

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy



Rozvoj elektromobility

Bakalářská práce

Autor: Lukáš Příbyl

Vedoucí práce: Ing. Dvořák František, CSc.

© Praha 2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Příbyl Lukáš

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Rozvoj elektromobility

Anglický název

The development of electromobility

Cíle práce

Analýza technologií elektromobilů a elektrických vozidel, konverze a akumulace elektrické energie, přehled o současném stavu a současné produkci v dané oblasti, porovnání a posouzení technických parametrů a užitných vlastností a posouzení změn a vývojových trendů.

Metodika

Na základě shromážděných materiálů provést analýzu technologií elektromobilů a elektrických vozidel, konverze a akumulace elektrické energie, posouzení z hlediska koncepčního, konstrukčního, energetického a environmentálního, dále posouzení možností a předpokládaných vývojových trendů.

Osnova práce

1. Úvod
2. Legislativa a homologace vozidel s elektrickým pohonem
3. Konverze a akumulace elektrické energie
4. Vozidla s elektrickým pohonem
5. Trolejbusy – základ elektromobility ve městech a aglomeracích
6. Infrastruktura pro nabíjení
7. Víze a možnosti dalšího rozvoje
8. Závěr

Rozsah textové části

30 stran textu včetně obrázků, tabulek a grafů

Klíčová slova

elektrická energie, elektromobil, akumulátor, infrastruktura

Doporučené zdroje informací

Svoboda, J. Teorie dopravních prostředků-vozidla silniční a terénní. Praha: ČVUT, 2004. ISBN 80 01 03005 9.

First, J. a kol. Zkoušení automobilů a motocyklů. Praha: ČVUT, 2008. ISBN 978-80-254-1805-5.

Hudec, P. Motorové vozidlá III. Projektovanie vozidiel. Bratislava: SVŠT, 1989.

Vlk, F. Stavba motorových vozidel. Brno: Nakladatelství Vlk, 2003. ISBN 80 238 8757 2.

Kameš, J. Alternativní pohony automobilů. Praha: BEN, 2004. ISBN 80 7300 127 6.

Novák, J. Elektromechanické systémy v dopravě a ve strojírenství. Praha: ČVUT, 2002.

Vlk, F. Alternativní pohony motorových vozidel. Brno: Nakladatelství Vlk, 2006. ISBN 80 239 1602 5.

Gregora, S., Mašek, Z.: Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008, ISBN 978-80-7395-082-8.

Vedoucí práce

Dvořák František, Ing., CSc.

Termín zadání

listopad 2013

Termín odevzdání

duben 2015

doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.

Vedoucí katedry



V Praze dne 3. 2. 2014

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

Čestné prohlášení

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

V Praze dne 16.3.2015

Lukáš Příbyl

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Františku Dvořákovi, CSc. za odbornou pomoc, jeho cenné rady a připomínky, které vedly ke zlepšení úrovně této bakalářské práce.

Abstrakt: Cílem bakalářské práce „Rozvoj elektromobility“ je popis technologií elektromobilů a elektrických vozidel, konverze a akumulace elektrické energie, přehled o současném stavu a současné produkci v dané oblasti, porovnání a posouzení technických parametrů a užitných vlastností a posouzení změn a vývojových trendů. První část práce poskytuje informace o současné legislativě a schvalování vozidel s elektrickým pohonem. V dalších částech jsou rozebrány používané elektrické pohony a akumulátory. Poté následují kapitoly věnující se historii a dnešnímu sortimentu osobních a užitkových elektromobilů a zároveň elektrických motocyklů, trolejbusů a jejich trakčnímu vedení a způsobům napájení těchto vozidel. Technologické novinky jsou shrnuty společně s předpokládaným vývojovým trendem do budoucnosti.

Klíčová slova: elektrická energie, elektromobil, akumulátor, infrastruktura

The development of electromobility

Summary: The aim of this bachelor thesis is to describe the technology of electric vehicles, conversion and accumulation of electrical energy, an overview of the current state and current production in the area, compare and assess the technical parameters and utility properties and assessing changes and trends. The first part provides information about current legislation and approval of vehicles with electric traction. In other chapters are analyzed electric engines and accumulators. Next chapters are about the history and currents state of electric vehicles and electric motorcycles, trolleybuses and infrastructure and charging systems of these vehicles. Technological innovations are summarized together with the expected future development.

Keywords: electric energy, electric vehicle, accumulator, infrastructure

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl a metodika práce.....	3
3 Legislativa a homologace vozidel s elektrickým pohonem	4
3.1 Homologace elektromobilů	4
3.2 Homologace trolejbusů.....	7
4 Konverze a akumulace elektrické energie.....	9
4.1 Konverze elektrické energie	9
4.1.1 Stejnosměrné motory	9
4.1.2 Střídavé motory.....	11
4.2 Akumulace elektrické energie	12
4.2.1 Olověný akumulátor	13
4.2.2 Nikl-kadmiový akumulátor.....	13
4.2.3 Nikl-metalhydridový akumulátor	13
4.2.4 Lithium-iontový akumulátor.....	14
4.2.5 Vysokoenergetický akumulátor	14
5 Vozidla s elektrickým pohonem.....	15
5.1 Stručná historie vývoje elektromobilů.....	15
5.2 Prodeje elektromobilů	17
5.2.1 Prodeje elektromobilů ve světě.....	17
5.2.2 Prodeje elektromobilů v České republice	18
5.3 Přehled současných elektromobilů	18
6 Trolejbusy – základ elektromobility ve městech a aglomeracích	19
6.1 Výhody trolejbusů:	19
6.2 Nevýhody trolejbusů:	20
6.3 Technický princip trolejbusů	20
6.3.1 Sběrač proudu	20
6.3.2 Trakční elektrická výzbroj	21
6.3.3 Pohon trolejbusů	21
6.4 Pevná trakční zařízení.....	22
6.4.1 Trolejové vedení	22
6.4.2 Trolejové stožáry	22

6.4.3 Zavěšení do zdí domů	23
6.4.4 Trolejové výhybky a křížení	23
6.4.4 Měničny	23
7 Infrastruktura pro nabíjení	23
7.1 Kabelové napájení elektromobilů	24
7.1.1 Režim 1	24
7.1.2 Režim 2	25
7.1.3 Režim 3	25
7.1.4 Režim 4	25
7.1.5 Typy připojení a používané konektory	25
7.2 Bezdrátové nabíjení	27
7.3 Solární energie	27
7.4 Rekuperace	28
8 Vize a možnosti dalšího rozvoje	29
8.1 Solární silnice	29
8.2 Akumulátory z mořských řas	30
8.3 Akumulátory hliník-vzduch	30
9 Závěr	32
10 Seznam použitých zdrojů	34
11 Seznam obrázků	40
12 Seznam grafů	41
13 Seznam tabulek	41

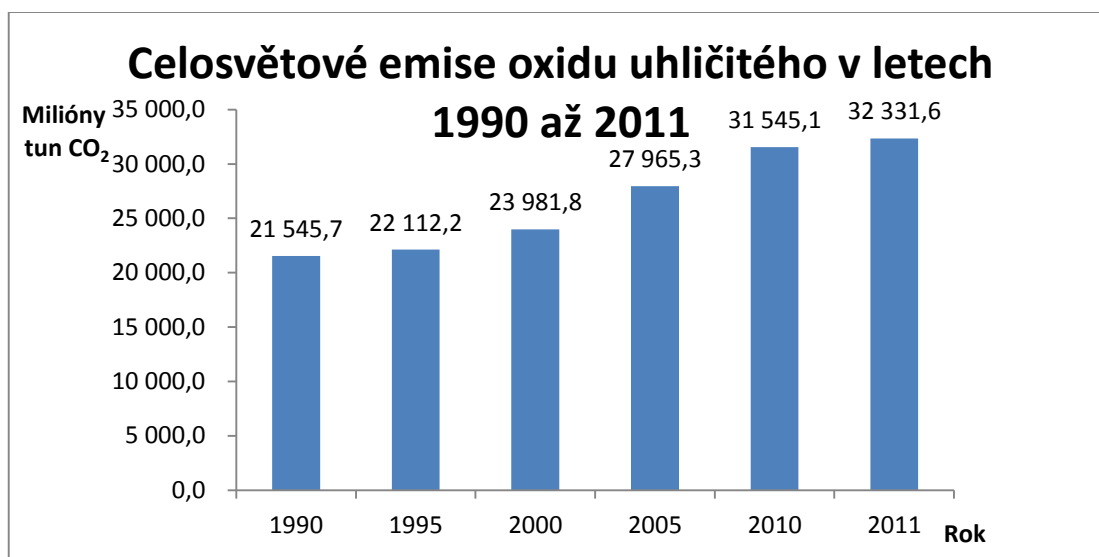
1 Úvod

V dnešní době je nejběžnějším způsobem pro přepravu osob, zvířat a věcí automobilová doprava. Vozidla užíváme v běžném životě skoro každý den. Dalo by se říci, že svět by se bez automobilů neobešel.

Automobilové motory prošly v historii velkým vývojem. Bylo objeveno se mnoho typů pohonů, některé se ujaly, některé ne. Dnes převážnou většinu motorů, které se používají pro pohon automobilů, tvoří motory pro spalování ropných produktů. Používání paliv petrochemického původu však s sebou nese velké nároky na množství vytěžené ropy. Jelikož ropu řadíme mezi neobnovitelné zdroje energie, jsou její nespotřebované rezervy omezené a stále se ztenčují. Od roku 1980 se spotřeba ropných produktů zvýšila z 63 tisíc barelů za den na téměř 90 tisíc.[1]

Vyspělé státy se snaží s nedostatkem fosilních paliv bojovat četnějším využíváním alternativních zdrojů energie. Dalším trendem je výzkum motorů s nižšími požadavky na množství spalovaného paliva, jelikož v důsledku ubývajících zásob ropy narůstá i cena benzínu a nafty. Se zvyšující se spotřebou roste i četnost vyrobených automobilů. Vysoký počet dopravních prostředků má však negativní vliv na kvalitu životního prostředí. Spalováním fosilních paliv ve válci vznikají škodlivé látky unikající do ovzduší. Emise mohou u člověka a zvířat způsobovat řadu onemocnění a neblahé důsledky mají také na rostliny a ozonovou vrstvu. V současnosti je úsilím automobilek množství výfukových plynů, co nejvíce omezit. Navzdory této snaze vzrostl celosvětově objem vyprodukovaného oxidu uhličitého do ovzduší v letech 1990 až 2011 z 21 545 milionů tun CO₂ ročně na 32 331 milionů tun (viz. Graf 1). [2]

Graf 1: Celosvětové emise CO₂ v letech 1990 až 2011



Zdroj: vlastní zpracování dle [2]

Je tedy nutné najít takový zdroj energie, který by byl schopný ropu nahradit z hlediska energetického, ekonomického a ekologického. Jako jedna z nejlepších možných alternativ se jeví elektřina. Jedná se poměrně lehce vyrobitelnou formu energie pro pohon elektromobilů. Navíc elektřina by teoreticky mohla být vyráběna z čistě obnovitelných přírodních zdrojů, jako například sluneční, větrná a vodní energie. Vezmeme-li v úvahu tenčící se zásoby ropy, vyhlíží elektřina jako palivo budoucnosti. Lze tedy očekávat snahu výrobců automobilů postupně přecházet na vozidla s čistě elektrickým nebo hybridním pohonem.

2 Cíl a metodika práce

Cílem mé bakalářské práce je provést popis technologií elektromobilů a elektrických vozidel, konverze a akumulace elektrické energie. Vozidla jsou posouzena z hlediska koncepčního, konstrukčního, energetického a environmentálního. Dále jsou posouzeny možnosti a předpokládané vývojové trendy.

Tato bakalářská práce má charakter rešerše. Je vypracována na základě prostudování odborné literatury, legislativy týkající se dané problematiky a internetových zdrojů. Získané poznatky jsou sepsány do kapitol uvedených v obsahu práce. Vzhledem k omezenému rozsahu práce není věnována pozornost hybridním vozidlům. Této problematice bych se chtěl více věnovat v mé případné diplomové práci. Zároveň nejsou obsaženy informace týkající se elektrických kol a elektrických invalidních vozíků, jelikož tvoří jen nepatrnou část elektromobility.

