Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Analýza proveditelnosti přestavby vozidla se spalovacím motorem na elektropohon

Jana Dufková

Bakalářská práce

2019

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Jana Dufková**
Osobní číslo:	**D15145**
Studijní program:	**B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor:	**Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Název tématu:	**Analýza proveditelnosti přestavby vozidla se spalovacím motorem na elektropohon**
Zadávající katedra:	**Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Zásady pro vypracování:

Autor práce bude postupovat podle sestavené osnovy, a to podle svých vědeckých možností. Současně bude získané výsledky konzultovat s vedoucím práce tak, aby byly splněny cíle práce.
Úvod
1. Elektromobilita, výhody a nevýhody provozování elektromobilů.
2. Přehled legislativy pro umožnění přestavby automobilu a jeho uvedení do provozu.
3. Pohonné jednotky pro elektrické automobily.
4. Akumulátory a jejich parametry.
5. Konstrukční úpravy při osazení vozidla elektromotorem, změny jízdních vlastností.
6. Rozhodující kritéria pro zvážení přestavby vozu.
Závěr

Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího práce**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran textu a přílohy**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

[1] HROMÁDKO, J.: Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
[2] VLK, F.: Alternativní pohony motorových vozidel. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
[3] EHSANI, M.: Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design. Boca Raton: CRC Press, c2005. ISBN 08-493-3154-4.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ivo Šefčík, Ph.D.**
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **15. února 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2019**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Jakub Vágner, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2019

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.
Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012 Pravidla pro zveřejňování závěrečných prací a jejich základní jednotnou formální úpravu, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 14. 5. 2019

Jana Dufková

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu práce, panu Ing. Ivu Šefčíkovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné připomínky a vstřícný přístup při zpracování daného tématu. Taktéž bych chtěla poděkovat mé rodině za umožnění studia a podporu, které se mi během něj dostávalo.

ANOTACE

Práce se zaměřuje na problematiku osobního automobilu na čistě elektrický pohon jako jednoho z představitelů moderního a ekologického dopravního prostředku. Spolu se svými vlastnostmi jsou zde popsány typy elektrických motorů i akumulátorů, které lze při stavbě elektromobilů využít. Cílem je nastínit možná úskalí přestavby vozidla se spalovacím motorem na elektropohon, ať už obsažená v podobě legislativy, konstrukčních požadavků nebo nároků na samotnou přestavbu a následný provoz. V závěru je zhodnoceno, zda má takováto přestavba smysl a je v budoucnu využitelná.

KLÍČOVÁ SLOVA

přestavba automobilu, elektromobily, spalovací motory, elektromotory, akumulátory

TITLE

The Feasibility Analysis of Rebuilding an Internal Combustion Engine Vehicle into an Electric Drive

ANNOTATION

The work is focused on the issue of the electric car as a representative of the modern and environmentally friendly means of transport. There are described the types of electric motors and accumulators including theirs features, which can be used in the construction of electric cars. The aim of this work is to delineate possible pitfalls of converting a vehicle with an internal combustion engine to the one with an electric drive. Either it could be in the form of legislation, construction requirements, or rebuilding requirements and subsequent operation. In the conclusion, it is evaluated whether this rebuilding could be useful and if it is usable in the future.

KEYWORDS

rebuilding of the vehicle, electric cars, internal combustion engines, electric motors, accumulators

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ 9
SEZNAM TABULEK 9
SEZNAM GRAFŮ 9
SEZNAM ZKRATEK 10
ÚVOD 11
1 Elektromobilita, výhody a nevýhody provozování elektromobilů 12
1.1 Výhody elektromobilů s akumulátory 13
1.2 Nevýhody elektromobilů s akumulátory 13
1.3 Současný stav elektromobility a prognóza do budoucna 14
2 Přehled legislativy pro umožnění přestavby automobilu a jeho uvedení do provozu 16
2.1 Žádost o povolení přestavby vozidla 16
2.2 Rozhodnutí o povolení přestavby vozidla 17
2.3 Přestavba vozidla 18
2.4 Schvalování vozidla 18
2.4.1 EHK OSN č. 10 20
2.4.2 EHK OSN č. 85 21
2.4.3 EHK OSN č. 100 22
2.4.4 EHK OSN č. 101 24
2.5 Provozování vozidla 26
2.5.1 Pravidelné technické prohlídky 26
2.5.2 Pravidelné měření emisí 27
3 Pohonné jednotky pro elektrické automobily 28
3.1 Komutátorové motory 28
3.2 Bezkomutátorové motory 28
3.3 Stejnosměrné motory 29
3.3.1 Motor s cizím buzením 29
3.3.2 Motor se sériovým buzením 30
3.3.3 Motor s paralelním buzením 30
3.3.4 Motor se smíšeným buzením 31
3.3.5 Motor s permanentními magnety 31
3.4 Střídavé motory 31
3.4.1 Synchronní motor 32
3.4.2 Asynchronní motor 32

4 Akumulátory a jejich parametry 33
4.1 Princip akumulátoru 33
4.2 Parametry akumulátoru 33
4.3 Lithium-iontový akumulátor (Li-ion) 34
4.3.1 Článek lithium-mangan-oxid (LMO) 35
4.3.2 Článek lithium-nikl-mangan-kobalt (NMC) 35
4.3.3 Článek lithium-nikl-kobalt-hliník (NCA) 36
4.3.4 Článek lithium-železo-fosfát (LFP) 36
4.3.5 Článek lithium-titan-oxid (LTO) 36
5 Konstrukční úpravy při osazení vozidla elektromotorem, změny jízdních vlastností 37
5.1 Demontáž nevyužitelných částí vozidla 38
5.2 Elektromotor 38
5.3 Akumulátor 39
5.4 Změna hmotnosti vozu a jeho jízdních vlastností 39
6 Rozhodující kritéria pro zvážení přestavby vozu 41
6.1 Možnosti nabíjení vozidla 41
6.2 Infrastruktura nabíjecích stanic 42
6.3 Nízkoemisní zóny 42
6.4 Náklady na vozidlo 43
6.4.1 Náklady na přestavbu 43
6.4.2 Náklady na provoz a údržbu 44
6.4.3 Celkové náklady 46
ZÁVĚR 50
POUŽITÁ LITERATURA 52
SEZNAM PŘÍLOH 57

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Homologační značka udělovaná v České republice [17] 19
Obrázek 2: Zkušební cyklus elektrických vozidel [21] 25
Obrázek 3: Schéma stejnosměrného motoru [26] 29
Obrázek 4: Momentová charakteristika sériového motoru [23] 30
Obrázek 5: Momentová charakteristika derivačního motoru [23] 30
Obrázek 6: Momentová charakteristika motoru s permanentními magnety [23] 31
Obrázek 7: Momentová charakteristika asynchronního motoru [23] 32
Obrázek 8: Princip nabíjení a vybíjení lithium-iontového akumulátoru [30] 34
Obrázek 9: Parametry článku LMO [31] 35
Obrázek 10: Parametry článku NMC [31] 35
Obrázek 11: Parametry článku NCA [31] 36
Obrázek 12: Parametry článku LFP [31] 36
Obrázek 13: Parametry článku LTO [31] 36
Obrázek 14: Volkswagen Up! [32] 37
Obrázek 15: Volkswagen e-Up! [34] 37
Obrázek 16: Uspořádání hnacího ústrojí elektromobilu [4] 38
Obrázek 17: Typy konektorů pro nabíjení elektromobilů [41] 41

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Přehled demontovaných a montovaných komponentů vozidla 40
Tabulka 2: Náklady na zkoušky vozidla po přestavbě [46] 43
Tabulka 3: Zjednodušené náklady na přestavbu vozidla 44
Tabulka 4: Náklady na pohonné médium 44
Tabulka 5: Servisní náklady zážehového motoru [47] 45
Tabulka 6: Servisní náklady na určitý počet najetých kilometrů 45
Tabulka 7: Náklady na pořízení vozidla a pohonné médium 46
Tabulka 8: Celkové náklady pro jednotlivá vozidla po ujetí 30 000 km 47
Tabulka 9: Celkové náklady pro jednotlivá vozidla po ujetí 120 000 km 48
Tabulka 10: Celkové náklady pro jednotlivá vozidla po ujetí 360 000 km 49

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Náklady pro jednotlivá vozidla po ujetí 30 000 km 47
Graf 2: Náklady pro jednotlivá vozidla po ujetí 120 000 km 48
Graf 3: Náklady pro jednotlivá vozidla po ujetí 360 000 km 49

SEZNAM ZKRATEK

ASEP Asociace elektromobilového průmyslu

BMS Řídicí jednotka akumulátorů (*Battery Management System*)

EHK Evropská hospodářská komise

EHS Evropské hospodářské společenství

ES Evropské společenství

EU Evropská unie

LFP Článek lithium-železo-fosfát

Li-ion Lithium-iontový článek

LMO Článek lithium-mangan-oxid

LTO Článek lithium-titan-oxid

NCA Článek lithium-nikl-kobalt-hliník

NMC Článek lithium-nikl-mangan-kobalt

OSN Organizace spojených národů

RESS Nabíjecí systém pro skladování energie (*Rechargeable Energy Storage System*)

USA Spojené státy americké (*United States of America*)

VIN Identifikační číslo vozidla (*Vehicle Identification Number*)

VW Volkswagen

ÚVOD

Vynález automobilu je nezpochybnitelným milníkem dějin, který výrazně usnadnil přepravu osob i nákladů. Avšak s přibývajícím počtem vozů, poháněných převážně spalovacím motorem, rostou také snahy o co nejšetrnější zásahy do přírody. V současnosti je právě ekologické myšlení tím, co určuje směr vývoje a výroby dopravních prostředků. Rozmach elektromobility je zároveň podpořen dostupností nových a rychle se vyvíjejících technologií.

Největším problémem spojeným s provozováním automobilů se spalovacím motorem je spotřeba fosilních paliv a následná produkce oxidu uhličitého. Spalování ropy, uhlí a zemního plynu vede nejen ke vzniku oxidu uhličitého, ale je spojeno i s produkcí škodlivých emisí (oxid uhelnatý, oxidy dusíku, nespálené uhlovodíky, pevné částice). Výše zmíněné látky se podílejí na skleníkovém efektu, a ovlivňují tak zemskou atmosféru, následkem čehož dochází k narušování přirozené rovnováhy prostředí. Tato nerovnováha může mít negativní dopad na lidské zdraví.

Pro podporu a využívání alternativních pohonů hovoří kromě záporných aspektů fosilních paliv i možnost brzkého vyčerpání jejich zásob a jejich rostoucí cena. Do kategorie alternativních pohonů spadají veškeré koncepce automobilů, které se liší od klasického spalovacího motoru, ať už vozy se speciální konstrukcí spalovacího motoru (např. Wankelův motor), s parním motorem, nebo automobily na alternativní paliva (zejména na biopaliva).

Stále se zpřísňující emisní normy pravděpodobně pozvolna povedou k nevratnému ústupu automobilů s klasickým spalovacím motorem. Nejčastěji uvažovanými zástupci osobních vozidel, která by měla minimalizovat dopad dopravy na životní prostředí, jsou elektrické, případně hybridní automobily. Vzhledem k tomu, že hybridní vozidlo kromě elektropohonu zčásti využívá i pohon klasickým spalovacím motorem, který produkuje škodlivé emise do ovzduší, ubírá se vývoj stále více cestou čistě elektrického pohonu. Tomu nasvědčuje i úsilí vyvíjené vládami po celém světě i samotnými automobilkami.

1 Elektromobilita, výhody a nevýhody provozování elektromobilů

Vývoj elektromobilů podporuje zejména závislost dopravy na ropě, její vysoká cena a ubývající světové zásoby. Elektromobilitou označujeme pohyb uskutečňovaný na základě elektrické energie. Týká se pohybu dopravního prostředku, který při svém provozu odebírá elektrickou energii ze zásobníku ve vozidle nebo ze sítě. Tento pohon se kromě vlaků, tramvají nebo metra, začíná stále více uplatňovat u osobních automobilů. V automobilech na elektrický pohon dochází k napájení z dobíjecích článků, jejichž chemická energie se přeměňuje na energii mechanickou, která je využívána k pohybu vozidla. [1; 2; 3]

Vozidla využívající elektrickou energii lze rozdělit na:

- **vozidla s akumulovanou energií**

  Vozy jsou poháněny elektrickým motorem, jenž je připojen k akumulátorům, které dodávají elektrickou energii. Tyto akumulátory je však třeba dobíjet.

- **vozidla s výrobou energie přímo ve vozidle**

  Rozumí se jimi vozidla využívající elektrickou energii z palivových článků, kterými je automobil vybaven. Energie je vytvářena elektrochemickou reakcí paliva (vodík, metanol). Manipulace s vodíkem a jeho distribuce je však značně problematická a nebezpečná. Náročná je i samotná výroba, zato je možné jej vyrábět v neomezeném množství. Spalování vodíku má ovšem velkou přednost, při hoření jako jediný produkt vzniká vodní pára.

- **vozidla s hybridním pohonem**

  Elektromobily jsou osazeny jak elektrickým, tak i spalovacím motorem. K dobíjení baterií dochází v průběhu jízdy. Zachovávají tak výhody zážehových (vznětových) motorů a elektromobilů, zároveň potlačují jejich nevýhody. Tím se výkon a jízdní dosah spojují s efektivitou, šetrností k životnímu prostředí, tichým chodem a nízkými náklady. Na malé vzdálenosti a v nenáročném terénu jezdí vůz na elektřinu. Spalovací motor se použije teprve v náročném terénu a při jízdě na větší vzdálenosti. [4]

Dále se práce zabývá využitím elektrických vozidel s akumulátory.

1.1 Výhody elektromobilů s akumulátory

První z výhod elektromobilu spočívá již v samotné pohonné jednotce. Elektrický motor je totiž schopen vyvinout velký krouticí moment téměř od nulových otáček a prakticky okamžitě poskytuje plný výkon. Schopnost plynule regulovat točivý moment umožňuje vynechat vícestupňovou převodovku se spojkou. Vozidlo má jediný převodový stupeň, tzv. reduktor. Na rozdíl od spalovacího motoru jej lze přetížit, dokonce platí, že čím studenější elektromotor, tím více je přetížitelný. Nesrovnatelná je také jeho účinnost, a to přes 97 %. Oproti tomu se účinnost zážehového motoru pohybuje okolo 30 %, u vznětového je to pak zhruba 40 %. [5; 4; 6]

V porovnání s mnoha pohyblivými částmi spalovacího motoru (klikovým hřídelem, písty, ventily atd.) má elektrický motor jediný pohyblivý prvek – rotor. Není zde však třeba měnit olej, vzduchové ani palivové filtry. Díky rekuperaci, která nabízí zpětný převod krouticího momentu na elektrickou energii, a tím dobíjení akumulátorů při zpomalování a brzdění vozu, je méně namáháno obložení brzdových destiček. [7]

Elektromobily mají svůj význam především v dopravě na krátké vzdálenosti, hodí se proto do městského a příměstského provozu. Důvodem jsou hlavně nulové místní emise a tichý chod motoru. [4]

Elektromobilita v sobě spojuje ohleduplnost k životnímu prostředí a ekonomickou výhodnost. Ta je v podobě nižších nákladů na provoz a průběžný servis dalším pozitivem spojeným s provozováním elektrických aut. Uvádí se, že automobil nabíjený ze zásuvky jezdí zhruba třikrát levněji než jeho stejně velký protějšek, tankovaný na benzínové stanici. [3; 5]

1.2 Nevýhody elektromobilů s akumulátory

Při podrobení elektromobilu kritické analýze nestačí brát v úvahu pouze kladné aspekty elektrického pohonu. Stále více je poukazováno na to, že při započtení emisí vznikajících při výrobě elektrické energie, již ekologický přínos elektromobilů nemusí být tak jednoznačný. Přestože elektromobily nevykazují žádné emise spojené s provozem, je třeba poznamenat, že výroba samotné elektrické energie v zastaralých tepelných elektrárnách emise produkuje. Současný trh naštěstí nabízí alternativu v podobě takzvaných zelených tarifů, kdy je energie vyráběna výhradně z obnovitelných zdrojů. [4; 3]

Položkou, která bude potenciálního zákazníka zajímat možná ze všeho nejvíce, je pořizovací cena vozu. Oproti běžnému automobilu se elektromobily kvůli nákladné výrobě prodávají za vyšší sumy. Negativem může být také to, že technologie elektropohonu v praxi funguje relativně krátkou dobu, nemusí být proto zatím dostatečně vyzkoušena. [8]

Velikost akumulátorů a jejich cena jsou problémem pro výrobu vozidel dostatečné velikosti, výkonu a dojezdu. Zmíněné akumulátory představují dodatečnou zátěž, kterou s sebou elektromobil musí vozit. Vyšší hmotnost samozřejmě ovlivňuje spotřebu energie, a snižuje tak dojezdovou vzdálenost. [4]

Ohledně dobíjení na zákazníka zatím nečeká tak rozsáhlá síť nabíjecích stanic, jako je tomu u klasických stanic čerpacích. Mínusem se pak stává také delší doba potřebná pro dobití článků. To může představovat problém, obzvlášť pokud se na stanici sejde více uživatelů najednou. Společnosti provozující nabíjecí stanice však i nadále pokračují v rozšíření infrastruktury.

