

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Hospodárná a ekologická vozidla

Bakalářská práce

Autor: **Ondřej Rolník**

Vedoucí práce: Ing. František Dvořák, CSc.

2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Rolník Ondřej

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Hospodárná a ekologická vozidla

Anglický název

Economical and environmentally friendly vehicles

Cíle práce

Zpracovat přehled dostupných energetických zdrojů pro pohon vozidel, pohonných jednotek vozidel, koncepčního a konstrukčního řešení a provozně technických parametrů vozidel, charakterizovat dopravní infrastrukturu a dále uvést související legislativu a předpokládaný vývoj.

Metodika

Na základě dostupných podkladů podat přehled o energetických zdrojích pro pohon vozidel, konstrukčního řešení vozidel, provozně technických parametrech a dopravní infrastruktury, dále předpokládaný vývoj, související legislativu a vizi budoucnosti.

Osnova práce

1. Úvod
2. Disponibilní klasické a alternativní zdroje pro výrobu motorových paliv
3. Pohonné jednotky a koncepční uspořádání hnacího ústrojí vozidel
4. Elektrická vozidla a dopravní infrastruktura
5. Provozní, ekonomické a ekologické parametry vozidel a související legislativa
6. Předpokládaný vývoj a vize budoucnosti
7. Závěr

Rozsah textové části

30 stran textu včetně obrázků, tabulek a grafů

Klíčová slova

motorové vozidlo, elektromobil, motorové palivo, spalovací motor, elektromotor, hnací ústrojí, dopravní infrastruktura, životní prostředí

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

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Hospodárná a ekologická vozidla“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 30.3. 2015

.....

Podpis autora

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Františku Dvořákovi, CSc., za jeho cenné rady, připomínky a odborné vedení při zpracování mé bakalářské práce.

Abstrakt:

Cílem bakalářské práce je podat ucelený výklad o hospodárných a ekologických vozidlech. Bakalářská práce je členěna do pěti částí. V první části práce jsou shromážděny všeobecné poznatky o dostupných energetických zdrojích pro pohon vozidel, které jsou rozděleny na disponibilní klasické a alternativní zdroje. V druhé části práce je nahlíženo na pohonné jednotky z koncepčního a konstrukčního hlediska. Následující část práce charakterizuje dopravní infrastrukturu elektrických vozidel. Předposlední část práce se věnuje provozním, ekonomickým a ekologickým parametrům vozidel, kde je k dokreslení využita případová studie. Poslední část práce je věnována předpokládanému vývoji a začínajícím projektům v oblasti alternativní dopravy.

Klíčová slova: elektromobil, elektromotor, dopravní infrastruktura, životní prostředí

Summary:

The main focus of this bachelor thesis is to give a comprehensive explanation of the economically and environmentally friendly vehicles. The bachelor thesis is divided into five parts. The first part of this thesis contains general knowledge about the availability of the energy resources used as a vehicle fuel. Vehicle fuels are divided into disposable conventional resources and alternative resources. The second part of this thesis is focused on the power units from the conceptual and design point of view. Third part is about the description of the traffic infrastructure. Next part of the thesis focuses mainly on the vehicle's characteristics - operational, economical and ecological. For the demonstration is used a case study. The last part is about the future development of alternative types of transportations and about the new starting projects focused on this problematic.

Key words: electric car, electric motor, traffic infrastructure, environment

Obsah

1. Úvod	1
2. Disponibilní klasické a alternativní zdroje pro výrobu motorových paliv	2
2.1. Přehled a popis alternativních paliv.....	3
2.1.1. LPG	3
2.1.2. CNG	4
2.1.3. Alkoholy.....	4
2.1.4. Biopaliva	4
2.1.5. Vysokotlaký vodík	5
2.1.6. Elektřina	6
2.1.7. Hybridní technologie.....	7
3. Pohonné jednotky a koncepční uspořádání hnacího ústrojí vozidel	8
3.1. Pohonné jednotky se spalovacím motorem	8
3.1.1. Pohonné jednotky s elektromotorem.....	9
3.1.2. Stejnoseměrný motor s cizím buzením	9
3.1.3. Asynchronní motor.....	10
3.1.4. Synchronní motor.....	11
3.2. Koncepční uspořádání hnacího ústrojí	13
3.2.1. Klasické hnací ústrojí.....	13
3.2.2. Hnací ústrojí hybridních vozidel.....	13
3.2.3. Hnací ústrojí elektromobilů.....	14
3.2.4. Uspořádání Tesla modelu S.....	15
4. Elektrická vozidla a dopravní infrastruktura	17
4.1. Elektrická vozidla.....	17
4.1.1. Historie.....	17
4.1.2. Současnost.....	17
4.1.3. Tesla model S	17
4.1.4. BMW i3.....	18
4.1.5. e - Golf	18
4.2. Elektrické skútry.....	18
4.3. Elektrokola.....	18
4.3.1. Akumulátory.....	18
4.3.2. Nabíjení elektromobilů.....	19

4.4.	Infrastruktura dobíjecích stanic v České republice.....	20
5.	Provozní, ekonomické a ekologické parametry vozidel.....	22
5.1.	Případová studie pro rodinu.....	23
5.2.	Související legislativa.....	28
5.3.	Legislativa v České republice.....	30
6.	Předpokládaný vývoj a vize budoucnosti.....	31
6.1.	Protean Electric.....	31
6.2.	„Chytrá dálnice“.....	31
6.3.	NEI.....	32
6.4.	Bluetram.....	33
7.	Závěr.....	34
	Použitá literatura.....	35
	Seznam obrázků.....	40
	Seznam tabulek.....	41
	Seznam grafů.....	41
	Seznam příloh.....	41
	Přílohy.....	42

1. Úvod

Jedním z nejvýznamnějších faktorů znečištění ovzduší je stále rostoucí vliv silniční dopravy, jenž přispívá ke globálnímu oteplování a má negativní důsledky na lidský organismus. V současné době v dopravě v oblasti pohonných hmot už desítky let dominují fosilní paliva a to především ropa. Ropa dopomohla ve 20. století k růstu a vývoji lidstva a neustále je nedílnou součástí lidských životů, bohužel lidé spotřebovávají stále více ropy než kdy jindy, a proto množství ropy každým dnem závratným tempem klesá.

Otázkou je, kolik ropy ještě v přírodě zbývá a za jak dlouho budou naleziště ropy zcela vyčerpána. Vyčerpáme-li všechny zdroje, jenž jsou neobnovitelné, je možné ropu něčím nahradit? Tyto otázky stále vyvolávají větší ohlas po alternativních zdrojích energie v automobilovém průmyslu.

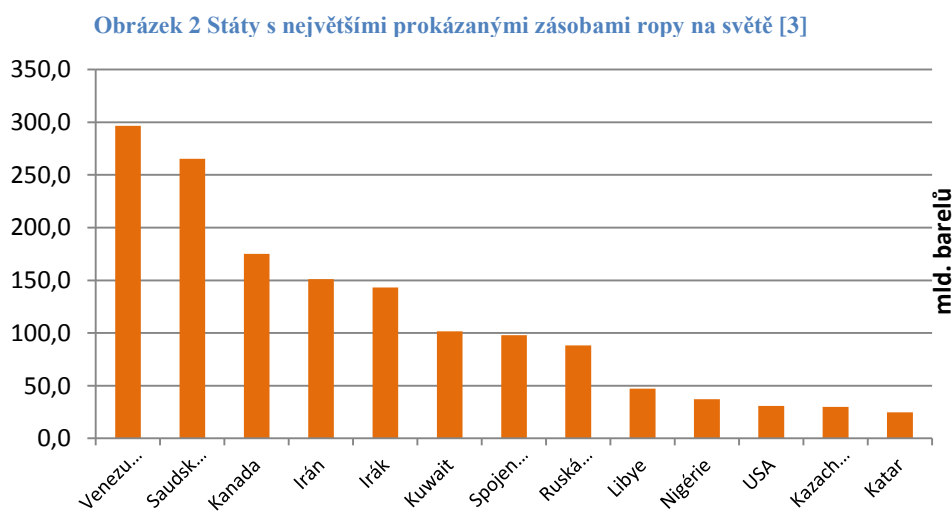
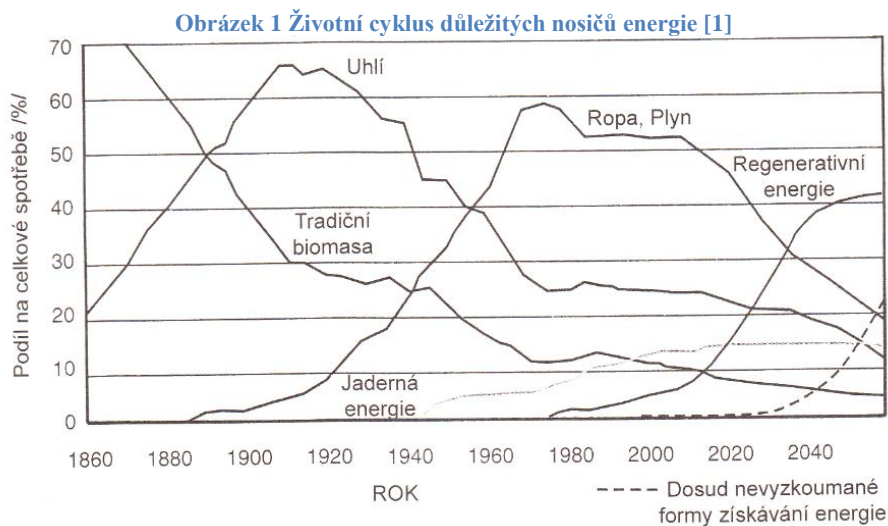
Využívání alternativních zdrojů energií by vedlo ke snížení závislosti všech ekonomik světa na zásobování ropou a k jejich celkové stabilizaci. V neposlední řadě by došlo ke zlepšení životního prostředí a zároveň ke snížení produkce škodlivých emisí.

Pro současný automobilový průmysl je neudržitelné splňovat legislativní předpisy a nařízení se současnými konvečními motory, a proto se jeví zavedení alternativních paliv jako nutný předpoklad pro udržitelnost a budoucnost automobilového průmyslu. V současné době jsou kladeny vysoké požadavky společnosti na automobilový průmysl, kde hlavním důvodem jsou nízké náklady na provoz vozidel.

Neměli bychom ve 21. století naléznout účinnější motory s perspektivnějším a ekologicky hospodárnějším řešením, které by je dokázali, alespoň v dopravě ropu v blízké budoucnosti nahradit?

2. Disponibilní klasické a alternativní zdroje pro výrobu motorových paliv

Disponibilní klasické zdroje jsou všechny zdroje, ze kterých lze vyrobit motorová paliva. Nejčastěji se vyrábí motorová paliva z ropy, zemního plynu a uhlí. V současné době je ropa největším zdrojem energie, s podílem 40 % z celkové světové spotřeby. Celkový potenciál ropy je podle vědců ze 40 % již vytěžený a zbývá nám pouhých 40 %, zbylých 20 % ropy ještě nebylo nalezeno. [1] Celková spotřeba ropy roste a jen Čína za poslední rok zvýšila dovoz ropy o 25 %. [2] Životní cyklus energie je znázorněn na obrázku 1. Aktuálně jsou dostupné světové zásoby ropy odhadovány na 1,65 bilionu barelů, při současné spotřebě (90 milionů barelů¹ denně) by ropa ve světovém měřítku vydržela zhruba 54 let. [3] Státy s největšími zásobami ropy jsou např. Venezuela, Saúdská Arábie, Kanada. Ostatní státy znázorňuje obrázek 2.



¹ 1 barel US = 158,987 litrů to znamená, že 90 milionů barelů je přibližně 14 308 830 000 litrů

2.1. Přehled a popis alternativních paliv

Mezi alternativní paliva patří zkapalněné ropné plyny LPG², stlačený zemní plyn CNG³ a paliva s využitím alkoholů, např. etanol a metanol. Dále k alternativním palivům patří biopaliva, vodík a elektrický proud. O celkovém zatížení životního prostředí informuje obrázek 3, je zřejmé, že k největšímu globálnímu a lokálnímu znečištění dochází při použití benzínových a naftových motorů. Naopak vodík je k životnímu prostředí nejšetrnější. LPG má menší vliv na globální oteplování a lokální znečišťování ovzduší než benzín a nafta.

2.1.1. LPG

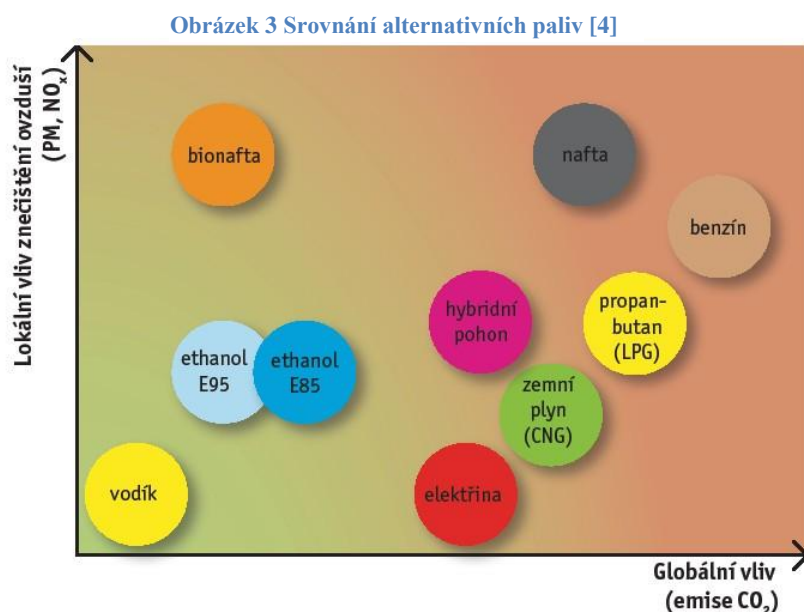
LPG je vedlejší produkt, který vzniká při těžbě a zpracování ropy. LPG nebývá zatížen tak vysokou spotřební daní. Při jeho spalování dochází k nižším emisím než u benzínu viz obrázek 3.