3 Legislativa a homologace vozidel s elektrickým pohonem

Každé motorové vozidlo, které se pohybuje po silniční síti České republiky, musí být schváleno. Jeho technický stav se posuzuje podle určitých kritérií. Proces schvalování technických požadavků se nazývá homologace. Výrobci musí elektromobily konstruovat s ohledem na tyto předpisy. [3]

Jelikož je elektrický automobil vybaven nejméně čtyřmi koly a používá se pro přepravu osob a nákladů, řadíme jej do kategorie M a N. Bateriové elektromobily kategorie M a N se kromě výjimek uvedených v 341/2002Sb homologují podle EHK 100. [3], [4]

3.1 Homologace elektromobilů

Předpis EHK 100 vydaný Organizací spojených národů platí pro silniční vozidla kategorie M a N s jedním nebo více elektrickým motorem, který je galvanicky připojen k vysokonapěťové sběrnici a umožňuje dosažení maximální rychlosti větší než 25 km/hod. [5]

Aby elektromobil mohl být homologován a účastnit se dopravního provozu, musí splnit následující specifikace a zkoušky:

Ochrana před zásahem elektrickým proudem

Zkouška ochrany před zásahem elektrickým proudem se provádí, když není baterie elektromobilu připojená k vnějšímu zdroji elektrické energie. [5]

Ochrana před přímým kontaktem se živými částmi

Pokud je napětí elektrického obvodu vyšší než 60/25 V musí být vodič opatřen izolací, kryty atd., které by měly být mechanicky odolné a neotevřitelné bez speciálního vybavení. [5]

Konektory

Musí být zamezeno přímému kontaktu s živými částmi nebo musí být situovány pod podlahou, kde jsou uzamčeny. [5]

Označení

Dobíjecí systém pro uchování energie (dále jen „RESS“) musí být viditelně označen výstražnou značkou vysokonapěťového zařízení (viz. Obr. 1), a to na krytech, které po otevření umožňují přímý dotyk s elektrickými obvody. Obvody nekryté jsou označeny oranžovou barvou. [5]

Obr. 1: Symbol vysokonapěťového zařízení



Zdroj: [5]

Ochrana před nepřímým kontaktem

K zamezení zranění osob zásahem elektrickým proudem způsobeným neuzemněnými obvody, musí být nechráněné části vedoucí proud uzemněny nebo spojeny kabelem s elektrickou kostrou, tak aby elektrický odpor mezi nimi nepřesáhl hodnotu $0,1 \Omega$ při proudu minimálně $0,2$ ampér. Při nabíjení elektromobilu by mělo být vozidlo vybaveno zařízením umožňujícím jeho uzemnění do doby, než dojde k odpojení automobilu od zdroje externího napětí. [5]

Vozidla s palivovými články

Jestliže konstrukční řešení elektromobilu je takové, že hodnota minimálního povoleného izolačního odporu mezi částmi nemůže být dosažena, pak musí být pokryty vodiče minimálně dvěma vrstvami izolační objímky nebo krytů tak, aby nedošlo k přímému dotyku živých částí s elektrickým obvodem. Pokud není možné zajistit ani tuto ochranu, je vozidlo vybaveno zařízením, které řidiče informuje, když izolační odpor klesne pod $100 \Omega/V$. [5]

Ochrana proti příliš velkému proudu

Konstrukční řešení elektromobilu musí zabránit přehřátí systému RESS. V případě, že tomu tak není, je nutné aby, elektrické obvody obsahovat prvky, které přehřátí zabrání, např. pojistky, jističe a stykače. [5]

Kumulace plynu

V prostoru, kde je uložena baterie elektromobilu, se mohou tvořit vodíkové výpary, u kterých musí být zabezpečeno jejich odvětrávání do ovzduší. [5]

Funkční bezpečnost

Jelikož je chod elektrického motoru poměrně tichý, může řidič snadno přehlédnout, že se vozidlo pohybuje. To může být nebezpečné, zvláště pokud je elektromobil nabíjen. Proto je nutné, aby automobil nebyl schopen jízdy, pokud se nachází v režimu nabíjení. Řidič je krátkým zvukovým signálem nebo například rozsvícením kontrolky upozorněn, že se vozidlo nachází ve stavu jízdy. Toto opatření však není nutné u hybridních vozidel z důvodu hlučnějšího chodu spalovací motoru. [5]

Stanovení emisí vodíku

U bateriových elektromobilů se provede zkouška na množství emisí vodíku při nabíjení. Jestliže za dobu 5 hodin nepřesáhne hmotnost vypařeného plynného vodíku 125 g, automobil vyhovuje. Do napájení nesmí mít uživatel vozidla možnost zasáhnout, aby nedošlo k jeho poranění elektrickým proudem. Z tohoto důvodu je proces nabíjení plně automatický. Baterie musí být schopná se nabít i za maximálně 30 minutové poruchy sítě a při tom vyprodukovat nejvýše 40 g emisí vodíku. Řidič je prostřednictvím výstražného systému informován o případných závadách nabíječky. [5]

Schválení vozidla

Pokud automobil splní všechny předepsané zkoušky, může se pravidelně účastnit dopravy na území České republiky. Automobil, který prošel homologací, se označí mezinárodní značkou o schválení (viz. Obr. 2), která se umístí na viditelné místo poblíž tabulky údajů o vozidle.

Každá značka se skládá z písmene *E* a čísla země (České republice bylo přiřazeno číslo 8), dále se pak před písmenem *R* uvede číslo předpisu a za písmeno *R* a pomlčku číslo schválení typu. Rozměr *a* by měl mít rozměry alespoň 8 mm. [5]

Obr. 2: Mezinárodní značka o schválení



Zdroj: [5]

3. 2 Homologace trolejbusů

Dalším typem vozidel poháněných elektrickým motorem jsou trolejbusy. Samozřejmě i jako ostatní automobily musí projít homologací, aby mohly vyjet na české komunikace.

Důležitým aspektem u schvalování trolejbusů je jejich největší povolená výška, která v nejnižší pracovní poloze činí nanejvýš 4 metry. Dalším významným měřeným parametrem trolejbusů je jejich délka, která se odvozuje podle počtu článků kloubového vozidla. U dvoučlánkových kloubových trolejbusů nesmí největší povolená délka přesáhnout 18,75 metrů a 22 metrů u trojčlánkových. Zákon také klade zvláštní požadavky na madla, nástupní a výstupní schůdky, u kterých nesmí dojít ke zranění přepravovaných osob v důsledku nedostatečné izolace od částí karosérie. Protože je trolejbus podle zákona 341/2002Sb. zvláštní druh autobusu poháněný elektrickým motorem, vztahují se normy EHK č. 36 pouze na některé jeho specifické části. [3]

Sběr energie

Aby mohl být trolejbusu dodáván elektrický proud potřebný pro pohon elektromotoru, musí být vybaven sběrači. Sběrače jsou vyrobeny tak, aby doléhaly na elektrické vedení nad tratí a zároveň se nesmí od něj odpojit, proto musí být otočné ve všech směrech. K zabránění úrazů jsou sběrače elektricky odizolovány, aby jejich elektrický odpor vůči karosérii trolejbusy byl nejméně 10 MΩ. [6]

Trakční a pomocné zařízení

Aby se zabránilo zkratu nebo přepětí obvodů, musí být vybaveny pojistnými prvky, které umožňují přerušení obvodu samovolně nebo řidičem. Elektrické prvky jsou odizolovány a chráněny nehořlavými materiály, které nepropustí vlhkost ani prach. [6]

Vedení, kabeláž a přístroje

Sběrnice vedoucí vysoké napětí nesmí umožnit proniknutí vody a prachu a zároveň je potřebné aby, byly odizolovány nehořlavým materiálem z důvodu možného přehřátí obvodů. [6]

Elektrická bezpečnost cestujících a obslužného personálu

K zamezení úrazům osob elektrickým proudem, je řidič informován o stavu probíjení proudu do konstrukce trolejbusu. Pokud jeho hodnota přesáhne 0,3 mA, jsou obvody odpojeny. Nosníky vchodů, nástupní schůdky, tabule dveří a stěny musí mít předepsané rozměry a být odizolovány tak, aby hodnota odporu neklesla pod požadovanou mez. Přístrojový panel řidičovi poskytuje informace o napětí v obvodech, stavu nabití baterie a o možných poruchách.[6]

4 Konverze a akumulace elektrické energie

4.1 Konverze elektrické energie

Pro pohon elektricky poháněných vozidel je zapotřebí přeměna elektrické energie z akumulátorů na energii mechanickou. Tato konverze energie probíhá v elektromotoru s účinností 85-95%. Na pohonnou jednotku jsou kladeny určité požadavky:

K uvedení vozidla do pohybu je nezbytné vyprodukovat takový výkon, aby bylo možné překonat jízdní odpory působící na vozidlo. Zároveň hnací jednotka musí splňovat nároky na nízkou hmotnost a rozměry pohonné jednotky. K dosažení co největší dojezdové vzdálenosti je potřeba, aby akumulátor zaručoval dostatečnou kapacitu elektrické energie, její spolehlivost a výdrž. Dále pak je velký důraz kladen na snadnou ovladatelnost a pokud možno jednoduchou opravitelnost elektromotoru. Požadavek na emise škodlivých látek a hluku elektromobily splňují a jsou tedy ekologicky přijatelné. Jedním z nejdůležitějších požadavků na elektromotor je jeho pořizovací cena a výdaje na chod motoru, která by pro výrobce a spotřebitele měla být co nejvýhodnější. Rozlišujeme mnoho druhů elektromotorů, avšak základní dělení sestává ze stejnosměrných a střídavých typů motorů. [7]

4.1.1 Stejnosměrné motory

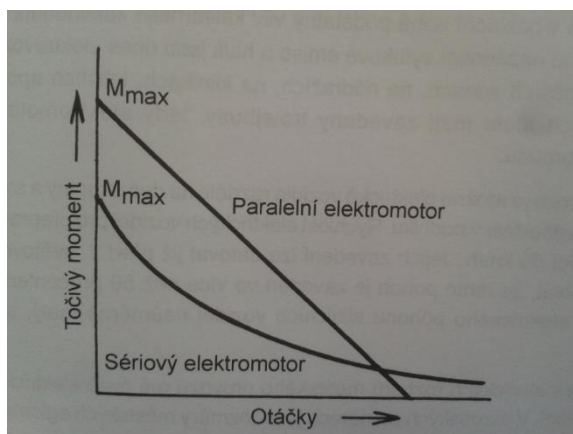
Stejnosměrný motor se sériovým buzením

Stejnosměrný motor se sériovým buzením se skládá ze statoru a rotoru (kotvy), na kterou je přivedeno budící vinutí zapojené do série. Pomocí komutátoru a na něj doléhajících kartáčů přivedeme do cívky rotoru pracovní proud. Aby se motor mohl roztočit, musíme na statoru vytvořit neproměnný magnetický tok. Stejnosměrný proud přivedený do vinutí statoru vyvolá magnetické pole, v němž se kotva bude otáčet. Nejčastěji se tento motor používá u kolejových vozidel (vlaky, metro, tramvaje, atd.) [8], [9], [10]

Stejnoseměrný motor s paralelním buzením

Stejnoseměrný motor s paralelním buzením má podobnou stavbu jako stejnoseměrný motor se sériovým buzením, avšak budící vinutí a kotva jsou zapojeny paralelně. Oproti sériovému motoru momentová charakteristika klesá s otáčkami lineárně a pomaleji (viz. Obr. 3). Lepší vlastnosti paralelního motoru zapříčinily jeho větší uplatnění u elektromobilů. [9], [10]

Obr. 3: Momentová charakteristika stejnoseměrných motorů



Zdroj: [8]

Stejnoseměrný motor se smíšeným buzením

Stejnoseměrný motor se smíšeným buzením (též kompaundní motor) je napájen zároveň sériovým a paralelním budícím vinutím, tudíž si zachovává výhody obou elektromotorů. Výhodou je snadná regulace otáček a příznivější momentová charakteristika oproti střídavým elektromotorům. Kompaundní motory však mají nižší výkon a energetickou účinnost, jsou náročnější na údržbu a vyznačují se vyšší pořizovací cenou.

