX (2021)	Li-Ion	400	111,5	630
Tesla X Long Range	Li-Ion	400	100	527
Audi Q4 e-tron	Li-Ion	330	82	460
Mercedes–Benz EQC (2020)	Li-Ion	405	80	354
Tesla 3 Long Range (2020)	Li-Ion	800	93,4	470

Tabulka 4.1 Klíčové vlastnosti baterií jednotlivých elektromobilů nad 1,3 milionu Kč

Stejně jako tomu bylo u elektromobilů do 1 300 000 Kč, používají elektromobily nad 1 300 000 Kč lithiové akumulátory. Akumulátory jsou zde značně větší a všechny jsou chlazeny vodou, stejně jako elektromobily do 1 000 000 Kč v předchozím porovnání. Stejné je i uložení baterií pod podlahou mezi přední a zadní nápravou. Elektromobily v této kategorii už ovšem využívají aktivního ohřevu baterií závislého na okolní teplotě. Z hlediska motorizace se dají pozorovat významně vyšší výkony. Srovnání se dále zabývá elektromotory, které jsou nedílnou součástí elektromobilů viz tabulka 4.2.

Elektromobil	**Elektromotor**		
	Počet	**Výkon [kW]**	**Točivý moment [Nm]**
Mercedes-Benz EQS	2	245/140	565/290
Tesla Model S Plaid	2	750	1 140
Porsche Taycan	2	560	1 050
BMW iX	2	385	765
Tesla X Long Range (2020)	2	193/193	330/330
Audi Q4 e-tron	2	220	460
Mercedes–Benz EQC (2020)	2	300	760
Tesla 3 Long Range (2020)	2	160/200	300/350

Tabulka 4.2 Klíčové vlastnosti elektromotorů jednotlivých elektromobilů do 1,3 milionu Kč

Jak je z tabulky patrné, společným rysem těchto elektromobilů, je využití dvou elektromotorů, které jsou uloženy vpředu a vzadu. Díky dvěma elektromotorům je zajištěn pohon všech čtyř kol, zlepšené jízdní vlastnosti a větší úspora energie. Všechny elektromobily podporují schopnost rekuperace. Všechny zmíněné elektromobily této kategorie využívají jednostupňovou převodovku, s výjimkou u Porsche Taycan, které má převodovku dvoustupňovou. Obecnější informace o těchto elektromobilech viz tabulka 4.3.

Elektromobil	Obecné vlastnosti			
	0-100 km/h [s]	Hmostnost [kg]	Karoserie	Cena [Kč]
Mercedes-Benz EQS	4,3	2 585	Sedan	2 744 800
Tesla Model S Plaid	2,1	2 316	Sedan	3 789 900
Porsche Taycan	2,8	2 247	Sedan	5 270 000
BMW iX	5	2 585	SUV	2 541 400
Tesla X Long Range (2020)	4,6	2 554	SUV	2 458 200
Audi Q4 e-tron (2021)	6,2	2 435	SUV	1 533 900
Mercedes–Benz EQC (2020)	5,1	2 495	SUV	1 972 000
Tesla 3 Long Range (2020)	4,6	1 847	Sedan	1 500 200

Tabulka 4.3 Obecné vlastnosti elektromobilů nad 1,3 milionu Kč

5.4 Elektrárny a emise CO2

Tato kapitola se zabývá emisemi CO2 a dalších skleníkových plynů připadajících na MWh elektrické energie dle typu elektrárny.

Měrný ukazatel, který určuje, kolik se uvolní oxidu uhličitého spálením jednotkového množství paliva, se nazývá emisní faktor. Uvádí množství oxidu uhličitého připadajícího na jednotku energie spáleného paliva. Emisní faktor je v jednotkách tCO_2/MWh. Oficiální emisní faktor elektřiny v České republice je cca 0,43 tCO_2/MWh, což znamená, že se při výrobě 1 MWh elktrické energie v ČR uvolní průměrně 0,43 tun CO_2, neboli 430 kg CO2.