Výhody

- velký počet čerpacích stanic
- méně nákladná přestavba vozidla
- finanční úspora proti benzínu a naftě

Nevýhody

- různá kvalita plynu
- spotřeba plynu je větší než spotřeba benzínu
- neobnovitelný zdroj energie



² LPG (Liquefied Petroleum Gas) neboli zkapalněný ropný plyn

³ CNG (Compressed Natural Gas) neboli stlačený zemní plyn

2.1.2. CNG

CNG je stlačený zemní plyn, který je na rozdíl od LPG lehčí než vzduch. To znamená, že při případném úniku, dochází k samovolnému odvětrávání. Produkované emise jsou menší než u benzínu, nafty a již zmíněného LPG. V České republice používá CNG již přes 8 500 řidičů viz tabulka 1.

Tabulka 1 Statistiky CNG v roce 2013 - 2015 [5]

	2013	2014	2015
Vozidla	6 710	>8 500	cca 11 000
Autobusy	423	550	820
Spotřeba CNG (m ³)	21 951 900	27 500 000	> 35 000 000

Výhody

- stálá kvalita plynu s vysokým oktanovým číslem
- originálně upravené vozy bez zmenšení zavazadlového prostoru
- finanční úspora proti benzínu a naftě
- možnost výroby BioCNG z kejdy a z dalších obnovitelných zdrojů energie

Nevýhody

- menší počet čerpacích stanic
- nákladnější přestavba ve srovnání s LPG
- neobnovitelný zdroj energie

2.1.3. Alkoholy

Nejvýznamnějšími alkoholy vhodné pro spalování v zážehových a vznětových motorech jsou etanol a metanol. Metanol je vyráběn z fosilních paliv, oproti tomu etanol je produktem zemědělských plodin. [6]

2.1.4. Biopaliva

Biopaliva jsou produkty vyrobené z biomasy. [7] Mezi biopaliva patří například bioethanol. Bioethanol má vysoké oktanové číslo, které zajišťuje odolnost proti samozápalu při kompresi ve válci motoru. [8] Na druhou stranu má nízké cetanové číslo, které udává nízkou kvalitu paliva z hlediska její vznětové charakteristiky. Z důvodu nízké výhřevnosti bioethanolu je zapotřebí ke vznícení vyšší kompresní poměr a vyšší dávka paliva více v tabulce 2.

Výhody

- šetrná produkce při vhodném výběru plodin
- méně nákladná přestavba vozidla

Nevýhody

- malá plošná výtěžnost
- vysoká spotřeba vody při pěstování [9]
- používání pesticidů

Tabulka 2 Základní parametry bioethanolu, benzínu a motorové nafty [10]

Parametr	Jednotky	Biethanol	Benzín	Nafta
Hustota	g.cm^{-3}	0,79	0,73	0,84
Výhřevnost hmotnostní	MJ.kg^{-1}	26,8	44,03	42,5
Výhřevnost objemová	MJ.dm^{-3}	21,17	32,3	35,7
Teoretická spotřeba vzduchu	kg.kg^{-1} paliva	9	14,7	14,9
Oktanové číslo	-	107	95	-
Cetanové číslo	-	8	-	45-55

2.1.5. Vysokotlaký vodík

Vysokotlaký vodík funguje na principu elektrochemických procesů, kde dochází k přímé přeměně vnitřní energie paliva na energii elektrickou. [11] O vlastnostech plynů z hlediska fyzikálních vlastností informuje tabulka 3.

Výhody

- žádné pohyblivé části, tichý chod
- vysoká životnost, nízké opotřebení
- možnost skladování na rozdíl od elektřiny

Nevýhody

- složitá výroba
- nízký počet čerpacích stanic
- vysoké pořizovací náklady

Tabulka 3 Vlastnosti plyných paliv [12]

	Hustota	Spalné teplo	Výhřevnost	Zápalná teplota	Rychlost šíření plamene
Jednotky	kg.m ⁻³	kWh.m ⁻³	kWh.m ⁻³	°C	cm.s ⁻¹
Metan	0,7175	11,061	9,968	645	43
Propan	2,011	28,12	25,891	510	47
n-Butan	2,708	37,239	34,392	490	45
Bioplyn	1,096	7,9	7	různá	20
Vodík	0,0899	2,98	33,19 kWh.kg ⁻¹	530	28,1

2.1.6. Elektřina

Pro pohon elektřinou se používá elektromotor, který čerpá energii nejčastěji z lithium-iontových akumulátorů. V dnešní době jsou elektromobily určeny spíše do města na kratší vzdálenosti vzhledem k využití rekuperace energie. Rekuperace energie umožňuje dobíjení baterií při brzdění vozidla nebo v okamžiku, kdy řidič nepoužívá plynový pedál. Dochází k přeměně kinetické energie na energii elektrickou a z elektromotoru se stává generátor. Dochází k efektivnímu využití brzděné energie, která by se jinak přeměnila ve ztrátové teplo.

Výhody

- žádné přímé emise
- méně častá údržba vozidla
- vysoká účinnost a spolehlivost
- rekuperace energie
- nízké provozní výdaje

Nevýhody

- menší dojezd
- dlouhá délka dobíjení
- vysoká pořizovací cena
- méně početná síť dobíjecích stanic
- vyšší hmotnost akumulátorů

2.1.7. Hybridní technologie

Hybridní technologie kombinuje elektromotor se spalovacím motorem, tedy využívá více než jeden zdroj energie, a proto zachová výhody spalovacího motoru a elektromotoru. Provoz může být efektivnější za využití vhodného režimu jízdy i za pomoci rekuperace energie. Hybridní technologie mají v České republice rostoucí trend a každým rokem přibývá počet nově registrovaných vozidel i čerpacích stanic více v tabulce 4.

Výhody

- snížení emisí ve srovnání s benzínovými a naftovými motory
- nižší spotřeba paliva
- delší dojezd než u elektromobilů

Nevýhody

- vysoká hmotnost vozidla
- vyšší pořizovací náklady
- vyšší poruchovost vozidla

Tabulka 4 Nově registrované osobní automobily dle paliv v ČR [13] [14]

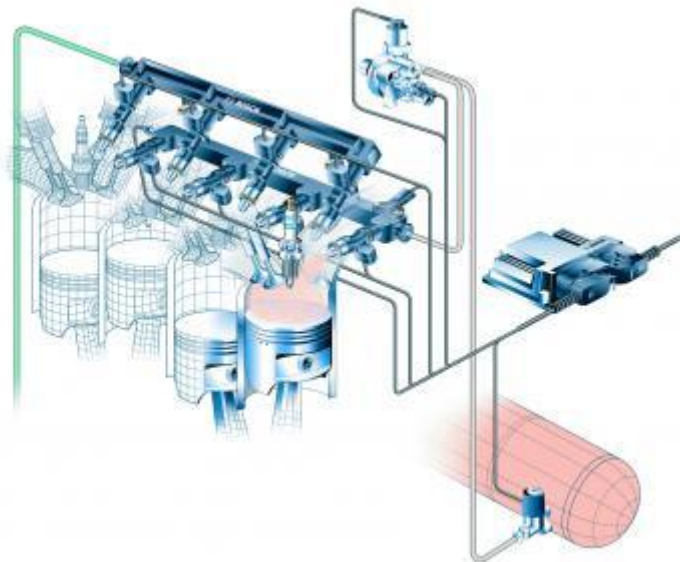
Palivo	2013 (ks)	2012 (ks)	Počet čerpacích stanic za rok 2014
Benzín	91 389	97 067	3 765
Nafta	69 746	72 012	3 765
LPG	647	514	469
Hybrid	438	362	200
CNG	379	470	25
E85	106	588	180
Elektromobil	37	89	200

3. Pohonné jednotky a koncepční uspořádání hnacího ústrojí vozidel

3.1. Pohonné jednotky se spalovacím motorem

Principem fungování spalovacího motoru je vstřikování paliva do válce spalovacího prostoru, například přímým nebo nepřímým vstřikem zemního plynu. [10] V současnosti se často využívá přímého vstřiku do válce s pilotním předstříkem motorové nafty, jenž umožňuje vstřik zemního plynu a nafty do spalovacího prostoru. Poměr směsi bývá 30:70 (motorové nafty k zemnímu plynu). [10] Předstřík motorové nafty ve spalovacím motoru zajišťuje potřebnou teplotu k bezproblémovému vznícení zemního plynu. Výhodou používání předstříku motorové nafty je snížení emisí a nižší celková spotřeba. [10] Sériově vyráběné automobily se vyznačují dvouřadou vstřikovací lištou, jenž je k vidění na obrázku 4.

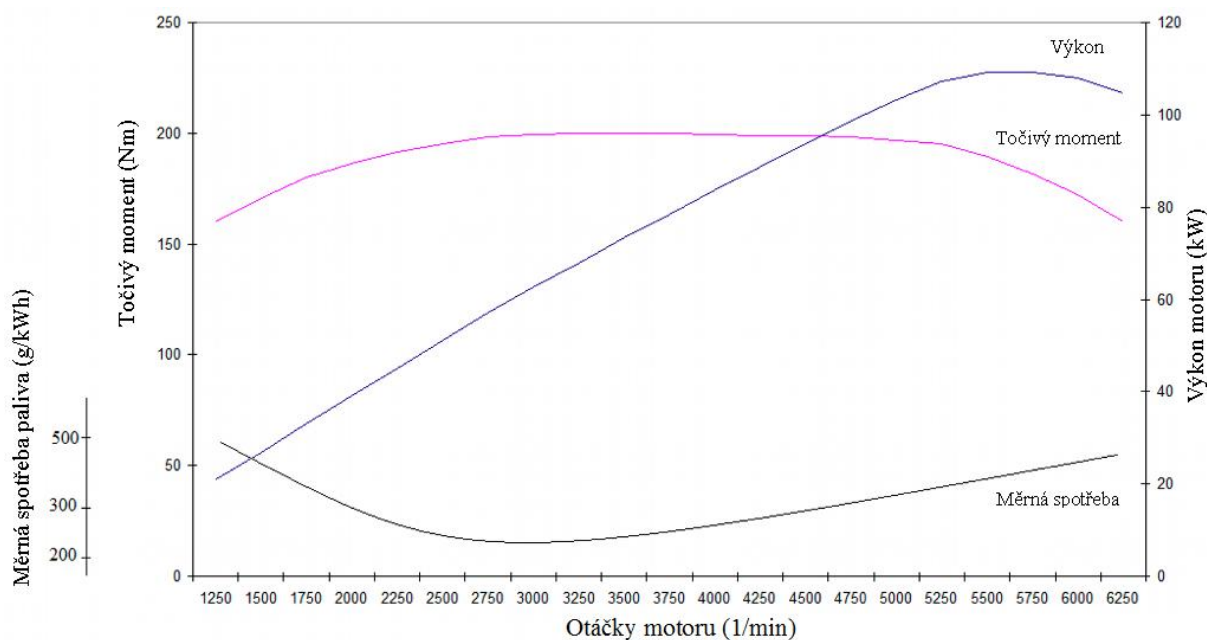
Obrázek 4 Dvě řady vstřikovačů [10]



Momentová charakteristika spalovacího motoru

Z grafu 1 je zřejmé, že při vysokých otáčkách motoru není měrná spotřeba nejnižší, jelikož klesá efektivita spalovacího procesu a rostou mechanické ztráty. Pro snížení spotřeby lze z momentové charakteristiky usoudit, že k nejefektivnější jízdě dochází při 3 000 až 4 500 ot/min. Motor v těchto otáčkách poskytuje dostatečný točivý moment a zároveň vysoký výkon.

Graf 1 Momentová charakteristika spalovacího motoru [64]



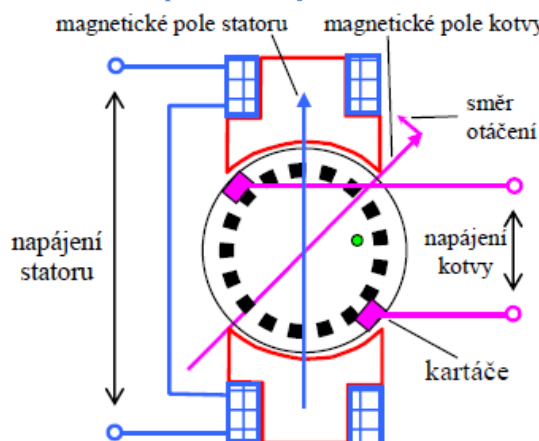
3.1.1. Pohonné jednotky s elektromotorem

Elektromotor je elektrický stroj, který slouží k přeměně elektrické energie na mechanickou práci. Většina současných elektromotorů pracuje na principu silových účinků magnetického pole. Elektromotor by měl být konstruován s krátkodobou přetížitelností a nízkou hladinou hluku. [15]

3.1.2. Stejnoseměrný motor s cizím buzením [16]

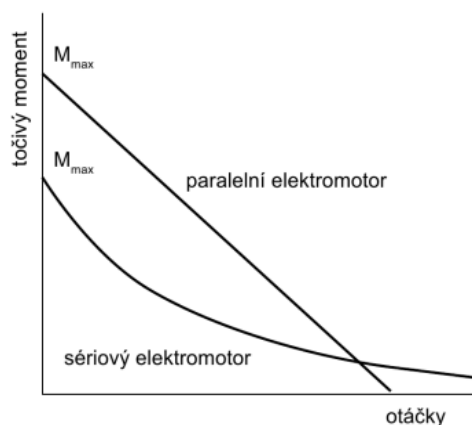
Na rotoru stejnosměrného motoru je vinutí v jednotlivých drážkách. Konec každé jednotlivé cívky je zapojen na lamelu komutátoru. Přivedením napětí na kartáče protilehlých lamel komutátoru bude procházet cívkami proud, a tím se z rotoru stává elektromagnet. Velikost magnetického pole rotoru je úměrná počtu závitů cívek a procházejícímu proudu. Postavení kartáčů udává směr otáčení motoru.