[8], [9], [10]

Tab. 1: Výhody a nevýhody stejnosměrných motorů

	Stejnoseměrné motory		
	Se sériovým buzením	S paralelním buzením	Se smíšeným buzením (kompandní)
Výhody	Velký točivý moment při rozběhu	Měnitelný směr otáčení	Vysoký záběrový moment
	Otáčky se samovolně přizpůsobují zatížení	Lepší regulace v celém rozsahu charakteristiky	Pomalejší pokles momentové charakteristiky
		Nižší hmotnost	Lepší regulace
		Nabíjení přímo ze sítě 210/410 V	
	Motor se dá snadno přetížit		
Nevýhody	Poruchovost komutátoru a kartáčů	Menší záběrový moment	Nižší výkon
	Musí být stále zatížen	Omezené otáčky	Nižší účinnost
			Vyšší cena
		Náročnější údržba	

Zdroj: [8], [9], [10]

4.1.2 Střídavé motory

Asynchronní motor

Základ jeho konstrukce tvoří stator s drážkami na vnitřní straně. Trojfázové vinutí je vedeno drážkami tak, aby vodiče mezi sebou svíraly úhel 120° . Stejnoseměrný proud z akumulátoru je pomocí tyristoru převeden na střídavý z toho důvodu, aby na statoru došlo k vytvoření magnetického točivého pole. V tomto magnetickém poli dochází k otáčení rotoru s určitým zpožděním oproti otáčkám magnetického pole statoru. Kotva je tvořena transformátorovými plechy nalisovanými na hřídeli. Rotor může být dvojího provedení (klecový nebo kroužkový rotor). Vinutí klecového rotoru se skládá z nakrátko zapojených tyčí z hliníku, mědi nebo bronzu. Kroužkový rotor je opatřen drážkami se zavedeným vinutím. [9], [10]

Transversální motor

Jedná se o synchronní typ motoru, kde není potřeba na stator přivádět žádné napětí, neboť magnetické pole zde indukují permanentní magnety. Na rozdíl od předchozího typu motoru zde stator vytváří magnetický tok ve směru osy kotvy. Magnetické pole indukuje do vinutí kotvy stejnosměrný proud, který způsobuje, že se rotor otáčí.

Avšak u transversálních motorů nejsou otáčky rotoru ve skluzu za otáčkami magnetického pole statoru, nýbrž se rovnají. [8]

Řízený reluktanční motor

Řízený reluktanční motor se od ostatních typů stejnosměrných motorů liší svou absencí budícího vinutí v kotvě. Konstrukce rotoru je vyrobena ve tvaru kola se zuby, což dává možnost velmi rychlého nárůstu točivého momentu při malých otáčkách. Poněvadž velikost točivého momentu je úměrná úhlu natočení kotvy, nedošlo k výraznému rozšíření tohoto typu elektromotoru, ačkoliv je jeho chod na rozdíl od neřízeného reluktančního motoru plynulejší. [8], [9]

Tab. 2: Výhody a nevýhody střídavých motorů

	Střídavé motory		
	Asynchronní motor	Transversální motor	Řízený reluktanční motor
Výhody	Dobrá účinnost	Vysoká účinnost	Dobry točivý moment při rozběhu
	Otáčky až 20 000 min ⁻¹	Robustní konstrukce	Vysoká efektivita
	Menší rozměry a hmotnost	Nenáročná na údržbu	Nenáročná na údržbu
	Jednodušší konstrukce	Otáčky až 15 000 min	Pořizovací cena a náklady na chod
	Méně náročná na údržbu		
Získávání energie při brzdění			
Nevýhody	Vysoké náklady na regulaci	Větší pořizovací cena	Možný hlučný chod motoru
	Vysoké náklady na výkonový obvod	Velmi nákladná regulace	Vlnitá charakteristika točivého momentu

Zdroj: [8], [9], [10]

4.2 Akumulace elektrické energie

Elektrickou energii u elektromobilů je potřeba před jejím převodem na mechanickou energii uložit v energetickém zásobníku. K tomu slouží baterie

a akumulátory, kde je elektřina akumulována ve formě chemické energie. Oproti bateriím lze akumulátory opakovaně vybíjet a posléze znova nabít.

Skládají se z elektrolytu, kladné a záporné elektrody. Elektrody mají různý potenciál, což mezi nimi způsobuje napětí. Jelikož jsou elektrody propojeny, protéká vodičem proud. V lázni elektrolytu proudí ionty z elektrody s malým potenciálem na druhou elektrodu. [10]

Akumulátory a baterie se dělí podle látek, ze kterých se skládají elektrody a elektrolyt.

4.2.1 Olověný akumulátor

Jedná se o nejrozšířenější akumulátor pro startování vozidel, jelikož vydrží dvakrát déle než, když jsou použity pro pohon vozidla. Akumulátorové elektrody, které jsou vyrobeny z čistého olova a PbO_2 ve formě nabitých desek, jsou ponořeny v roztoku H_2SO_4 . Každá deska je nabita na 2V, což při počtu 6 desek dává celkem 12V. Lepších vlastností akumulátoru se dosahuje použitím separátorů desek. Při vybíjení vzniká v elektrolytu voda a $PbSO_4$. Tyto látky se při opětovném nabití akumulátoru přetvářejí zpět na olovo, PbO_2 a H_2SO_4 . [9], [10]

4.2.2 Nikl-kadmiový akumulátor

Anoda je vyrobena z $NiO(OH)$ a katoda z jedovatého Cd, elektrolyt tvoří roztok KOH. Výhodou tohoto akumulátoru oproti olověnému je větší dojezdová vzdálenost. Další pozitivem je dlouhá doba životnosti (až 10 let) a možnost nabít akumulátor až 2000 krát. Kladem je i možnost dlouhodobého uskladnění vybitého akumulátoru baterie. Ve srovnání s olověným akumulátorem je jeho činnost lepší i za nízkých teplot. [8], [9]

4.2.3 Nikl-metalhydridový akumulátor

Tento typ akumulátoru má kladnou elektrodu tvořenou niklem, kdežto záporná je slitina La, Co, Al a Mn. Materiálem elektrolytu je roztok KOH. Nepřítomnost jedovatého kadmia a vyšší kapacita jsou jednoznačné klady tohoto akumulátoru. Naopak se vyznačuje celkovou kratší dobou provozu a paměťovým efektem. Nevýhodou jsou i vyšší náklady na pořízení a recyklaci. [9], [10]

4.2.4 Lithium-iontový akumulátor

V elektrolytu ze LiPF_6 a organického rozpouštědla je ponořena kladná elektroda z oxidu lithia (Li_2MnO_2 , LiCoO_2 nebo LiNiO_2) a záporná elektroda z uhlíku. Tyto elektrody jsou nabitý na napětí přibližně 3-4 V. Počet opakovaných nabití a vybití akumulátoru se pohybuje okolo čísla 1000. Spolu s absencí paměťového efektu a kapacitou až 130 Wh/kg, převažují tyto klady nad dražší cenou. [8], [10]

4.2.5 Vysokoenergetický akumulátor

Tento akumulátor se od ostatních liší tím, že pracuje za vysokých teplot (250-330 °C), což mu umožňuje vyprodukovat trojnásobné množství elektřiny než Pb akumulátor. Navíc není prakticky nutná žádná údržba a nevykazuje žádné známky samovolného vybíjení. Aby však akumulátor mohl vykazovat tyto vlastnosti, musí být stále udržována jeho pracovní teplota. Vyrábí se v různých provedeních, nejčastější jsou Na-S a tzv. Zebra baterie. Sodíková záporná elektroda není pevná, ale tekutá. Pevná kladná elektroda je vyrobena nejčastěji z niklchloridu nebo síry. Elektrolyt tvoří tekutá směs soli a chloridu. [8]

5 Vozidla s elektrickým pohonem

5.1 Stručná historie vývoje elektromobilů

V době zrodu prvních motorových vozidel se experimentovalo s různými druhy pohonů. Některé slavily úspěch, některé nikoliv. Samotné kořeny počátku elektromobility sahají až do roku 1835, kdy Sibrandus Stratingh z Nizozemí přišel s návrhem vozidla poháněného elektromotorem. Pro běžný provoz na silnici však nebyl uzpůsoben (viz. Obr. 8). [8]

Další významným milníkem ve vývoji elektromobilů se stalo vozidlo sestavené belgickým konstruktérem Camillem Jenatzym. Tento vůz 29. dubna 1899 pokořil tehdejší hranici rychlosti 100km/h a porazil tak jeho největšího rivala hraběte Gastona Chasseloup-Laubata s elektromobilem Jeantaud. [16]

Maximální možnou rychlost docílenou elektromobilem navýšil v roce 1902 automobil Torpédo KID, na svojí dobu neuvěřitelnou rychlostí 170 km/hod. V tomto období zažívaly elektromobily svou největší slávu. V USA dokonce jejich počet převyšoval automobily se spalovacími motory, které nebyly příliš oblíbené kvůli jejich statování klikou. I na našem území se elektromobilům dařilo. Se svými třemi verzemi elektromobilů přišel i vynálezce František Křižík. Jeho první počín dosahoval výkonu 3,6 kW a byl hnán stejnosměrným motorem. Druhá verze měla motory o výkonu 2,2 kW v obou zadních kolech. Křižíkův třetí vůz Landalet, by se dal považovat za jednoho z prvních hybridů. Vznikl přestavením vozidla Laurin & Klement, čímž se zvětšila jeho dojezdová vzdálenost. [8], [17]

Těžkou ránu nadějnému rozkvětu elektromobility zasadil Henry Ford, který začal masově vyrábět automobily se spalovacím pohonem. Jejich nízké ceně nebyly tehdejší elektromobily schopny konkurovat. Navíc odhalení nových nalezišť ropy a vynalezení elektrického startéru Charlesem Ketteringem jen napomohlo rychlejšímu rozšíření spalovacích motorů. Začalo se také do benzínu přidávat olovo, čímž se zamezilo klepání motoru. Ropné společnosti vyvíjely tlak na veřejnost a média. Zároveň se jim podařilo

Obr. 4: První elektromobil



Zdroj: [15]

protlačit schválení zákonů, které byly pro tyto společnosti výhodné. Tyto faktory jen přispěly k praktickému zastavení evoluce elektromobilů na dlouhé roky. [18]

Znovuzrození zájmu o elektromobily nastartoval nedostatek ropy v 60. letech. Lidé se opět začali zajímat o alternativní zdroje energie. V Československu bylo vyrobeno vozidlo EMA 1 (elektrický městský automobil) a EMA 2, které bylo zkonstruováno jako nákladní automobil (viz. Obr. 5). Jako hnací jednotka byly použity dva stejnosměrné elektromotory se sériovým buzením, které odebíraly elektřinu z olověných akumulátorů. Dojezd obou vozů nebyl nijak závratný, činil přibližně 60 km. Maximální rychlost se nepřehoupla přes hodnotu 60 km/hod. Výsledky zkoušek se jevily velmi pozitivně, avšak oba elektromobily se nikdy nezačaly vyrábět. [10],[19]

Obr. 5: EMA 1



Zdroj: [19]

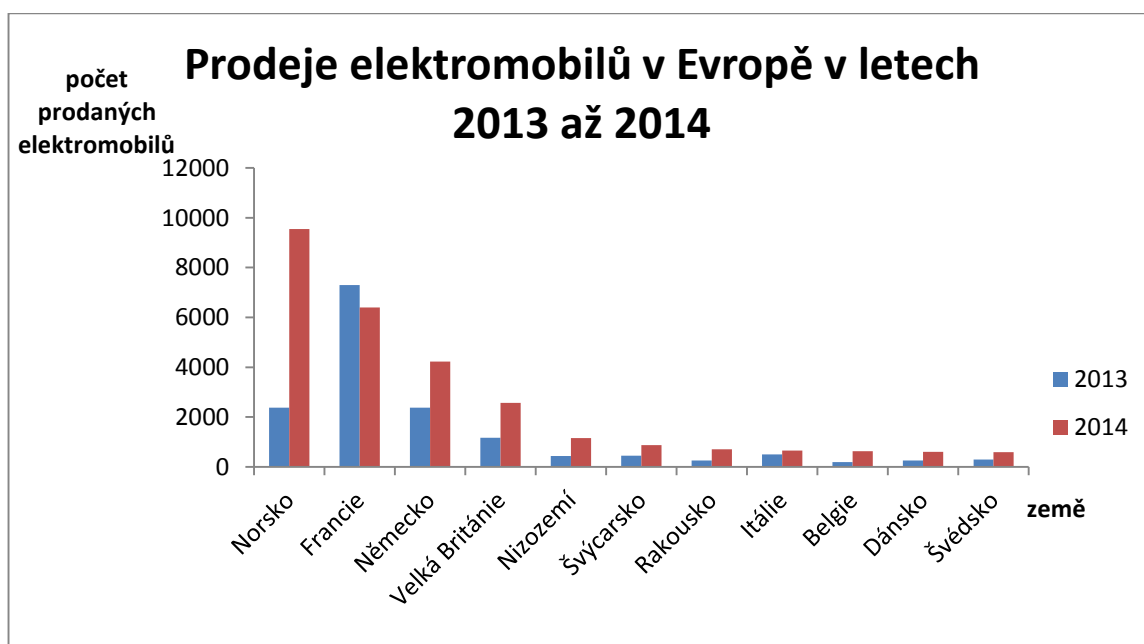
Následovalo období postupného útlumu zájmu o elektromobilitu. Poslední roky můžeme opět pozorovat zvětšený zájem o elektromobily, především kvůli globálnímu oteplování a zvyšujícím se cenám ropy.