Pro lepší představu lze použít jednotku kWh (1 kWh je např. spotřeba starší lednice za jeden den): emisní faktor je po přepočtu 430 g CO_2/kWh. Při výrobě 1 kWh elektřiny se tedy uvolní cca 430 gramů oxidu uhličitého. Emisní faktor zahrnuje vážený průměr elektráren, u kterých se uvažuje procentuální podíl jednotlivých zdrojů, např. elektrárny jaderné, uhelné a vodní. Česká republika pracuje se sloupcem standard tCO_2. Index ekvivalent (ekv.) znamená, že se nebere v potaz pouze oxid uhličitý, ale i ostatní skleníkové plyny, které přispívají skleníkovému jevu v atmosféře a přepočtou se na jednotku oxidu uhličitého.

Uhelné elektrárny mají emisní faktor 0,36 tCO_2 ekv./MWh. Elektrárny větrné, solární a vodní, jakožto obnovitelné zdroje se uvádí nula. Elektrárny využívající k výrobě elektrické energie obnovitelné zdroje jsou považovány za bezuhlíkové. U jaderných elektráren tCO2 ekv./MWh zatím není uveden. Čísla zahrnují pouze samotnou výrobu elektrické energie bez ohledu na dopravu paliva, nebo výstavku elektrárny. (21)

5.4.1 Komplexní pohled na elektrárny

K získání reálných čísel vzniklých při výrobě elektrické energie, je nutné uvažovat celkové emise vzniklé ze všech skleníkových plynů v průběhu celé životnosti elektrárny. Je zapotřebí započítat stavba, či výroba zařízení, doprava paliva, nebo likvidace zařízení. Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC) sloučil hodnoty ekvivalentu oxidu uhličitého (CO_2 ekv.) na jednotku energie u nejčastějších typů elektráren. Uvažuje se zde i vliv skleníkových plynů, jako je metan. Podle analýzy několika stovek vědeckých prací, které hodnotí jednotlivé zdroje elektrické energie, je s přehledem největším producentem emisí uhelná elektrárna. Druhým největším producentem je elektrárna fungující na zemní plyn. Elektrárny jaderné, solární a větrné se řadí mezi nízkouhlíkové. Další elektrárny na bázi vodní energie, biomasy, nebo geotermální elektrárny, jsou brány také jako nízkouhlíkové, ovšem s důrazem na správnou konstrukci. Při poškození konstrukce by mohlo dojít ke zvýšení emisí z těchto elektráren. Elektrárny jsou představeny viz tabulka 5. (21)