Elektromobily jsou tak tiché, že si jich účastník silničního provozu nemusí ani všimnout, ale většina elektrických aut už obsahuje nějakou formu výstražného systému. Na ochranu chodců a cyklistů myslí i evropská legislativa, která bude tyto systémy v elektromobilech od července 2019 vyžadovat. [9]

1.3 Současný stav elektromobility a prognóza do budoucna

Na první pohled by se mohlo zdát, že elektrovozidla jsou fenoménem posledních let. Ale například už v roce 1900 byla v USA pro jednoduchost ovládání dokonce oblíbenější než automobily se spalovacím motorem. Dokonce se jich vyrobilo o třetinu více. Moderní vozy se zážehovými i vznětovými motory, které máme v současnosti k dispozici, se taktéž mohou pyšnit jednoduchým ovládáním, ve srovnání s minulostí podstatně jednodušším. Přesto si elektrická energie, z důvodů zmíněných už v úvodu, opět razí cestu mezi nejpoužívanější druhy pohonu. [1]

Motivace podpořit čisté technologie vede mnohé země k nastavení programů na rozvoj elektromobility. Jejich cílem je snížit cenový rozdíl mezi konvenčním automobilem a elektromobilem, stimulovat poptávku po vozech s elektrickým pohonem, a tím urychlit pokles jejich ceny. Státy využívají pro podporu finanční nástroje v podobě daňového zvýhodnění nebo různé nefinanční mechanismy. Největší rozmach zažívají elektromobily v Norsku, Francii a USA, kde již počet registrovaných elektromobilů přesáhl hranici 100 000 kusů. [10]

S výší podpory na nákup jednoho vozidla nevychází Česká republika ve srovnání například s Francií nebo USA vůbec špatně. S podporou státu na pořízení elektromobilů a budování nabíjecí infrastruktury se zde však setkávají spíše podnikatelé. Fyzické subjekty na vhodné schéma podpory zatím čekají. Řešení může představovat navrhované osvobození elektromobilů od dálničních poplatků a poplatků za registraci vozidla. Při porovnání světové a domácí situace se ukazuje, že Česká republika se svým postojem k elektrorevoluci stojí zatím ještě stranou. Podle údajů Asociace elektromobilového průmyslu (ASEP) jezdí v České republice okolo 2 500 elektrických aut a jejich počet se v roce 2017 snížil. Obyvatelé České republiky se stále zdráhají si elektromobily pořizovat z důvodu vyšší pořizovací ceny, infrastruktury nabíjecích stanic a absence dotací na vozy pro osobní užití. [10; 11; 3; 9]

Je třeba zvážit, že elektromobil sice stojí více peněz, ale díky levnějšímu provozu může nakonec vyjít levněji než benzínový automobil. Vývoj navíc neustále kráčí kupředu a hledají se nová řešení. Dá se předpokládat, že časem si elektromobil pořídí více řidičů. Může k tomu dopomoci snížení ceny elektrických vozidel, rozšíření sítě dobíjecích stanic, nebo také stále se zpřísňující emisní normy pro automobily spalující fosilní paliva. [8]

2 Přehled legislativy pro umožnění přestavby automobilu a jeho uvedení do provozu

Přestavba silničního vozidla je v České republice upravena zákonem č. 56/2001 Sb., *o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a o změně zákona č. 168/1999 Sb., o pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla), ve znění zákona č. 307/1999 Sb.*

Zákon upravuje tyto podmínky provozu vozidel na pozemních komunikacích:

- registraci vozidel a vyřazování vozidel z registru,
- technické požadavky na provoz silničních vozidel a zvláštních vozidel a schvalování jejich technické způsobilosti k provozu na pozemních komunikacích,
- práva a povinnosti osob, které vyrábějí, dovážejí a uvádějí na trh vozidla a pohonné hmoty,
- práva a povinnosti stanice technické kontroly a stanice měření emisí,
- kontroly technického stavu vozidel v provozu. [12]

2.1 Žádost o povolení přestavby vozidla

Článek 74 zákona č. 56/2001 hovoří o přestavbě jednotlivého vozidla a hromadné přestavbě následovně. Přestavbu jednotlivého silničního vozidla povoluje příslušný obecní úřad obce s rozšířenou působností na základě písemné žádosti, pokud jsou splněny podmínky pro přestavbu stanovené prováděcím právním předpisem. Toto vozidlo ovšem musí být již zapsané v registru silničních vozidel. V případě hromadné přestavby typu silničního vozidla, tj. více než 5 kusů vozidel jednoho typu, povoluje přestavbu ministerstvo na základě písemné žádosti, pokud jsou splněny podmínky pro hromadnou přestavbu stanovené prováděcím právním předpisem.

Nejprve je tedy třeba podat písemnou žádost, která musí mít náležitosti odpovídající zákonu. Žádost o povolení jednotlivé nebo hromadné přestavby silničního vozidla musí obsahovat:

- jméno, příjmení, pobyt, obchodní jméno, rodné číslo a identifikační číslo, pokud bylo přiděleno, je-li žadatelem fyzická osoba, nebo obchodní jméno, sídlo a právní formu právnické osoby a její identifikační číslo, pokud bylo přiděleno, je-li žadatelem právnická osoba,

- druh a kategorii silničního vozidla,
- účel, pro který má být silniční vozidlo používáno.

Dále musí být žádost doložena těmito doklady:

- podrobným popisem přestavby silničního vozidla,
- návrhem na změnu údajů zapisovaných v technickém průkazu silničního vozidla,
- technickým popisem a výkresovou dokumentací systému vozidla, konstrukční části vozidla nebo samostatného celku vozidla, pokud nebyla schválena jejich technická způsobilost typu,
- technickým protokolem vydaným zkušební stanicí a u hromadné přestavby vozidla pověřenou zkušebnou. [12]

Dle zákona č. 634/2004, *o správních poplatcích*, je schválení technické způsobilosti vozidla po přestavbě zpoplatněno 1 000 Kč. [13]

2.2 Rozhodnutí o povolení přestavby vozidla

Řízení o žádosti je podle zákona č. 500/2004 Sb. zahájeno dnem, kdy žádost došla věcně a místně příslušnému správnímu orgánu. Samotné řízení je zahájeno dnem, kdy správní orgán oznámil zahájení řízení účastníkovi doručením oznámení nebo ústním prohlášením.

Ze zákona je správní orgán povinen žadateli do třiceti dní ode dne, kdy obdržel podnět pro zahájení řízení, sdělit, že řízení zahájil, nebo že neshledal důvody k zahájení řízení z moci úřední., popřípadě, že podnět postoupil příslušnému správnímu orgánu. Rozhodnutí se zpravidla vyhotovuje v písemné formě. [14]

Vozidlo musí po přestavbě splňovat technické požadavky, které byly platné v době jeho výroby, nebo technické požadavky pozdějších předpisů uvedených v přílohách vyhlášky č. 341/2014 Sb., *o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích*, pro typ vozidla příslušného druhu a kategorie. Jestliže přestavěné vozidlo nebo jeho systémy, konstrukční části nebo samostatné technické celky, do nichž přestavba zasáhla, splňují i po přestavbě technické požadavky stanovené § 29 vyhlášky, obecní úřad obce s rozšířenou působností nebo ministerstvo přestavbu vozidla povolí. [15]

Při povolování přestavby jednotlivého vozidla se postupuje obdobně jako při schvalování technické způsobilosti jednotlivě vyrobeného vozidla a při povolování hromadné přestavby vozidel se postupuje obdobně jako při schvalování technické způsobilosti typu vozidla. Náležitosti s tím spojené definuje Část třetí zákona č. 56/2001 Sb. [15; 12]

2.3 Přestavba vozidla

Přestavbou silničního vozidla se zabývá *Část pátá* zákona č. 56/2001 Sb. Podle čl. 73 zákona je přestavbou silničního vozidla změna nebo úprava podstatných částí mechanismu nebo konstrukce provozovaného silničního vozidla. Za změnu podstatných částí mechanismu nebo konstrukce silničního vozidla se považují:

- změna druhu pohonu, vestavění jiného typu motoru,
- změna karoserie, pérování vozidla a kol způsobující změnu povoleného zatížení,
- změna druhu karoserie nebo nástavby, pro které se mění účel a způsob použití silničního vozidla,
- změna kategorie vozidla. [12]

Při přestavbě vozidla lze změnit nebo upravit pouze jednu podstatnou část mechanismu nebo konstrukci silničního vozidla. Jiné podstatné části mechanismu nebo konstrukce již nesmí být touto, ani žádnou následnou přestavbou změněny.

Pokud se při přestavbě mění identifikační číslo vozidla (VIN), stanoví příslušný úřad, provádějící registraci vozidla, jakým způsobem se uvedené číslo vyznačí na nové nebo změněné konstrukční nebo podstatné části mechanismu vozidla. Pokud je na nahrazující konstrukční části vyznačeno identifikační číslo z jiného vozidla, toto se vždy znehodnotí přeražením křížky tak, aby zůstalo nadále identifikovatelné. Identifikační číslo vozidla, u kterého se mění konstrukční nebo podstatná číst mechanismu vozidla, se pak vyrazí v blízkosti čísla znehodnoceného, a to v případě, že se jedná o konstrukční část prohlášenou výrobcem za záměnnou. Informace o ražbě identifikačního čísla náhradní technologií se uvede v dokladech vozidla. [15]

2.4 Schvalování vozidla

Česká republika je, stejně jako další členské státy Evropské hospodářské komise OSN (EHK OSN), vázána mezinárodními předpisy, které tvoří přílohy *Dohody o přijetí jednotných technických pravidel pro kolová vozidla, zařízení a konstrukční části, které lze montovat nebo užívat na kolových vozidlech, a o podmínkách pro vzájemné uznávání schválení typu udělených na základě těchto pravidel*. Cílem smlouvy je sjednotit evropské zákonodárství pro konstrukci a schvalování silničních vozidel.

Dohoda nezavazuje smluvní strany k uplatňování všech předpisů. Členský stát, který notifikoval užívání určitých předpisů, tedy nemusí, ale může, uplatňovat na svém území tyto předpisy nebo určité z nich, jako povinné. V České republice je stanovena povinnost plnit předpisy, jejichž užívání náš stát notifikoval, vyhláškou Ministerstva dopravy č. 341/2002 Sb., *o schvalování technické způsobilosti a technických podmínkách provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích*, kde jsou všechny předpisy EHK OSN a směrnice EHS/ES konkrétně uvedeny. [4]

Jednotná ustanovení pro homologaci se týkají podle povahy věci buď jednotlivých konstrukčních skupin, které se zkoušejí samostatně a mohou se montovat na různá vozidla (homologační zkouška se provádí přímo na součásti vozidla), nebo se týkají vozidel jako celku (homologační značka je pak vyznačena na homologačním štítku vozidla). Předpisy obsahují kromě formálních ustanovení pro schvalování zejména pevnostní, životnostní a funkční technické specifikace a podrobnou zkušební metodiku, která zahrnuje především statické či dynamické destrukční zkoušky za předepsaných podmínek a na předepsaném zkušebním zařízení. Členské státy se přistoupením k předpisu zavázaly, že jsou ochotny pustit do provozu jen vozidla, která získala tzv. evropskou homologační značku. [16]

Obrázek 1: Homologační značka udělovaná v České republice [17]

V Evropské unii (EU) je pro schvalování silničních vozidel homologační systém, který je analogický k systému EHK. Avšak vzhledem k užším vazbám států EU je užívání jednotlivých Směrnic povinné pro všechny členské státy EU. Jednotlivé Směrnice jsou v tomto systému tím, čím jsou jednotlivé předpisy v systému EHK. Na základě rozhodnutí Rady EU přistoupila Unie k Dohodě EHK jako kolektivní člen. Do konce roku 1993 se Směrnice Evropské unie označovaly zkratkou EHS, nyní je nalezneme pod zkratkou ES. Oproti systému EHK obsahuje homologační systém EU navíc typové homologace vozidel jako celků, tzv. globální typové homologace. Homologací vozidel se zabývá Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/46/ES, kterou se stanoví rámec pro schvalování motorových vozidel a jejich přípojných vozidel, jakož i systémů, konstrukčních částí a samostatných technických celků určených pro tato vozidla. [16]

V rámci předpisů Evropské hospodářské komise OSN řeší problematiku elektromobilů předpisy EHK OSN č. 10, EHK OSN č. 85, EHK OSN č. 100 a EHK OSN č. 101.

2.4.1 EHK OSN č. 10

Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska elektromagnetické kompatibility

V elektromobilu vzniká silné elektromagnetické rušení, které může snížit funkčnost vozidla, konstrukční části, samostatného technického celku, jakož i jiného zařízení, jednotky zařízení nebo systému provozovaného v okolí vozidla. Toto rušení se může vyskytovat v podobě elektromagnetického šumu, nežádoucího signálu nebo změn v přenosovém prostředí. Zároveň elektromobil obsahuje citlivá elektrická zařízení, jejichž funkce může být rušena již poměrně slabým vyzařováním. Vozidlo proto musí odolávat elektromagnetickému rušení přicházejícímu zvenčí. Zároveň nesmí být zdrojem elektromagnetického rušení takové intenzity, aby rušilo provoz elektrických zařízení v okolí.

Elektromagnetickou kompatibilitou, ověřovanou pro účely homologace, se rozumí schopnost vozidla, konstrukční části nebo samostatného technického celku uspokojivě fungovat ve vlastním elektromagnetickém prostředí bez vytváření nepřípustného elektromagnetického rušení. [17; 18]

Předpis zahrnuje:

- požadavky týkající se odolnosti proti vyzařovanému rušení nebo rušení šířenému vedením, ovlivňujícímu funkce související s přímým ovládáním vozidla, s ochrannou řidiče, spolujezdce a dalších účastníků silničního provozu, s rušením, které by mohlo způsobit zmatení řidiče nebo dalších účastníků silničního provozu, s funkčností datové sběrnice vozidla a s rušením, které by ovlivnilo povinné údaje vozidla,
- požadavky na kontrolu nežádoucích vyzařovaných emisí a emisí šířených vedením pro ochranu při určeném použití elektrického nebo elektronického zařízení ve vlastních nebo sousedních či jim blízkých vozidlech, a kontrolu rušení pocházejícího z příslušenství, které může být dodatečně namontováno do vozidla,
- doplňkové požadavky na vozidla s propojovacími systémy pro nabíjení RESS týkající se kontroly emisí vznikajících při připojení vozidla k elektrické síti a odolnosti proti nim. [18]

2.4.2 EHK OSN č. 85

Jednotná ustanovení pro schvalování spalovacích motorů nebo elektrických hnacích ústrojí určených k pohonu motorových vozidel kategorie M a N z hlediska měření netto výkonu a maximálního třicetiminutového výkonu elektrických hnacích ústrojí

Tento předpis se vztahuje na sestrojení křivky výkonu při plném zatížení a maximálního třicetiminutového výkonu elektrických hnacích ústrojí v závislosti na otáčkách motoru podle údajů výrobce pro spalovací motory nebo elektrická hnací ústrojí určená k pohonu motorových vozidel kategorie M a N. [19]

Uvedené kategorie motorových vozidel stanoví příloha k zákonu č. 56/2001 Sb. Kategorií M se rozumí motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu osob. Kategorie N je určena pro motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola a používají se pro dopravu nákladů. Zákon dále uvádí členění kategorií na podskupiny. [12]

Konstrukční části, které mohou ovlivnit výkon hnacího ústrojí, musí být navrženy, vyrobeny a smontovány tak, aby hnací ústrojí při normálním použití bylo schopno splňovat ustanovení tohoto předpisu navzdory vibracím, kterým může být vystaveno. [19]

Popis zkoušek ke stanovení netto výkonu a maximálního 30minutového výkonu elektrických hnacích ústrojí

Elektrické hnací ústrojí se vystrojí podle Přílohy 6 tohoto předpisu. Hnací ústrojí se musí napájet zdrojem stejnosměrného napětí s nejvyšším poklesem napětí 5 % v závislosti na čase a proudu (jsou vyloučeny doby kratší než 10 sekund). Napájecí napětí při zkoušce uvede výrobce vozidla. Jestliže baterie omezuje maximální třicetiminutový výkon, může být maximální třicetiminutový výkon nižší než maximální výkon podle této zkoušky.

Hnací ústrojí musí být předem zaběhnuto podle doporučení výrobce. Může-li se měření výkonu provádět pouze na hnacím ústrojí s namontovanou převodovkou nebo reduktorem, je nutno brát v úvahu jejich účinnost. [19]

Stanovení netto výkonu

Netto výkonem se dle předpisu rozumí výkon dosažený na zkušebním stavu na konci klikového hřídele nebo rovnocenného orgánu při odpovídajících otáčkách motoru spolu s pomocným zařízením, uvedeným v přílohách tohoto předpisu, stanovený za referenčních atmosférických podmínek.

- Motor a celá jeho výstroj se musí stabilizovat při teplotě (25±5) °C po dobu nejméně dvou hodin.
- Zkouška ke stanovení netto výkonu se provádí s regulátorem výkonu nastaveným na maximum.
- Bezprostředně před zahájením zkoušky musí motor běžet na zkušebním stavu 3 minuty s výkonem rovným 80 % maximálního výkonu při otáčkách doporučených výrobcem.
- Měří se při dostatečném počtu různých otáček motoru, umožňujícím přesně definovat celou křivku výkonu od nulových otáček po nejvyšší otáčky doporučené výrobcem. Celá zkouška musí být provedena do 5 minut. [19]

Stanovení maximálního třicetiminutového výkonu

Maximálním třicetiminutovým výkonem se rozumí maximální netto výkon elektrického hnacího ústrojí při stejnosměrném napětí, který hnací ústrojí může v průměru dodat za dobu 30 minut.