5.2 Prodeje elektromobilů

5.2.1 Prodeje elektromobilů ve světě

Trh s elektromobily se v poslední době rozrůstá vysokým tempem. Největší trh se elektromobily představují Spojené státy americké, kde se po silnicích pohybuje až 174 000 vozů. Dalšími zeměmi s velkým počtem elektromobilů jsou Japonsko (68 000 vozidel) a Čína (45 000 vozidel). Co se týče Evropy, zde prodeje nedosahují takových čísel jako v USA a asijských zemích. Nejvíce elektromobilů v roce 2013 se prodalo ve Francii (7923 vozů), avšak v roce 2014 převzalo prvenství Norsko s 9550 vozy, celkově zde prodeje vzrostly o 302%. Největšími kupci elektromobilů v roce 2014 byly vyspělé západoevropské země, např. Německo (4230 vozů), Velká Británie (2570 vozů), Nizozemí (1149 vozů), Švýcarsko (867 vozů). Porovnání počtu prodaných elektromobilů za rok 2013 a 2014 je znázorněn v grafu 2. [20], [21]

Graf 2: Prodeje elektromobilů v Evropě v letech 2013 až 2014



Zdroj: vlastní zpracování dle [21]

5.2.2 Prodeje elektromobilů v České republice

V České republice nedosahuje počet prodaných elektromobilů závratných čísel, zejména kvůli malému počtu nabíjecích stanic a nabídce elektromobilů, nezájmu médií a neinformovaností uživatelů o této problematice. I přes tyto problémy se tento rok prodalo 140 vozů. Příští rok se očekává, že počet elektricky poháněných vozidel docílí čísla 700. Prognóza pro následující léta se jeví příznivě. V roce 2020 by se mělo prodat 6 až 7 tisíc elektromobilů. Toto číslo by mělo tvořit 3% celosvětového trhu. Avšak Česká republika bude v prodeji stále zaostávat za ostatními státy.[22], [23]

5.3 Přehled současných elektromobilů

V následující tabulce je uveden přehled osobních elektrických vozidel, užitkových elektromobilů a elektrických motocyklů a skútrů včetně jejich nejdůležitějších parametrů. Tabulka uvádí vozidla, která jsou v současné době k dispozici nebo se chystají uvést na trh. Podrobné popisy všech strojů zmíněných v tabulce se nachází v příloze.

Tab. 3: Parametry vybraných elektrických vozidel

Název	Druh	Max. výkon [kW]	Max. točivý moment [Nm]	Max. rychlost [km/h]	Doba nabíjení [h]	Dojezd [km]
Nissan Leaf	osobní elektromobil	80	254	144	8	199
Tesla Model S	osobní elektromobil	310	600	209	1	459
BMW i3	osobní elektromobil	125	250	150	8	160
Volkswagen e-Golf	osobní elektromobil	85	270	140	13	190
Renault Zoe	osobní elektromobil	65	220	135	9	210
Mercedes Benz Vito E-Cell	užitkový elektromobil	60	280	89	10	130
Ford Transit Connect Electric	užitkový elektromobil	105	292	8	120	120
Baqon MX30	nákladní elektromobil	242	Výrobce neuvádí	110	4	240
Vectrix VX-1	elektrický skútr	20	65	100	2	110
Akumoto 600	elektrický skútr	3	Výrobce neuvádí	55	8	120
Harley-Davidson LiveWire	elektrický motocykl	55	70	150	Výrobce neuvádí	80
Lightning LS-218	elektrický motocykl	150	228	350	Výrobce neuvádí	270

Zdroj: [25], [27], [28], [29], [30], [32], [51], [52], [53], [54], [55], [57], [58], [60]

6 Trolejbusy – základ elektromobility ve městech a aglomeracích

Trolejbus tvoří nezanedbatelnou součást přepravy cestujících v mnohých městech. Ovšem v posledních letech se podíl trolejbusové dopravy vůči ostatním složkám městské hromadné dopravy využívajících elektrickou trakci (tramvaje, metro) snižuje. Počet trolejbusů v České republice od roku 1995 do konce roku 2013 poklesl ze 718 na 699 vozů. V současné době je možné využít trolejbusovou dopravu v těchto českých městech: Brno, České Budějovice, Hradec Králové, Chomutov – Jirkov, Jihlava, Mariánské Lázně, Opava, Ostrava, Pardubice, Plzeň, Teplice, Zlín – Otrokovice, Ústí nad Labem. [33] Z ulic některých měst trolejbusy již zcela vymizely, jmenovitě: Praha, České Budějovice, České Velenice, Děčín, Most a Litvínov.

6.1 Výhody trolejbusů:

Výhody trolejbusů proti jiným druhům městské hromadné dopravy jsou shrnuty v následujících bodech:

- Elektrický trakční pohon umožňuje čistý chod dopravy s minimální produkcí škodlivých látek do ovzduší.
- Téměř nulové emise hluku oproti ostatním složkám MHD poháněným spalovacími motory.
- Lepší průběh točivého momentu elektromotoru
- Větší účinnost a životnost
- Oproti tramvajové přepravě se trolejbus nepohybuje po kolejové dráze, což mu umožňuje větší manévrovatelnost v městském provozu s možností vyhnutí se případným překážkám.
- Větší ochrana cestujících při nastupování a vystupování, neboť trolejbus může zastavit přímo u hrany chodníku.
- Nižší pořizovací náklady na rozdíl od tramvají a metra.
- Možnost dodávky elektrické energie pouze z vlastních zdrojů daného státu.
- Snadná obsluha při rozjíždění a brzdění.
- Řízení točivého momentu a otáček kol pouze elektromotorem, bez nutnosti přítomnosti převodovky.
- Menší opotřebení mechanických brzd díky elektromagnetickému brzdění.
- Minimální spotřeba nezatíženého motoru při zastavení v provozu a na zastávkách.
- Menší spotřeba a s ní spojené náklady při hustší dopravě na rozdíl od autobusů.

[34]

6.2 Nevýhody trolejbusů:

Nevýhody trolejbusů proti jiným druhům městské hromadné dopravy jsou shrnuty v následujících bodech:

- Horší manévrovatelnost v dopravním proudu v porovnání s autobusy.
- Vzhledem ke konstrukčnímu řešení se trolejbus vyznačuje menším počtem cestujících, kteří mohou do trolejbusu nastoupit nad stanovený počet přepravovaných osob.
- Trolejbusové vedení má oproti tramvajovému větší hmotnost, tudíž vyžaduje silnější a odolnější zavěšení.
- Výhybky jsou konstrukčně komplikovanější než u tramvají.
- Kratší doba životnosti v porovnání s tramvajemi.
- Na rozdíl od autobusové se trolejbusová doprava vyznačuje většími pořizovacími cenami.
- Trolejbus vyžaduje neustálý přísun elektrické energie, čímž se v době výpadku nebo živelných pohrom stává nepojízdným.
- Stejně jako autobus způsobuje vyjetí kolejí na silnici.

[34]

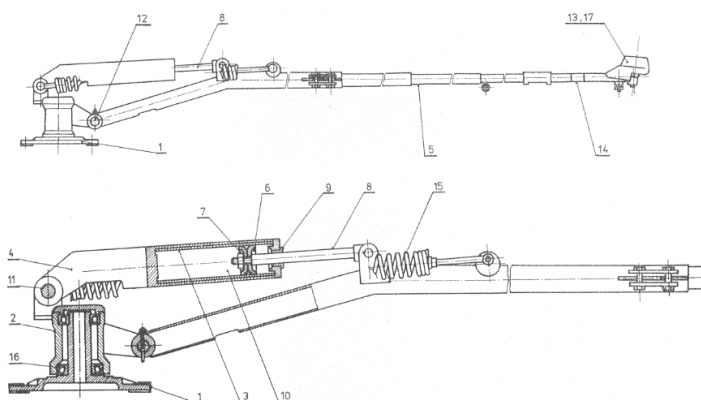
6.3 Technický princip trolejbusů

Trolejbus lze charakterizovat jako kolové vozidlo určené pro přepravu cestujících v městských a příměstských oblastech. K tomuto účelu využívá elektrický motor poháněný trolejovým vedením, které je umístěné nad vozovkou. Přičemž se mohou lišit počtem elektromotorů a náprav. Trolejbusy mohou být také vyrobeny v kloubové variantě nebo jako hybridní vozidlo s přídatným spalovacím motorem, který umožňuje jízdu i mimo dosah trakčního vedení.

6.3.1 Sběrač proudu

Stejnoseměrný elektrický proud o velikosti nejčastěji 600V je z troleje vedoucí nad vozovkou přiváděn pomocí tyčových sběračů. Ke skříni s ložisky je připevněn čep nesoucí hydraulický tlumič a sběrací tyč. Uvnitř tlumiče se nachází píst, který je utěsněný gumovým těsněním a naplněný olejem. Přímý kontakt sběrače s trolejí je zajištěn pomocí botek se sběrací uhlíkovou vložkou (viz. Obr. 6). [35], [36]

Obr. 6: Trolejbusový sběrač



Obr. 8.23. Trolejbusový tyčový zberač Škoda, typ 4 PB

Zdroj: [36]

6.3.2 Trakční elektrická výzbroj

Elektrický proud prostupuje sběračem až k bleskojistce umístěné na střeše vozidla. Tato součástka plní funkci pojistky. Při překročení povoleného napětí (nejméně 2000 V) vyvolá bleskojistka zkrat, po němž musí být nahrazena jinou. Pro případ selhání bleskojistky je vozidlo vybaveno ještě automatickým vypínačem. O rozvod trakčního elektrického proudu se stará stykač fungující jako relé. Odrušovací člen slouží k tlumení rušivých vlivů na elektrická zařízení trolejbusu a spotřebičů v blízkosti trati. Polaritu obvodu lze přehodit pomocí páky, která ovládá přepojovač polarity. Při vysokých rychlostech může dojít k časově krátkému přerušení kontaktu botky s trolejí a tím i výpadku napětí. Tomuto jevu je zabráněno díky kondenzátorové baterii. [36]

6.3.3 Pohon trolejbusů

K převodu elektrické energie na mechanickou nejčastěji slouží sériově buzený kartáčový elektromotor. Vozidlo může být vybaveno jedním nebo i více elektromotory pohánějícími jednotlivé kola nebo celé nápravy. Tyto elektrické pohony pracují s velkou účinností, největšího točivého momentu dosahují při poměrně nízkých otáčkách. Vlastní regulace otáček je řízena buď odporově, nebo tyristorově. Dnes se používá převážně tyristorová regulace. K ovládní rychlosti a změnu směru jízdy trolejbusů slouží volant a pedály pro brzdění a přidávání plynu. Spojkový pedál zcela chybí. [35], [36]

6.4 Pevná trakční zařízení

6.4.1 Trolejové vedení

Dvoupólové trolejové vedení slouží k transportu elektrické energie od zdroje k sběračům trolejbusu. Tvoří jej nosné lano s věšáky pro zavěšení trolejových drátů (viz. Obr. 7). Tyto dráty mají průřez ve velikosti přibližně 50 až 150 mm² a jsou vyrobeny nejčastěji z mědi nebo bronzu, u vysokorychlostních drátů se používá legovaná měď s přídavkem stříbra nebo hořčíku. Z důvodu bezpečnosti a praktičnosti jsou vodiče vedeny nad pozemní komunikací v konstantní výšce. Spojování drátů se provádí trolejovými svorkami. K zavěšení se využívají stožáry nebo stavby v okolí tratě. [37], [38]

Obr. 7: Trolejové vedení



Zdroj: [37]

6.4.2 Trolejové stožáry

Používají se stožáry různých rozměrů a konstrukcí, nejčastěji stožáry z betonu nebo oceli. Aby nedošlo k převrnutí stožáru vlivem tíhy vedení a síly působící od sběračů trolejbusu, musí být sloupy zapuštěny v zemi dostatečně hluboko. Nejvíce se osvědčil způsob pilotování, kdy se stožár ukotví do roury v zemi a následně se utěsí vhodným materiálem (písek). Tato metoda se liší od prostého zapuštění stožáru spolu s betonovým blokem vyznačuje lepší stabilitou, avšak nedá se použít na místech se skalnatou půdou. [38]

6.4.3 Zavěšení do zdí domů

V místech, kde není možné použití stožárů (zatačky, křížovatky), se používá zavěšení nosnými lany do zdí domů. Lana jsou ke zdi připevněna železnými hmoždinami nebo chemickými kotvami, kdy se používají speciální tmely. Tlumení vibrací obstarává gumové těsnění nebo parafil, který slouží i jako izolant. Spojováním lan do různých tvarů lze docílit výhodnější ukotvení trolejových drátů. [38]