Obrázek 5 Princip činnosti stejnosměrného motoru [16]



Magnetické pole vzniká i v cívkách statoru. Na rotor je vyvozována síla, která rotorem otáčí o jednu lamelu a poté se děj opakuje. Rotor se pootočí, ale kartáče zůstávají na místě. Pokud by stejnosměrný motor neměl komutátor, pohyboval by se ze strany na stranu. Komutátor slouží k přivádění elektrické energie do rotoru stejnosměrného motoru. Při otáčení lamel komutátoru dochází k přepínání cívek rotoru a to umožňuje správný chod motoru.

Obrázek 6 Momentová charakteristika paralelního a sériového stejnosměrného elektromotoru [10]



Sériový elektromotor

Z momentové charakteristiky na obrázku 6 má sériový elektromotor dobrý počáteční moment, který umožňuje snadný start motoru. Točivý moment se stoupajícími otáčkami klesá. Sériový elektromotor se využívá například v soupravách metra. [10]

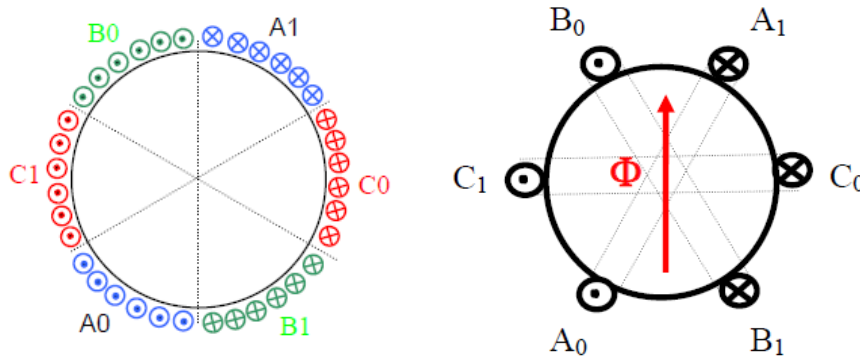
Paralelní elektromotor

U paralelního elektromotoru točivý moment klesá pomaleji než u sériových elektromotorů. Tento průběh momentu je vhodný např. pro elektromobily.

3.1.3. Asynchronní motor

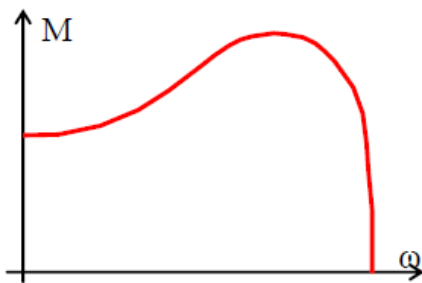
Asynchronní motor neboli indukční třífázový motor má na statoru rozmístěné cívky všech tří fází. Obrázek 7 popisuje jejich zjednodušený náčrt. Statorové vinutí je složeno ze tří svazků tří fází. Vzhledem ke správnému fungování asynchronního motoru je nutné, aby každá fáze byla vzájemně pootočena o 120° a zároveň je nutné stator napájet třífázovým střídavým proudem. [1] Pro činnost motoru je nutné vytvořit točivé magnetické pole na statoru. Točivé magnetické pole vznikne průchodem střídavého trojfázového proudu vinutím statoru. Toto magnetické pole indukuje v rotoru napětí a vzniklý proud v rotoru, jenž vyvolává magnetický tok. Magnetický tok vyvolává silové působení na rotor a tím dochází k otáčení rotoru. [17] K regulaci otáček lze dosáhnout nejčastěji pomocí frekvenčního měniče.

Obrázek 7 Zjednodušený princip asynchronního motoru [16]

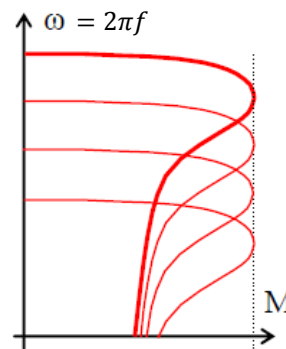


Momentové charakteristiky asynchronního motoru

Obrázek 8 Momentová charakteristika AM [16]



Obrázek 9 Momentová charakteristika AM s přidáním odpory [16]



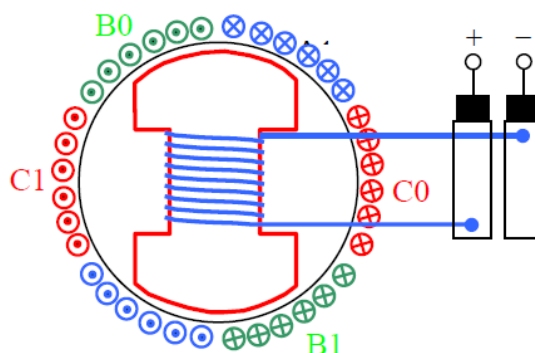
Přidáváním odporů do rotoru se momentová charakteristika mění z tvrdé na měkkou a maximální moment zůstává zachován. Změnou frekvence a napětí se momentová charakteristika mění podle obrázku 9, který vyplývá ze vzorce (1), tedy s rostoucí frekvencí motoru rostou i otáčky motoru.

3.1.4. Synchronní motor [16]

Stator synchronního motoru je stejný jako u motoru asynchronního. Dodává stejné točivé magnetické pole. Konstrukční změna synchronního motoru je až v rotoru, kde je umístěna cívka neboli elektromagnet. Ta je napájena přes kroužky a kartáče či uhlíky stejnosměrným napětím. Cívka rotoru vytváří magnetické pole, které je přitahováno k rotujícímu magnetickému poli statoru. Zjednodušený princip fungování synchronního motoru ilustruje obrázek 10. Rychlost otáčení magnetického pole statoru je závislá na kmitočtu proudu a na počtu pólových dvojic. Vztah je vyjádřen ve vzorci (1), kde n_s jsou synchronní otáčky, f je kmitočet proudu a p je počet pólových dvojic. Vztah je stejný jak pro asynchronní tak pro synchronní motor.

$$n_s = \frac{60 \times f}{p} \quad (1)$$

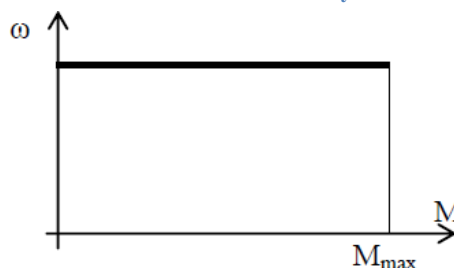
Obrázek 10 Princip synchronního motoru [16]



Momentová charakteristika

Momentová charakteristika u synchronního motoru má stále stejné otáčky i přes zvyšující se zatížení. Pokud by motor překročil svůj maximální moment M_{max} viz obrázek 11 vypadl by ze synchronizace, což by způsobilo následné zastavení motoru, motor by pak odebíral velký proud nakrátko I_k a jednalo by se o poruchový stav motoru. [16] Synchronní motor se nejčastěji používá pro pohony velkých čerpadel, kompresorů ale i u běžných výtahů.

Obrázek 11 Momentová charakteristika synchronního motoru [16]



V tabulce 5 jsou porovnány nejrozšířenější elektromotory. Bodové ohodnocení 10 je nejlepší splnění dané vlastnosti motoru. Jedná se o hodnocení elektromotorů dle různých kritérií.

Tabulka 5 Porovnání jednotlivých koncepcí elektromotorů [10]

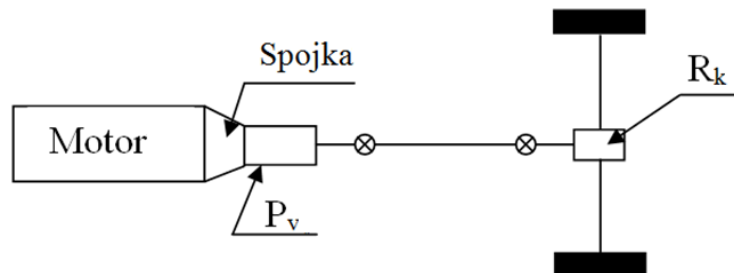
motor	cena	účinnost	hmotnost	rozsah Pkonst	přetížitelnost	spolehlivost	stav vývoje
stejnoseměrný	10	7	6	10	10	7	10
asynchronní	8	8	6	9	10	9	9
synchronní	8	10	7	10	10	9	8
transversální	7	10	8	8	10	10	7
řízený reluktanční	9	6	7	4	10	9	5
stejnoseměrný bez kartáčů	8	10	10	8	9	10	8

3.2. Konceptní uspořádání hnacího ústrojí

3.2.1. Klasické hnací ústrojí

Uspořádání hnacího ústrojí může být v různých modifikacích podle typu motoru, počtu hnacích kol a koncepce vozidla. Nejjednodušší převodové ústrojí je za použití elektromotoru, kde odpadá variabilní převod P_v a rozvodovka označována jako R [18] Obrázek 12 obsahuje klasické hnací ústrojí vozidla, kde P_v je nejčastěji dvouhřídelový mechanismus, který umožňuje změnu převodového poměru a R_k je mezikolová rozvodovka.

Obrázek 12 Klasické uspořádání hnacího ústrojí vozidla se zadní hnací nápravou [18]



U sportovních vozidel je uspořádání hnacího ústrojí řešeno, že motor a spojka jsou uloženy v přední části automobilu a převodovka s rozvodovkou v zadní nápravě. Tímto uspořádáním má automobil lepší jízdní vlastnosti, jelikož větší zatížení je na zadní nápravě a celková hmotnost vozidla je lépe rozložena. Točivý moment motoru je přenášěn dlouhým spojovacím hřídelem [19] viz obrázek 34 v příloze na straně 50.

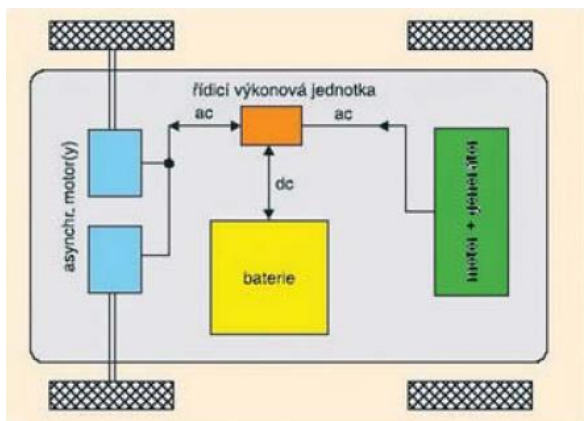
3.2.2. Hnací ústrojí hybridních vozidel

Hnací ústrojí hybridních vozidel dělíme na dvě základní uspořádání - na sériové a paralelní.

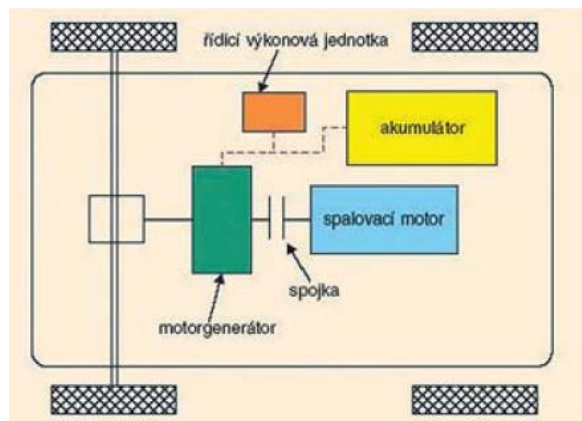
Sériové uspořádání [1] [10]

U sériového uspořádání je vůz vybaven elektromotorem. V případě, že baterie nemohou pokrýt momentální spotřebu energie, zapojí se do práce i spalovací motor. Spalovací motor může být ve funkci trakčního motoru nebo jako generátor, který slouží k nabíjení baterií. Spalovací motor je nejčastěji nachází v konstantních otáčkách, výhodou těchto konstantních otáček je, že dochází k vylepšení jeho pracovní charakteristiky a k optimálnímu pracovnímu rozsahu s nejvyšší možnou účinností. Nevýhodou sériového uspořádání je vícenásobná přeměna energie, více informací o sériovém uspořádání podává níže obrázek 13.

Obrázek 13 Sériové uspořádání hybridního pohonu [10]



Obrázek 14 Paralelní uspořádání hybridního pohonu [10]



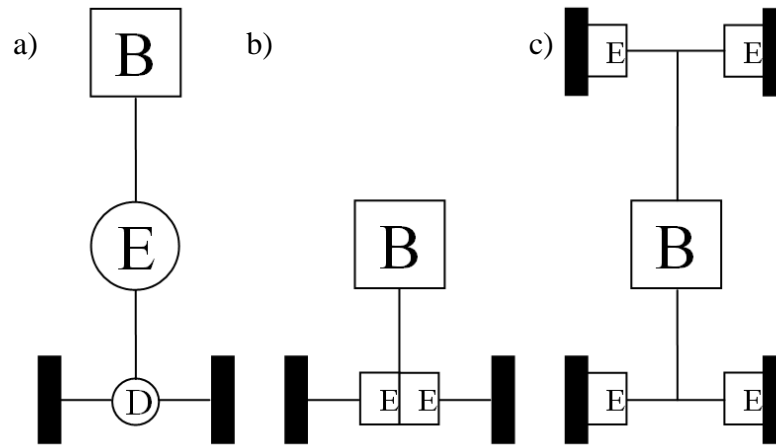
Paralelní uspořádání [1] [10]

U většiny nově vyráběných hybridních vozidel se v současnosti nejvíce využívá paralelní uspořádání. Vůz je vybaven spalovacím motorem a elektromotorem, ty jsou s koly propojeny skrz mechanickou převodovku. Na obrázku 14 je vidět, že elektromotor či generátor je umístěn mezi spalovací motor a převodovku a funguje jako alternátor a startér. Z důvodu zlepšení účinnosti spalovacího motoru jsou posilovač řízení a klimatizace poháněny elektromotorem, který je se spalovacím motorem spojen společnou hřídelí. Nejčastěji je paralelní spojení v režimu, kdy většinu výkonu obstarává spalovací motor, při prudké akceleraci se přidá elektromotor. Tento režim používá například BMW Efficient Dynamics.