- Motor a jeho celá výstroj se musí stabilizovat při teplotě (25±5) °C po dobu nejméně dvou hodin.
- Elektrické hnací ústrojí musí běžet na zkušebním stavu s výkonem odpovídajícím, podle nejlepšího odhadu výrobce, maximálnímu třicetiminutovému výkonu.
- Otáčky se musí pohybovat v intervalu, v němž je netto výkon vyšší než 90 % nejvyššího naměřeného výkonu. Tyto otáčky doporučí výrobce.
- Zaznamenávají se otáčky a výkon. Výkon musí mít hodnotu, která je v rozmezí ±5 % vzhledem k hodnotě výkonu na začátku zkoušky.
- Maximální třicetiminutový výkon je průměrnou hodnotou výkonu v době 30 minut. [19]

2.4.3 EHK OSN č. 100

Jednotná ustanovení pro schválení bateriových elektrických vozidel z hlediska zvláštních požadavků na konstrukci, funkční bezpečnost a emise vodíku

Tato ustanovení se týkají bezpečnostních požadavků pro veškerá bateriová elektrická silniční vozidla kategorií M a N s maximální konstrukční rychlostí převyšující 25 km/h.

Bateriovým elektrickým silničním vozidlem se rozumí vozidlo s karosérií pro silniční užití, poháněné výhradně elektrickým motorem, jehož trakční energie je dodávána výlučně trakční baterií, která je instalována ve vozidle.

Výkonové propojení je chápáno jako elektrický obvod včetně trakční baterie, elektronických měničů (palubní nabíječka, elektronické ovládání trakčního motoru apod.), trakčních motorů, souvisejících vodičů a konektorů apod., nabíjecího obvodu, pomocného výkonového vybavení. [20]

Požadavky na konstrukci vozidla

- Montáží trakční baterie do vozidla nesmí být umožněno žádné potenciální nebezpečí kumulace plynových kapes. Prostory pro baterie musí být odvětrány.
- Trakční baterie a výkonové propojení musí být chráněny vhodně dimenzovanými pojistkami nebo jističi obvodů.
- Musí být zajištěna ochrana před přímým dotykem s živými a nechráněnými vodivými částmi výkonového připojení.
- Ochranné kryty živých částí musí být viditelně označeny.
- Je-li vozidlo galvanicky připojeno na energetickou napájecí síť nebo na mimopalubní nabíječku, nesmí být v žádném případě schopno samo se pohybovat.
- Prvky použité při nabíjení baterie z vnějšího zdroje musí zajišťovat, aby bylo v případě rozpojení nabíjecí proud možné bez fyzického poškození přerušit. [20]

Požadavky na funkční bezpečnost

- Výkonové propojení se zajistí prostřednictvím klíčového spínače. Tento klíč nesmí být možné vyjmout v žádné pozici, která aktivuje propojení pohonu nebo umožňuje aktivní jízdu.
- Jakmile dosáhne stav nabití baterie minimálního napětí stanoveného výrobcem, musí být uživatel na tento stav dostatečně rychle upozorněn, aby byl vozidlo schopen dopravit vlastní silou alespoň z dosahu provozu.
- Neúmyslná akcelerace, zpomalení nebo přepnutí propojení pohonu do zpětného chodu musí být znemožněno.
- Zpětná jízda musí být možná pouze po provedení zvláštní operace.
- Je-li vozidlo vybaveno zařízením pro omezení výkonu v nouzi, musí být uživatel informován zřejmým signálem. [20]

Stanovení emisí vodíku

Cílem zkoušky je stanovit emise vodíku při nabíjení trakční baterie palubní nabíječkou. Postup začíná vybitím trakční baterie vozidla jízdou po dobu 30 minut po zkušební dráze nebo na vozidlovém dynamometru konstantní rychlostí rovnající se 70±5 % maximální rychlosti vozidla. Poté následuje zkouška stanovující emise vodíku při běžném nabíjení a nejpozději do 7 dnů po dalším vybití zkouška při nabíjení palubní nabíječkou vykazující poruchu.

- Vozidlo musí být v dobrém mechanickém stavu a v průběhu sedmi dnů před zkouškou musí najet nejméně 300 km. Vozidlo musí být po tuto dobu vybaveno trakční baterií, jež je předmětem zkoušky emisí vodíku.
- Ze zkoušky jsou vyloučena silniční vozidla vybavená bateriemi s nekapalnými elektrolyty nebo utěsněnými bateriemi „s rekombinací plynů“.
- Závažné poruchy nabíjení baterie, které mohou při pozdějším nabíjení vést k nefunkčnosti palubní nabíječky, musí být řidiči trvale signalizovány.
- Běžné nabíjení se skládá z nabíjení konstantním výkonem po dobu t_1 a z přebíjení konstantním proudem po dobu t_2. Emise vodíku musí být pod hodnotou 125 g za 5 hodin nebo pod hodnotou 25 × t_2 g za dobu t_2 (v hodinách).
- Při nabíjení palubní nabíječkou vykazující poruchu se nabíjí konstantním výkonem po dobu t_1‘ a pak maximálním proudem po 30 minut. Emise vodíku musí pod hodnotou 42 g. Vedle toho musí palubní nabíječka tuto možnou poruchu omezit na 30 minut. [20]

2.4.4 EHK OSN č. 101

Jednotná ustanovení pro schvalování typu osobních automobilů poháněných výhradně spalovacím motorem nebo poháněných hybridním elektrickým hnacím ústrojím z hlediska měření emisí oxidu uhličitého a spotřeby paliva a/nebo měření spotřeby elektrické energie a akčního dosahu na elektřinu, a dále vozidel kategorie M_1 a N_1 poháněných výhradně elektrickým hnacím ústrojím z hlediska měření spotřeby elektrické energie a akčního dosahu na elektřinu

Tento předpis se vztahuje na vozidla kategorií M_1 a N_1. Dle č. 56/2001 Sb. spadají do kategorie M_1 vozidla, která mají nejvýše osm míst k přepravě osob, kromě místa řidiče, víceúčelová vozidla. Víceúčelová vozidla jsou určená k přepravě osob a nákladu v jediném oddělení vozidla. To, zda patří do kategorie M_1 nebo N_1, stanoví prováděcí právní

předpis. V kategorii N_1 se nachází vozidla, jejichž největší přípustná hmotnost nepřevyšuje 3 500 kg. [21; 12]

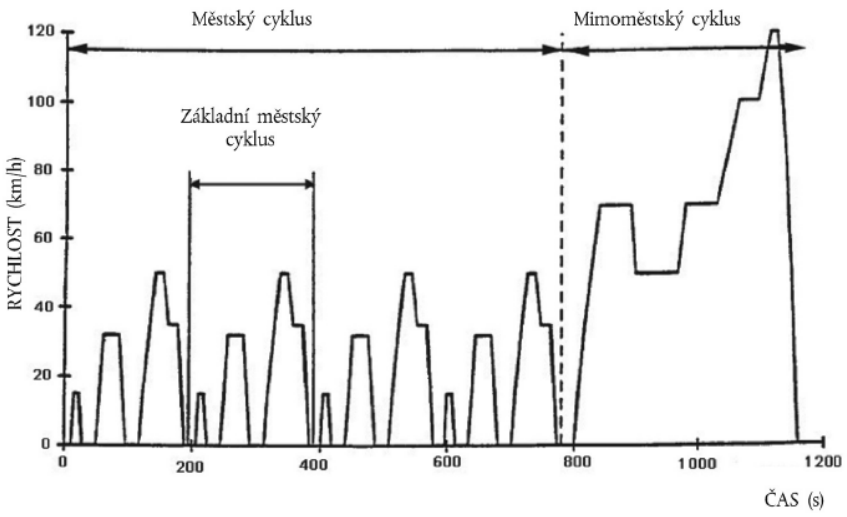
Části schopné ovlivnit spotřebu elektrické energie musí být konstruovány, vyrobeny a smontovány tak, aby umožňovaly vozidlu při běžném užívání bez ohledu na vibrace, kterým může být vystaveno, splňovat ustanovení tohoto předpisu.

Zkoušky mohou proběhnout pouze, pokud jsou zajištěny tyto podmínky:

- Vozidlo musí v průběhu sedmi dnů před zkouškou ujet nejméně 300 km s bateriemi, které jsou instalovány ve zkušebním vozidle.
- Dojde k počátečnímu nabití baterie.
- Zařízení pro osvětlení a světelnou signalizaci a přídavná zařízení se vypnou, s výjimkou zařízení požadovaných ke zkouškám a k obvyklému provozu vozidla za dne.
- Všechny zásobníky energie, které slouží k jiným účelům než k trakčním, se nabijí na maximální hladinu specifikovanou výrobcem. [21]

Měření spotřeby elektrické energie

Zkušební cyklus zahrnuje dvě části – městský a mimoměstský cyklus. Městský cyklus se skládá ze čtyř základních městských cyklů, kdy každý jednotlivý cyklus trvá 195 sekund. Mimoměstský cyklus trvá 400 sekund.



Obrázek 2: Zkušební cyklus elektrických vozidel [21]

Postup začíná vybitím baterie vozidla jízdou při konstantní rychlosti rovnající se 70±5 % maximální třicetiminutové rychlosti vozidla. Poté se baterie podrobí běžnému nočnímu nabíjení. V době do čtyř hodin od ukončení nabíjení se zahájí a dvakrát projede zkušební

cyklus. Následně se vozidlo připojí k síti a měří se hodnota dodávané energie. Spotřeba elektrické energie je definována podílem dodané energie a vzdálenosti ujeté v průběhu zkoušky. Výsledek měření spotřeby elektrické energie se vyjadřuje ve watthodinách na kilometr (Wh/km). [21]

Měření akčního dosahu na elektřinu

Akčním dosahem na elektřinu se u vozidel poháněných pouze elektrickým hnacím ústrojím rozumí vzdálenost, kterou lze ujet na elektřinu z plně nabité baterie (nebo jiného zásobníku elektrické energie).

Postup začíná vybitím baterie vozidla jízdou při konstantní rychlosti rovnající se 70±5 % maximální třicetiminutové rychlosti vozidla. Poté se u výhradně elektrického vozidla nabíjí baterie postupem běžného nočního nabíjení po dobu nepřesahující 12 hodin. Zkušební postup probíhá na vozidlovém dynamometru**.** Konec zkoušky nastává, pokud vozidlo není schopno dodržet požadovanou křivku do 50 km/h nebo pokud palubní přístroje dávají pokyn k zastavení. Poté se vozidlo zpomalí uvolněním pedálu akcelerátoru na 5 km/h bez použití brzdového pedálu a brzděním se zastaví. Hodnota ujeté vzdálenosti změřená na konci a vyjádřená v kilometrech (km) je akčním dosahem vozidla na elektřinu. [21]

2.5 Provozování vozidla

Na pozemních komunikacích lze provozovat pouze takové silniční vozidlo, které je k provozu technicky způsobilé podle zákona č. 56/2001 Sb., tj. pokud u něj při technické prohlídce nebyly zjištěny žádné nebo jen lehké závady, jež nemají vliv na bezpečnost provozu. Provozovatel je dle § 40 povinen přistavit vozidlo k pravidelné technické prohlídce v zákonem stanovených časových lhůtách. [12]

Při pravidelných technických prohlídkách a při měření emisí se postupuje podle zákona č. 56/2001 Sb. a vyhlášky Ministerstva dopravy ČR č. 302/2001 Sb., *o technických prohlídkách a měření emisí vozidel*. [12; 22]

2.5.1 Pravidelné technické prohlídky

Technickou prohlídkou silničního vozidla je kontrola technického stavu, činnosti ústrojí a zařízení silničního vozidla. Jak definuje § 47, provádí se kontrola:

- brzdové soustavy,
- řízení,

- náprav, kol, pneumatik, pérování, hřídelů, kloubů,
- podvozku a karoserie,
- světelných zařízení a světelné signalizace,
- ostatního ústrojí a zařízení, zejména elektrického zařízení a vedení, rychloměru a tachografu, palivové soustavy, těsnosti motoru a převodovky, spojky, řazení rychlostních stupňů, vytápění a větracího systému, spojovacího zařízení, výfukové soustavy, odrušení hluku,
- předepsané a zvláštní výbavy.

Pokud jde o motorová vozidla kategorie M a N, musí prohlídku absolvovat uvedená vozidla:

- osobní nebo nákladní automobil, jehož přípustná hmotnost nepřevyšuje 3 500 kg, a to nejpozději ve lhůtě čtyř let po prvním zápisu do registru silničních vozidel a potom dále pravidelně nejpozději ve lhůtách dvou let,
- nákladní automobil, jehož přípustná hmotnost převyšuje 3 500 kg, speciální automobil, autobus, silniční vozidlo s právem přednosti v jízdě, cvičné vozidlo autoškoly, vozidlo taxislužby, vozidlo půjčovny automobilů určené k nájmu, kromě nebrzděného přívěsu, jehož přípustná hmotnost nepřevyšuje 750 kg, přípojné vozidlo, jehož přípustná hmotnost převyšuje 3 500 kg, nejpozději ve lhůtě jednoho roku za zaregistrování silničního vozidla a potom pravidelně nejpozději v jednoročních lhůtách. [12]

2.5.2 Pravidelné měření emisí

Měřením emisí se rozumí kontrola technického stavu částí silničního motorového vozidla, motoru a příslušenství ovlivňujícího tvorbu škodlivých emisí ve výfukových plynech, změření hodnot parametrů a vlastností popisujících emisní chování silničního motorového vozidla, jejich seřízení a případné odstranění zjištěných závad.

Ustanovením čl. 41 zákona 56/2001 Sb. je provozovatel elektromobilu, díky absenci součástí vytvářejících škodlivé emise, osvobozen od konání pravidelného měření emisí. [12]

Stejně jako pro osobní automobil s konvenčním pohonem platí i pro elektromobil běžné intervaly technických prohlídek dle zákona, přičemž je upuštěno od měření emisí. S provozem vozidla souvisí také případný servis. Osoba, která se bude zabývat opravami elektromobilů, musí mít platné osvědčení o vykonané zkoušce o odborné způsobilosti pro osoby pracující na elektrických zařízeních podle vyhlášky č. 50/1978. [17]

3 Pohonné jednotky pro elektrické automobily

Elektromobil samozřejmě vyžaduje odpovídající pohonnou jednotku. Elektromotor získává mechanickou energii přeměnou energie elektrické, která vzniká při průchodu elektrického proudu magnetickým polem (princip elektromagnetické indukce). Většinou se jedná o elektrický točivý stroj tvořený rotorem a statorem. Takový motor se může chovat i jako generátor, tzn. pracovat v obráceném režimu. V důsledku toho dokáže při brzdění vracet energii zpět do akumulátorů, a tím je dobíjet. Tento proces bývá označován jako rekuperace. [7]

Pro pohon elektromobilu je možné využít různé typy elektromotorů. Podle druhu napájecího napětí jsou rozeznávány motory stejnosměrné a střídavé, podle použití či absence mechanického komutátoru motory komutátorové a bezkomutátorové, podle způsobu buzení stroje s elektromagnetickým buzením nebo s permanentními magnety. [7; 23]

3.1 Komutátorové motory

Komutátorové motory obsahují kontaktní část spojenou s rotorem – komutátor. Mechanický komutátor je tvořen navzájem izolovanými měděnými lamelami, které spolu s uhlíkovými sběrači tvoří kluzný kontakt pro přívod elektrického proudu do rotoru. Problémovou vlastností tohoto kontaktu je jiskření, jehož rušivý účinek může velmi negativně ovlivňovat elektromagnetickou indukci. Konstrukce statoru se volí podle druhu napájení. [23]

3.2 Bezkomutátorové motory

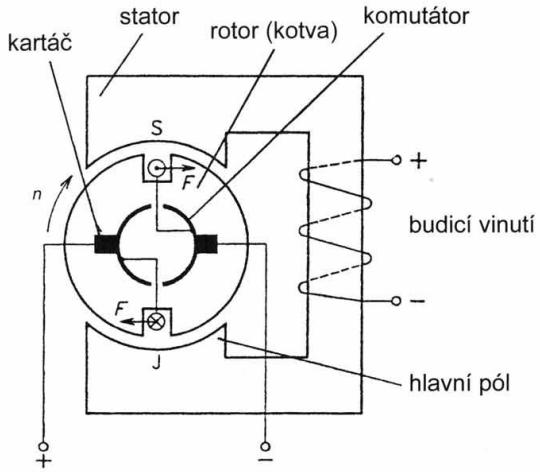
Bezkomutátorové, též bezkartáčové, motory jsou charakterizovány elektronickým komutačním systémem. Oproti mechanickým prvkům není toto řešení spojeno s hlukem. Motor vyniká snadným ovládáním, protože řídicí veličiny jsou snadno přístupné a konstantní po celou dobu provozu. V rotoru není proudová cirkulace, proto se nezahřívá. Díky použitým permanentním magnetům, které nespotřebovávají energii, jsou bezkartáčové motory ze všech elektromotorů nejúčinnější. K vysoké účinnosti motoru přispívá i absence mechanických komutátorů a kartáčů, které jsou jinak zdrojem velkého tření a vyžadují pravidelnou údržbu. To spoří náklady na údržbu motoru, jenž se vyznačuje spolehlivostí a dlouhou životností. Na druhé straně je však třeba pokrýt náklady na výrobu magnetů, které jsou získávány ze vzácných zemin. Tyto magnety umožňují dosáhnout vysokého krouticího momentu. Mohou být ovšem nebezpečné, neboť přitahují létající kovové předměty. [23; 24]

3.3 Stejnosměrné motory

Točivý stroj se skládá ze statoru a rotoru. Na pevném statoru jsou upevněny cívky budicího vinutí, elektromagnety a kartáče kroužků nebo komutátorů, případně permanentní magnety. Rotor (kotva) je otočnou částí stroje s magnetickým obvodem, vinutím a hřídelem, na němž mohou být nasazeny kroužky nebo komutátor. Magnetický tok je vybuzen budicím vinutím ve statoru, který je po obvodu opatřen pravidelně se střídajícími, magneticky opačně orientovanými, vyniklými póly. Proud do vinutí otáčejícího se rotoru je přiveden přes kartáče a komutátor, který zajišťuje periodickou změnu proudu do cívky kotvy, takže kotva rotuje ve vnějším magnetickém poli. Vhodným zajištěním vzájemného působení magnetických polí rotoru a statoru je vytvářen krouticí moment, který působí stále ve směru rotace. [25; 26; 1]

Jako výhodu stejnosměrného motoru lze uvést jednoduché řízení a příznivou cenu. Tyto stroje jsou silně přetížitelné. Obecně tento typ vyžaduje použití vícestupňové převodovky. [1]

Podle způsobu buzení jsou rozeznávány motory s buzením cizím, vlastním (sériový, paralelní, smíšený) nebo s permanentními magnety.