6.4.4 Trolejové výhybky a křížení

Výhybky a křížení slouží ke změně jízdního směru trolejbusu a lze je rozdělit na mechanické a elektromagnetické. Výhybky fungující na principu elektromagnetismu lze ovládat rádiově nebo změnou odebíraného proudu. Když řidič na určitém místě na trati přidá plyn a tím začne odebírat proud z výhybkové cívky, dojde k přeskočení výhybky. Po ukončení odebírání proudu jsou výhybkové jazyky pružinami nebo pákou vráceny na původní pozici. [38]

6.4.4 Měnírny

Aby mohl být do trolejového vedení dodáván stejnosměrný proud, musí nejdříve dojít k přeměně a usměrnění střídavého proudu, děje se tak v měničnách. Stejnosměrný proud vyrobený v těchto stanicích je přiváděn napájecími kabely do napájecího bodu. V tomto místě proud vstupuje do trolejového vedení. Součástí napájecího bodu jsou odpojovače ve stožárech nebo kabelových skříních. Z odpojovačů vedou vodiče, které jsou izolované gumou, do svorek na trolejovém vedení. K ochraně proti přetížení je každý napájecí bod vybaven pojistkami. [38], [39]

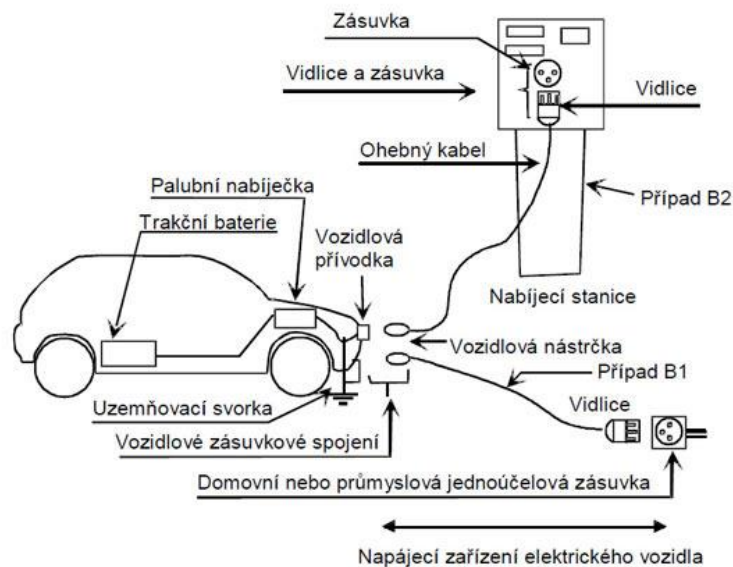
7 Infrastruktura pro nabíjení

Pojmem infrastruktura pro nabíjení rozumíme soubor všech zařízení potřebných pro opětovné nabití akumulátorů elektricky poháněných automobilů. Tato síť nabíjecích stanic musí být pokud možno co nejhustší, aby bylo možné využít elektromobilovou dopravu v každodenním životě.

7.1 Kabelové napájení elektromobilů

Akumulátory elektricky poháněných automobilů lze nabíjet střídavým nebo stejnosměrným proudem. Přičemž systém napájení střídavým proudem se vyznačuje umístěním nabíjecí stanice přímo ve voze, kdežto stejnosměrný způsob přívodu elektrické energie obsahuje nabíječ baterií jako součást infrastruktury (viz. Obr. 8). Rozeznáváme čtyři režimy nabíjení elektromobilů:

Obr. 8: Nabíjení elektromobilu externí nabíjecí stanicí



Zdroj: [40]

7.1.1 Režim 1

Jedná se o nejméně složitý způsob napájení. Elektromobil se připojí k síti pomocí běžné elektrické zásuvky. Toto zapojení lze použít pro síť se střídavým proudem do 16 A. U jednofázových sítí nesmí napětí překročit hodnotu 250 V, u trojfázových 480 V. Výhodou tohoto režimu je již zmíněná jednoduchost s možností připojit se prakticky kdekoliv. Avšak připojení klade vysoké nároky na síť, která musí být dobře uzemněná a vybavena prostředky proti úrazu osob a jističi proti přetížení. Další nedostatkem je poměrně dlouhá doba nabíjení (6-10 hod.). [41], [42]

7.1.2 Režim 2

Nevýhodu v podobě přísných požadavků na kvalitu a zabezpečení sítě odstraňuje druhý způsob připojení. Ochrany proti úrazu osob je dosaženo použitím speciálního uzemněného kabelu s proudovými chrániči mezi nabíjeným vozidlem a konektorem kabelu nebo chrániči v řídicí skřínce. U režimu číslo 2 lze opět využít běžných střídavých sítí, ovšem hodnota maximálního proudu může být až 32 A a napětí 250 V (jednofázové) nebo 480 V (dvoufázové). Speciální konstrukce kabelu se promítá v jeho vyšší pořizovacích ceně. [41], [42]

7.1.3 Režim 3

Dalším způsobem nabíjení z běžné domácí sítě je režim 3. Zvláštností od režimu 2 je, že nabíjecí zařízení elektromobilu se stará jak ovládání napájecího procesu, tak o ochranu proti přetížení a úrazu. Toto zapojení s sebou přináší výhodu ve formě nepřetěžování elektrické sítě, nemusíme se bát připojit vícero domácích spotřebičů při probíhajícím napájení elektromobilu. [41]

7.1.4 Režim 4

Oproti předešlým druhům napájení využívá tento systém pro dobíjení akumulátoru elektromobilu stejnosměrný proud. Nicméně nabíjecí stanice se zabudovaných kabelem je umístěná vně vozu a připojená k stejnosměrné síti. Nabíječka tedy provádí přeměnu a usměrnění střídavého proudu na stejnosměrný, zároveň řídí a provádí ochranu celého napájecího postupu. Tento způsob je výrazně rychlejší než připojení k běžné síti. Rychlonabíječkami se dá 80% kapacity akumulátoru nabít přibližně za 15-30 minut. [41], [42]

7.1.5 Typy připojení a používané konektory

Pro každý napájecí režim je vhodný jiný typ připojení kabelu. Samozřejmostí je, že pro každý typ musí být zamezeno mechanickému namáhání a styku s živými organismy, vodou, drobnými částicemi, prachem a chemikáliemi.

Typ A

Elektromobil má jako součást své výbavy napájecí kabel, který je pevně spojen s nabíjecí stanicí uvnitř vozu. Nabíjecí kabel lze připojit přímo k síti domu (typ A1) nebo do stanice pro nabíjení (typ A2). [40]

Typ B









Zde kabel není součástí výbavy a je možné ho odejmout spolu s vozidlovou nástrčkou a napájecím zařízením na střídavý proud. Podobně jako u typu A rozeznáváme opět dva druhy připojení: k běžné síti (B1) nebo do napájecí stanice (B2). [40]

Typ C

Jedná se, co se týče uchycení kabelu, o přesný opak typu A. Kabel je v tomto případě součástí nabíjecí stanice umístěné mimo vůz. Typ C se výhradně jako jediný uplatňuje u nabíjecího režimu č. 4. [40]

Konstrukce a vzhled připojovacích konektorů se liší podle napájecího proudu a lokality výskytu. Normované konektory jsou znázorněny na obrázku č. 9.

Obr. 9: Druhy napájecích konektorů

	Typ 1 / USA	Typ 2 / Evropa	GB / Čína
Střídavý proud (AC)	 SAE J1772/IEC 62196-2	 IEC 62196-2	 GB Part 2
Stejnoseměrný proud (DC)	 IEC 62196-3	 IEC 62196-3	 GB Part 3/IEC 62196-3
Kombinovaný nabíjecí systém AC/DC	 SAE J1772/IEC 62196-3	 IEC 62196-3	

Zdroj: [42]

7.2 Bezdrátové nabíjení

V současnosti existují dva základní druhy bezdrátového nabíjení elektromobilů. Základem systému vyvinutého firmou Halo IPT je princip magnetické indukce. Automobil s přijímačem elektrické energie najede na speciální podložku, která mu posléze začne dodávat elektrický proud. Tato technologie však potřebuje, aby se podložka a přijímač překrývaly přinejmenším zčásti a vzdálenost mezi nimi nesmí překročit několik centimetrů.

Naopak technologie WiTricity využívá magnetické rezonance, čímž odpadá nutnost překryvu a vzájemné viditelnost podložky a přijímače. Základem těchto dvou prvků jsou magnetické oscilátory, které tvoří magnetické pole okolo všech bariér mezi nimi. V závislosti na poměru velikostí mezi přijímačem a zdrojem lze při nabíjení dosáhnout účinnosti až 95%. Technologii si zakoupila a investuje do ní japonská automobilka Toyota. [43]

Dnes se oba způsoby vyskytují převážně v podobě nabíjecích podložek v garážích domů, avšak do budoucna by se jejich působnost mohla rozšířit i na silniční komunikace. Potenciál lze spatřit v městské hromadné dopravě, kdy by se elektrobuses přímo za jízdy dobíjely bezdrátovým kontaktem s nabíjecím pásem umístěným v povrchu vozovky nebo v prostoru zastávek. Bylo by jím tak možné nahradit nadzemní vedení trolejbusů. [44]

7.3 Solární energie

Ekologičtější alternativu než dobíjení akumulátorů z rozvodové sítě budov představuje přeměna energie ze slunečního záření přeměněná na elektrický proud. V minulosti již proběhly experimenty s pohonem elektromobilů čistě ze sluneční energie, jenže se jednalo o vozidla v normálním provozu prakticky nevyužitelná. Pokud bychom chtěli solární panely zařadit do konstrukce elektromobilu, bylo by vhodné je umístit na střechu, kde by byl zaručen nejlepší příjem slunečních paprsků. Získaná energie by pak nesloužila pro pohon vozidla, nýbrž například k napájení ostatních elektrických prvků v automobilu (např. stahování oken, osvětlení palubní desky a dalších přístrojů v interiéru). Solární články se spíše uplatňují jako součást dobíjecích stanic. Jednou ze společností, která představila svou verzi solárního přístřešku, je i německá firma BMW. Střechu

zde tvoří fotovoltaické panely a jako nosné sloupky slouží bambusové nosníky (viz. obr. 10). Elektromobil se pak jednoduše zaparkuje pod tento přístřešek, připojí se k němu kabelem a nechá se napájet.

Zároveň je vozu poskytována ochrana před deštěm, sněhem a dalšími klimatickými jevy. K myšlence ekologických solárních stanic se přiklání i více automobilek. Tesla vyvinula svůj systém, který zvládne nabít elektromobil Tesla model S za zhruba 30 minut. [45], [46]

Obr. 10: Solární přístřešek



Zdroj: [45]

7.4 Rekuperace

Dnes již běžný způsobem získávání energie lze nazvat rekuperaci brzdné energie. Při brzdění automobilu se kinetická energie rotujících kol v brzdových destičkách přeměňuje a ztrácí ve formě tepla. Rekuperací lze ztrátovou energii uložit v akumulátorech jako elektřinu a následně ji dodat elektrickému trakčnímu pohonu. Tento způsob regenerace elektrické energie akumulátorů se běžně vyskytuje u současných elektromobilů (Nissan Leaf, Tesla Model S, BMW i3, Volkswagen e-Golf, Renault Zoe). Systém rekuperace zažil svoji premiéru v sezóně 2009/2010 v závodech F1, kde se nazýval KERS (Kinetic Energy Recovery System) a umožňoval krátkodobé zvýšení výkonu až o 60 kW. KERS funguje na stejném principu jako rekuperace u elektromobilů. Ztrátové teplo se zde opět transformuje na elektrickou energii (ukládá se do akumulátorů) nebo se ve formě kinetické energie uchovává v setrvačnicku. Nevýhodou je vysoká hmotnost a počet dílů setrvačnicku a s tím spojené zvýšené riziko poruchy. [47], [48]

8 Vize a možnosti dalšího rozvoje

8.1 Solární silnice

Jako zajímavý nápad v oblasti dopravní infrastruktury elektricky poháněných vozidel se jeví tzv. solární silnice. Jedná se o projekt, který vznikl ve Spojených státech v hlavách Julie a Scotta Brusawových. Jejich smělé plány zahrnují nahrazení celého systému asfaltových dopravních cest v USA speciálními solárními panely (viz. obr. 11). Silnice dokáže absorpcí slunečního záření vyprodukovat elektrickou energii s účinností 18,5 %. Což by mohlo hrát zásadní roli v problematice rozvodu elektrické energie do nabíjecích stanic elektromobilů.