3.2.3. Hnací ústrojí elektromobilů

Hnací ústrojí elektromobilů je podobné jako u vozidel se spalovacím motorem. Skládá se z motoru, převodovky, hnacích hřídelů a diferenciálu s rozvodovkou. [20] Uspořádání hnacího ústrojí elektromobilů je zobrazeno na obrázku 15. Nejčastěji se používá zadní pohon s centrálním elektromotorem.

Obrázek 15 Uspořádání hnacího ústrojí pro elektromobily [20]



a) přední nebo zadní pohon

b) tandemový pohon

c) pohon v nábojích kol

B - baterie

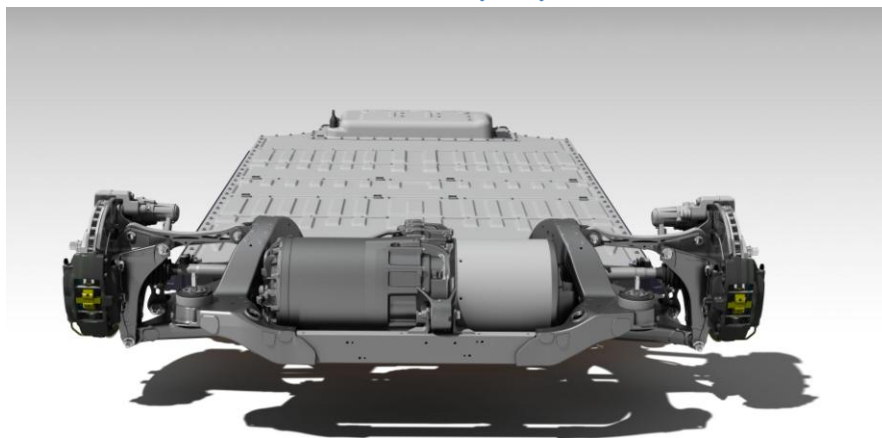
E - elektromotor a usměrňovač případně převodovka

D - diferenciál

3.2.4. Uspořádání Tesla modelu S

Tesla model S má uložené baterie v podlaze vozidla, to zajišťuje rovnoměrné rozložení hmotnosti a lepší jízdní vlastnosti. Na obrázku 16 je zobrazen model S se střídavým asynchronním motorem, který pohání zadní nápravu. Výhodou asynchronního motoru je vysoká spolehlivost, která je dána jednoduchou konstrukcí. V elektromobilech je celkově méně pohyblivých i nepohyblivých částí, tím dosahují elektromobily vysoké spolehlivosti s menším množstvím možných závad. Údržba elektromobilu není tak časově náročná, na rozdíl od konvenčních motorů.

Obrázek 16 Tesla model S se střídavým asynchronním motorem [21]



V tabulce 6 je uvedena závislost koncepce vozu na jeho hmotnosti, konkrétně na přední nápravě (PN) a zadní nápravě (ZN). Pokud je vozidlo s předním pohonem bez zatížení, rozloží se hmotnost na přední a zadní nápravu v poměru 61 % na 39 %.

Tabulka 6 Závislost rozložení hmotnosti na nápravy od koncepce vozidla [22]

Koncepce vozidla	Rozložení hmotnosti v %					
	Přední pohon		Klasická koncepce		Motor vzadu	
	PN	ZN	PN	ZN	PN	ZN
Bez zatížení	61	39	53	47	40	60
Dvě osoby sedící vpředu	60	40	53	47	42	58
Čtyři osoby	55	45	49	51	40	60
Pět osob a zavazadla	49	51	43	57	41	59

Tabulka 7 porovnává jednotlivé systémy baterií v závislosti na době nabíjení, ztrát a jízdním dosahu.

Tabulka 7 Porovnání systémů baterií [1]

Systém baterie	Rychlé nabíjení (h)	Průměrná ztráta za den (km)	Dojezd ve městě v km (250Wh/km)	Min. doba dobíjení pro 400 km (h)
Olovo-gel	2 – 50%	0,032	32	44
	10 – 100%	0,5	50	3,5
Ni-Cd	0,5 – 97%	0,5	50	3,5
	1 – 100%			
Mi-Mh	jako Ni-Cd	1,4	70	3,5
Na-S	1 – 50%	15,3	100	5
Na-Ni-Cl	0,75 – 90%	14,4	110	4,5
	3,5 – 100%			

4. Elektrická vozidla a dopravní infrastruktura

Světový počet elektrických vozidel se za rok 2014 zdvojnásobil, a to na 405 tisíc vozidel. Největší poptávka po elektromobilech je ve Spojených státech, Japonsku a Číně dále z evropských zemí dominují Francie, Nizozemsko, Norsko a Německo. [23]. V České republice máme více než 350 přihlášených elektromobilů. [24]

4.1. Elektrická vozidla

4.1.1. Historie [25]

První zmínka o elektřinou pohaněných vozidlech se datuje do 19. století, konkrétně do roku 1835. Zmínky o vozidlech se spalovacími motory se objevují až o 50 let později, na počátku 20. století jezdilo v USA více elektromobilů než automobilů se spalovacím motorem. Elektromobily poskytovaly větší komfort a snadné ovládání oproti klasickým automobilům, které se musely startovat klikou, byly hlučné a složité na údržbu. Vše změnil vynález elektrického startéru a sériová výroba modelu T od Henryho Forda, jenž vytlačil elektromobily svou spolehlivostí, větším dojezdem a nízkou pořizovací cenou.

4.1.2. Současnost

Vzhledem k přísnějším normám EU, jsou výrobci automobilů nuceni vyvíjet ekologické a hospodárné vozy, jakými jsou např. BMW i3, e-Golf, Nissan Leaf, Peugeot Partner electric, Mitsubishi i-MiEV. V současnosti se rozvíjí elektrický pohon i u motorek, skútrů, jízdních kol, elektroletadel i elektrobusů.

4.1.3. Tesla model S

Tesla model S pod označením P85D Performance s pohonem všech čtyř kol nabízí výkon 515 kW. Na zadní nápravě je 350 kW a na přední 165 kW. Model S je nabízen s bateriemi typu Li-ion⁴ o kapacitě 85 kWh. Záruka na baterie je výrobcem poskytována 8 let a není omezena počtem ujetých kilometrů.

Dojezd je podle normy NEDC⁵ 458 kilometrů. Hmotnost automobilu je 2 100 kilogramů. Model S má maximální rychlost 250 km/h a zrychlení z nuly na sto za 3,2 s.

⁴ Li-ion je lithium-iontová baterie, která se nejčastěji používá ve spotřební elektronice.

⁵ NEDC (New European Driving Cycle) jedná se o jízdní cyklus určen pro posuzování emisí a spotřeby paliva u osobních vozidel.

4.1.4. BMW i3

Mnichovský výrobce automobilů přistoupil k vývoji elektrické řady *i* v roce 2007. Výbava interiéru je z recyklovaného materiálu a karbonu. Hmotnost vozidla dosahuje 1 195 kilogramů. Finanční prostředky na vývoj vozidel elektrické řady *i* převýšily v současnosti 56 miliard korun. [26] BMW vybavilo své vozy střídavým elektromotorem o maximálním výkonu 125 kW. Nejdiskutovanější bariéru před koupí tohoto vozidla představuje krátký dojezd, který je 130 kilometrů.

4.1.5. e - Golf

Golf je jeden z modelů vyráběný koncernem Volkswagen. Na trhu jsou k dostání verze se zážehovými motory, vznětovými motory, CNG, hybrid s názvem GTE a čistě elektrická verze pod označením e-Golf, více o vlastnostech modelů v 5. kapitole níže.

4.2. Elektrické skútry

Skútry jsou nejčastěji vybaveny lithiovými akumulátory, které jsou snadno vyjímatelné. Akumulátory skútrů jsou nabíjeny přes jednofázovou zásuvku. Nabítí skútru trvá jednu až dvě hodiny, záleží na kapacitě akumulátoru. Dojezd skútru se pohybuje v rozmezí 120 až 250 kilometrů.

4.3. Elektrokola

Motor v elektrokolech může být umístěn v různých částech kola. Pro městský provoz je určeno kolo, jenž má motor umístěn v přední části. Motor umístěný v zadní části je především u horských kol, kde by motor v přední části nadměrně zatěžoval vidlici, a mohlo by docházet k častému prokluzu na nezpevněném povrchu. Elektromotor ve středovém uložení využívá energii nejefektivněji, avšak je nejdražší variantou. Aby elektrokola splnila legislativu pro provoz na pozemních komunikacích, měl by být výkon motoru menší než 250 W. [27]

4.3.1. Akumulátory

Akumulátory patří v dnešní době mezi jedny z nejdražších komponent elektromobilů. Cena se pohybuje v rozmezí od 60 € až do 350 € za jeden kW výkonu více v tabulce 8, kde jsou také uvedeny různé typy baterií i s počtem nabíjecích cyklů. Ideální hustota energie baterií by měla činit alespoň 200 Wh.kg⁻¹ a hustota výkonu 100 W.kg⁻¹.

Tabulka 8 Přehled údajů jednotlivých typů baterií [10]

Typ baterie	Hustota energie		Výkonová hustota		Životnost		Cena Euro.kW ⁻¹
	Wh.kg ⁻¹	Wh.l ⁻¹	W.kg ⁻¹	W.l ⁻¹	cyklů	let	
olovo	30-50	70-120	150-400	350-1000	50-1000	3-5	100-150
nikl-kadmium	40-60	80-130	80-175	180-350	>2000	3-10	225-350
nikl-metalhydrid	60-80	150-200	200-300	400-500	500-1000	5-10	225-300
sodík-niklchlorid	85-100	150-175	155	255	800-1000	5-10	225-300
lithium-iontová	90-120	160-200	300	300	1000	5-10	275
lithium-polymer	150	220	300	400	>1000	-	<225
zinek-vzduch	100-220	120-250	100	120	-	-	60
cílové hodnoty	80-200	135-300	75-200	250-600	600-1000	5-10	90-135

Největší problém všech typů baterií představují vysoké nároky, jenž jsou na ně kladeny, pokud možno by měly mít dlouhou životnost, nízkou hmotnost, malý zastavěný prostor, nízké pořizovací náklady, snadnou údržbu a cenu nejlépe pod 150 €/kWh. [10] Porovnání hmotnosti a objemu energetických zásobníků jednotlivých typů alternativních pohonů pro různé zdroje energie se nalézá v tabulce 9, která uvádí účinnost konvenčních motorů mezi 20 % až 30 %, která je vztažena k 67 litrové benzínové nádrži. Z konvenčních motorů jsou nejúčinnější vznětové motory, kde nároky na objem nádrže je 46 litrů o hmotnosti 32 kg oproti 67 litrům u benzínových motorů.

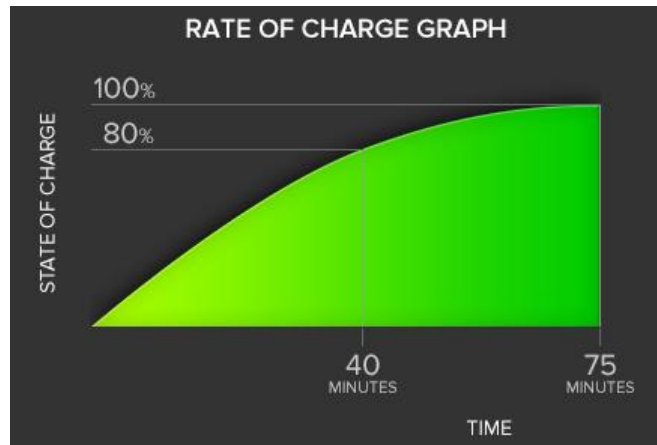
Tabulka 9 Hmotnost a prostorové porovnání nádrží vztažené k 67 litrům benzínu [10]

zdroj energie	benzín	nafta	ethanol	methanol	vodík tekutý	vodík Ti-Fe	olověná baterie	baterie Na-S
účinnost [%]	20	30	23	23	20	22	70	70
objem [l]	67	46	86	97	250	264	2040	1430
hmotnost [kg]	47	32	67	75	124	1048	5300	1430

4.3.2. Nabíjení elektromobilů

Optimální je nabíjet většinu baterií zhruba do 80 % své kapacity, poté by docházelo k pomalému nabíjení posledních 20 % kapacity baterie. To znamená, že nabití 80 % kapacity baterie trvá stejnou dobu jako dobýt zbývajících 20 %, důvodem je nezbytný pokles nabíjecího proudu viz obrázek 17, který zobrazuje nabíjecí křivku elektromobilu Tesla model S.

Obrázek 17 Nabíjecí křivka Tesla model S [28]



Akumulátory elektromobilů je možno dobít třemi základními a nejčastějšími způsoby.