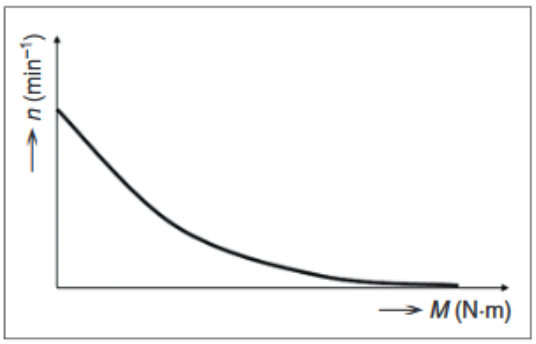
Obrázek 3: Schéma stejnosměrného motoru [26]

3.3.1 Motor s cizím buzením

Motor může být napájen pouze stejnosměrným napětím. Budicí vinutí statoru není propojeno s vinutím rotoru, ale je připojeno na vnější elektrický zdroj. Tato koncepce motoru je definována zvláště výhodnou momentovou charakteristikou. Motor vykazuje jednoduchou regulaci otáček v širokém rozsahu, plynulý přechod z jízdy na brzdění a může být napájen přímo z akumulátoru. Hraniční otáčky jsou omezeny na cca 7 000 min^{-1}. Využíván je také pro svou příznivou cenu. Proti výhodám hovoří nutná údržba komutátoru a kartáčů, které jsou náchylné k poruchám. [23; 1]

3.3.2 Motor se sériovým buzením

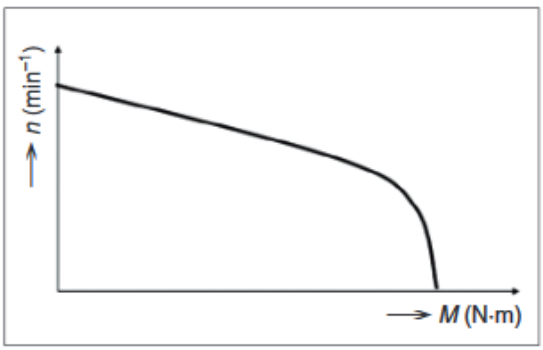
Sériový elektromotor může pracovat jak při napájení stejnosměrným, tak i střídavým napětím. Budicí vinutí statoru je s vinutím rotoru spojeno do série. Stojící motor disponuje obrovským počátečním krouticím momentem, čehož se využívá především u vozidel elektrické trakce (vlak, metro, tramvaj). S rostoucími otáčkami však moment rychle klesá. Motor musí být neustále zatížen. Je nepřípustné snížit zatížení k nule, protože otáčky naprázdno by mohly vzrůst natolik, že by odstředivou silou mohlo dojít k poškození stroje. Stroj se vyznačuje měkkou charakteristikou, což znamená, že jakákoli změna zatěžovacího momentu výrazně ovlivní otáčky. Tento stroj často nalezneme v levnějších přestavbách elektromobilů. [23; 25; 1]



Obrázek 4: Momentová charakteristika sériového motoru [23]

3.3.3 Motor s paralelním buzením

Tento elektromotor je taktéž uváděn jako paralelní nebo derivační. Může pracovat pouze při napájení stejnosměrným napětím. Elektromagnety statoru jsou připojeny paralelně s kotvou. Není problém provozovat motor při nulovém zatížení, otáčky naprázdno jsou dány budicím magnetickým tokem. Motor disponuje tvrdou charakteristikou, kdy má změna momentu jen nepatrný vliv na otáčky. Krouticí moment s narůstajícími otáčkami klesá pomaleji. Z tohoto důvodu se tento typ používá u většiny elektrovozidel. [23; 1]



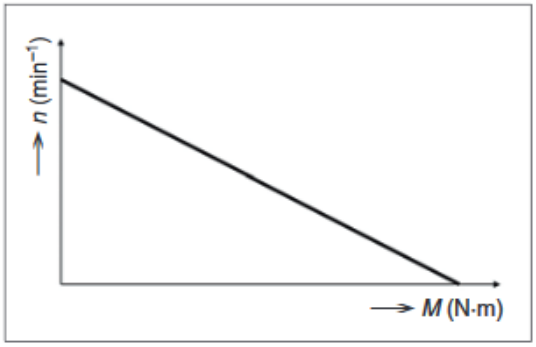
Obrázek 5: Momentová charakteristika derivačního motoru [23]

3.3.4 Motor se smíšeným buzením

Typ motoru, který má sériové i paralelní vinutí, jejichž magnetické toky působí buď souhlasně, nebo proti sobě, je známý pod pojmem kompaundní motor. Svým zapojením vinutí kombinuje výhody obou předešlých typů. Působí-li obě vinutí stejným směrem, má motor větší záběrný moment než motor s paralelním buzením. Působí-li sériové vinutí proti paralelnímu, udržuje motor otáčky při proměnném zatížení. Hojně se používá například u trolejbusů. [25; 1]

3.3.5 Motor s permanentními magnety

Tyto motory jsou vhodné pro napájení stejnosměrným napájením. K jejich rozvoji došlo až s vyvinutím permanentních magnetů s vysokou hustotou energie, a to především magnetů z kovů vzácných zemin. Motor má stator tvořený dvěma permanentními magnety a rotor ve formě elektromagnetu se dvěma póly. Kotva je připojena ke zdroji stejnosměrného napětí přes komutátor, který mění směr elektrického proudu a přepíná polaritu magnetického pole. Jejich otáčky lze řídit změnou napájecího napětí, čehož se často využívá. Tento typ umožňuje dosáhnout velkého výkonu, rychlosti a provozní účinnosti, patří proto mezi nejpoužívanější motory v automobilové technice. [23; 24]



Obrázek 6: Momentová charakteristika motoru s permanentními magnety [23]

3.4 Střídavé motory

Starší typ stejnosměrného motoru je u elektrovozidel stále častěji nahrazován motory střídavými. Při stejném výkonu jsou totiž podstatně menší a lehčí, vynikají jednodušší konstrukcí, robustností, bezúdržbovostí a silnou přetížitelností. Obíhajícímu rotoru nemusí být přiveden žádný proud, neboť je buzen rotujícím magnetickým polem. Tyto motory mohou dosáhnout otáček až 20 000 min^{-1}. Mezi nejrozšířenější patří třífázové synchronní motory s permanentními magnety a motory asynchronní. [1; 7]

3.4.1 Synchronní motor

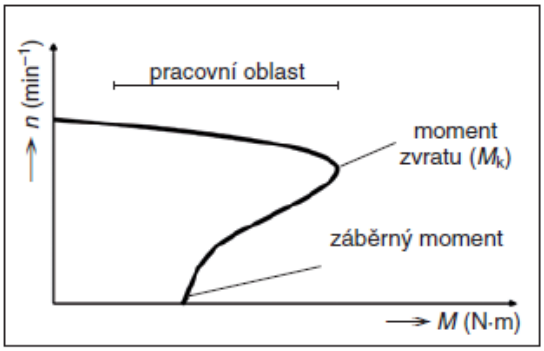
Tento bezkomutátorový motor je založen na přítomnosti točivého magnetického pole v jeho vzduchové mezeře. Pole je buzeno třífázovým statorovým vinutím. Rotor motoru tvoří magnet nebo elektromagnet. Rotor se snaží uchovat si svoji konstantní polohu vůči otáčivému magnetickému poli, tj. otáčí se stejnou rychlostí (synchronně). [26; 25]

Je třeba jej jiným strojem nebo pomocným asynchronním rozběhovým vinutím roztočit na pracovní otáčky. Pokud pod zátěží ztratí synchronizaci s rotujícím polem, skokově klesne jeho výkon a zastaví se. Nejčastěji se používá jako alternátor, ovšem v současnosti nalézá uplatnění i v pohonu dopravních prostředků. [25]

3.4.2 Asynchronní motor

V souvislosti s asynchronním motorem se můžeme setkat s názvem indukční motor. Asynchronní motor je obvykle napájen třífázovým střídavým napětím. Princip tohoto zařízení je založen na vytvoření točivého magnetického pole ve vzduchové mezeře, která by z hlediska účinnosti měla být co nejmenší. Toto pole indukuje napětí v rotoru, který se většinou skládá ze sady vodivých tyčí, uspořádaných do tvaru válcové klece. Proud tyčí v magnetickém poli statoru vyvolává sílu, která otáčí rotorem. Statorové vinutí je rozloženo v drážkách, přičemž jeho jednotlivé svazky jsou vzájemně pootočeny o 120 stupňů, takže jím protéká souměrná soustava proudů. Toto vinutí vyvozuje točivé magnetické pole. [23; 26; 25; 1]

Asynchronní motor svou technickou dokonalostí stále více vytlačuje motory stejnosměrné. Ve srovnání s nimi má tento stroj nízkou hmotnost a vysokou účinnost, které jsou zvláště důležité pro aplikace u elektrických vozidel. Další výhodou třífázového motoru je absence vinutí kotvy i kolektoru. Při brzdění je možné velmi účinně realizovat zpětné získávání energie. Nevýhoda spočívá v nákladném řízení motoru, a tím pádem i vyšší ceně. [1; 24]



Obrázek 7: Momentová charakteristika asynchronního motoru [23]

4 Akumulátory a jejich parametry

Elektrická energie potřebná k provozu je ve voze ukládána v trakčních akumulátorech. V souvislosti s nimi se často setkáváme i s označením baterie. Jak primární články (baterie), tak i sekundární články (akumulátory) mění chemickou energii přímo na elektrickou, ovšem chemické procesy v nich probíhají opačně. Zásadním rozdílem mezi uvedenými elektrickými články je pak skutečnost, že akumulátory lze na rozdíl od baterií opakovaně nabíjet. Protože jednotlivé články většinou nedosahují požadovaného napětí, jsou propojovány ve větší celky a osazeny řídicí elektronikou. Vzniklé bateriové moduly mohou být následně umístěny do bateriových skříní, které zajišťují jejich bezpečné a chráněné uložení. [1; 27; 28]

4.1 Princip akumulátoru

Galvanický článek tvoří dvě elektrody z různých materiálů, ponořené do kapalného nebo pevného elektrolytu, který obsahuje elektricky nabité částice. To umožňuje vodivé spojení mezi oběma elektrodami. Napětí mezi kladnou elektrodou (anodou) a zápornou elektrodou (katodou) galvanického článku závisí na materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. [1]

4.2 Parametry akumulátoru

Akumulátor můžeme označit za hlavní součást elektrického vozidla. Svými parametry udává samotné vlastnosti elektromobilu. Na trakční akumulátory jsou kladeny požadavky rychlého nabíjení, bezúdržbovosti a vysoké životnosti. Také by měly umožnit jízdní výkon větší než 50 000 km, dosahovat energetické hustoty alespoň 200 Wh/kg a výkonové hustoty zhruba 100 W/kg. Přesto by měly zůstat cenově přijatelné. Kromě předešlých parametrů je sledováno i samovybíjení, teplotní stabilita, bezpečnost nebo rozměry a hmotnost akumulátoru. [1]

Kapacita [Ah]: Mezi nejdůležitější zkoumané vlastnosti akumulátoru bezesporu patří kapacita neboli množství elektrické energie uložené v článku. Udává, kolik proudu je článek schopný dodávat za jednotku času. [29]

Jmenovité napětí [V]: Vhodně zvolená přibližná hodnota napětí používající se pro identifikaci článku. Zastupuje skutečné napětí, jehož hodnota se v závislosti na řadě faktorů pohybuje v určitém intervalu a není dána jediným údajem. [29]

Energetická hustota [Wh/kg]: Hustota energie představuje množství energie na jednotku hmotnosti určuje dojezd elektromobilu. [1]

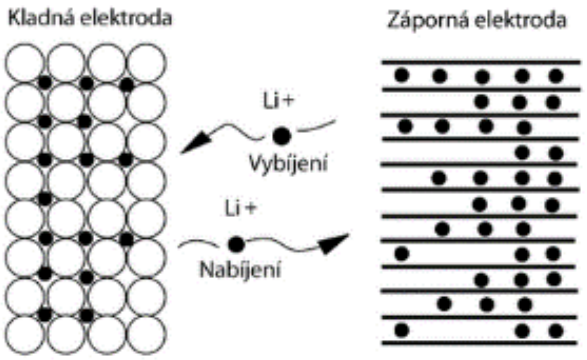
Výkonová hustota [W/kg]: Parametrem, jenž charakterizuje konečnou rychlost a zrychlení vozidla, je hustota výkonu. Jedná se odnímatelný elektrický výkon na jednotku hmotnosti. [1]

Samovybíjení: Článek samovolně ztrácí energii jiným způsobem než vybíjením do vnějšího obvodu. [29]

Provozní životnost: Životnost akumulátoru se obvykle vyjadřuje počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů. Mimo jiné závisí i na hloubce vybíjení. [29]

4.3 Lithium-iontový akumulátor (Li-ion)

Mezi nejběžnější akumulátory používané v oblasti pohonu elektromobilů v současné době patří články na bázi lithia, konkrétně články lithium-iontové, které vytlačily dříve používané články olověné a niklové. Jsou známé pod zkratkou Li-ion a svůj název získaly od iontů lithia Li^+, které při nabíjení přechází z anody na katodu a při vybíjení opačným směrem. Anodu tvoří uhlíková matrice z grafitizovaného koksu, katoda se skládá z kombinace lithia a dalších prvků (např. nikl, kobalt, mangan). Elektrolytem je lithiová sůl v organickém rozpouštědle. [24; 1]



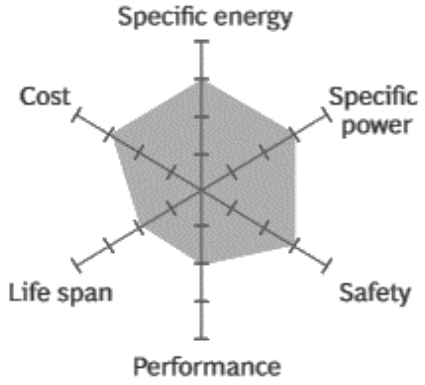
Obrázek 8: Princip nabíjení a vybíjení lithium-iontového akumulátoru [30]

Z elektrochemického hlediska umožňuje lithium vysoké napětí, což vede k vysoké energetické a výkonové hustotě. Kapacita těchto článků silně závisí na teplotě. Dosahují životnosti okolo 1 000 cyklů, přičemž jejich vývoj neustále pokračuje. To snižuje i náklady na jejich pořízení. Oproti niklovým akumulátorům netrpí tzv. paměťovým efektem. Vynikají nízkou hmotností, nízkým samovybíjením, navíc nejsou z hlediska životního prostředí nijak závadné. Na druhé straně stojí fakt, že mají velký vnitřní odpor. Jsou velice náchylné na přebíjení a hluboké vybíjení, proto musí obsahovat řídicí elektronické obvody. [24; 1; 30]

Materiál trakčního akumulátoru by měl umožnit dostatečný počet cyklů a zároveň s tím zajistit co nejnižší pravděpodobnost jeho exploze. Existuje mnoho kombinací materiálů pro nejrůznější užití, pro aplikace v elektromobilech jsou vhodné následující typy Li-ion článků, jejichž charakteristické parametry jsou zobrazeny v ***Příloze A***. Z uvedených typů poskytuje nejvíce specifické energie článek NCA, nicméně akumulátory LMO a LFP se ukazují jako vhodnější z hlediska dosahovaného výkonu a tepelné stability. Nejdelší životností se může chlubit článek LTO. [31]

4.3.1 Článek lithium-mangan-oxid (LMO)