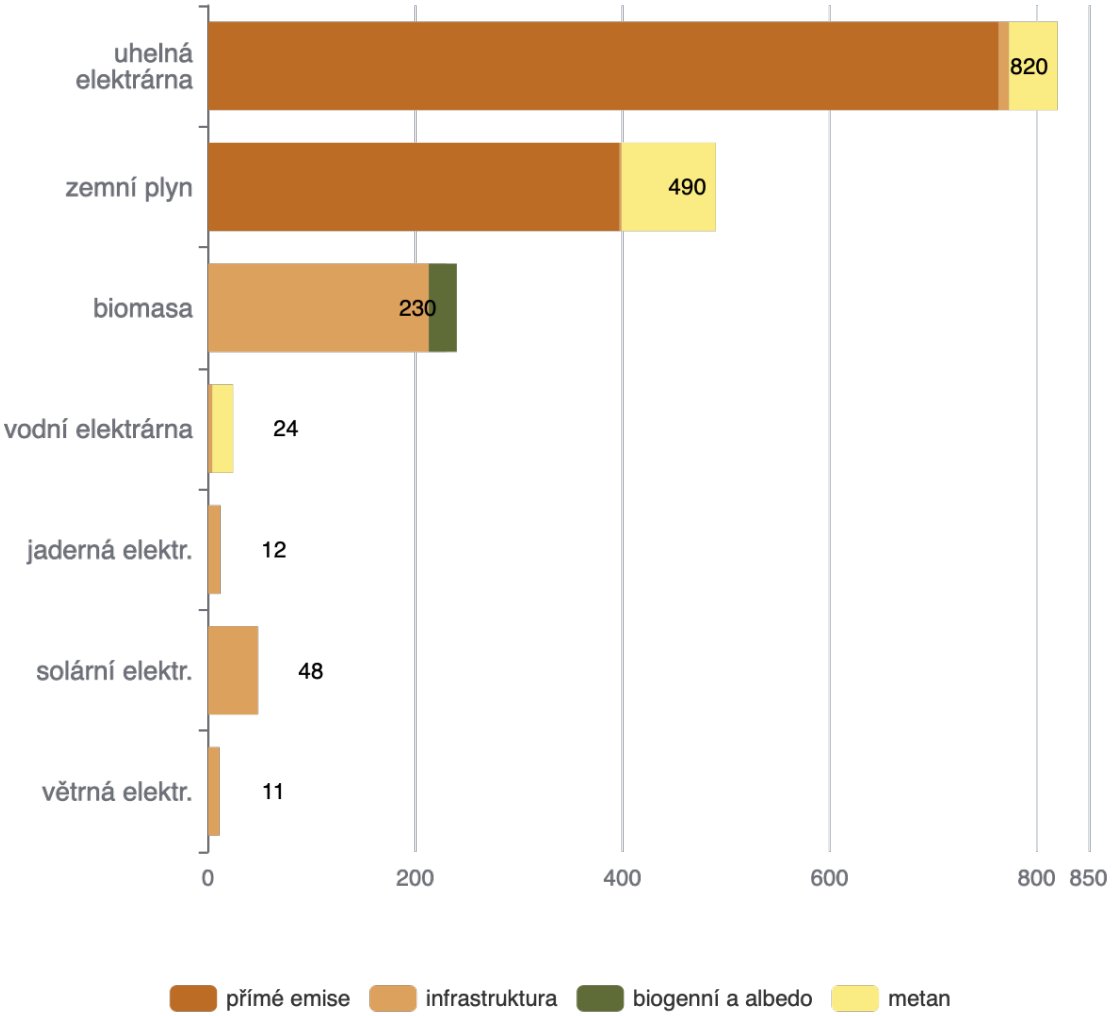
Technologie	Min.	Medián	Max.
Uhelná elektrárna	740	820	910
Zemní plyn – kombinovaný cyklus	410	490	650
Biomasa	130	230	420
Solární elektrárna - užitková	18	48	180
Solární elektrárna - střecha	26	41	60
Geotermální elektrárna	6	38	79
Koncentrovaná solární elektrárna	8,8	27	63
Vodní elektrárna	1	24	2200
Větrná turbína v moři	8	12	35
Jaderná elektrárna	3,7	12	110
Větrná turbína na pevnině	7	11	56

Tabulka 5 Ekvivalent CO2 životního cyklu vybraných technologií výroby elektřiny (g CO2 ekv./ kWh) dle zprávy IPCC (21)

Uhelné elektrárny vyprodukují cca 800 g CO_2/kWh, neboli 800 kg/MWh, což je 0,8 tuny na 1 MWh. Celkové měrné emise jsou u uhelných elektráren cca 2x větší než čísla udávaná z EU, důvodem může být, že IPCC uvažuje elektrárny na celém světě, které průměruje. Čísla u jednotlivých elektráren se mohou zásadně lišit, a to z důvodu užívání různých technologií a jejich stářím. U elektráren využívajících obnovitelné zdroje velmi záleží na jejich umístění a závislé výtěžnosti po celou dobu fungování. Měrné emise u solární elektrárny se pohybují

v rozpětí od 26 g CO_2/kWh do 60 g CO_2/kWh. U vodní elektrárny je to 1 až 2200 gCO2/kWh s mediánem 24. Jaderné elektrárny jsou v rozmezí 3,7 – 110, g CO_2/kwh, větrná elektrárna na souši produkuje 7 – 56 g CO_2/kWh, zemní plyn v paroplynové elektrárně je v rozmezí od 410 g CO_2/kWh do 650 g CO_2/kWh (0,41 – 0,65 t CO_2/MWh. (21) (22)

Podrobnější pohled na to, kolik z těchto emisí jsou tzv. přímé emise a ukázka vlivu metanu viz graf 1.