Obr. 11: Vizualizace solární silnice



Zdroj: [49]

Základní vrstva je z 10 % tvořena z recyklovaného skla. Vnější ochranná vrstva je vyrobena z neprůstřelného skla, které poskytuje nosnost až 113 tun, přičemž by mělo být dosaženo životnosti delší než 20 let. Výrobce udává, že přilnavost silnice umožňuje zastavení automobilu jedoucího rychlostí až 130 km/h.

Samozřejmostí je, že v zimních měsících, kdy je vozovka pokryta vrstvou sněhu a ledu, nemohou sluneční paprsky proniknout na povrch solárních panelů, a tudíž by nedocházelo k nabíjení. Zároveň je snížena trakce a je zvýšeno riziko vzniku dopravní nehody. Proto je silnice vybavena HEAT systémem, jenž sníh i led na povrchu silnice rozpustí.

Díky zabudovaným LED obrazovkám odpadá nutnost aplikace nátěrů vodorovného dopravního značení. LED displeje umožňují rychlejší adaptaci na konkrétní dopravní situace. Informace o dopravních nehodách, uzavírkách nebo kongescích jsou promítány přímo na povrchu silnice.

Vybudování soustavy solárních silnic s sebou nese komplikaci související s jejich vysokou cenou. Z počátku by se tato technologie dala použít hlavně pro parkovací místa nebo chodníky. Pokud o solární silnice projeví zájem větší investoři a vlády zemí, mohlo by dojít k jejich většímu rozšíření. Dnes je však těžké odhadovat, jestli se v budoucnu tento projekt uchytí nebo zda zanikne. [49]

8.2 Akumulátory z mořských řas

Největší problém, co se týče ukládání elektrické energie v automobilech, tvoří nedostatečná kapacita akumulátorů. Dnes se hledá typ baterií, který by poskytl takovou kapacitu, aby dokázala pohánět vozidlo na co největší vzdálenost a co nejdéle dobu. Se zajímavou myšlenkou přišla firma aLGAS (založená Adamem Freemanem). Jako základ své technologie by chtěli použít organické mořské řasy, které jsou prý schopny uchovávat elektrický náboj. Už v roce 2012 se objevil případ, kdy francouzský biochemik Pierre Calejja vytvořil pouliční lampu, která okolí osvětlovala pomocí energie získané z řas a jejich probíhající fotosyntézy. Díky jejich síti navzájem spojených drobných vláken umožňují nabití celého akumulátoru už za 11 vteřin. Také udávaná kapacita se zdá být neuvěřitelná, dokonce až 200 násobek kapacity běžných lithium-iontových baterií. Společnost aLGAS tvrdí, že tohoto výsledku je schopná dosáhnout pomocí speciálního polymeru vlastní výroby, jenž vytváří propojení mezi buňky. V současné době je projekt testován a hledá se vhodný investor pro výzkum. Jestli se této novince podaří naplnit svůj potenciál, ukáže až čas. [50]

8.3 Akumulátory hliník-vzduch

Mnoho uživatelů elektromobilů si stěžuje na malou dojezdovou vzdálenost. Tuto nevýhodu se snaží svým výzkumem odstranit firma Phinergy z Izraele, která ve spolupráci s kanadskou společností Alcoa vyvinula zcela nový druh akumulátoru na bázi hliníku a vzduchu. Svoji novinku prezentovala na speciálně upraveném Citroënu C1 v úpravě s elektrickým namísto spalovacím motorem. Vývojáři automobil vybavili svým novým druhem akumulátoru o hmotnosti asi 100 kg, jenž by prý umožnil ujet až 1800 km na jedno nabití. Společnost dále uvádí, že teoreticky možný dojezd by mohl dosáhnout až 3000 km.

Základ pro tvorbu elektrické energie tvoří hliníkové desky. Hliník se zde vlivem vzduchu a vody neustále oxiduje na oxid hlinitý. V normálních podmínkách by se tato reakce zastavila po pokrytí celého povrchu elektrod, avšak v prostoru akumulátoru se nachází elektrolyt, jenž tuto vrstvu neustále rozpouští. Reakce probíhá až do úplného zoxidování hliníku, což s sebou nese problémy s životností sady baterií. Po úplném

spotřeba hliníku by musel uživatel vozu zajet do servisu, kde by byla provedena výměna akumulátoru. Pokud by majitel automobilu pravidelně doléval vodu do elektrolytu, bylo by možné dobu návštěvy servisu prodloužit na jeden rok. Sama firma Alcoa si je vědoma tohoto zádrhelu a připouští, že její technologie by měla sloužit pro delší jízdy. Díky delší životnosti a schopnosti nabíjení doma počítá firma s lithium-iontovými bateriemi jako hlavním zdrojem energie pro cesty na krátké vzdálenosti s případným přepnutím na článek hliník-vzduch. [50]

9 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zmapovat současný stav vývoje elektromobility. V první části jsou shromážděny informace o platné legislativě elektromobilů a elektrických vozidel, včetně trolejbusů. Jsou zde také uvedeny požadavky, které musí tyto vozidla splňovat, aby prošla homologačním procesem. Následující kapitola se věnuje popisu motorů elektrické trakce pracujících na principu stejnosměrného i střídavého proudu. Výhody a nevýhody elektromotorů podle druhu elektrického proudu jsou shrnuty ve dvou tabulkách. Dále je zde uvedeno několik akumulátorů sloužících k uložení elektrické energie. Pátá část pojednává o historii elektromobility, prodeji elektromobilů ve světě i v České republice, současné produkci elektrických vozidel a motocyklů a jejich parametřům. Další kapitola shrnuje poznatky o trolejbusích v ČR, o jejich kladech a záporech a principu sběru elektrické energie, včetně pomocných trakčních zařízení. Sedmá část poskytuje informace o způsobech nabíjení elektrických vozidel, napájecích režimech a používaných konektorech. Možné budoucí trendy jsou popsány v poslední kapitole.

Výrazným problémem bránící rozšíření elektromobilů je nedostatečná nabíjecí infrastruktura. Co se týče počtu nabíjecích stanic, zde na plné čáře vítězí spalovací motory. Jelikož benzínové pumpy jsou prakticky na každém kroku i v těch nejzapadlejších koutech zeměkoule, vypadá síť stanic pro dobíjení elektromobilů celkem chudě. K jejímu výraznému rozšíření by v budoucnu mohl přispět rozvod elektřiny skrze solární silnice. Další překážkou v rozšíření elektromobilů mezi obyčejné lidi by mohla být jejich poněkud dlouhá doba nabíjení a malý dojezd. Mállokterý uživatel automobilu je ochotný čekat dlouhé hodiny než se baterie plně nabije. Tento problém dnes většina automobilek řeší instalováním tzv. rychlonabíjecích stanic, které zvládnou akumulátor dobít cca za 30 minut. Dojezdová vzdálenost je značně závislá na akumulátoru a jeho kapacitě. Očekává se snaha firem o vývoj menších a lehčích akumulátorů s co největší kapacitou, které by umožnily co největší dojezd. Průlom by mohly znamenat akumulátory vyrobené z mořských řas nebo typu hliník-vzduch.

Elektrické motory vynikají především díky své poměrně nízké produkci škodlivých plynů, která je v porovnání s benzínovými a dieslovými motory prakticky nulová. Ve vyspělých zemích existují dotace na pořízení a provoz elektromobilů, avšak v České republice tato pomoc zcela chybí.

Chceme-li alespoň částečně ulevit naší planetě snížením počtu automobilů se spalovacím pohonem a tím i snížení výfukových plynů produkovaných do ovzduší, mělo by být naší snahou co nejvíce se v budoucím vývoji soustředit na elektricky poháněná vozidla. Úplné vytěžení zásob ropy by tím mohlo být zastaveno nebo přinejmenším zbrzděno.

10 Seznam použitých zdrojů

- [1] International Energy Statistics . *EIA*. [online]. [2013] [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=5&pid=5&aid=2&cid=ww,&syid=1980&eyid=2013&unit=TBPD>
- [2] Česká republika v mezinárodním srovnání 2013. *ČSÚ*. [online]. 6.3.2014 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: http://www.czso.cz/csu/2013edicniplan.nsf/kapitola/1607-13-r_2013-1
- [3] Vyhláška MDS č. 341/2002 Sb., o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů
- [4] zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích
- [5] Předpis EHK 100: Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska zvláštních požadavků na elektrický pohon
- [6] Předpis EHK 100: Jednotná ustanovení pro homologaci bateriových elektrických vozidel z hlediska zvláštních požadavků na konstrukci, funkční bezpečnost a emise vodíku
- [7] SVOBODA, Jiří. *Teorie dopravních prostředků-Vozidla silniční a terénní*. Praha: ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03005-9.
- [8] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony*. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [9] KAMEŠ, Jan. *Alternativní pohony automobilů*. Praha: BEN-Technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-127-6.
- [10] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [11] Asynchronní motor. *E-vodarny.cz*. [online]. 15.8.2013 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://www.e-vodarny.cz/blog/clanky/asynchronni-motor>
- [12] GKN Sinter Metals displays Transversal Flux Motor at CWIEME 2013. *GKN Sinter Metals*. [online]. 22.5.2013 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.gkn.com/sintermetals/capabilities/soft-magnetic-pm/news/Pages/GKN-Sinter-Metals-to-display-innovative-Transversal-Flux-Motor-at-the-CWIEME-2013.aspx>
- [13] Specialni Krokove Motory Na Miru. *ServoDrive*. [online]. [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: http://www.servo-drive.com/specialni_krokove_motory_krokove_motory_na_miru.php

- [14] Olovený akumulátor. *Naftis-91*. [online]. 19.2.2009 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://naftis-91.blog.cz/0902/oloveny-akumulator>
- [15] Sibrandus Stratingh (1785-1841). *University of Groningen*. [online]. 15.5.2013 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.rug.nl/science-and-society/university-museum/prominent-professors/stratingh?lang=en>
- [16] VACEK, Zdeněk. Stovka Rudého d'ábla (Camille Jenatzy a rychlostní rekord 100 km/h). *veteran.auto.cz*. [online]. 24.3.2010 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://veteran.auto.cz/osobnosti/stovka-rudeho-dabla-camille-jenatzy-a-rychlostni-rekord-100-kmh/>
- [17] Historie. *Skupina ČEZ*. [online]. [2014] [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.elektromobilita.cz/cs/elektromobilita/historie.html>
- [18] INURU, Mik. První elektromotory a elektromobily na světě se datují od roku 1834. *INURU souvislosti a budoucnost*. [online]. 20.6.2012 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.inuru.com/index.php/planeta/mezniky-vedy/468-historie-elektromobil-elektromotor>
- [19] HORČÍK, Jan. První český elektromobil sestrojili v Brně. *Hybrid.cz*. [online]. 17.7.2011 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/prvni-cesky-elektromobil-sestrojili-v-brne>
- [20] Počet elektromobilů se za loňský rok zdvojnásobil. Po světě už jich jezdí 405 tisíc. *Ihned.cz*. [online]. 1.4.2014 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://byznys.ihned.cz/c1-61948570-po-svete-jezdi-405-tisic-elektromobilu-usa-japonsko-cina>
- [21] Europe Electric Car Sales Up 77% In 2014. *EVObsession*. [online]. 7.8.2014 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://evobsession.com/europe-electric-car-sales-77-2014/>
- [22] Počet elektromobilů v ČR se příští rok zdvojnásobí. *auto.cz*. [online]. 16.11.2014 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/pocet-elektromobilu-v-cr-se-pristi-rok-zdvojnasi-84111>
- [23] Shrnutí výsledků studie. Vývoj elektromobility v České republice. [online]. © 2014- [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: http://www.hybrid.cz/img/Roland_Berger_eMobility_study2014_20141105.pdf

- [24] Nový Nissan LEAF. *nissan.cz*. [online]. © 2015- [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.nissan.cz/CZ/cs/vehicle/electric-vehicles/leaf/prices-and-equipment/prices-and-specifications/model-details.html>
- [25] JUNGMANN, Aleš. Test Nissan Leaf – Auto z budoucnosti. *auto.cz*. [online]. 4.12.2013 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/test-nissan-leaf-auto-z-budoucnosti-78188>
- [26] Model s Design Studio. *Tesla Motors*. [online]. © 2015- [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: http://my.teslamotors.com/en_EU/models/design
- [27] BUREŠ, David. Tesla Model S P85D: Elektromobil s výkonem 515 kW a pohonem všech kol. *auto.cz*. [online]. 10.10.2014 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/tesla-model-s-p85d-elektromobil-pohonem-vsech-kol-vykonem-515-kw-83510>
- [28] BMW i3: Na první pohled. *Vozy BMW – webové stránky BMW AG*. [online]. [2015] [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.bmw.cz/cz/cs/newvehicles/i/i3/2013/showroom/>
- [29] Volkswagen e-Golf . *AUTOJAROV: Volkswagen*. [online]. © 2014- [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://volkswagen.autojarov.cz/golf/e-golf/>
- [30] Technická data. *Volkswagen Česká republika*. [online]. © 2015- [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: http://www.volkswagen.cz/modely/e-golf/ceniky_a_data/technicka_data
- [31] ZOE. *Renault UK*. [online]. © 2015- [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.renault.co.uk/cars/electric-vehicles/zoe/zoe/price.jsp>
- [32] Renault Zoe: Elektromobil za pouhých 350.000 korun. *auto.cz*. [online]. 18.4.2013 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/renault-zoe-elektromobil-pouhych-350-000-korun-74040>
- [33] Dopravní park – časové řady. *ČSÚ*. [online]. 29.1.2013 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/dopravni_park_casove_rady
- [34] DRDLA, Pavel. *Technologie a řízení dopravy : městská hromadná doprava*. 1. vyd. Pardubice : Tiskařské středisko Univerzity Pardubice, 2005. 136 s. Skripta DFJP. ISBN 80-7194-804-7.