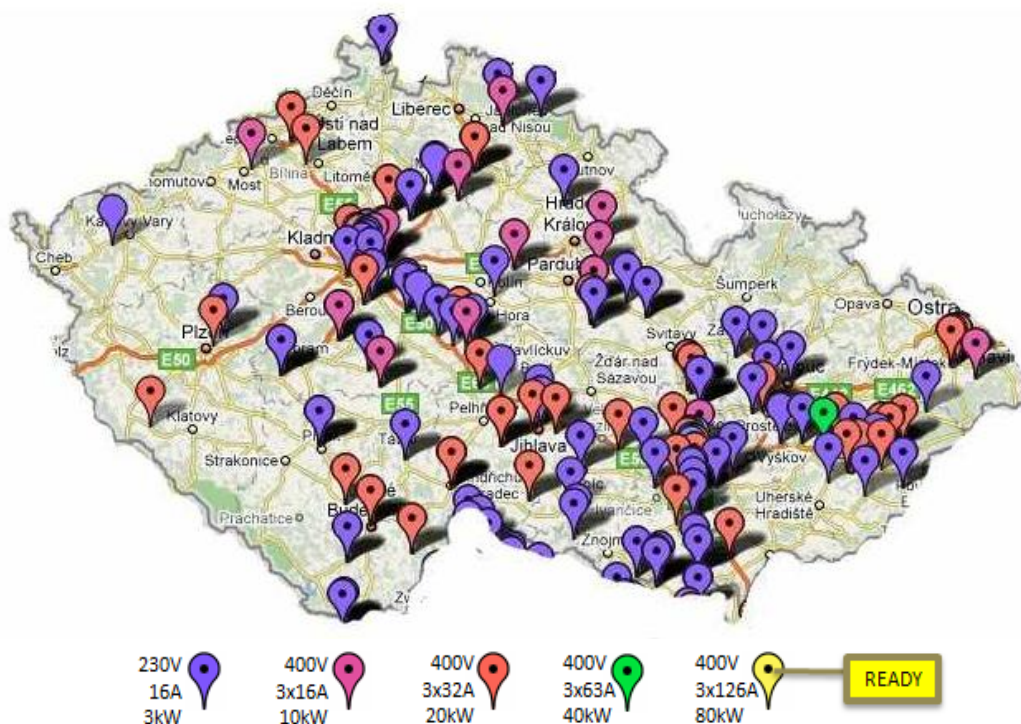
- První možností je použití standardní jednofázové zásuvky, kdy doba nabíjení závisí na kapacitě akumulátoru a dobíjecím proudem (cca 13 - 18 hodin).
- Druhou možností představuje speciální nabíječka, jenž je dodávána jako příslušenství vozidla. Nabíjecí standard i konektor se může lišit v závislosti na výrobci automobilu. Plně nabit je akumulátor zhruba za 8 hodin.
- Poslední možností dobíjení jsou pomocí tzv. rychlodobíjecí stanice, které na rozdíl od předchozích možností, využívají stejnosměrný proud. Celkový výkon rychlodobíjecích stanic je v rozmezí 20 až 60 kW. Rychlodobíjecí stanice s vyšším instalovaným výkonem (60 kW) dobijí 80 % kapacity akumulátorů zhruba za 30 minut.

4.4. Infrastruktura dobíjecích stanic v České republice

V současnosti Česká republika zvyšuje počty dobíjecích stanic v infrastruktuře. Avšak na většině dobíjecích stanic je nízký instalovaný výkon 3 kW, což zhruba odpovídá klasické jednofázové zásuvce, kterou má každý doma o napětí 230V a dobíjecím proudem 16A. Stanice s instalovaným výkonem 3 kW jsou na obrázku 18 znázorněny modrou barvou.

Ke konci roku 2014 se nachází na území ČR více jak 200 dobíjecích stanic. Číslo se každým dnem mění vzhledem k rostoucímu počtu dobíjecích stanic.

Obrázek 18 Mapa dobíjecích stanic [29]



Infrastrukturu dobíjecích stanic v České republice budují především ČEZ, E.ON a mnohé další společnosti, avšak nejpočetnější zastoupení dobíjecích stanic v ČR vlastní ČEZ. Výkon dobíjecích stanic ČEZ je s využitím stejnosměrného proudu až 50 kW a při dobíjení střídavým proudem je instalovaný výkon v rozmezí 3 až 22 kW. [30] ČEZ používá standardy rozhraní CHAdeMO⁶ a Combo, oba standardy nejsou bez redukce vzájemně kompatibilní. V Evropě je nejrozšířenějším standardem CHAdeMO, který vznikl v Japonsku, kde se k němu přidali přední japonské výrobci automobilů (Honda, Toyota, Mitsubishi, Nissan).

Evropští a severoameričtí výrobci automobilů v rámci sdružení ACEA⁷ využívají standard Combo (automobilové závody Audi, BMW, Daimler, Ford, General Motors, Porsche a Volkswagen). V budoucnosti bude tento standard povinný pro všechny elektromobily vyráběné v EU od 1.1. 2017, a proto se tedy dá předpokládat výrazné oslabení standardu CHAdeMO v Evropě. Rychlodobíječky Combo mají prozatím světové zastoupení v počtu 680 dobíjecích stanic. Oproti rychlodobíječkám CHAdeMO, které mají zastoupení 5 467 stanic na světě (začátkem roku 2015). [31] podrobněji v grafu 4, který je umístěn v příloze.

⁶ CHAdeMO je zkratka výrazu "CHArge de MOve" nabit pro pohyb. Jedná se o elektrické rozhraní pro nabíjení elektromobilů.

⁷ ACEA European Automobile Manufacturers Association

5. Provozní, ekonomické a ekologické parametry vozidel

V ČR se na rozdíl od jiných evropských států prozatím neuvažuje o dotacích nebo výraznému zvýhodnění vlastníků elektromobilů jako v jiných státech EU. Vlastníci elektromobilů v ČR jsou však osvobozeni od placení silniční daně, od měření emisí a povinné ručení je pro elektromobil vyjde levněji. Povinnost dostavit se v pravidelných intervalech k technické kontrole platí samozřejmě i pro elektromobily.

Při srovnání spalovacího motoru s elektromotorem je zřejmé, že elektromotor je konstrukčně jednodušší, což ho předurčuje k nižší poruchovosti. Dále má elektromotor také delší životnost, protože během provozu vozidla není vystavován tak vysokým tlakům a teplotám, a také poruchám výfukového systému. Brzdy a brzdová kapalina mají sice u elektromobilů výrazně vyšší životnost, ale i přesto vyžadují servisní kontrolu. [32] Nejcitlivějším prvkem elektromobilu jsou jeho baterie, protože jsou nejdražší částí celého elektromobilu, je zapotřebí věnovat jim náležitou pozornost a dodržovat výrobcem doporučené postupy.

V tabulce 10 je zobrazeno srovnání čistě elektrických vozů z hlediska nákladů na jeden ujetý kilometr. Dojezd je udáváný podle normy NEDC. Vítěz z hlediska provozních nákladů je podle výpočtů Nissan Leaf, za předpokladu, že by cena elektřiny byla 4,84 Kč za jeden kWh odebrané elektřiny.

$$C_{JN} = \text{Kapacita baterie} \times \text{Cena kWh}$$

Za jedno nabití vlastníku Nissanu Leaf s kapacitou baterií 24 kWh zaplatí 111,16 korun.

$$C_{JN} = 24 \times 4,84 = 116,16 \text{ Kč}$$

Náklady na jeden ujetý kilometr pro Nissan Leaf, který má udáváný dojezd výrobcem 199 km dle normy NEDC, jsou 0,583 Kč/km.

$$\text{Náklady na jeden km} = \frac{116,16}{199} = 0,583 \text{ Kč/km}$$

Tabulka 10 Srovnání elektrických vozidel (vlastní zdroj)

	BMW i3	Nissan Leaf	VW e-golf	Tesla model S
Udávaný dojezd (NEDC)	130 km	199 km	190 km	458 km
Typ motoru	Synchronní elektromotor	Střídavý synchronní	Elektromotor	Asynchronní motor
Celkový max. výkon	125 kW	80 kW	85 kW	515 kW
Zrychlení z 0 na 100 km.h ⁻¹	7,2 s	11,5 s	10,4 s	3,2 s
Maximální rychlost	150 km.h ⁻¹	144 km.h ⁻¹	140 km.h ⁻¹	250 km.h ⁻¹
Kapacita baterií	22 kWh	24 kWh	24,2 kWh	85 kWh
Spotřeba na 100 km	12,9 kWh	15 kWh	12,7 kWh	24 kWh
Hmotnost vozidla	1 195 kg	1 474 kg	1 510 kg	2 100 kg
Cena vozidla	900 000 Kč	715 000 Kč	909 900 Kč	2 až 4 mil. Kč

5.1. Případová studie pro rodinu

Případová studie určena pro rodinu bere ohled na pořizovací náklady a náklady na provoz vozidla. Denně rodina kromě víkendů najezdí do práce 50 km. Jednou za měsíc o víkendu jezdí za svými příbuznými 200 km. Automobil si chtějí ponechat deset let a po té koupit opět nový. Rodina má k dispozici rozpočet ve výši 200 000 Kč. Další případné finanční prostředky si musí půjčit. Nejdříve je nutné se zamyslet nad způsobem financování. Rodina má na výběr klasický úvěr v bance nebo leasing, dále je ochotna v dlouhodobém horizontu na provozních nákladech ušetřit, a proto si vypůjčit i větší finanční obnos. Dále je nutné se zamyslet nad výběrem varianty motorizace. Nultou variantou je označen benzínový motor o objemu 1.2 TSI. Další varianty s jejich parametry a počátečními náklady na pořízení jsou uvedeny v tabulce 11. Výbava vozu byla provedena pomocí konfigurace na stránkách výrobce tak, aby se jednotlivé varianty vozů od sebe lišili, co možná nejméně. Spotřeba je uvedena podle kombinované spotřeby, kterou uvádí výrobce, která se může v některých případech lišit i o desítky procent.

Tabulka 11 Výběr variant vozů pro případovou studii (vlastní zdroj)

Varianta vozu	Model vozu	Palivo	Výkon	Spotřeba	Cena (Kč)
Varianta 0	Golf 1.2 TSI	Benzín	77 kW	4,9l/100km	426 900,-
Varianta I	Golf 1.6 TDI	Diesel	77 kW	3,8l/100km	476 900,-
Varianta II	Golf 1.4 TSI	Benzín + CNG	81 kW	CNG 3,5 kg/100km Benzín 5,3l/100km	492 900,-
Varianta III	e-Golf	Elektrina	85 kW	12,7kWh/100km	909 900,-

Leasing nebo úvěr

Financování pomocí leasingu znamená, že automobil patří leasingové společnosti do doby, než je zaplácena poslední splátka. Zásadní úpravy vozu je nutné konzultovat s majitelem, tedy s leasingovou společností. Leasingová společnost si také ponechává velký

technický průkaz a vyžaduje pravidelné servisní kontroly v autorizovaném servise, dále uzavírá povinné ručení a havarijní pojištění bez možnosti výběru pojišťovny.

Pro zjištění aktuální sazby úrokových sazeb a RPSN⁸ je použita finanční kalkulačka z obrázku 41 na straně 52 nacházející se v příloze.

Leasing

Cena vozidla ve variantě 0 je 426 900 Kč a složená akontace činí 200 000 Kč. Doba splácení 3 roky. Úroková sazba určena pomocí kalkulačky zohledňuje výši složené akontace a dobou splacení. Úroková sazba aktuálně činí 9,82 % a RPSN včetně pojištění 19,21 %. Akontace je 40 % nebo 50 %, a proto bude výhodné si 13 450 korun našetřit nebo půjčit a složit akontaci ve výši 213 450 Kč. Výše úvěru pak bude totožných 213 450 Kč. Měsíční splátka pak vychází bez pojištění 6 870 Kč a s pojištěním na 7 686 Kč.

Celková částka zaplacená leasingové společnosti je stanovena jako součin měsíčních splátek a celkový počet měsíců splácení. Po třech letech činí cena bez pojištění 247 320 Kč. Po odečtení skutečné částky čerpaného úvěru je částka leasingu přeplacena 33 870 Kč s pojištěním částka přeplacení činí 63 246 Kč.

Úvěr

V případě banky například Air Bank, které nabízí úrokovou sazbu 9,9 % a RPSN 10,37 % je výpočet proveden pomocí anuitních splátek⁹. Vzorec (2) počítá anuitní splátky úvěru za jeden rok, kde potom k_C je částka, kterou žádáme od banky k zapůjčení. Malé i značí výši úroku, v tomto případě RPSN. Malé n označuje počet let splácení úvěru v bance.

$$A = \frac{(1+i)^n \times ((1+i)-1)}{(1+i)^n - 1} \times k_C \quad (2)$$

$$A = \frac{(1+0,1037)^3 \times ((1+0,1037)-1)}{(1+0,1037)^3 - 1} \times 213450 = 86\,391 \text{ Kč}$$

⁸ RPSN (roční procentuální sazební náklady) informuje dlužníka o procentu z dlužné částky, kterou je nutné uhradit do jednoho roku. V RPSN jsou zahrnuty poplatky, správa a další výdaje spojené s čerpáním úvěru.

⁹ Anuitní splácení se skládá z jistiny (vypůjčené peníze) a z úroku. Ze začátku anuitního splácení tvoří větší část splátky úrok, když se splácení překlápí do druhé poloviny, začíná tvořit větší část spláceného dluhu jistina.

$$\text{Měsíční splátka} = \frac{86\,391}{12} = 7\,199 \text{ Kč}$$

$$\text{Celkem k zaplacení} = 7\,199 \times 36 = 259\,164 \text{ Kč}$$

Porovnáním částky, kterou celkem zaplatíme je u úvěru bez pojištění 259 164 Kč a u leasingu bez pojištění 247 320 Kč. Air Bank ale nabízí, že při včasém splácení dlužníkovi odpustí dvě poslední splátky. To by znamenalo přeplacení pouhých 244 766 Kč, jak uvádí vzorec (3).

$$259\,164 - (2 \times 7\,199) = 244\,766 \text{ Kč} \quad (3)$$

$$\text{Leasing} > \text{Spotřebitelský úvěr} = 247\,320 \text{ Kč} > 244\,766 \text{ Kč}$$

Rozdíl, který za tři roky rodina ušetří je 2 554 Kč. Je na zvážení jestli se rodině vyplatí vyhledávat banku a zjišťovat úrokové míry poskytované v bankách. Je značně jednodušší a komfortnější přistoupit při koupi automobilu rovnou i k leasingové smlouvě. Nebýt výhody odpuštění dvou splátek v bance byl by úvěr pro rodinu nevýhodný. Ve výpočtech uvedených v tabulce 12 je nastíněno financování pomocí úvěru. Jen jednou nebyl tento druh poskytování výhodný, a to v případě pořízení elektromobilu v ceně 909 900 Kč. V tomto případě byla kalkulace provedena pomocí úvěru na dobu 6 let namísto 3 let, aby vysoké splátky byly měsíčně finančně únosné. Detailní výpočet se nachází v příloze sesit.xlsx.

Provozní náklady

V tabulce 12 jsou uvedeny ceny pohonných hmot ke konci roku 2014, jedná se o celorepublikové průměry. U elektřiny je nutné vyhledat dodavatele elektřiny a prokázat vlastnictví elektromobilu, poté má majitel nárok na dvou tarifní sazbu elektřiny. Dvou tarifní sazba se označuje D27 a je určena pro domácnosti. Tarif C27 je pak určen podnikatelům. Průměrná cena určena pro domácnosti v tarifu D27 je 2,1 Kč/kWh.