Graf 1 g CO2 ekv./kWh (21)

U jaderné, solární a větrné elektrárny se berou v potaz pouze infrastrukturní emise, ostatní emise jsou nulové. U elektrárny na biomasu je klimaticky nejnáročnější samotná výstavba např. kotelny, či výtopny a dále opakovaná dodávka paliva. Emise elektrárny na biomasu jsou tedy závislé na původu biomasy, jejím získávání a vzdálenosti pro dopravu paliva. Uhelné elektrárny produkují drtivou většinu emisí přímo ze spalování uhlíku, emise metanu jsou pouze 6 %. U plynových elektráren, kromě produkce emisí oxidu uhličitého přímým spalováním, je podíl metanu vyšší, a to o cca 14 %, než je tomu u elektráren uhelných. (21)

Důležitým faktorem je zde životnost elektráren. Většina emisí ze sluneční, větrné a jaderné elektrárny nevzniká z vlastního provozu elektrárny, tudíž budou jejich emise na jednotku energie stále klesat v závislosti na době provozu. Všechny technologie jdou neustále dopředu, a proto je třeba počítat s pokrokem z hlediska účinnosti elektráren a s tím spojený možný pokles emisí CO_2 ekv. Významný pokrok z pohledu snížení jednotkových lze pozorovat např. u větrných elektráren. (21) (22)

5.5 Nákladová analýza

Leasingová společnost LeasePlan, která pravidelně zveřejňuje studie společnosti Car Cost Index uvádí, že v dnešní době jsou kompaktní a středně velké elektromobily z hlediska nákladů plně konkurenceschopné s vozidly s konvenčním pohonem ve většině zemí Evropy. Tam, kde jejich konkurenceschopnost není tak viditelná, se stále významně snížil nákladový rozdíl. Za předpokladu pokračování tohoto trendu, by mohly být elektromobily konkurenceschopné ve všech zkoumaných zemích již v polovině tohoto desetiletí. Nákladová konkurenceschopnost označuje pojem, který je pro účely indexu definován tak, že výdaje na vlastnictví a provoz elektromobilu není o více než 5 % vyšší, než je tomu u konvenčních vozidel. V analýze se do výpočtů zahrnují náklady na palivo, výdaje za pojištění a údržbu, úroveň daňové zátěže i amortizaci. Pro potřeby studie se průměrují náklady z prvních čtyř let provozu s předpokládaným nájezdem 30 tisíc kilometrů za rok. (23)

Do průzkumu provedeného koncem loňského roku se zapojilo 22 států včetně České republiky. Studie se tentokrát soustředila spíše na prémiové vozy ve střední třídě. Česká republika si v tomto srovnání vedla nejhůře. Pro provoz elektromobilu v České republice, musí řidič počítat s náklady ve výši cca 1 222 eur (asi 30 009 Kč) měsíčně. Například v Rakousku je cena nákladů na provoz okolo 832 eur (cca 20 432 Kč) za měsíc.

Náklady na provoz konvenčního vozidla se v ČR činí 1 008 eur (24 754 Kč) pro naftové vozidlo a 994 eur (24 410 Kč) pro benzínové vozidlo. Česká republika je tedy tou nejdražší variantou pro užívání elektromobilů. Naopak ve většině ostatních států se elektromobilita jeví jako levnější řešení. Rozdíl mezi ostatními státy a Českou republikou tkví v tom, že je zde malý rozsah vládních pobídek na podporu elektromobility. Některé ostatní země například motivují případné zákazníky ke koupi elektromobilu atraktivními dotačními programy. Vládní postoj je tedy v současnosti rozhodujícím stimulem pro nástup elektromobility. (23) (24)