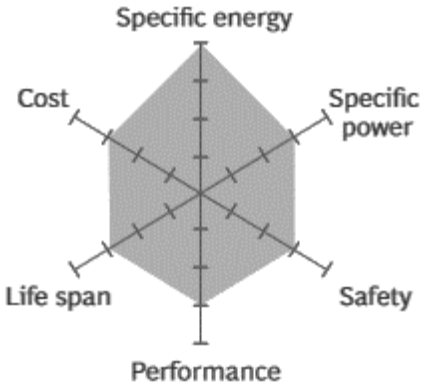
Katoda z oxidu manganu a lithia svou spinelovou strukturou zlepšuje tok iontů k elektrodám. To vede k nižšímu vnitřnímu odporu, následkem čehož lze článek rychle nabíjet. LMO má vysokou teplotní stabilitu i bezpečnost, avšak provozní životnost je poměrně omezena. Články se vyrábí ve dvou verzích. Vysokokapacitní jsou využívány výrobci spotřební elektroniky pro maximalizaci výdrže provozu. Lithium-manganové akumulátory s delší životností se hodí pro hybridní vozidla. [31]



Obrázek 9: Parametry článku LMO [31]

4.3.2 Článek lithium-nikl-mangan-kobalt (NMC)

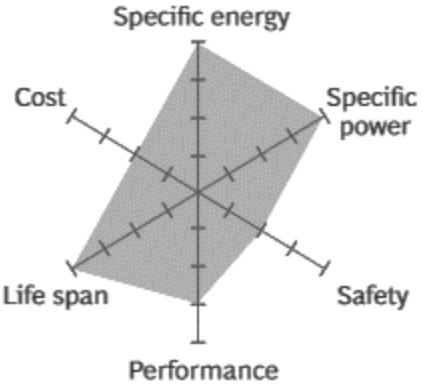
Jedinečné použití manganu, niklu a kobaltu kombinuje výhody těchto prvků. Mangan vytváří strukturu s nízkým odporem. Třetinové nebo menší zastoupení drahého kobaltu na katodě snižuje cenu článku. Oproti němu se nikl vyznačuje nižšími náklady, navíc má vysokou energetickou hustotu a dobrou životnost. Článek tak disponuje vynikající specifickou energií, vysokým výkonem a dlouhou životností. Také poskytuje vysoký proud, který podporuje zrychlení elektrických a hybridních vozidel, u kterých pro své vlastnosti v současnosti dominuje. [31]



Obrázek 10: Parametry článku NMC [31]

4.3.3 Článek lithium-nikl-kobalt-hliník (NCA)

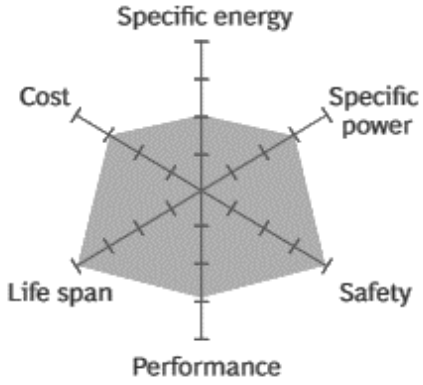
Akumulátor s přidaným hliníkem, který mu dává větší stabilitu, má vysokou specifickou energii, dobrý výkon a dlouhý životní cyklus. Už méně pozitivní je jeho bezpečnost a cena. Oproti akumulátoru NMC se může pyšnit nižší hmotností. Pro své výhody ovládá spolu s tímto článkem přední pozice pro pohonné jednotky elektrických vozidel. [31]



Obrázek 11: Parametry článku NCA [31]

4.3.4 Článek lithium-železo-fosfát (LFP)

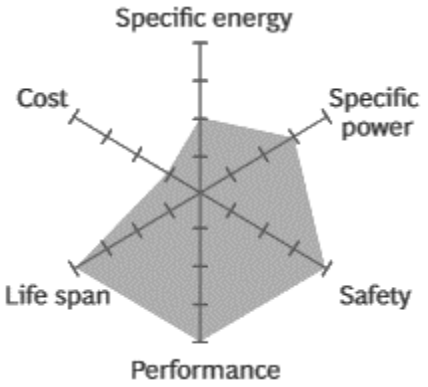
Katoda z fosforečnanu železnato-lithného se vyznačuje nízkým vnitřním odporem a nabízí vysoký elektrochemický výkon. Hlavními výhodami je dlouhý životní cyklus, teplotní stabilita a vynikající bezpečnost vůči explozi. Typ dobře odolává proudovému přetěžování i hlubokému vybíjení. Oproti dalším typům má nižší jmenovité napětí, které snižuje energetickou hustotu. Ve srovnání s nimi vykazuje vyšší samovybíjení. Nízké teploty zapříčiňují pokles výkonu, naopak zvýšené provozní teploty snižují životnost akumulátoru. [31]



Obrázek 12: Parametry článku LFP [31]

4.3.5 Článek lithium-titan-oxid (LTO)

Nanokrystaly titanitanu lithného v tomto typu lithium-iontového akumulátoru nahrazují typickou grafitovou anodu, katoda může být z oxidu lithia a manganu nebo NMC. To umožňuje vytvořit mnohem větší plochu anody, která tak může být zatěžována vyššími proudy. LTO vyniká skvělou životností i výkonem při nízkých teplotách. Navíc se jedná o jeden z nejbezpečnějších lithium-iontových článků. Díky nízkému napětí lze článek rychle nabíjet. Akumulátory jsou ovšem drahé a poskytují nižší množství měrné energie. Typicky se používají pro elektrické pohonné jednotky. [31]



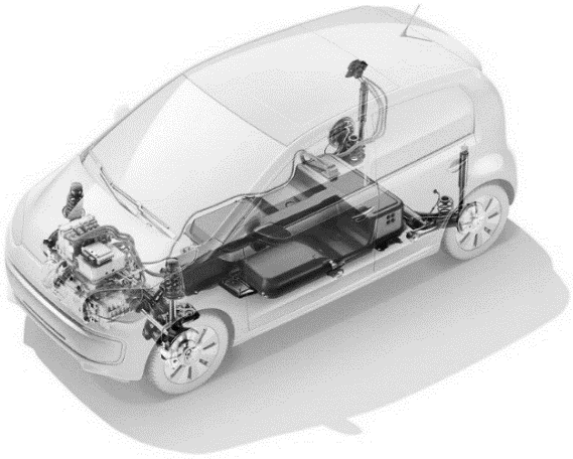
Obrázek 13: Parametry článku LTO [31]

5 Konstrukční úpravy při osazení vozidla elektromotorem, změny jízdních vlastností

Při přestavbě automobilu je možné využít společnosti, které se na takovéto přestavby a úpravy specializují. Ty však své služby nabízí především firmám, které zadávají větší zakázky, např. na přestavbu firemní flotily vozidel. Přestavba jednoho vozu by tak byla velmi nákladnou záležitostí a zadavateli by se finančně nevyplatila. Z toho důvodu se stala hlavně doménou domácích kutilů a nadšenců, kteří se o ni vlastním silami pokouší. K tomu jsou však kromě nezbytného vybavení potřebné i odborné znalosti a dovednosti. Člověk se musí v problematice sám orientovat nebo musí požádat o radu odborníka. Proces přestavby vyžaduje vědomosti z oblasti konstruování vozidel, elektrických zařízení, mechanických výpočtů, materiálů a dalších oborů. Osoba pracující s elektrickými zařízeními navíc musí být držitelem osvědčení o odborné způsobilosti podle vyhlášky č. 50/1978. Dle zákona č. 56/2001 je třeba žádost o povolení přestavby doložit i výkresovou dokumentací a návrhem na změnu technických údajů automobilu. [12]

Obecně se pro tento účel využívají starší vozy, ale chybí dostatek informací o jejich přestavbách, neboť ty se realizují především v soukromých dílnách. Pro srovnání klasického automobilu a elektromobilu byl proto vybrán hatchback s předním pohonem Volkswagen Up! a jeho elektrický protějšek Volkswagen e-Up!. Protože se předpokládá, že vůz bude využíván v městském provozu, byla zvolena základní verze vozidla Volkswagen Up! s nejméně výkonným zážehovým motorem o 44 kW. K ní lze také dohledat nejvíce technických údajů. Elektrický Volkswagen e-Up! se vyrábí pouze v jedné specifikaci s elektromotorem o výkonu 60 kW. Charakteristické parametry obou vozů jsou spolu s parametry navrhovaného vozidla uvedeny v ***Příloze B***. [32; 33]

Obrázek 14: Volkswagen Up! [32]



Obrázek 15: Volkswagen e-Up! [34]

5.1 Demontáž nevyužitelných částí vozidla

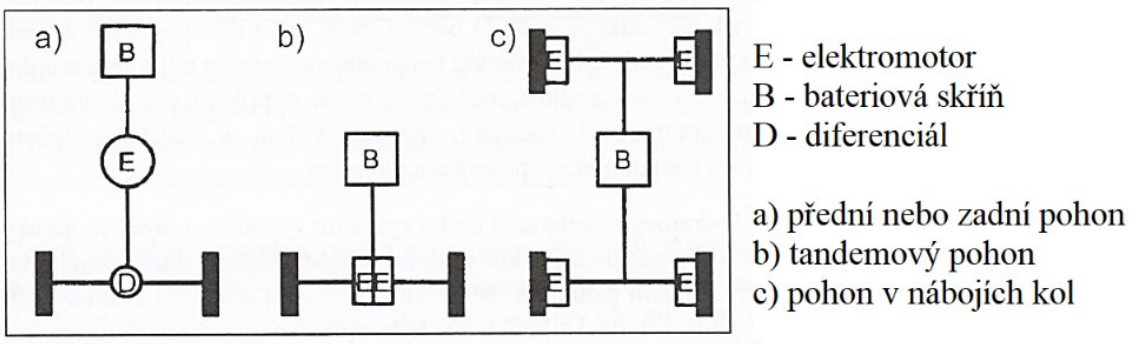
Přestavba spočívá v demontáži komponentů, které souvisí s pohonem pomocí spalovacího motoru, a jejich nahrazení částmi nezbytnými pro elektrický pohon. Z hlediska elektromobilu se nepotřebnou součástí stává spalovací motor, převodovka, startovací akumulátor, palivová nádrž a výfuk. V případě, že přestavba bude zahrnovat osazení vozidla čtyřmi elektromotory umístěnými přímo v nábojích kol, odstraní se i diferenciál. Demontované části je naopak nutné nahradit elektromotorem, bateriovou skříní s akumulátory, jejich řídicí jednotkou (BMS), měničem napětí, palubní nabíječkou, kabeláží a dalšími součástmi.

Je třeba vzít v úvahu, že demontáží spalovacího motoru dojde ke ztrátě zdroje podtlaku pro posilovač řízení. Pak se musí nalézt jiné řešení pro ovládání posilovače. Protože se jedná o zásah do brzdového systému, doprovází ho následné přezkoušení. [35]

5.2 Elektromotor

Jedním z konstrukčních kroků, které je třeba vyřešit, je výběr a umístění elektromotoru. Pohonný agregát by měl zajistit dostatečný výkon, zároveň by však měl disponovat co nejnižší hmotností . Pro danou aplikaci musí motor vyhovovat též konstrukčně. V podstatě se jedná o výběr vhodné modifikace ze souboru typizovaných horizontálních nebo vertikálních konstrukcí motorů, o určení odpovídajícího způsobu chlazení a o stanovení přiměřeného stupně krytí motoru a jeho případného elektrického příslušenství. [26]

Z hlediska koncepce je možné motor umístit na přední i zadní nápravu. Obecně je výhodnější použití pohonu zadních kol, kde se krouticí moment elektromotoru dokáže efektivněji přenést na vozovku. Přidáním druhého elektromotoru na přední nápravu pak lze realizovat pohon všech kol. Často se používá i pohon přední nebo zadní nápravy spolu s centrálním elektromotorem. Jako alternativa se nabízí také tandemové hnací systémy se dvěma elektromotory, případně elektromotory umístěné přímo v nábojích kol. [7; 4]



Obrázek 16: Uspořádání hnacího ústrojí elektromobilu [4]

Protože motor dosahuje vysokých otáček, je nutné vyřešit nároky na ložiska, která umožňují jeho uchycení. Ta musí zajistit spolehlivé zachycení dynamických momentů a zaručit, že hřídele motoru nebudou při jeho provozu měnit polohu vůči hřídelům poháněných zařízení. Zároveň potlačují přenos hluku otáčejícího se motoru do okolí. [7; 26]

Elektromotor musí splňovat bezpečnostní předpisy. Před uvedením do provozu se provádí revize, která zahrnuje například měření izolačního stupně krytí, kontrolu ložisek, zapojení motoru a smysl otáčení, zajištění ochrany před úrazem, kontrolu čistoty komutátoru a sběracích kroužků, nebo ověření mechanické vazby s poháněnými zařízeními. [26]

Pro teoretickou přestavbu poslouží vodou chlazený elektromotor, který dosahuje stejného výkonu jako motor sériového Volkswagenu e-Up!. Shodně se jedná o střídavý synchronní motor s permanentními magnety o výkonu 60 kW, speciálně určený pro aplikace v elektrických a hybridních vozidlech. Parametry vybraného motoru *Kolektor EVM 400/190* jsou uvedeny v ***Příloze C***. Motor vyhovuje předpisům EHK OSN, jež byly zmíněny ve druhé kapitole, a bude, stejně jako u vozidla Volkwagen e-Up!, umístěn na přední nápravě. [36]

5.3 Akumulátor

Zvláštní pozornost je třeba věnovat akumulátorům, které vzhledem ke své váze vyžadují kvalitní podvozek. Konstrukce trakčního akumulátoru vychází z umístění ve vozidle. Kompaktní celek bateriové skříně se často ukládá do podlahy elektromobilu v oblasti těžiště tak, aby byl co nejblíže vozovce. Tuto pozici zaujímá i u vozu Volkswagen e-Up!. Je vhodné vyhnout se nadměrnému zatížení před osou přední nápravy a za osou zadní nápravy. Problémem všech typů akumulátorů jsou také nároky na zástavbový prostor ve srovnání s klasickou palivovou nádrží. [1; 37]

Kapacita akumulátorů u Volkswagenu e-Up! dosahuje 18,7 kWh. Pokud by při přestavbě bylo použito 144 článků *GWL Power WB-LYP40AHA LiFeYPO4* s parametry uvedenými v ***Příloze D***, měl by akumulátor celkovou kapacitu 18,4 kWh. Energetický zásobník složený například z 12 modulů po 12 článcích by pak disponoval napětím 461 V. [38]

5.4 Změna hmotnosti vozu a jeho jízdních vlastností

Výpočet hmotnosti upraveného vozidla vychází z předpokladu, že tříválcový motor o objemu 1,0 litru ve Volkswagenu Up! váží zhruba 77 kg, jeho převodovka MQ100 přibližně 27 kg, palivová nádrž 20 kg, startovací akumulátor 12 kg a výfuk 20 kg. Pohotovostní hmotnost

automobilu přitom činí 929 kg. Po demontáži výše uvedených částí vozu váží vůz 773 kg. Pro zjednodušení je zanedbána hmotnost řídicí jednotky BMS, palubní nabíječky, měniče napětí, instalačního materiálu a dalších potřebných komponentů. [32; 36]

Po nahrazení spalovacího motoru elektromotorem o váze 62 kg se hmotnost automobilu dostává na 867 kg. Další položkou, kterou je nutné k váze vozu připočítat, je hmotnost sestavy akumulátorů, která tvoří nejpodstatnější část přestavby. Jelikož jeden článek má 1,6 kg a celý energetický zásobník sestává ze 144 článků, vychází jeho hmotnost na 230 kg, tedy přesně jako u sériového VW e-Up!. Dále je přidán měnič napětí o hmotnosti 8 kg. V součtu je pohotovostní hmotnost přestaveného vozidla 1 073 kg a od VW e-Up! se liší o 141 kg. [38]

Tabulka 1: Přehled demontovaných a montovaných komponentů vozidla

DEMONTÁŽ	hmotnost [kg]	MONTÁŽ	hmotnost [kg]
spalovací motor	77	elektromotor	62
převodovka	27	akumulátory	230
palivová nádrž	20	měnič napětí	8
startovací akumulátor	12		
výfuk	20		
CELKEM	**156**	**CELKEM**	**300**

Přestavba na elektromobil váží o 144 kg více než automobil se spalovacím motorem. Jízdní vlastnosti upraveného vozidla jsou částečně podmíněny vlastnostmi samotného vozu před přestavbou. Zvýšenou hmotnost lze kompenzovat namontováním tvrdších pružin tlumičů. Pokud dojde k realizování pohonu v nábojích kol, bude automobil trpět horšími jízdními vlastnostmi z důvodu větší neodpružené hmoty.