Spotřeba plynu u modelu Golf 1.4 TSI CNG je 3,5 kg na 100 km. Nádrž pojme 15 kg stlačeného zemního plynu, jedná se o dvě nádrže v zadní části vozu o celkovém objemu 97 litrů. Dojezd modelu Golf využívající CNG je čistě na stlačený zemní plyn 430 km. Výpočet je stažen ke vzorci (4).

$$\text{Dojez na CNG} = \frac{15}{3,5} \times 100 = 428 \text{ km} \quad (4)$$

Počet ujetých kilometrů za měsíc (měsíční nájezd km) je stanoven jako součin denní hodnoty vynásobené počtem pracovních dnů a počtem týdnů v měsíci a nakonec je k hodnotě přičteno 200 km. Jednoduchý výpočet následuje ve vzorci (5).

$$\text{Měsíční nájezd km} = (50 \times 5 \times 4) + 200 = 1\,200 \text{ km} \quad (5)$$

Roční hodnota tachometru je dána vynásobením počtu měsíců v roce s měsíčním nájezdem. V každém roce tak teoretický rodina najede 14 400 kilometrů. Roční anuitní splátka je vypočtena obdobným způsobem podle předešlého vzorce 2. Spotřeba na jeden ujetý kilometr je vypočten z tabulky 11. Například pro variantu 0 je spotřeba 4,9l/100km. Spotřeba na jeden ujetý kilometr je pak 0,049 litrů.

Tabulka 12 Provozní náklady (vlastní zdroj)

	Varianta 0	Varianta I	Varianta II	Varianta III
Model vozu	Golf 1.2 TSI	Golf 1.6 TDI	Golf 1.4 TSI CNG	e-Golf
Cena vozu	426 900 Kč	476 900 Kč	492 900 Kč	909 900 Kč
Provozní výdaje na 1 km	1,7 Kč	1,3 Kč	0,9 Kč	0,3 Kč
Provozní výdaje za měsíc	2 046,8 Kč	1 577,8 Kč	1 071,0 Kč	320,0 Kč
Provozní výdaje za rok	24 561,9 Kč	18 933,1 Kč	12 852,0 Kč	3 840,5 Kč
RPSN	10,37 %	10,37 %	10,37 %	6,50 %
Počet let splácení	3	3	3	6
Akontace	x	x	x	23,5 %
Roční anuitní splátka	86 391,1 Kč	106 627,9 Kč	113 103,7 Kč	143 864,5 Kč
Měsíční anuitní splátka	7 199,3 Kč	8 885,7 Kč	9 425,3 Kč	11 988,7 Kč
Vlastní kapitál	213 450 Kč	213 450 Kč	213 450 Kč	213 450 Kč
Výše půjčky	213 450 Kč	263 450 Kč	279 450 Kč	696 450 Kč
Cena benzínu 1l	34,8 Kč	x	x	x
Cena nafty 1l	x	34,6 Kč	x	x
Cena CNG 1kg	x	x	25,5 Kč	x
Cena elektřiny 1 kWh	x	x	x	2,1 Kč
Měsíční nájezd km	1 200 km	1 200 km	1 200 km	1 200 km
Roční nájezd km	14 400 km	14 400 km	14 400 km	14 400 km
Spotřeba na 1km	0,049 l	0,038 l	0,035 l	0,127 kWh

Závěr studie

Z grafu 5 nacházející se v příloze na straně 52 je zřejmé, že rodině se nevyplatí pořízení varianty I, na které po deseti letech používání zaplatí o zhruba 4 tisíce víc. Pokud by rodina najela s vozidlem více kilometrů, finanční úspora by se logicky projevila dříve, a ne, až v 11. roce jak ukazuje graf 6 na straně 52. Přesto řešení pomocí vznětového motoru nemusí být špatnou variantou. Varianta 0 by sice rodině ušetřila v 10. roce použití vozidla 4 422 Kč, ale z následného prodeje vozu by rodina utržila menší finanční hotovost pro financování nového vozu. Pokud by rodina zvolila verzi CNG označenou jako variantu II. Došlo by k úspoře už v sedmém roce, jak je znázorněno na grafu č. 6. V 10. roce by dokonce rodina oproti variantě 0 ušetřila necelých 37 000 Kč. Roční celkové finanční přírůstky za každý rok jsou uvedeny v tabulce 13, kde jsou uvedeny veškeré splátky, provozní náklady a pořizovací náklady.

Tabulka 13 Finanční přírůstky celkově vynaložených nákladů (vlastní zdroj)

Počet let	Golf 1.2 TSI	Golf 1.6 TDI	Golf CNG	e-Golf
1	324 403 Kč	339 011 Kč	339 406 Kč	361 155 Kč
2	435 356 Kč	464 572 Kč	465 361 Kč	508 860 Kč
3	546 309 Kč	590 133 Kč	591 317 Kč	656 565 Kč
4	570 871 Kč	609 066 Kč	604 169 Kč	804 270 Kč
5	595 433 Kč	627 999 Kč	617 021 Kč	951 975 Kč
6	619 995 Kč	646 932 Kč	629 873 Kč	1 099 680 Kč
7	644 557 Kč	665 866 Kč	642 725 Kč	1 103 520 Kč
8	669 119 Kč	684 799 Kč	655 577 Kč	1 107 361 Kč
9	693 681 Kč	703 732 Kč	668 429 Kč	1 111 201 Kč
10	718 243 Kč	722 665 Kč	681 281 Kč	1 115 042 Kč

Varianta III (e-Golf) má velké pořizovací náklady v hodnotě 909 900 Kč. Oproti tomu ale má nejnižší provozní náklady na jeden ujetý kilometr a to 0,3 Kč. Varianta III by se i přes nízké provozní náklady rodině nevyplatila. Vychází v desetiletém horizontu nejhůř ze všech čtyř variant. Na e-Golfu jsou celkové náklady na pořízení i provozování za deset let ve výši 1 115 042 Kč. Kdyby v budoucnu došlo ke snížení pořizovacích nákladů, přicházelo by toto řešení v úvahu, ale v současné podobě a ceně je pro rodinu s ročním nájazdem 14 400 km pořízení elektromobilu spíše luxus a nadměrné zadlužení, než úspora. Rodině by nejvíce s finančního hlediska pomohla varianta II, kterým je Golf se CNG.

5.2. Související legislativa

Znečištění životního prostředí je dalším důvodem k nalezení alternativního a hospodárného vozidla. Pro snížení emisí v Evropě vznikly emisní normy pod názvem Euro. Emisní norma Euro je závazná norma Evropské unie stanovující limitní hodnoty škodlivin ve výfukových exhalacích benzínových a naftových motorů. Vůbec první norma zabývající se množstvím výfukových zplodin vznikla v Kalifornii v roce 1968. [33]

Vznik Euro norem ilustruje tabulka 14, jsou zde uvedeny doby vzniku příslušné normy pro naftové i benzínové motory. Ve sloupcích jsou dále maximální přípustné hodnoty oxidu uhelnatého v gramech na jeden ujetý kilometr. NO_x označuje oxid dusíku. HC uhlovodíky a zkratka PM počet pevných částic. Euro normy jsou jedny z nejpřísnějších norem na světě. Záhadou pro mě v oblasti Euro norem zůstává, proč norma nezohledňuje i škodlivý oxid uhličitý, který je často zmiňován v souvislosti s globálním oteplováním. Automobilky ho většinou udávají v g/km se spotřebou automobilu.

Kjótský protokol zohledňuje na rozdíl od Euro norem i již zmiňovaný CO_2 a je platný usnesením vlády ČR z roku 1998 mimo CO_2 protokol obsahuje metan, NO_x , fluorované uhlovodíky a fluorid siřičitý. Tabulka 15 v příloze obsahuje závazky produkce skleníkových plynů pro jednotlivé státy.

Tabulka 14 Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO [33]

Rok/norma		CO (g/km)		NO _x (g/km)		HC + NO _x (g/km)		HC (g/km)	PČ (g/km)
1992	I	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18
1996	II	2,20	1,00	-	-	0,50	0,70*	-	0,08**
2000	III	2,30	0,64	0,15	0,50	-	0,56	0,20	0,05
2005	IV	1,00	0,50	0,08	0,25	-	0,30	0,10	0,025
2009	V	1,00	0,50	0,06	0,18	-	0,23	0,10	0,005
2014	VI	1,00	0,50	0,06	0,08	-	0,17	0,10	0,005

BENZÍNOVÉ MOTORY, NAFTOVÉ MOTORY

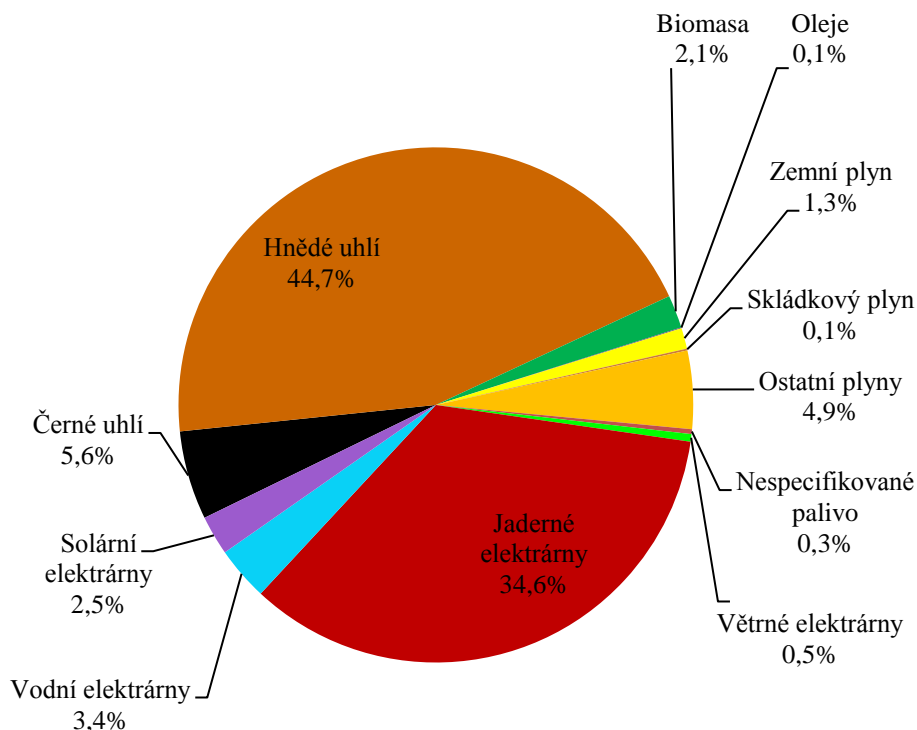
* 0,90 pro motory s přímým vstřikováním paliva

** 0,10 pro motory s přímým vstřikováním paliva

Silniční doprava se celosvětově podílí více jak polovinou všech emisí oxidu uhličitého. Celosvětově má na těchto emisích největší vliv sektor nákladní dopravy. Podíl dopravy na globální působení emisí oxidu uhličitého je v USA téměř dvojnásobný než v Evropě nebo Japonsku. [1]

Je důležité si uvědomit, že pořízením elektromobilu sice žádné přímé emise vozidlo neprodukuje, ale bylo by krátkozraké domnívat se, že energie v České republice je vyráběna bez emisí. Vzhledem k tomu, že v ČR se více jak polovina celkově vyrobené energie vyrobí pomocí fosilních paliv, nejčastěji spalováním uhlí. Uhlí dodává do sítě v České republice celkový výkon přesahující 45 GWh s podílem 45 % z celkové produkce vyrobené elektřiny. Dvě české jaderné elektrárny zaujímají podíl 34 % z celkově vyrobené energie na našem území. Na obnovitelné zdroje pak připadá méně jak 10 % z celkové produkce, z nichž nejvýznamnějším obnovitelným zdrojem je v ČR vodní energie. Detailnější prozkoumání procentuální výroby elektřiny podle typu paliv zobrazuje graf 2. Je nesporné, že jednotlivé druhy paliv při hoření produkují různé škodlivé emise, ale velmi také záleží na spalovací technologii. Při použití moderního automatického kotle na hnědé uhlí, může být množství emisí nižší než při spalování biomasy ve standardním kotli. [34] Mnohé studie také dokazují, že energie ze solárních panelů není, tak „zelená“, jak se zdá. [35] Bylo by opravdu nepřipustné, pokud by solární panel ani za 25 let své deklarované životnosti nevrátil svůj energetický dluh, který byl zapotřebí při jeho výrobě a jeho následné ekologické likvidaci.

Graf 2 Výroba elektřiny podle typu paliv v ČR [36]



5.3. Legislativa v České republice

Předpisy a normy pro LPG

O předpisech a normách týkajících se pohonu s plynem pojednává norma ČSN EN 589 motorová paliva - zkapalněný ropný plyn LPG. Tato norma obsahuje termíny, definice a označení výdejních stojanů, technické požadavky a popisuje metody zkoušení. Dále norma uvádí povolené hodnoty obsahu vody a hustoty. Další důležitou normou pro použití pohonu s plynem je technická norma TPG 40301, která stanovuje podmínky pro montáž, revize a provoz plynového zařízení propan-butan. Další normou pro LPG je ČSN 65 6482, která hovoří o jakosti, všeobecných vlastnostech a možnostech skladování zkapalněného uhlovodíkového plynu propan-butanu.

Předpisy a normy pro CNG

O zkušebních metodách pro stlačený zemní plyn určený k použití ve vozidlech se spalovacími, především zážehovými motory určuje norma ČSN 65 6517. Od září 2011 platí vyhláška MV ČR č. 268/2011 Sb., která zmiňuje technické podmínky požární ochrany staveb. Parkování CNG vozidel v podzemních hromadných garážích pro veřejné užívání je dovoleno za určitých podmínek, například dostatečné odvětrávání, používání detektorů úniku plynu, souhlas majitele atd. [37]

Předpisy a normy pro elektromobily

O schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích sděluje vyhláška Ministerstva dopravy a to podle zákona č. 341/2002. O elektricky poháněných silničních vozidlech se vyjadřuje česká státní norma ČSN EN 13447, která je českou verzí evropské normy s označením EN 13447:2001. Norma obsahuje například tyto kapitoly: typy elektricky poháněných silničních vozidel, jízdní režimy, provozní silniční způsobilost elektricky poháněného silničního vozidla, elektrický pohon, modul baterie, stupně ochrany.