6 Závěr

V počátcích osobní dopravy byl elektrický pohon úzce spjatý s osobní dopravou. Vývoj automobilů se ovšem vydal jinou cestou, a tak byla elektromobilita poražena konvenčními vozidly se spalovacím motorem. Aktuální situace je však jiná a elektromobily opět nacházejí zalíbení mezi zákazníky. Do budoucna je možné, že elektromobily nahradí vozidla se spalovacím motorem úplně. Tato domněnka je podložená faktem tenčících se zásob fosilních paliv, na rozdíl od elektrické energie. Fosilní paliva by podle některých autorit měla vystačit již jen na dalších 50 let. Dalším faktorem ve prospěch elektromobilů je stále přísnější vládní tlak na snižování emisí, který může mít za následek snížení kvality konvenčních vozidel na úkor nižších emisí.

Jedním z témat bakalářské práce bylo vysvětlit pojmy: Elektromobilita, Elektromobil, Elektromotor a Akumulátor. Existuje opravdu široké spektrum všech možných technologií, které se stále vyvíjí. V další části práce jsou uvedeny jednotlivé výhody a nevýhody elektromobilů, které jsou oproti automobilům se spalovacím motorem individuální a záleží na zákazníkovi, pro jaké potřeby chce vůz využívat. Mezi hlavní výhody elektromobilů se dá zařadit jejich ekologický projev a jejich jízdní vlastnosti. Jednoznačnou nevýhodou elektromobilů je určitě cena, která je stále o něco vyšší, než je tomu u vozidel se spalovacím motorem. Další větší nevýhodou je kratší dojezdová vzdálenost a s ní spojená doba dobíjení, jež se s obyčejným tankováním nafty, či benzínu časově nedá rovnat.

Jedním z hlavních témat bakalářské práce, bylo porovnání elektromobilů s konvenčními vozidly. Autor práce vybral k porovnání Volkswagen Golf a Toyotu RAV4. Obě vozidla v elektrickém, hybridním a konvenčním provedení. Dále jsou porovnány elektromobily ve skupině od 1 300 000 Kč a nad 1 300 000 Kč. Na trh s elektromobily se po reakci na Pařížskou dohodu postupně dostávají i tradičnější automobilní průmysly. Například Volkswagen Group plánuje do roku 2028 nabízet téměř 70 nových elektromobilů. Za zmínku stojí určitě i automobilní průmysl Tesla, jenž se stal víceméně synonymem pro slovo elektromobil.

Dle názoru autora práce je jen otázkou času, kdy elektromobilita nahradí zatím tradiční konvenční vozidla se spalovacími motory. Ovšem pořád mají elektromobily své nevýhody, které je třeba zredukovat. Například zvýšit délku dojezdu a snížení dobíjecí doby akumulátorů. Potřebné je i zlepšení infrastruktury dobíjecích stanic, kterých je stále nedostatek. Skrze všechny nevýhody elektromobilů je dost možné, že v již nedaleké budoucnosti bude na silnicích možno pozorovat stále větší množství elektromobilů.

7 Citovaná literatura

1. *fdrive.cz/.* [Online] https://fdrive.cz/clanky/1-era-elektromobilu-185.

2. *elektrickevozy.cz.* [Online] https://elektrickevozy.cz/clanky/vedecke-okenko-na-ceste-do-historie-elektromobility-dil-1-aneb-jak-to-vsechno-zacalo.

3. *hybrid.cz.* [Online] https://www.hybrid.cz/elektromobily-jezdily-po-silnicich-uz-pred-100-lety-jejich-cas-ale-prichazi-teprve-nyni/.

4. *ieeexplore.ieee.org.* [Online] https://ieeexplore.ieee.org/document/5318813/.

5. *Wikipedia.* [Online] https://cs.wikipedia.org.