- [35] Test: Škoda 14Tr17/6M. *D-FENS Weblog*. [online]. 15.3.2009 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.dfens-cz.com/view.php?cislocclanku=2009031504>
- [36] Charakteristiky provozu trolejbusové dopravy. *homen.vsb.cz*. [online]. [2004] [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: homen.vsb.cz/~s1i95/mhd/trolejbus_hot.ppt
- [37] KRČMA, Tomáš. VÝPOČET PARAMETRŮ A GEOMETRIE TROLEJOVÉHO VEDENÍ V MATLABU. . [online]. 23.11.2009 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/MATLAB09/prispevky/059_krcma.pdf
- [38] Trolejové vedení. *MHD Pardubice a historické trolejbusy*. [online]. 27.10.2007 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.trolejbus.cz/kniha5.htm>
- [39] Měničiny a napájecí kabely. *MHD Pardubice a historické trolejbusy*. [online]. 3.1.2011 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.trolejbus.cz/kniha5.htm>
- [40] Nabíjecí systémy elektromobilů vodivým propojením dle ČSN EN 61851-1 ed. 2. *ElektroPrůmysl.cz*. [online]. 24.5.2012 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/legislativa-a-normalizace/nabijeci-systemy-elektromobilu-vodivym-propojenim-dle-csn-en-61851-1-ed-2>
- [41] Připojení systému k nabíjecí stanici – klíčový prvek pro elektromobily. . [online]. © 2011- [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.schneider-electric.cz/documents/product-services/en/product-launch/electric-vehicle/s1045.pdf>
- [42] Napájení elektrických vozidel. *Elek*. [online]. 18.4.2013 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/elektricke-a-zalozni-zdroje-energie/napajeni-elektrickych-vozidel>
- [43] SRB, Luděk. WiTricity – bezdrátové nabíjení elektromobilů. *ElektrickéVozy.cz*. [online]. 7.1.2012 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://elektrickevozy.cz/clanky/witricity-bezdratove-nabijeni-elektromobilu/>
- [44] GROHMANN, Jan. Švédové připravují elektrické silnice. *Hybrid.cz*. [online]. 23.5.2014 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/svedove-pripravuji-elektricke-silnice>

- [45] Jak snadno dobít elektromobil? Stačí solární přístřešek. *LogioLogio*. [online]. 16.6.2014 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://blog.logio.cz/2014/06/16/snadno-dobit-elektromobil-staci-solarni-pristresek/>
- [46] Tesla uvedla nejrychlejší solární nabíječku pro elektromobily. *Lidovky.cz: Auto*. [online]. 26.9.2012 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: http://byznys.lidovky.cz/tesla-predstavila-nejrychlejsi-solarni-nabijecku-pro-elektromobily-ljp-auto.aspx?c=A120925_183933_In-auto_kim
- [47] SAJDL, Jan. Regenerativní brzdění – rekuperace brzdné energie. *autolexicon.net*. [online]. © 2015- [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/regenerativni-brzdeni/>
- [48] TŮMA, Martin. Formule 1 na baterie nebo na setrvačnick?. *VTM.cz*. [online]. © 2015- [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://vtm.e15.cz/formule-1-na-baterie-nebo-na-setrvacnik>
- [49] GILPIN, Lyndsey. How 'Solar Roadways' plans to create smart roads to produce clean energy and save lives and money. *TechRepublic*. [online]. 5.6.2014 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.techrepublic.com/article/how-solar-roadways-plans-to-create-smart-roads-to-produce-clean-energy-and-save-lives-and-money/>
- [50] VOKÁČ, Luděk. Elektromobily urazí tisíce kilometrů. Díky bateriím z řas nebo hliníku. *iDNES.cz*. [online]. 18.6.2014 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/baterie-z-ras-nebo-hliniku-096-automoto.aspx?c=A140616_231839_automoto_vok
- [51] Harley-Davidson ukázal LiveWire, svou první elektrickou motorku. *Novinky.cz*. [online]. 21.6.2014 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/auto/339939-harley-davidson-ukazal-livewire-svou-prvni-elektrickou-motorku.html>
- [52] DANĚK, Roman. E-bike Lightning LS-218 umí 350 km/h!. *Motorkáři.cz*. [online]. 2.6.2014 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/moto-novinky/ostatni/e-bike-lightning-ls-218-umi-350-km-h-28426.html>
- [53] DUCHÁČEK, Jaroslav a Tichý Filip. Elektroskútry Vectrix. *Motorkáři.cz*. [online]. 21.11.2006 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/clanky-predstavujeme/elektroskutry-vectrix-3829.html>

- [54] ČERNÝ, Ladislav. Test: Mercedes-Benz Vito E-Cell – Elektrofurgon. auto.cz. [online]. 15.1.2013 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/test-mercedes-benz-vito-e-cell-elektrofurgon-72355>
- [55] REJLEK, Jakub. Elektrický pracant – Ford Transit Connect Electric. iFaster.cz. [online]. 16.2.2012 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://ifaster.cz/elektricky-pracant/>
- [56] Z výrobní linky sjel již 1000 elektro skútr české značky AKUMOTO. pc-politika.cz. [online]. 3.10.2013 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.pc-politika.cz/News-3063-Z-vyrobní-linky-sjel-jíž-1000-elektro-skutr-ceske-znacky-AKUMOTO.html>
- [57] Testujeme Akumoto 600. Skutrmania.cz. [online]. 13.7.2012 [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://skutrmania.cz/clanek/362-testujeme-akumoto-600.html>
- [58] Balqon Electric Vehicle Manufacturer. Balqon Corporation. [online]. © 2015- [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://www.balqon.com/electric-vehicles/nautilus-xe30/>
- [59] Balqon Corporation Introduces Zero-Emissions MX30 Class 8 Electric Tractor. Business Wire. [online]. 2.5.2012 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: http://www.businesswire.com/news/home/20120502005665/en/Balqon-Corporation-Introduces-Zero-Emissions-MX30-Class-8#.VQctyY6G_uJ
- [60] Elektrický skútr AKUMOTO 600 (3kW). Akumoto. [online]. © 2015- [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://www.akumoto.com/detail/elektricky-skutr-akumoto-600-3kw>

11 Seznam obrázků

- Obr. 1: Symbol vysokonapěťového zařízení*
- Obr. 2: Mezinárodní značka o schválení*
- Obr. 3: Momentová charakteristika stejnosměrných motorů*
- Obr. 4: První elektromobil*
- Obr. 5: EMA 1*
- Obr. 6: Trolejbusový sběrač*
- Obr. 7: Trolejové vedení*
- Obr. 8: Nabíjení elektromobilu externí nabíjecí stanicí*
- Obr. 9: Druhy napájecích konektorů*
- Obr. 10 :Solární přístřešek*
- Obr. 11: Vizualizace solární silnice*
- Obr. 12: Asynchronní motor*
- Obr. 13: Transversální motor*
- Obr. 14: Řízený reluktanční motor*
- Obr. 15: Olověný akumulátor*
- Obr. 16: Nissan Leaf*
- Obr. 17: Tesla Model S P85D*
- Obr. 18: BMW i3*
- Obr. 19: Volkswagen e-Golf*
- Obr. 20 : Renault Zoe*
- Obr. 21: Mercedes Benz Vito E-Cell*
- Obr. 22: Ford Transit Connect Electric*
- Obr. 23: Balqon MX30*
- Obr. 24: Vectrix*
- Obr. 25: Akumuto 600*
- Obr. 26: Harley-Davidson LiveWire*
- Obr. 27: Lightning LS-218*

12 Seznam grafů

Graf 1: Celosvětové emise CO2 v letech 1990 až 2011

Graf 2: Prodeje elektromobilů v Evropě v letech 2013 až 2014

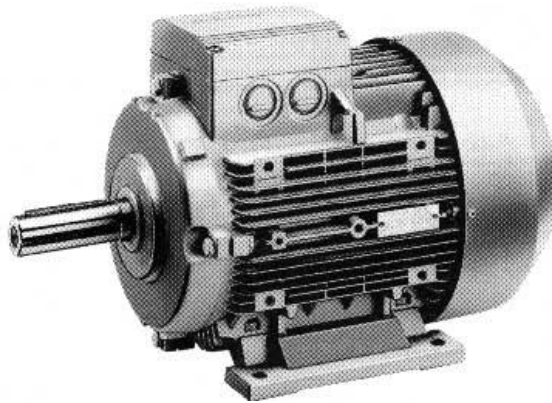
13 Seznam tabulek

Graf 1: Celosvětové emise CO2 v letech 1990 až 2011

Graf 2: Prodeje elektromobilů v Evropě v letech 2013 až 2014

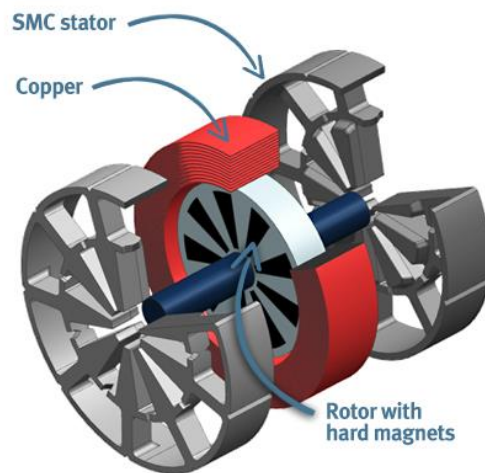
Příloha A

Příloha Obr. 12: Asynchronní motor



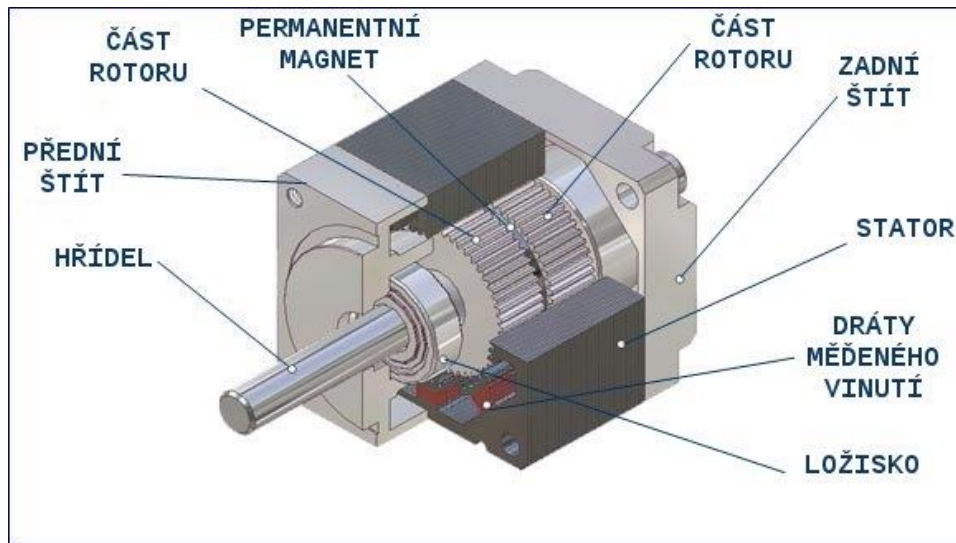
Zdroj: [11]