6. Předpokládaný vývoj a vize budoucnosti

Predikce vývoje je velmi obtížná. Lze očekávat vývoj úspornějších, efektivnějších a hospodárnějších vozidel s důmyslnější infrastrukturou. V následující částech 6. kapitoly jsou nastíněné začínající projekty.

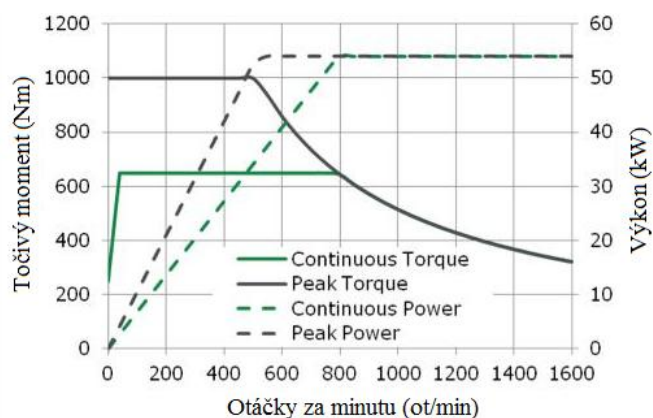
6.1. Protean Electric

S novinkou v oblasti elektromobilů přišla firma Protean Electric, která vkládá motor přímo do vnitřku kol viz obrázek 19. Toto konstrukční uspořádání vozu dovoluje snadnou montáž, servis a větší prostor. V takovém případě, je možné udělat hybrid téměř z kteréhokoliv vozidla, neboť stačí nainstalovat elektromotor do kol a poté najít místo pro uložení baterií, další součásti nejsou potřeba. Společnost Protean k samotnému elektromotoru dodává potřebnou řídicí elektroniku, software a převodník napětí. Instalace je určena pro běžné odpružení a zavěšení kol. Elektromotor je poměrně velký, minimální průměr kola je 18 palců. V současnosti společnost spolupracuje s tuningovou společností Brabus na vozech Brabus Hybrid a Brabus Electric. Výkon jednoho elektromotoru dle udání výrobce je 64 kW a maximální výkon až 81 kW. Instalovaná tloušťka celkového elektromotoru činí 115 mm. Na grafu 3 je zobrazen průběh výkonu a točivého momentu v závislosti na otáčkách.

Obrázek 19 Elektromotor od firmy Protean Electric [38]



Graf 3 Průběh výkonu a točivého momentu [39]



6.2. „Chytrá dálnice“

Problémy s dobíjením elektromobilů a krátkým dojezdem, by jednou provždy, mohl vyřešit projekt „chytré dálnice“ od Daana Roosegaarde ze společnosti Heijmans Infrastructure. Interaktivní cesta budoucnosti nabízí zlepšení světelných podmínek zvýrazněním pomocí speciálních luminiscenčních barev. Tato barva s přimícháním fotoluminiscenčního prášku, ve dne sbírá denní světlo a v noci jej vydává. Tato barva vydává světlo po dobu osmi až deseti hodin, přitom nespotřebovává žádnou elektřinu. [40]

Vzhledem k tomu by bylo možné, aby v noci zářila bez přispění energetický náročného venkovního osvětlení.

Další technologií je funkce nazývána Dynamic Paint, jenž řidiči umožňuje zviditelnění extrémních podmínek přímo na pozemní komunikaci. Jakmile například bude mrznout, zobrazí se na silnici obrázek náledí. Největší revolucí, kterou Daan Roosegaarde navrhuje, je vybudování jízdního pruhu s indukčních cívek, které by umožňovaly nabíjení automobilů za jeho jízdy. Obrázek 20 popisuje, jak by k dobíjení pomocí indukční cívky mohlo probíhat. Obdobný systém již nějakou dobu funguje pro dvacítku autobusů v Turíně. Elektromotory poháněné autobusy není potřeba dobíjet ze zásuvky, pokud se pohybují po své dobíjecí trase. [41]

Obrázek 20 Funkce indukčního dobíjení od firmy Heijmans [42]

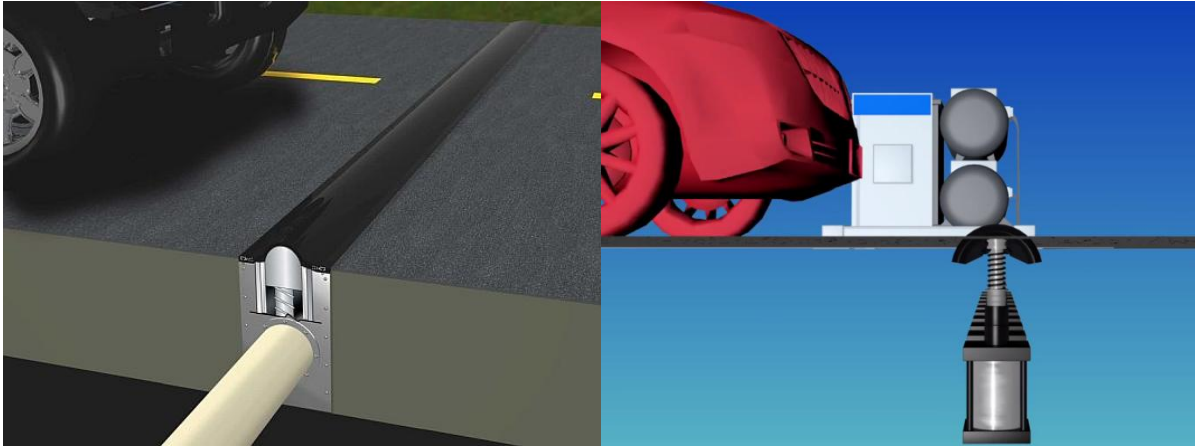


6.3. NEI

NEI je americká společnost, která vyrábí silniční hydraulický generátor pod názvem TPRES. Princip hydraulického generátoru spočívá v tom, že vozidlo při projetí přes hydraulický systém TPRES stlačí vzduch, který vhání pumpy do vyrovnávací tlakové nádrže. Z nádrže tlak vzduchu pohání vzduchovou turbínu a spárovaný rotační generátor pak vyrábí elektrickou energii. Výhodou takového zařízení je snadná instalace a konstrukce. [43] Aby zařízení nebralo zbytečně energii vozidlům, je vhodné tento systém umístit v křižovatkách, semaforech nebo tam, kde situace vyžaduje po řidiči, aby zpomalil (např. školky, parkoviště atd.) Tento druh systému by mohl zefektivnit a nahradit zpomalovací

retardéry s minimálním zásahem do vozovky a poskytnout mechanickou přeměnu energie na energii elektrickou.

Obrázek 21 Princip systému TRPES [43]



6.4. Bluetram

Francouzská společnost Bluetram představila projekt elektrobusu využívající superkondenzátory. Superkondenzátor má nízkou energetickou hodnotu oproti akumulátorům, dalšími jeho přednostmi je rychlé nabíjení a životnost, která umožňuje několik stovek tisíc nabíjecích cyklů. [44] Kondenzátor je schopen na jedno nabití překonat vzdálenost více než jeden kilometr. Na každé zastávce by se tedy Bluetram mohl znovu dobít. Podle informačních materiálů společnosti jedno nabití superkondenzátoru trvá řádově jednotky sekund. Řešení superkondenzátory je pětikrát až desetkrát levnější, protože nevyžaduje nákladnou výstavbu infrastruktury oproti tramvajím a trolejbusům. [45]

Závěr

Evropská unie tlačí na automobilový průmysl prostřednictvím stále přísnějších legislativních norem EURO k vývoji hospodárně ekologických vozů. Je otázkou času, kdy těmto normám klasické konvenční spalovací motory přestanou vyhovovat. Pro výrobu automobilů by podceňování této situace mohlo stát nemalé náklady na vývoj hospodárných vozidel. Proto v dnešní době není problém se v automobilovém průmyslu setkat s vybranými modely, které jsou šetrné k životnímu prostředí a zároveň jsou ekologickými.

Z případové studie je zřejmé, že provozní náklady ekologických vozů jsou nižší než u vozů klasických, ale největším problémem stále zůstávají jejich vysoké pořizovací náklady. Jako střednědobé řešení je podle případové studie řešení pomocí stlačeného zemního plynu v kombinaci se spalovacím benzinovým motorem.

Pokud se povede zvýšit dojezd u elektromobilů a vyřešit problémy s délkou dobíjení baterií, patřila by budoucnost v dopravě podle mého názoru elektřině. Je jen otázkou času, kdy baterie ve spotřební elektronice udělají takový pokrok, že se objeví baterie s vyšší energetickou hustotou, delším dojezdem a kratší dobou nabití. Alternativní možností by se také mohlo stát využívání bezdrátového indukčního nabíjení zabudované v silnicích, jako je nastíněno v projektu „chytré dálnice“.

V České republice se nadále nesmí přestat s budováním a rozšiřováním čerpacích a dobíjecích stanic pro ekologicky hospodárná vozidla. Tento přístup by mohl vést k většímu počtu ekologických vozů a ke vzniku nové éry v dopravě. Je zřejmé, že limitující potenciál ropy, je její neobnovitelností značně omezen a je jen otázkou, kdy dojde k jejímu naprostému vyčerpání. Bude nesmírně důležité v takzvaném ropném vrcholu, neboli ropném zlomu, najít alternativní palivo s konkurence schopným využitím, které by plnilo vytyčené ekologické a ekonomické požadavky. Domnívám se, že taková vozidla stále nejsou k dostání. Buď nesplňují ekologické parametry z hlediska své energetické neobnovitelnosti, nebo ekonomické nároky, které jsou na ně kladeny.

Použitá literatura

- [1]. **Kameš, Josef.** *Alternativní pohon automobilů.* Praha : BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-127-6.
- [2]. **Anonym.** TV Dokument. *Kruté probuzení.* [Online] [Citace: 9. Prosinec 2014.] <http://dokumentarni.tv/veda-a-technika/krute-probuzeni-kolaps-ropy-a-crude-awakening-the-oil-crash>.
- [3]. **Anonym.** Vítej na zemi. *Těžba a spotřeba ropy.* [Online] [Citace: 16. Leden 2015.] http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=tezba_a_spotreba_ropy&site=doprava.
- [4]. **Anonym.** Alternativní paliva. [Online] [Citace: 30. Leden 2015.] http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=alternativni_paliva&site=doprava.
- [5]. **Horčík, Jan.** Počet aut na CNG. *Hybrid.* [Online] 19. Prosinec 2014. www.hybrid.cz/pocet-aut-na-cng-letos-presahne-8500.
- [6]. **Anonym.** Alkoholy. [Online] [Citace: 31. Leden 2015.] <http://biopaliva.webgarden.cz/rubriky/alkoholy>.
- [7]. **Anonym** Biopaliva. *Preol.* [Online] [Citace: Únor. 2 2015.] <http://www.preol.cz/info-pro-verejnost/co-jsou-biopaliva/>.
- [8]. **Anonym** Oktanové číslo. *Wikipedie.* [Online] 5. Zář 2014. [Citace: 20. Prosinec 2014.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Oktanov%C3%A9_%C4%8D%C3%ADslo.
- [9]. **Kleknerová, Zuzana.** Svět čeká boj o vodu. [Online] 15. Březen 2009. [Citace: 1. Prosinec 2014.] <http://magazin.aktualne.cz/svet-ceka-boj-o-vodu-brzy-bude-chybet-pulce-lidstva/r~i:article:631999/>.
- [10]. **Hromádko, Jan.** *Speciální spalovací motory a alternativní pohony.* Praha : Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [11]. **Vlk, František.** Alternativní pohony motorových vozidel. [Online] [Citace: 2. Prosinec 2014.] <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-04-212-224.pdf>.
- [12]. **Anonym.** Plyn v objektu. *Studijní materiály.* [Online] [Citace: 28. Leden 2015.] <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/tzb-1/9.html>.
- [13]. **Anonym** Prodej elektromobilu na LPG. *Hybrid.* [Online] 24. Leden 2014. [Citace: 1. Prosinec 2014.] <http://www.hybrid.cz/v-lonskem-roce-nejvice-vzrostl-prodej-automobilu-na-lpg>.
- [14]. **Anonym** Zpráva o Evidence čerpacích stanic. *Ministerstvo průmyslu a obchodu.* [Online] [Citace: 31. Leden 2015.] <http://www.mpo.cz/dokument153566.html>.
- [15]. **Anonym** Elektromotor. *Wikipedie.* [Online] 26. Listopad 2014. [Citace: 12. Prosinec 2014.] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>.
- [16]. **Kulhánek, Eduard.** Silnoproudá elektrotechnika. *Skripta SPŠE Křižík.*

- [17]. **Anonym**. Asynchronní motor. [Online] 21. Říjen 2014. [Citace: 11. Prosinec 2014.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Asynchronn%C3%AD_motor.
- [18]. **Svoboda, Jiří**. *Teorie dopravních prostředků*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 8001030059.
- [19]. **Sajdl, Jan**. Transaxle. *Autolexicon*. [Online] [Citace: 20. Prosinec 2014.] <http://cs.autolexicon.net/articles/transaxle/>.
- [20]. **Vlk, František**. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno : Vlk, 2004. ISBN 8023916025.
- [21]. **Cole, Jay**. Inside EVs. [Online] [Citace: 16. Leden 2015.] <http://insideevs.com/wp-content/uploads/2014/12/184.jpg>.
- [22]. **First, Jiří**. *Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry*. Praha : S&T CZ, 2008. ISBN 8025418502 .
- [23]. **Anonym**. Počet elektromobilů. *Hospodářské noviny*. [Online] [Citace: 2. Prosinec 2014.] <http://byznys.ihned.cz/c1-61948570-po-svete-jezdi-405-tisic-elektromobilu-usa-japonsko-cina>.
- [24]. **Pecák, Radek**. ČEZ plánuje 1000 dobíjecích stanic. [Online] 14. Listopad 2014. [Citace: 3. Prosinec 2014.] <http://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/cez-planuje-v-pristich-letech-temer-1000-dobijecich-stanic/r~6082f12a6bf011e4bdad0025900fea04/>.
- [25]. **Anonym**. Elektromobil. *Wikipedia*. [Online] 28. Prosinec 2014. [Citace: 2. Prosinec 2014.] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromobil>.
- [26]. **Žemlička, Martin**. Test BMW i3. *Novinky*. [Online] 13. Února 2014. [Citace: 21. Prosinec 2014.] <http://www.novinky.cz/auto/testy/327540-test-bmw-i3-boric-zabehnuty-pravidel.html>.
- [27]. **Anonym**. HUB motor. *Elektrosport*. [Online] [Citace: 20. Prosinec 2014.] <http://elektrosport.cz/vse-o-elektrokolech/hub-motor>.
- [28]. **Anonym** Supercharger. *Tesla*. [Online] [Citace: 16. Leden 2015.] <http://www.teslamotors.com/supercharger>.
- [29]. **Anonym** Mapy nabíjecích stanic. *Elektromobily*. [Online] 31. Srpen 2010. [Citace: 1. Leden 2015.] http://www.elektromobily.org/wiki/Mapy_nab%C3%ADjec%C3%ADch_stanic.
- [30]. **Pavlů, Jan**. Elektromobilita. *Rychlodobíjecí stanice*. [Online] 19. Červen 2014. [Citace: 16. Únor 2015.] <http://www.elektromobilita.cz/cs/novinky/4737.html>.
- [31]. **Anonym**. *CHAdemo*. [Online] 5. Listopad 2014. [Citace: 4. Prosinec 2014.] <http://www.chademo.com/wp/>.