6. Emadi, Ali. *Advanced Electric Drive Vehicles.* místo neznámé : Boca Raton: CRC Press, 2017. ISBN 978- 113-8072-855.

7. EHSANI, Mehrdad, Yimin GAO, Stefano LONGO a Kambiz EBRAHIMI. *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. Third edition.* místo neznámé : Boca Raton: CRC Press, 2018. ISBN 978-1-4987-6177-2.

8. *audi-mediacenter.com.* [Online] https://www.audi-mediacenter.com/en/photos/detail/asynchronous-motor-70267.

9. *autoroad.cz.* [Online] https://autoroad.cz/technika/96345-zivotnost-baterii-elektromobilu-vw-priznal-realna-cisla-a-co-vse-je-ovlivni.

10. *evexpert.cz.* [Online] https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/elektromobily-a-jejich-baterie.

11. *zprávy.aktualne.* [Online] https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/prehledne-a-srozumitelne-5-nejvetsich-vyhod-a-nevyhod-elektr/r~ab1fafe42d9511eb8b230cc47ab5f122/.

12. *portalridice.* [Online] https://www.portalridice.cz/clanek/rozdil-mezi-hybridem-plug-in-hybridem-a-mild-hybridem.

13. *motortrend.com.* [Online] https://www.motortrend.com/reviews/lexus-nx-hybrid-review/.

14. *carisin.cz.* [Online] https://www.carisin.cz/67342/hyundai/tucson.html.

15. *cirkularnicesko.* [Online] https://hub.cirkularnicesko.cz/wp-content/uploads/2019/05/04_info_Elektromobilita_1_2.pdf.

16. *flowee.* [Online] https://www.flowee.cz/civilizace/8274-elektromobilita-jak-pomaha-setrit-zivotni-prostredi.

17. *aljazeera.com.* [Online] https://www.aljazeera.com/news/2022/1/20/interactive-how-much-of-your-countrys-electricity-is-renewable-infographic.

18. *autoforum.cz.* [Online] https://www.autoforum.cz/predstaveni/vw-e-golf-2017-facelift-i-pro-elektrickou-verzi-je-vykonnejsi-a-dojede-dal/.

19. *epa.gov.* [Online] https://www.epa.gov.

20. *tracegrow.* [Online] https://www.tracegrow.com/ecology.

21. *veronica.* [Online] https://www.veronica.cz/otazky?i=514.

22. *jeodpp.jrc.ec.europa.eu.* [Online] https://jeodpp.jrc.ec.europa.eu/ftp/jrc-opendata/COM-EF/dataset/comw/JRC-CoM-EF-CoMW-EF-2017.pdf.

23. *tipcars.com.* [Online] https://www.tipcars.com/magazin/nase-tema/studie-cr-ma-nejvyssi-naklady-na-provoz-elektromobilu-v-evrope.html.

24. *evexpert.cz.* [Online] https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/naklady-na-provoz-a-udrzbu-elektromobilu.

25. *autorevue.cz.* [Online] https://www.autorevue.cz/nissan-leaf-elektromobil-pro-rok-2010-predstaven_4.

26. *automodely.cz.* [Online] https://automodely.cz/ford-model-t-touring-soft-top-1915.

28. *hybrid.cz.* [Online] https://www.hybrid.cz/elektricky-pohon-modelu-volkswagen-id3-se-vejde-do-sportovni-tasky-jak-funguje/.

29. EMADI, Ali. *Advanced electric drive vehicles.* místo neznámé : Boca Raton: CRC Press, 2017. ISBN 978- 113-8072-855.

30. *ekologickaauta.cz.* [Online] 2022. https://ekologickaauta.cz/do-ceska-prijizdi-vrcholna-verze-toyoty-rav4-plug-in-hybrid/.

31. *aovt.cz.* [Online] https://www.aovt.cz/aktuality/bateriove-systemy-pro-stacionarni-uloziste-energie-20.

32. *docplayer.cz.* [Online] https://docplayer.cz/107060594-Vysoka-skola-banska-technicka-univerzita-ostrava-flotacni-cinidla-na-bazi-kapalnych-produktu-z-pyrolyzy-odpadu.html.