Zhodnocení jízdních vlastností přestavovaného vozu vychází z předpokladu, že bude vykazovat podobné chování jako VW e-Up!, neboť nejtěžší komponenty, tj. elektromotor a akumulátory, budou umístěny na stejných pozicích. Jelikož elektromotor okamžitě poskytuje maximum krouticího momentu, nabízí automobil svižný start. Vozidlo se vyznačuje tužším podvozkem. I přes vyšší hmotnost dokáže rychle měnit směr jízdy a dobře tlumit nerovnosti vozovky. Další výhodou elektromotoru je kromě plynulého tahu také minimální hluk. Z testu vychází tento elektrický vůz jako automobil s perfektními jízdními vlastnostmi, za které by se nemuselo stydět ani vozidlo se spalovacím motorem. [39]

6 Rozhodující kritéria pro zvážení přestavby vozu

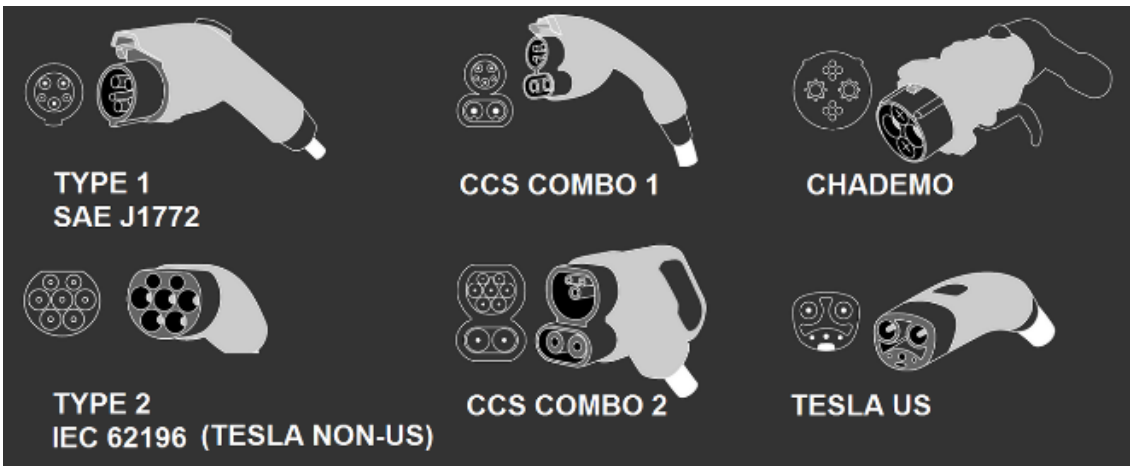
Dříve než se člověk pro elektromobil rozhodne, je nutné dobře promyslet, kolik kilometrů ročně najezdí, v jakém terénu, na jaké vzdálenosti nebo jaké má možnosti nabíjení vozu. Nezanedbatelným hlediskem je samozřejmě i cena, kterou je ochoten do vozidla investovat.

6.1 Možnosti nabíjení vozidla

Zkoumaným parametrem elektrovozidel je jejich dojezdová vzdálenost, které mohou dosáhnout po jednom plném nabití. S narůstající kapacitou akumulátorů se dojezd zvyšuje, v průměru se v současnosti jedná o vzdálenost 200 až 300 km. Pokud kapacita akumulátorů zajišťuje dostatečnou vzdálenost, vyplatí se dobíjet akumulátory doma. Děje se tak prostřednictvím domácí nabíjecí stanice, tzv. wallboxu, nebo speciálních kabelů. Na výběr je z několika variant s různým výkonem. Platí, že čím vyšší výkon, tím rychlejší nabíjení, ale i cena zařízení. K plnému dobití v domácích podmínkách je třeba okolo 8 hodin. [39]

V situaci, kdy je potřeba urazit větší vzdálenost, lze využít veřejných nabíjecích stanic od různých dodavatelů energie, z nichž největší počet patří společnosti ČEZ. Na území České republiky jsou dostupné stanice pro běžné a rychlé nabíjení. U běžného, pomalejšího nabíjení zabere plné nabití akumulátorů 1 až 3 hodiny. Oproti tomu proces na rychlodobíjecí stanici trvá 20 až 30 minut. [40]

Spojení s napájecím zařízením je zabezpečeno pomocí kabelu s konektorem. Konektory a zásuvky se vyrábí v několika standardech, které jsou používané převážně v rámci jednotlivých kontinentů. Jedná se například o koncovku Mennekes, kterou využívá většina evropských vozů (Volkswagen, BMW, Mercedes-Benz), nebo o standard Yazaki CHAdeMO pro japonské a francouzské automobily (Nissan, Peugeot, Citroën). [17; 39]



Obrázek 17: Typy konektorů pro nabíjení elektromobilů [41]

6.2 Infrastruktura nabíjecích stanic

Nabíjení nočním proudem v pohodlí domova se jeví jako příhodnější varianta, ovšem ne vždy je tato možnost k dispozici. V tom případě je vhodné si zjistit, kde se nachází veřejné stanice, ať už v okolí bydliště nebo na plánované cestě mimo domov. S tím souvisí i změna jízdních návyků řidiče, který bude nucen více přemýšlet o tom, kde a kdy bude vozidlo nabíjet.

Síť dobíjecích bodů není na území České republiky dosud tak rozsáhlá jako síť čerpacích stanic. Jejich počet však stále stoupá a energetické společnosti se zasazují o vybudování dalších dobíjecích míst. Současná infrastruktura energetické skupiny ČEZ zahrnuje zhruba 90 rychlonabíjecích a 58 standardních stanic. Figurují zde ovšem i jiné společnosti. Hustota evropské sítě se zvýrazněnou Českou republikou je znázorněna v ***Příloze E***. Zde je vidět, že už dnes není problém většinu Evropy s elektromobilem projet, přičemž se v následujících letech očekává další rozšíření infrastruktury. [40; 42]

6.3 Nízkoemisní zóny

Nízkoemisní zóny jsou oblasti, do kterých je omezen vjezd pouze automobilům s platnou ekologickou známkou, tzv. emisní plaketou. Důvodem vyhlášení těchto zón je ochrana životního prostředí, zdraví obyvatel a snížení hluku ve městech. [43; 44]

Emisní plaketa se vydává na základě plnění emisních norem EURO. Podle míry produkovaných emisí se rozlišují kategorie vozidel, přičemž platí, že čím ekologičtější vozidlo, tím vyšší známku získá. Známky existují v různém provedení dle země, která je vydává. Vozidla s nejhoršími parametry známku nezískají a nemohou navštívit žádnou ze zón. Normu EURO 1 splňují vozidla od roku výroby 1993, EURO 2 od roku 1997, EURO 3 od roku 2001 a EURO 4 zhruba od roku 2006. Automobily se zážehovým motorem a třícestným katalyzátorem by neměly mít potíže se získáním nejvyšší kategorie. Proces bude náročnější u vozů se vznětovými motory. [44; 45]

V rámci České republiky zatím nebyly žádné zóny zřízeny, větší města v čele s Prahou o nich však uvažují. Mezi evropské průkopníky ve vyhlašování zón se řadí Švédsko, Německo, Nizozemsko a Dánsko. Pokud se tedy majitel elektromobilu rozhodne do těchto zemí se svým vozem vydat, nemusí žádná omezení řešit, protože elektrické vozy automaticky spadají do nejvyšší emisní kategorie, a mají tak neomezený přístup do všech zón. Dá se předpokládat, že s rostoucí podporou elektromobility bude emisních zón přibývat po celém světě, což pro elektrické vozy představuje výhodu. [45]

6.4 Náklady na vozidlo

Rozhodujícím aspektem, který hraje v pořízení jakéhokoli automobilu snad nejvýznamnější roli, je výše nákladů na jeho pořízení, provozování a údržbu. Na první pohled by se mohlo zdát, že opěvované elektromobily vychází za všech okolností levněji než vozy se spalovacím motorem, ale není to tak jednoznačné.

Další náklady přibývají při přestavbě vozu. V každém případě je nutné nějaké vozidlo vlastnit. Aby mohla být porovnána klasická a elektrická verze téhož vozidla, bylo z důvodu dostupnosti parametrů uvažováno, že pro přestavbu bude použito zcela nové vozidlo. Je logické, že ve skutečnosti by bylo přestavováno vozidlo starší. Takový automobil by ovšem trpěl opotřebením a častěji by se u něj vyskytovaly závady, což by zapříčinilo nárůst neplánovaných servisních úkonů. U nového vozu se očekává, že se žádné poruchy nějakou dobu vůbec neobjeví. Vybraný model Volkswagenu Up! je nabízen s cenovkou 232 900 Kč. Pro srovnání počátečních investic lze jeho elektrický protějšek pořídit o 302 000 Kč dráž. [32; 33]

6.4.1 Náklady na přestavbu

Úpravě vozu svépomocí předchází mnohdy zdlouhavý administrativní boj s úřady, v němž je nutné doložit, že vozidlo na zkušebně absolvovalo zákonem stanovené zkoušky. Ty samozřejmě nejsou zdarma. Ceny jednotlivých testů se pohybují okolo částek uvedených v ***Tabulce 2***. [46]

Tabulka 2: Náklady na zkoušky vozidla po přestavbě [46]

zkouška	cena [Kč]
posouzení vozidla dle EHK OSN č. 100	10 000 – 12 000
brzdy	10 000
odrušení	10 000
ověření hmotnosti	3 000
schválení technické způsobilosti po přestavbě	1 000
CELKEM	**35 000**

Už v této fázi dosahuje vynaložená částka výše 35 000 Kč. Samotná přestavba pak vyžaduje pořízení elektromotoru(ů), energetického zásobníku a dalších nezbytných komponentů, které musí být homologovány. Cenu konkrétního elektromotoru se nepodařilo dohledat, v zásadě se však částka za podobnou pohonnou jednotku pohybuje okolo 50 000 Kč. Při ceně 1 740 Kč za jeden elektrický článek, kterých bude použito 144, se náklady na

akumulátory vyšplhají na 250 560 Kč. Jak je uvedeno v ***Tabulce 3***, celkové náklady za umožnění a provedení přestavby dosahují částky 335 560 Kč. K ceně uvedených zařízení mohou být navíc připočítány také náklady na dovoz ze zahraničí. [38]

Tabulka 3: Zjednodušené náklady na přestavbu vozidla

položka	cena [Kč]
schvalovací zkoušky	35 000
elektromotor	50 000
akumulátory	250 560
CELKEM	**335 560**

6.4.2 Náklady na provoz a údržbu

Již v první kapitole bylo zmíněno, že se elektromobily hodí zejména na krátké vzdálenosti, například v rámci měst a přilehlých oblastí pro cestu do zaměstnání. Pro zjednodušení následujících výpočtů je uvažován celý kalendářní rok bez ohledu na případné nevyužívání vozu. Při nájezdu průměrných 60 km za den, ujede vozidlo ročně 22 000 km, k nimž je připočítána rezerva 8 000 km na delší cestování. Roční nájezd automobilu tedy činí okolo 30 000 km.

Volkswagen Up! s benzínovým tříválcem má kombinovanou spotřebu 4,2 l/ 100 km. Litr benzínu stojí 32 Kč. Za jeden rok automobil spotřebuje 1 260 l benzínu, za který majitel zaplatí 40 320 Kč. S elektromobilem Volkswagen e-up! se spotřebou 11,7 kWh/ 100 km, kdy jedna kilowatthodina stojí 4,24 Kč, vyjde stejné cestování na 14 882 Kč. Vozidlo přitom spotřebuje 3 510 kWh elektrické energie. Z porovnání v ***Tabulce 4*** je zřejmé, že provoz elektromobilu vyjde výrazně levněji než provoz vozu se zážehovým motorem. [32; 33]

Tabulka 4: Náklady na pohonné médium

počet najetých kilometrů	doba užívání vozu	Volkswagen Up!	Volkswagen e-Up!
30 000	1 rok	40 320 Kč	14 882 Kč
120 000	4 roky	161 280 Kč	59 528 Kč
360 000	12 let	483 840 Kč	178 584 Kč

Zážehový motor je poměrně složitý, tím pádem i poruchový. Od toho se odvíjí i cena jeho servisu. Ve srovnání s automobilem na benzín je údržba elektromobilu mnohem jednodušší, odpadá zde například výměna oleje, olejového filtru či zapalovacích svíček. Navíc by do nákladů na údržbu byly započítány i neplánované opravy, které zde však pro zjednodušení uvedeny nejsou. Jednotlivé servisní úkony, cena jejich provedení a náklady na jeden kilometr jsou uvedeny v ***Tabulce 5***. Na druhou stranu je u elektrických vozidel třeba počítat s výměnou akumulátorů, jejichž životnost je omezena nedokonale probíhajícími chemickými procesy. V tradiční záruce jsou 8 let. Uvažované akumulátory by však dle výrobce měly vydržet 20 let. Ceny zařízení pro domácí nabíjení se pohybují v průměru okolo 12 000 za kabel a 35 000 Kč za wallbox. [47; 4; 39]

Tabulka 5: Servisní náklady zážehového motoru [47]

	položka	proběh	cena	náklady/km
		[km]	[Kč]	[Kč]
plánované opravy	výměna oleje a filtru	15 000	1 350	0,090
	výměna vzduchového filtru	30 000	1 000	0,033
	servisní prohlídka	30 000	5 000	0,167
	výměna rozvodů	120 000	3 500	0,029
	výměna svíček	40 000	1 000	0,025
			CELKEM	**0,344**

Tabulka 6 znázorňuje servisní náklady, se kterými je třeba počítat po ujetí daného počtu kilometrů.

Tabulka 6: Servisní náklady na určitý počet najetých kilometrů

položka	náklady/km	náklady/30 000 km	náklady/120 000 km	náklady/360 000 km
	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]
výměna oleje a filtru	0,090	2 700	10 800	32 400
výměna vzduchového filtru	0,033	990	3 960	11 880
servisní prohlídka	0,167	5 010	20 040	60 120
výměna rozvodů	0,029	870	3 480	10 440
výměna svíček	0,025	750	3 000	9 000
CELKEM	**0,344**	**10 320**	**41 280**	**123 840**

6.4.3 Celkové náklady

Výše bylo ukázáno, že elektrické auto je z hlediska nákladů na provoz podstatně méně náročné. Do celkových nákladů je ale nutné zahrnout i počáteční investici, tj. pořízení vozidla. V tomto ohledu cena elektrického auta značně převyšuje cenu auta běžného. Všeobecně se tvrdí, že elektromobil vrací svému majiteli vloženou investici pomalu, ale jistě. Z následující ***Tabulky 7*** vyplývá, že investice do elektromobilu se začne majiteli vyplácet teprve po ujetí více než 360 000 km, tedy přibližně po dvanácti letech užívání. Jelikož jsou automobily v dnešní době brány spíše jako spotřební zboží, které se po několika letech obměňuje, nabízí se zamyšlení, jaká je pravděpodobnost, že by se sériovým vozem někdo takto dlouho jezdil. Taková situace by se dala brát za více reálnou v případě přestavby, při které by majitel do vozidla investoval značné finance i svůj čas.

Tabulka 7: Náklady na pořízení vozidla a pohonné médium

počet najetých kilometrů	doba užívání vozu	Volkswagen Up!	Volkswagen e-Up!
30 000	1 rok	273 220 Kč	549 782 Kč
120 000	4 roky	454 180 Kč	594 428 Kč
360 000	12 let	716 740 Kč	713 484 Kč

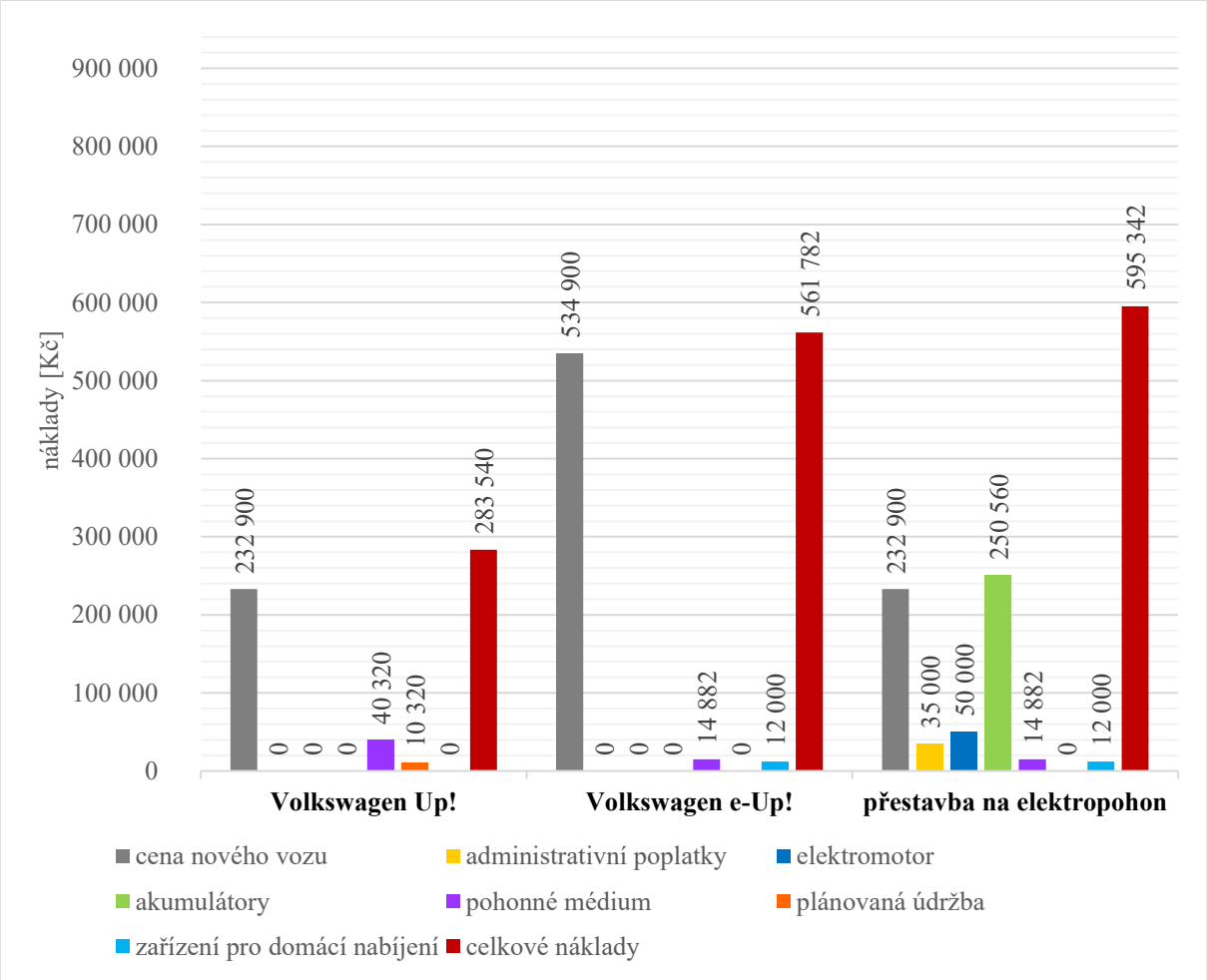
Finanční zátěž, kterou přináší vlastnictví vozidla, se ovšem neskládá pouze z prostředků na jeho pořízení a koupi pohonného média. Obnáší i částky na úkony pravidelné údržby nebo na placení povinného ručení a havarijního pojištění. Cena povinného ručení je určována podle parametrů motoru. U elektromobilů ale objem motoru nehraje roli a na tato vozidla se vztahuje obvykle nejnižší možná sazba. Je těžké tuto sumu obecně určit, neboť do ceny se promítá místo provozování dopravního prostředku, ale i věk pojistníka. V případě elektrických vozidel a jejich domácího nabíjení jsou zde zahrnuty také náklady na zařízení, která takovéto nabíjení umožňují. [48]

Jak vysoko se může celková cena vyšplhat, ukazují následující tabulky. Částky u přestavěného vozidla vychází z předpokladu, že toto vozidlo bude vykazovat stejnou spotřebu, potažmo náklady na provoz a údržbu, jako sériový elektromobil Volkswagen e-Up!. Do nákladů na údržbu jsou započítány pouze servisní úkony plánovaných oprav. K výměně trakčních akumulátorů by dle jejich životnosti po dobu 20 let dojít nemělo, z tohoto důvodu jsou uvažovány jako nulové.