Obr. 13: Transversální motor



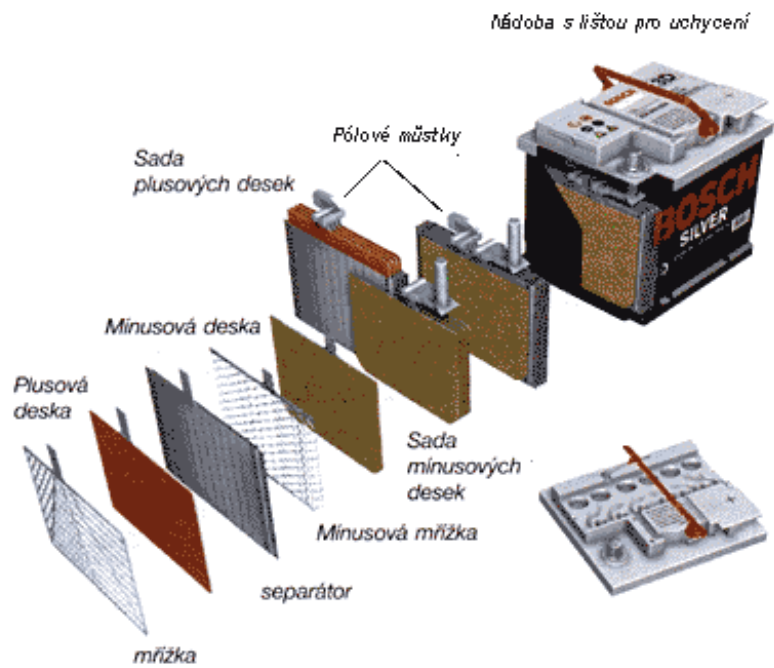
Zdroj: [12]

Obr. 14: Řízený reluktanční motor



Zdroj: [13]

Obr. 15: Olověný akumulátor



Zdroj: [14]

Příloha B

Nissan Leaf

Jedná se o v současnosti nejprodávanější elektromobil na světě. O pohon vozidla se stará elektromotor, který dodává výkon 80 kW. Lze dosáhnout maximální rychlosti až 144 km/hod a točivého momentu 254 Nm. Automobil je vybaven automatickou převodovkou a systémem rekuperačního získávání energie z brzdění. Elektrická energie je do motoru dodávána z lithium-iontové baterie o kapacitě 24 kWh. Dobíjení automobilu je řešeno pomocí 3,3 kW nebo 6,6 kW nabíječky. Při napájení akumulátoru z domácí stanice o napětí 230 V lze elektromobil nabít za 4-8 hodin. S využitím vysokorychlostní nabíjecí stanice lze tuto dobu snížit až na 30 minut. Dojezdová vzdálenost činí dle údajů výrobce až 199 km, v reálu je však o něco nižší, vlivem počasí a jízdních podmínek. Protože chod elektromotoru je velmi tichý, o bezpečnost zejména v městské zástavbě se stará systém zvukového varování chodců. [24], [25]

Obr. 16: Nissan Leaf



Zdroj: [25]

Tesla Model S

Firma Tesla Motors patří ve vývoji elektromobilů ke světové špičce. Nejnovější Model S P85D se začne prodávat v roce 2015. Tento vůz se může pochlubit několika zajímavými parametry. Především vyniká svojí dojezdovou vzdáleností přes 460 km na jedno nabití. O pohon všech čtyř kol se starají dva třífázové asynchronní motory. Elektromotor pohánějící přední kola má výkon 165 kW a zadní 350 kW. Točivý moment 930 Nm umožňuje dosáhnout nejvyšší rychlosti až 250 km/hod a akcelerace z 0 na 100 za 3,4 sekundy. Dobíjet baterie lze přímo ze sítě 230 nebo 400 volty. V Evropě lze také využít síť nabíjecích stanic Supercharger, která zvládne nabít polovinu baterie za 20 minut. Tyto stanice se však zatím ještě nenachází na území České republiky, automobilka však plánuje rozšíření stávající sítě. Ve výbavě je i systém autopilota a sledování vozovky, jenž umožňuje vyhnout se nehodě nebo samostatně zaparkovat. Kvalitě tohoto vozidla odpovídá i cena, která se vyšplhala na 85 000 eur. [26], [27]

Obr. 17: Tesla Model S P85D



Zdroj: [26]

BMW i3

I společnost BMW přišla se svou verzí moderního městského elektromobilu. Pro pohon vozu automobilka vytvořila elektromotor eDrive s výkonem 125 kW, jenž dokáže vyvinout točivý moment 250 Nm. Vozidlo je schopné zrychlit z 0 na 100 za 7,9 vteřiny. Samozřejmostí je, že lithium-iontové baterie o kapacitě 18,8 kWh lze

nabíjet přímo ze sítě, ale i z rychlonabíjecích stanic. Z běžné zásuvky se akumulátor nabije za 6 až 8 hodin, rychlonabíjením za pouhých 30 minut. Navíc pokud není plynový pedál sešlápnut, elektromotor rekuperuje elektrickou energii zpátky do baterie. Dojezd až 160 km je možné použít prodlužovač dojezdu REx (malý spalovací benzinový motor) k dobíjení akumulátoru za jízdy a tím zvýšit dojezdovou vzdálenost až na 340 km. [28]

Obr. 18: BMW i3



Zdroj: [28]

Volkswagen e-Golf

V rámci programu Think Blue společnosti Volkswagen byl klasický benzinový Golf přestaven na elektromobil. Spalovací motor byl nahrazen elektromotorem o maximálním výkonu 85 kW a točivém momentu 270 Nm. Automobil z 0 na 100 dosáhne za 10,4 vteřiny a může jet až 140 km rychlostí. Vůz spotřebuje 12,7 kWh na 100 km jízdy a na jedno nabití zvládne urazit až 190 km. Akumulátory jsou napájeny za jízdy pomocí rekuperace nebo pomocí domácí nabíječky za necelých 13 hodin. Zkrácení této doby lze provést pořízením tzv. Wallboxu, který nabíjecí proces zredukuje na 8 hodin. Automobil také podporuje nabíjení z veřejných stanic rychlého nabíjení, v tomto případě za 30 minut. [29], [30]

Obr. 19: Volkswagen e-Golf



Zdroj: [29]

Renault Zoe

Tento automobil s náhonem na přední kola je co v současnosti asi největším konkurentem Nissanu Leaf, co se prodeju týče. Elektromotor s výkonem 65 kW dodává nejvyšší točivý moment až 220 Nm. Vůz je schopný dosáhnout rychlosti 135 km/hod a ujeté vzdálenosti 210 km. O dodávku elektřiny do elektromotoru se stará lithium-iontový akumulátor s kapacitou 65 Ah, nabíjený z domácí sítě nebo stanice na rychlonabíjení. Systém rekuperace energie je v základní výbavě. O rozšířenost toho vozu se zaručila jeho nízká cena (cca 350 tisíc Kč) a také možnost využití dotací na pořízení (Francie, Velká Británie). Česká republika žádné dotace neposkytuje. [31],[32]

Obr. 20 : Renault Zoe



Zdroj: [31]

Mercedes Benz Vito E-Cell

Na silnicích v České republice se dnes lze setkat s elektromobilem od společnosti Mercedes Benz. Model Vito E-Cell byl trh uveden v roce 2011 a v té době se jednalo o první užitkový vůz poháněný elektricky. Hnací jednotku tvoří elektromotor, který poskytuje točivý moment 280 Nm a výkon 60 kW. Elektrický pohon, jenž umožňuje dojet přibližně 130 km, je napájený z lithium-iontového akumulátoru o kapacitě 36 kWh. Vozidlo lze zatížit 850 kg nákladu, jenž lze uložit do užitého prostoru s objemem 5,7 m³. [54]

Obr. 21: Mercedes Benz Vito E-Cell



Zdroj: [54]

Ford Transit Connect Electric

Dalším užitkovým elektromobilem je Ford Transit v úpravě Connect Electric, který vznikl v kooperaci Fordu a britské firmy Azure Dynamics. V Británii se do vozu bez motoru a převodových ústrojí namontovává elektrický pohon a další prvky. Toto vozidlo nachází uplatnění hlavně v přepravě nákladů ve městech, kde má díky nulovým emisím přístup i do centra. Jako první si Transit Connect Electric objednala norská pošta. Pro převoz materiálu o hmotnosti až 575 kg má automobil k dispozici prostor o objemu 3,7 m³. Třífázový elektromotor od Siemensu zaručuje nejvyšší výkon 105 kW a točivý moment 292 Nm. Elektromobil je vybaven systémem rekuperace, jenž ukládá elektřinu do lithium-iontového akumulátoru o kapacitě 28 kWh. Dojezd je dle výrobce 80 až 120 km. [55]

Obr. 22: Ford Transit Connect Electric



Zdroj: [55]

Balqon MX30

V roce 2012 na veletrhu EXPO EVS26 v Los Angeles představila firma Balqon, která se zabývá výrobou elektromotorů pro autobusy a nákladní automobily, svůj tahač MX30 s elektrickým pohonem. Vůz vyniká hlavně svojí schopností uvést náklad o hmotnosti až 30 tun, přičemž dokáže vyvinout nejvyšší rychlost až 110 km/h. Což z něj spolu s dojezdem přibližně 240 km činí ideální nákladní vůz jak do města, tak i na delší vzdálenosti. Využit by se dal i na letištích nebo při přepravě kontejnerů z přístavů k železnicím. [58]

Obr. 23: Balqon MX30



Zdroj: [59]

Vectrix

Prvním skútre s elektrickým pohonem, který se dostal do sériové výroby, je stroj americké společnosti Vectrix montovaný v Polsku. O pohon se stará elektromotor s výkonem 27 koní a točivým momentem 65 Nm. Motocykl je schopný jet nejvyšší rychlostí 100 km/h. O zásobu elektrické energie se stará Nikl-metal-hydridový akumulátor, který je možno nabít za dvě hodiny. Dále bylo možné akumulátor nabíjet systémem rekuperačního brzdění. Celková hmotnost skútru činí 210 kg a dojezdová vzdálenost je asi 110 km. V současné době se skútr již nevyrobí, neboť firma Vectrix v roce 2014 zanikla. [53]

Obr. 24: Vectrix



Zdroj: [53]

Akumoto 600

Mezi nejprodávanější elektrické skútry na evropském trhu se řadí výrobek mělnické značky Akumoto. Díky své dostupné pořizovací ceně a nízkému povinnému ručení se v České republice v letech 2008 až 2012 stalo Akumoto nejvíce prodávaným elektroskútre. Další výhodou je nízká spotřeba činící přibližně 7 Kč na 100 km. Motor je zabudován přímo v náboji zadního kola a uchování energie se stará lithiový nebo křemíkový akumulátor, který se dá dobíjet rekuperačí. V běžném provozu se jeho rychlost pohybuje okolo 40 až 55 km/h, přičemž je možné ujet na jedno nabití vzdálenost asi 120 km. Motocykl je možno nabíjet z běžné sítě napětím 230 V. [56]

Obr. 25: Akumoto 600



Zdroj: [57]

Harley-Davidson LiveWire

Rostoucí zájem o elektromobilitu lze sledovat i u takové tradiční značky jakou je Harley-Davidson ze Spojených států. Svůj vůbec první elektromotocykl s čistě elektrickým pohonem hodlá vybavit motorem o výkonu 74 koní, jenž vytvoří točivý moment 70 Nm. Dále by měl elektromotor umožnit dosáhnoutí maximální rychlosti 150 km/h, přičemž dojezd by se měl pohybovat okolo 80 km. Datum uvedení na trh zatím není známo. Společnost hodlá svůj produkt prezentovat v rámci Livewire Experience Tour v USA, následně v roce 2015 i v Kanadě a Evropě. O případném zahájení sériové výroby se rozhodne podle ohlasů veřejnosti. [51]

Obr. 26: Harley-Davidson LiveWire



Zdroj: [51]

Lightning LS-218

Přízvisko dosud nejrychlejší elektromotorky si drží produkt americké společnosti Lightning Motorcycles. První testování prototypu Lightning LS-218 proběhlo už v roce 2012, ale do sériové výroby se motocykl dostal 17. května 2014. Maximální rychlosti až 350 km/h motorka dosahuje díky elektromotoru s výkonem 20 koní a točivým momentem 228 Nm. Ve prospěch rychlosti také hraje nízká hmotnost stroje, která činí 224 kg a bylo jí dosaženo užitím speciálních karbonových a titanových materiálů. Výrobce udávaný dojezd se pohybuje v hodnotách 160 až 270 km v závislosti na zvoleném akumulátoru, který se vyrábí ve verzích 12 kWh, 15 kWh a 20 kWh. [52]

Obr. 27: Lightning LS-218



Zdroj: [52]