V ***Tabulce 8*** se počítá s dobou užívání vozu jeden rok a nájezdem 30 000 km. Je zřejmé, že automobil se zážehovým motorem vyjde na podstatně menší částku než jeho elektrické protějšky. Oproti přestavbě je jeho cena dvakrát nižší, jak je znázorněno i v ***Grafu 1***.

Tabulka 8: Celkové náklady pro jednotlivá vozidla po ujetí 30 000 km

položka	Volkswagen Up!	Volkswagen e-Up!	přestavba na elektropohon
cena nového vozu	232 900	534 900	232 900
administrativní poplatky	0	0	35 000
elektromotor	0	0	50 000
akumulátory	0	0	250 560
pohonné médium	40 320	14 882	14 882
plánovaná údržba	10 320	0	0
zařízení pro domácí nabíjení	0	12 000	12 000
CELKEM [Kč]	**283 540**	**561 782**	**595 342**

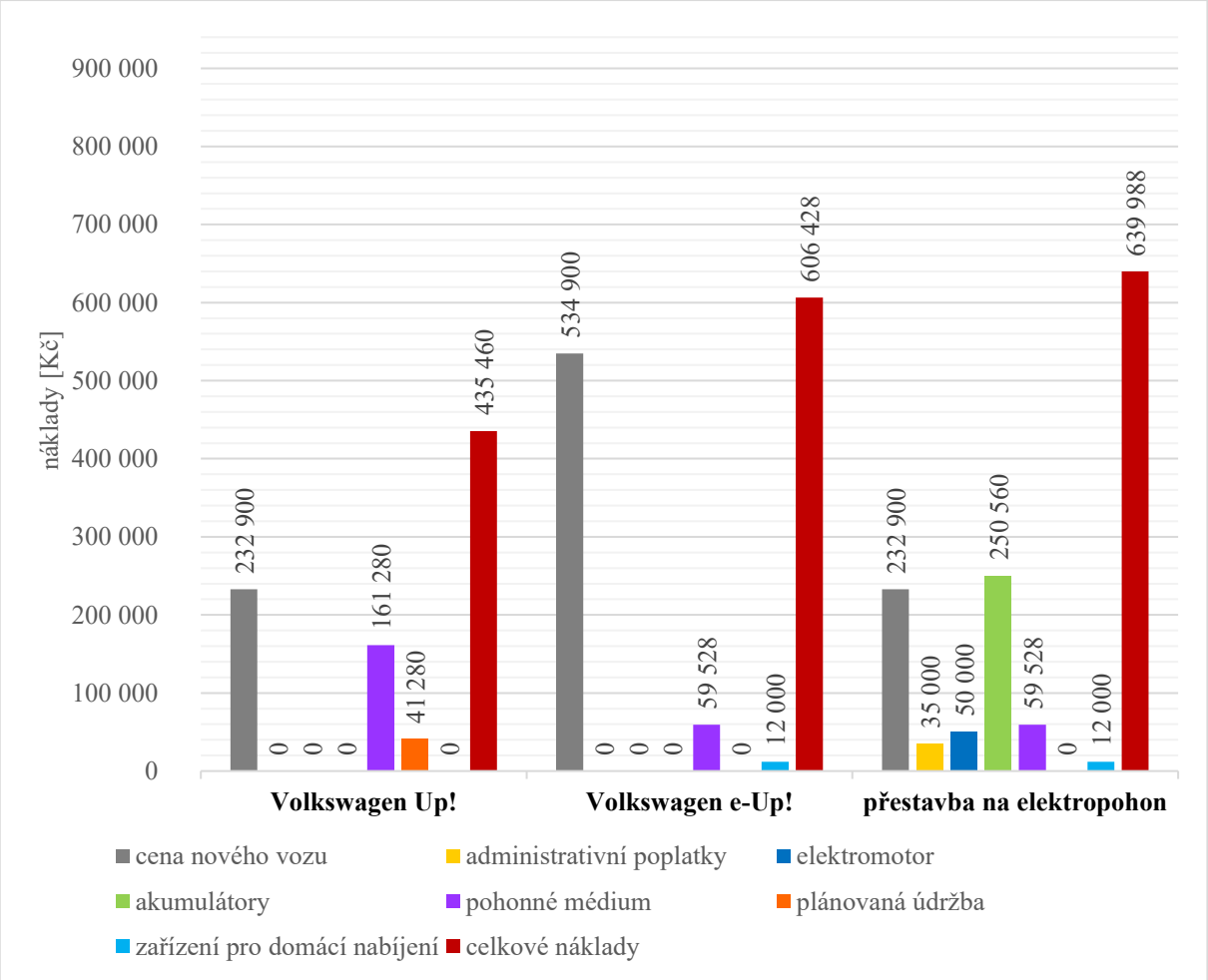


Graf 1: Náklady pro jednotlivá vozidla po ujetí 30 000 km

Jak ukazuje ***Tabulka 9*** a ***Graf 2***, benzínové vozidlo je stále přibližně o 180 000 Kč levnější než vozy elektrické. Přestavba automobilu vychází dráž než sériový elektromobil.

Tabulka 9: Celkové náklady pro jednotlivá vozidla po ujetí 120 000 km

položka	Volkswagen Up!	Volkswagen e-Up!	přestavba na elektropohon
cena nového vozu	232 900	534 900	232 900
administrativní poplatky	0	0	35 000
elektromotor	0	0	50 000
akumulátory	0	0	250 560
pohonné médium	161 280	59 528	59 528
plánovaná údržba	41 280	0	0
zařízení pro domácí nabíjení	0	12 000	12 000
CELKEM [Kč]	**435 460**	**606 428**	**639 988**

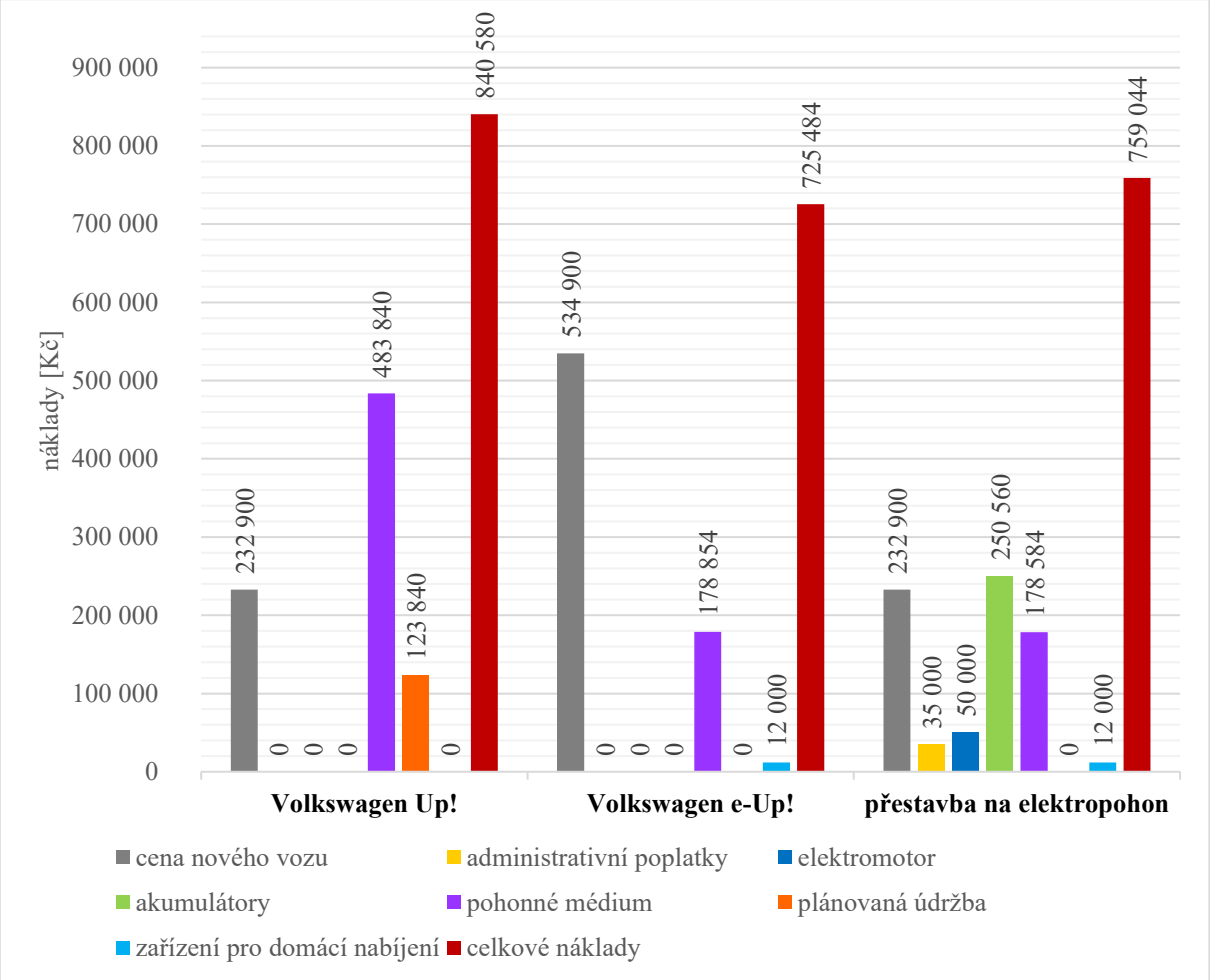


Graf 2: Náklady pro jednotlivá vozidla po ujetí 120 000 km

*Z **Tabulky 10*** je patrné, že vůz na elektřinu již vyjde levněji než automobil s benzínovým motorem. Po ujetí 360 000 km lze v ***Grafu 3*** pozorovat, že výše celkových nákladů vyznívá příznivěji pro elektrický dopravní prostředek. Avšak sériově vyráběné vozidlo je přitom stále lacinější než přestavba.

Tabulka 10: Celkové náklady pro jednotlivá vozidla po ujetí 360 000 km

položka	Volkswagen Up!	Volkswagen e-Up!	přestavba na elektropohon
cena nového vozu	232 900	534 900	232 900
administrativní poplatky	0	0	35 000
elektromotor	0	0	50 000
akumulátory	0	0	250 560
pohonné médium	483 840	178 584	178 584
plánovaná údržba	123 840	0	0
zařízení pro domácí nabíjení	0	12 000	12 000
CELKEM [Kč]	**840 580**	**725 484**	**759 044**



Graf 3: Náklady pro jednotlivá vozidla po ujetí 360 000 km

ZÁVĚR

Cílem práce bylo zhodnotit problematiku přestavby vozidla se spalovacím motorem na elektropohon z různých úhlů pohledu.

V úvodní kapitole byly nastíněny výhody a nevýhody spojené s provozem elektromobilů. Využití elektrické energie v dopravě nepochybně skýtá celou řadu výhod oproti spalování fosilních paliv. Je zde ovšem vhodné připomenout, že obecně jsou vnímána především pozitiva elektrických vozidel, zejména nulové lokální emise. K nim se však mohou přidat emise vznikající při produkci elektrické energie, která vozy pohání. Z hlediska čistoty provozu elektromobilu je třeba zohlednit i technologii výroby elektřiny. Potenciál elektromobility je tak spojen se strukturou zdrojové energetické základny. Bez radikální změny výroby elektřiny zřejmě nebude elektromobilita dlouhodobě vhodným nástrojem ke snížení uhlíkové stopy v dopravě. Elektromobily jsou rozhodně zajímavou alternativou ke klasickým automobilům, ovšem z finančního pohledu nebudou východiskem z blížící se ropné krize do té doby, než klesne jejich pořizovací cena. Jako vhodnější řešení se jeví jiné technologie pohonu založené zejména na obnovitelných zdrojích.

Nařízení, která je nutné pro uvedení jednotlivě přestavěného automobilu do provozu ze zákona splňovat, byla uvedena ve druhé kapitole. Zde bylo popsáno, jaké kroky je třeba pro povolení přestavby podniknout a jakými dokumenty je doložit. Jak je vidět, skrývá takový proces celou řadu úskalí v podobě zákonodárství, ať už se jedná o získání různých povolení, nebo homologací použitých dílů a vozidla samotného. Předpisy uvádí mimo jiné i požadavky na konstrukci vozidla nebo na bezpečné uložení trakčních akumulátorů a výkonového propojení. V neposlední řadě byl objasněn postup při měření elektrické energie a akčního dosahu elektromobilu. Stejně jako automobily se spalovacím motorem, jsou elektromobily povinny absolvovat technické prohlídky, jsou však osvobozeny od měření emisí. Ukázalo se, že vyřizování daných náležitostí může být náročné nejen finančně, ale i časově.

Ve třetí části byly shrnuty typy elektrických motorů, které mohou být při přestavbě použity. Kapitola byla zaměřena na charakteristické vlastnosti jednotlivých motorů a na případné problémy, které mohou jejich provoz doprovázet. Zároveň bylo zjišťováno, které elektromotory jsou pro aplikace v elektrických vozidlech nejvhodnější z hlediska hmotnosti nebo nároků na zástavbový prostor a údržbu. Jako motory, které nejlépe splňují požadavky elektropohonu, se ukázaly synchronní motory s permanentními magenty a motory asynchronní.

Ve čtvrté kapitole byly představeny parametry elektrických článků, které je potřeba zohlednit při výběru trakčních akumulátorů pro elektromobily. Byly podrobně popsány různé lithium-iontové články spolu se svými vlastnostmi, jež byly porovnány v jedné z příloh. Protože se v případě akumulátorů jedná o zásadní část elektrického vozu, je kladen důraz na jejich kvalitní zpracování. Kvalita se samozřejmě podepisuje na nákladech na jejich pořízení. I přesto, že cena akumulátorů pomalu klesá, nejsou v současnosti vůbec levnou záležitostí. Dokonce se tak stávají nejdražším komponentem elektrického vozidla.

Z části zabývající se konstrukčními úpravami vozidla vyplývá, že přestavba není pouze o demontáži nepotřebných komponentů z vozu se spalovacím motorem a o jejich následném nahrazení elektromotorem a akumulátory. V případě efektivní přestavby je třeba detailně promyslet uspořádání pohonu, umístění jednotlivých součástí a také jejich uchycení. V této kapitole bylo také ukázáno, jak je přestavba náročná z pohledu znalostí, manuální zručnosti či potřebného vybavení. Důležité je vhodně zvolit komponenty tak, aby svými parametry odpovídaly požadavkům na vozidlo. Je potřeba zohlednit i změnu hmotnosti vozidla. Teorie konkrétní přestavby byla vypracována pro automobil, který se vyrábí jak v klasické verzi se zážehovým motorem, tak i ve verzi s elektromotorem. Přehled parametrů těchto sériově vyráběných vozů a přestavěného automobilu byl pro přehlednost zobrazen v příloze.

Závěrečná kapitola analyzuje kritéria, která jsou pro pořízení elektromobilu podstatná. Přináší pohled na přestavbu zejména z finančního hlediska. Po zahrnutí možných nákladů představuje přestavba značnou finanční zátěž a je nutné počítat s náklady v řádech statisíců. Pořízení elektrického automobilu může skutečně ušetřit jeho majiteli finanční prostředky, ovšem podle zpracovaného rozboru se jedná o období v horizontu 10 a více let. Co se týče přestavby vozidla se spalovacím motorem na elektropohon, je celý tento proces velice náročný z legislativního, ale také z časového hlediska. Proto je třeba zvážit, zda není rozumnějším krokem koupě nového elektromobilu, který už je k provozu schválený, a to bez zbytečných komplikací. V současné době se však ceny elektromobilů stále pohybují neúměrně vysoko.

Závěrem je třeba podotknout, že přestavba vozidla se spalovacím motorem na elektropohon rozhodně proveditelná je. Otázkou zůstává, za jakou cenu. Tím nejsou myšleny pouze vynaložené náklady, ale také čas strávený při přípravě podkladů k podání žádosti, k zařizování na úřadech a technických zkušebnách, při shánění vhodných součástí, výpočtech a v neposlední řadě při samotné přestavbě.

POUŽITÁ LITERATURA

[1] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

[2] Elektromobilita. In: *Snižujeme.cz* [online]. [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: http://www.snizujeme.cz/slovnik/elektromobilita/

[3] Co je elektromobilita?. In: *Eon.cz* [online]. 2017 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: https://www.eon.cz/radce/elektromobilita

[4] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.

[5] VEGR, Jaromír. Elektromobily - historie a současnost. *PRO-ENERGY magazín* [online]. 2015 [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: https://anzdoc.com/elektromobily-historie-a-souasnost.html

[6] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Tepelné motory. *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/611-tepelne-motory

[7] Jak funguje elektrický motor? 10 otázek a odpovědí. *Škoda Storyboard* [online]. 2018 [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace/mobilita/jak-funguje-elektricky-motor-10-otazek-a-odpovedi/

[8] Jak si ekonomicky vede elektromobil oproti běžnému vozu?. *Eon.cz* [online]. 2017 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: https://www.eon.cz/radce/alternativni-doprava/elektromobily-a-jejich-vyhody/jak-si-ekonomicky-vede-elektromobil-oproti-beznemu-vozu#anchor-menu

[9] Jaká je největší nabíjecí stanice v ČR pro elektromobily?. *Eon.cz* [online]. 2017 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: https://www.eon.cz/radce/nejvetsi-nabijeci-stanice-pro-elektromobily#anchor-menu

[10] NOVOTNÝ, Petr a Dalila EL OUMALI. Žádné daně nebo mýtné. Podpora elektromobility u nás a ve světě. *Obnovitelně.cz* [online]. 2017 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: http://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/146/zadne-dane-nebo-mytne-podpora-elektromobility-u-nas-a-ve-svete/

[11] VAINERT, Luděk. Komentář Luďka Vainerta: Elektrorevoluce hýbe světem, Česko stojí stranou. *Hospodářské noviny* [online]. 2018 [cit. 2019-02-14]. ISSN 1213-7693. Dostupné z: https://ihned.cz/c1-66405570-elektrorevoluce-hybe-svetem-cesko-stoji-stranou?fbclid=IwAR071WeiL4MnEdvvJyoumab65Vzd_g6K2SjdTty62umSxVlg1PhdDzG6Ur0

[12] ČESKO. Zákon o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a o změně zákona č. 168/1999 Sb., o pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla), ve znění zákona č. 307/1999 Sb. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2001, částka 21, číslo 56. ISSN 1211-1244. Dostupné také z: https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=56/2001&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

[13] ČESKO. Zákon o správních poplatcích. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2004, částka 215, číslo 634. ISSN 1211-1244. Dostupné také z: https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=634/2004&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

[14] ČESKO. Zákon správní řád. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2004, částka 174, číslo 500. ISSN 1211-1244. Dostupné také z: https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=500/2004&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

[15] Vyhláška ČESKO. Vyhláška o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2014, částka 134, číslo 341. ISSN 1211-1244. Dostupné také z: https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=341/2014&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

[16] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. Brno: Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.

[17] MIKULÍK, Jarmil. Homologace elektromobilů - základní předpoklad jejich provozu. *Elektro: Perspektivy elektromobility* [online]. 2015 [cit. 2019-02-20]. ISSN 1210-0889. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz//flipviewer/Specialy/04/Special_04_output/web/Special_04_opf_files/WebSearch/page0014.html

[18] Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 10 – Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska elektromagnetické kompatibility. In: *Úřední věstník Evropské unie*. L41/1, 17. 2. 2017. Dostupné také z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1554207827549&uri=CELEX:42017X0260

[19] Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 85 – Jednotná ustanovení pro schvalování spalovacích motorů nebo elektrických hnacích ústrojí určených k pohonu motorových vozidel kategorie M a N z hlediska měření netto výkonu a maximálního 30minutového výkonu elektrických hnacích ústrojí. In: *Úřední věstník Evropské unie*. L323/52, 7. 11. 2014. Dostupné také z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1554207941827&uri=CELEX%3A42014X1107%2801%29

[20] Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 100 – Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska zvláštních požadavků na elektrické hnací ústrojí. In: *Úřední věstník Evropské unie*. L87/1, 31. 3. 2015. Dostupné také z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1554207642273&uri=CELEX:42015X0331(01)

[21] Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 101 – Jednotná ustanovení pro schvalování typu osobních automobilů poháněných výhradně spalovacím motorem nebo poháněných hybridním elektrickým hnacím ústrojím z hlediska měření emisí oxidu uhličitého a spotřeby paliva a/nebo měření spotřeby elektrické energie a akčního dosahu na elektřinu, a dále vozidel kategorií M 1 a N 1 poháněných výhradně elektrickým hnacím ústrojím z hlediska měření spotřeby elektrické energie a akčního dosahu na elektřinu. In: *Úřední věstník Evropské unie*. L138/1, 26. 5. 2012. Dostupné také z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1554208042611&uri=CELEX:42012X0526(01)

[22] ČESKO. Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů o technických prohlídkách a měření emisí vozidel. In: *Sbírka Zákonů České republiky*. 2001, částka 115, číslo 302. ISSN 1211-1244. Dostupné také z: https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=302/2001&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy

[23] ŠIMON, Josef. Jak se dělá elektromotor. *Elektro* [online]. 2011, (02) [cit. 2019-03-19]. ISSN 1210-0889. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42921.pdf

[24] EHSANI, Mehrdad, Yimin GAO, Sebastien E. GAY a Ali EMADI. *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design*. Boca Raton: CRC Press, 2005. ISBN 08-493-3154-4.

[25] Elektromotor. *Wikipedia.org* [online]. 2018 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor#Stejnosm%C4%9Brn%C3%BD_stroj

[26] ROUBÍČEK, Ota. *Elektrické motory a pohony: příručka techniky, volby a užití vybraných druhů*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-730-0092-X.

[27] Bateriové moduly. In: *EVCgroup.cz* [online]. [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: https://www.evcgroup.cz/vyzkum-a-vyvoj/bateriove-moduly/

[28] Bateriové skříně. In: *EVCgroup.cz* [online]. [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: https://www.evcgroup.cz/vyzkum-a-vyvoj/bateriove-skrine/

[29] Abeceda baterií a akumulátorů - Slovníček a pojmy. *Battex.info* [online]. [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: http://www.battex.info/slovnicek-a-pojmy

[30] Li-ion baterie: principy, provoz, rady (1. část). *Mladá fronta DNES* [online]. 2011 [cit. 2019-04-06]. ISSN 1210-1168. Dostupné z: https://www.cnews.cz/li-ion-baterie-principy-provoz-rady-1-cast/

[31] BU-205: Types of Lithium-ion. In: *Battery University* [online]. 2018 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/types_of_lithium_ion

[32] Informační materiál o voze up!. In: *Volkswagen.cz: up!* [online]. 2019 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: https://www.volkswagen.cz/up/up/informacni-material

[33] Informační materiál o voze e-up!. In: *Volkswagen.cz: e-up!* [online]. 2019 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: https://www.volkswagen.cz/e-up/informacni-material

[34] Volkswagen e-up!. In: *Volkswagen.cz: e-up!* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: https://www.volkswagen.cz/e-up/galerie

[35] Brushless Electric Motors. *Kolektordrives.com: Drives* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: http://www.kolektordrives.com/products/brushless-electric-motors

[36] Úvod do světa baterií. In: *Škoda Storyboard* [online]. 2019 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace/mobilita/uvod-do-sveta-baterii/

[37] Článek GWL / Power WB-LYP40AHA LiFeYPO4 (3.2V / 40Ah). *: Lithiové baterie* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: https://www.bch-battery.cz/Clanek-GWL-Power-WB-LYP40AHA-LiFeYPO4-3-2V-40Ah-d1417.htm?listName=Category&listPosition=5#detail-anchor-description

[38] Účel posilovačů řízení a brzd. In: *Schröter.cz* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://www.schroter.cz/ouvskc2/ouv-c-ot25ofkv-koncept.htm

[39] BUREŠ, David. Volkswagen e-Up! – Dává smysl?. In: *Auto.cz* [online]. 2014 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://www.auto.cz/volkswagen-e-up-dava-smysl-82531

[40] Řešení pro domácí nabíjení. In: *Elektromobilita.cz* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://www.elektromobilita.cz/cs/domaci-dobijeni.html

[41] Veřejné dobíjecí stanice ČEZ. In: *Elektromobilita.cz* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://www.elektromobilita.cz/cs/dobijeni-na-cestach.html

[42] Will the new VW electric cars use the same plug/charger as Tesla?. In: *Quora.com* [online]. 2018 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://www.quora.com/Will-the-new-VW-electric-cars-use-the-same-plug-charger-as-Tesla

[43] Nabíjení místo tankování. Jak změní život?. In: *Škoda Storyboard* [online]. 2019 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace/mobilita/nabijeni-misto-tankovani-jak-zmeni-zivot/

[44] Nízkoemisní zóny v České republice: Ekologické zóny v ČR. In: *Ekologickezony.cz* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://www.ekologickezony.cz/

[45] Nízkoemisní zóny. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/nizkoemisni_zony

[46] DVOŘÁK, František. Města konečně mohou začít zavádět emisní zóny. In: *Idnes.cz* [online]. 2013 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/emisni-zony.A130207_084631_automoto_fdv

[47] Legální stavba a přestavba elektrovozidla. In: *Hybrid.cz* [online]. 2011 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://www.hybrid.cz/forum/viewtopic.php?f=2&t=133

[48] ŠTĚRBA, Pavel. *Automobily s pohonem na LPG: typové a individuální přestavby, ekonomická návratnost, opravy a doporučení pro majitele vozidel : [příručka majitele vozu]*. Brno: CPress, 2013. ISBN ISBN978-80-264-0148-3.

[49] Co ovlivňuje cenu povinného ručení na elektromobil. In: *Hybrid.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://www.hybrid.cz/co-ovlivnuje-cenu-povinneho-ruceni-na-elektromobil

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Charakteristické parametry Li-ion akumulátorů [31].....58
Příloha B: Parametry porovnávaných vozů Volkswagen [32; 33; 36; 38].....59
Příloha C: Specifikace elektromotoru Kolektor EVM 400/190 [36].....60
Příloha D: Specifikace článku GWL Power WB-LYP40AHA LiFeYPO4 [38].....61
Příloha E: Evropská infrastruktura nabíjecích stanic [42].....62

Příloha A: Charakteristické parametry Li-ion akumulátorů [31]

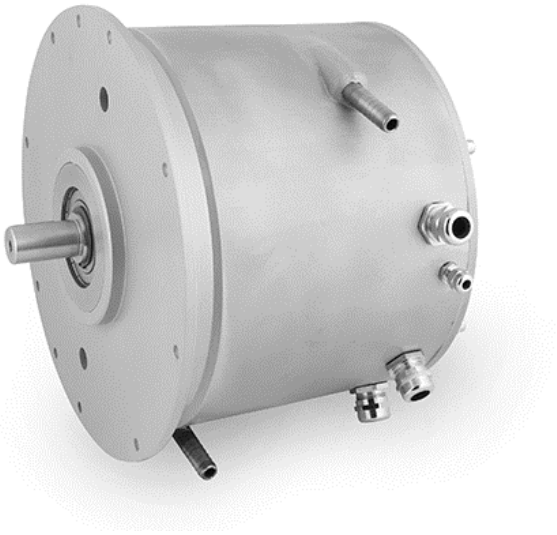
typ	materiál katody	materiál anody	jmenovité napětí	provozní rozsah	energetická hustota	provozní životnost	nabíjecí proud	teplotní únik	cena
			[V]	[V]	[Wh/kg]	[cyklů]	[C]	[°C]	[$/kWh]
LMO	$LiMn_2O_4$	grafit	3,7 nebo 3,8	3 – 4,2	100 – 150	300 – 700	0,7 – 1	250	
NMC	$LiNiMnCoO_2$	grafit	3,6 nebo 3,7	3 – 4,2	150 – 220	1 000 – 2 000	0,7 – 1	210	420
NCA	$LiNiCoAlO_2$	grafit	3,6	3 – 4,2	200 – 260	500	0,7	150	350
LFP	$LiFePO_4$	grafit	3,2 nebo 3,3	2,5 – 3,65	90 – 120	1 000 – 2 000	1	270	580
LTO	$LiMn_2O_4$ nebo $LiNiMnCoO_2$	$Li_4Ti_5O_{12}$	2,4	1,8 – 2,8	50 – 80	3 000 – 7 000	1	nejbezpečnější	1 005

Příloha B: Parametry porovnávaných vozů Volkswagen [32; 33; 36; 38]

parametry	**Volkswagen Up!**	**Volkswagen e-Up!**	**přestavba VW Up!**
motor	zážehový motor 1.0 l s vícebodovým vstřikováním	střídavý synchronní elektromotor s permanentními magnety	střídavý synchronní elektromotor s permanentními magnety
max. výkon	44 kW (60 HP)	60 kW (82 HP)	60 kW (82 HP)
max. kroutící moment	95 Nm	210 Nm	250 Nm
převodovka	manuální, pětistupňová	automatická, jednostupňová	bez převodovky
max. rychlost	160 km/h	130 km/h	
zrychlení (0–100 km/h)	14,4 s	12,4 s	
kombinovaná spotřeba na 100 km	4,2 l	11,7 kWh	
dojezdová vzdálenost		160 km	
akumulátory		Li-ion, 204 článků	Li-ion, 144 článků
kapacita / napětí akumulátorů		18,7 kWh / 323 V	18,4 kWh / 461 V
hmotnost akumulátorů		230 kg	230 kg
rychlost nabíjení (100 %)		6 – 10 h	
emise CO_2	95 g/km	0 g/km	0 g/km
pohotovostní hmotnost vozu	929 kg	1 214 kg	1 073 kg
přibližné náklady na 100 km	134 Kč	50 Kč	
cena vozu	232 900 Kč	534 900 Kč	

Příloha C: Specifikace elektromotoru Kolektor EVM 400/190 [36]

jmenovité napětí	400 V
výkon	60 kW (82 HP) při 3 000 ot/min
max. výkon	65 kW
max. otáčky	4 500 ot/min
jmenovitý krouticí moment	190 Nm
max. krouticí moment	250 Nm při 2 000 ot/min
max. účinnost	+ 95 %
hmotnost motoru	62 kg
chlazení	voda
krytí	IP56



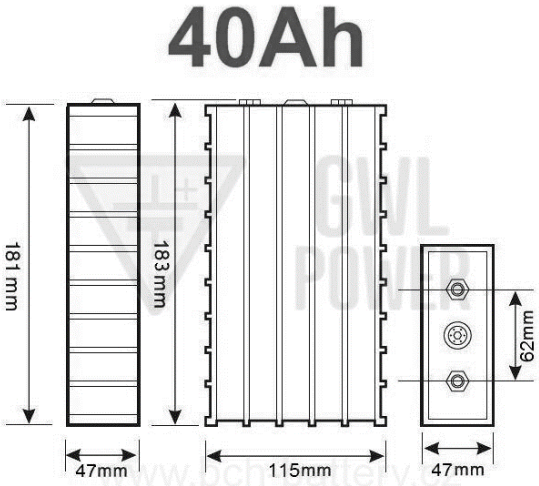
Příloha D: Specifikace článku GWL Power WB-LYP40AHA LiFeYPO4 [38]

jmenovité napětí	3,2 V
provozní napětí	2,8 V až 3,8 V
kapacita	40 Ah
hmotnost	1,6 kg
délka	47 mm
šířka	115 mm
výška	183 mm
max. vybíjecí proud	400 A
optimální vybíjecí proud	20 A
max. nabíjecí proud	120 A
optimální nabíjecí proud	20 A
provozní teplota	-45° C až 85° C
průměrná cykličnost	při vybíjení až 80 % max. 7 000 cyklů
životnost	20 let
energetická účinnost	98%
záruční doba	24 měsíců
cena	1 740 Kč

Výpočet celkové kapacity akumulátorů

$40\ [\text{Ah}] * 144 = 5\ 760\ [\text{Ah}]$

$5\ 760\ [\text{Ah}] * 3{,}2\ [\text{V}] = 18\ 432\ [\text{Wh}]$



Příloha E: Evropská infrastruktura nabíjecích stanic [42]

Současná síť stanic v roce 2019

Plánované rozšíření sítě stanic v roce 2020