- [32]. **Anonym** Provozní náklady elektromobilů. *Ekobonus*. [Online] 10. Říjen 2011.
[Citace: 4. Prosinec 2014.] <http://www.ekobonus.cz/jake-jsou-provozni-naklady-elektromobilu->
- [33]. **Sajdl, Jan**. Emisní EURO norma. [Online] [Citace: 4. Prosinec 2014.]
<http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>.
- [34]. **Anonym**. Emise paliv. [Online] [Citace: 4. Prosinec 2014.]
http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=jake_maji_jednotliva_paliva_emise&site=energie.
- [35]. **Březina, David**. Solární panely. *idnes*. [Online] 7. Dubna 2013.
[Citace: 4. Prosinec 2014.] http://ekonomika.idnes.cz/solarni-panely-vrati-energii-danou-do-jejich-vyroby-az-v-roce-2020-ps4-/eko-zahranicni.aspx?c=A130407_181347_eko-zahranicni_brd.
- [36]. **Energetický regulační úřad**. *Vítej na zemi*. [Online] [Citace: 16. Leden 2015.]
http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=vyroba_elektricke_energie&site=energie.
- [37]. **Anonym**. Vlastnosti CNG. [Online] [Citace: 14. Březen 2015.]
<http://www.cng.cz/cs/vlastnosti/>.
- [38]. **Anonym** Technical art. *Protean electric*. [Online] [Citace: 16. Leden 2015.]
<http://www.proteanelectric.com/en/image-gallery/technical-art/?img=715&gal=714>.
- [39]. **Anonym** *Protean Electric*. [Online] [Citace: 31. Leden 2015.]
<http://www.proteanelectric.com/en/specifications/>.
- [40]. **Bednář, Marek**. Dálnice budoucnosti. *Autoforum*. [Online] 29. Květen 2014.
[Citace: 4. Prosinec 2014.] <http://www.autoforum.cz/zivot-ridice/dalnice-budoucnosti-v-holandsku-zkousi-svitici-cary-na-silnicich-ne-vzdy-s-uspechy/>.
- [41]. **Vokáč, Petr**. Bezdrátové nabíjení automobilů. [Online] 27. Prosinec 2010.
[Citace: 8. Prosinec 2014.] http://auto.idnes.cz/problem-s-dojezdem-elektromobilu-vyresen-budou-se-nabijet-bezdratove-1ef-/automoto.aspx?c=A101212_230006_automoto_vok.
- [42]. **Anonym**. Smart Highway. *Heijmans*. [Online] [Citace: 16. Leden 2015.]
<http://www.heijmans.nl/en/smart-highway/>.
- [43]. **Grohmann, Jan**. Hybrid. *Silnice jako zdroj elektrické energie*. [Online] 4. Únor 2015.
[Citace: 18. Únor 2015.] <http://www.hybrid.cz/tpres-silnice-jako-zdroj-elektricke-energie>.
- [44]. **Anonym** Hybrid. *Elektrobusy Bluetram*. [Online] 4. Únor 2015.
[Citace: 18. Únor 2015.] <http://www.hybrid.cz/tramvaje-bluetram-spolehaji-na-superkondenzatory>.
- [45]. **Anonym**. BLUETRAM. [Online] [Citace: 18. Únor 2015.] <https://www.blue-solutions.com/en/applications/mobilite/vehicules-electriques/bluetram/>.
- [46]. **Anonym** Tesla Rises . *Bloomberg*. [Online] 15. Leden 2014. [Citace: 2. Prosinec 2014.]
<http://www.bloomberg.com/news/2014-01-14/tesla-delivered-6-900-cars-in-fourth-quarter-executive-says.html>.

- [47]. **Anonym** Tesla model S. [Online] [Citace: 19. Leden 2015.]
<http://www.elecarda.com/vehicle/tesla-model-s-60/>.
- [48]. **Anonym** Tesla Model S Interiér. *Zoro Car*. [Online] [Citace: 19. Leden 2015.]
<http://zorocar.com/2013-tesla-model-s-price-and-review/2013-tesla-model-s-interior/>.
- [49]. **Anonym** Nabíjecí kalkulátor. *Tesla Charging*. [Online] [Citace: 30. Leden 2015.]
<http://www.teslamotors.com/charging#/calculator>.
- [50]. **Horčík, Jan**. Battery swap. *Hybrid*. [Online] 22. Prosinec 2014.
[Citace: 22. Prosinec 2014.] <http://www.hybrid.cz/tesla-spustila-prvni-stanici-pro-vymenu-baterii>.
- [51]. **Anonym**. Fast Charger Map Europe. *CHAdEMO*. [Online] 12. Říjen 2014.
[Citace: 30. Leden 2015.] <http://www.chademo.com/wp/eumap/>.
- [52]. **Anonym** Combo mapa dobíjecích stanic. [Online] [Citace: 11. Březen 2015.]
<http://ccs-map.eu/>.
- [53]. **Anonym** Dobíjecí stanice. *Elektromobilita*. [Online] [Citace: 16. Prosinec 2014.]
<http://www.elektromobilita.cz/cs/dobijeci-stanice.html>.
- [54]. **Anonym** Dobíjecí stanice. *Elektromobilita*. [Online] [Citace: 23. Prosinec 2014.]
<http://www.elektromobilita.cz/cs/dobijeci-stanice/vice-o-dobijecich-stanicich.html>.
- [55]. **Anonym** Mapa stanic. *Hybrid*. [Online] [Citace: 30. Leden 2015.]
<http://www.hybrid.cz/mapa-stanic/?t=cng>.
- [56]. **Anonym** Seznam LPG stanic v ČR. [Online] [Citace: 31. Leden 2015.]
<http://seznamlpg.cz/>.
- [57]. **Howard, Bill**. BMW i8, BMW i3. [Online] [Citace: 16. Leden 2015.]
http://www.extremetech.com/extreme/91600-bmw%E2%80%99s-dazzling-i-brand-why-they-opted-for-a-carbon-fiber-chevy-volt-not-a-nissan-leaf/attachment/98_i8-i3_studio.
- [58]. **Anonym**. Elektrické skútry. *Akumoto*. [Online] [Citace: 30. Leden 2015.]
<http://www.akumoto.com/technologie>.
- [59]. **Anonym** Elektrokola. [Online] [Citace: 30. Leden 2015.]
<http://elektroport.cz/vse-o-elektrokolech>.
- [60]. **Anonym** Konfigurační kalkulačka. *Škofin*. [Online] [Citace: 30. Leden 2015.]
<https://www.skofin.cz/financovani-znacek/volkswagen-finance/#calculator>.
- [61]. **Anonym** Model X. *Tesla*. [Online] [Citace: 30. Leden 2015.]
<http://www.teslamotors.com/modelx>.
- [62]. **Anonym** e-Golf vlastnosti. *Volkswagen*. [Online] [Citace: 16. Leden 2015.]
http://www.volkswagen.cz/modely/e-golf/vlastnosti/104757_pohon.

- [63]. **Anonym** Kjótský protokol. *Wikipedia*. [Online] 10. Srpen 2014.
[Citace: 22. Leden 2015.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Kj%C3%B3tsk%C3%BD_protokol.
- [64]. **Juraj, Matej**. Spotřeba paliva motorového vozidla. [Online] 25. Květen 2012.
[Citace: 8. Leden 2015.] <http://www.posterus.sk/?p=13033>.

Seznam obrázků

- Obrázek 1 Životní cyklus důležitých nosičů energie
- Obrázek 2 Státy s největšími prokázanými zásobami ropy na světě
- Obrázek 3 Srovnání alternativních paliv
- Obrázek 4 Dvě řady vstřikovačů
- Obrázek 5 Princip činnosti stejnosměrného motoru
- Obrázek 6 Momentová charakteristika paralelního a sériového stejnosměrného elektromotoru
- Obrázek 7 Zjednodušený princip asynchronního motoru
- Obrázek 8 Momentová charakteristika AM
- Obrázek 9 Momentová charakteristika AM s přidanými odpory
- Obrázek 10 Princip synchronního motoru
- Obrázek 11 Momentová charakteristika synchronního motoru
- Obrázek 12 Klasické uspořádání hnacího ústrojí vozidla se zadní hnací nápravou
- Obrázek 13 Sériové uspořádání hybridního pohonu
- Obrázek 14 Paralelní uspořádání hybridního pohonu
- Obrázek 15 Uspořádání hnacího ústrojí pro elektromobily
- Obrázek 16 Tesla model S se střídavým asynchronním motorem
- Obrázek 17 Nabíjecí křivka Tesla model S
- Obrázek 18 Mapa dobíjecích stanic
- Obrázek 19 Elektromotor od firmy Protean Electric
- Obrázek 20 Funkce indukčního dobíjení od firmy Heijmans
- Obrázek 21 Princip systému TRPES
- Obrázek 22 Tesla model S Exteriér vozidla
- Obrázek 23 Tesla model S Interiér vozidla
- Obrázek 24 Kalkulátor dobíjení Tesla model S
- Obrázek 25 Vývoj Superchargerů v Evropě pro rok 2016
- Obrázek 26 Vývoj Superchargerů v USA koncem roku 2015
- Obrázek 27 Vývoj Superchargerů Asie a Austrálie koncem roku 2015
- Obrázek 28 Nabíjecí stanice CHAdeMO 12.10. 2014
- Obrázek 29 Rychlodobíjecí stanice Combo, které mají zastoupení pouze v Evropě
- Obrázek 30 Dobíjecí stanice skupiny ČEZ
- Obrázek 31 Infrastruktura stanic se CNG
- Obrázek 32 Infrastruktura dobíjecích stanic v ČR
- Obrázek 33 Infrastruktura stanic na LPG
- Obrázek 34 Uspořádání hnacího ústrojí u sportovních osobních automobilů
- Obrázek 35 BMW i8 a i3
- Obrázek 36 Elektronický skútr od české firmy Akumoto s motorem umístěným v náboji kola
- Obrázek 37 Z čeho se skládá elektrokolo
- Obrázek 38 Elektromotor v přední části kola

Obrázek 39 Elektromotor v zadním kole
Obrázek 40 Elektromotor ve středovém složení má kladný vliv na vyvážení kola
Obrázek 41 Interaktivní kalkulačka ŠkoFIN, pro výpočet měsíčních splátek leasingu
Obrázek 42 Tesla model X budoucí nástupce modelu S
Obrázek 43 Tesla model X s duálním motorem a pohonem 4x4
Obrázek 44 Elektrický Golf
Obrázek 45 Země, které podepsali Kjótský protokol

Seznam tabulek

Tabulka 1 Statistiky CNG v roce 2013 - 2015
Tabulka 2 Základní parametry bioethanolu, benzínu a motorové nafty
Tabulka 3 Vlastnosti plyných paliv
Tabulka 4 Nově registrované osobní automobily dle paliv v ČR
Tabulka 5 Porovnání jednotlivých koncepcí elektromotorů
Tabulka 6 Závislost rozložení hmotnosti na nápravy od koncepce vozidla
Tabulka 7 Porovnání systémů baterií
Tabulka 8 Přehled údajů jednotlivých typů baterií
Tabulka 9 Hmotnost a prostorové porovnání nádrží vztažené k 67 litrům benzínu
Tabulka 10 Srovnání elektrických vozidel
Tabulka 11 Výběr variant vozů pro případovou studii
Tabulka 12 Provozní náklady
Tabulka 13 Finanční přírůstky celkově vynaložených nákladů
Tabulka 14 Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO
Tabulka 15 Procentuální změna produkce skleníkových plynů pro jednotlivé státy úmluvy

Seznam grafů

Graf 1 Momentová charakteristika spalovacího motoru
Graf 2 Výroba elektřiny podle typu paliv v ČR
Graf 3 Průběh výkonu a točivého momentu
Graf 4 Infrastruktura nejrozšířenějších dobíjecích stanic ve světě ke dni 11.3. 2015
Graf 5 Celkový součet výdajů všech variant
Graf 6 Celkový součet výdajů bez e-Golfu

Seznam příloh

Příloha 1 Tesla Motors
Příloha 2 Obrazová příloha

Přílohy

Příloha 1 Tesla Motors

Společnost Tesla Motors byla založena roku 2003, sériová výroba začala modelem Tesla Roadster. Jednalo se o sportovní čistě elektrický vůz vybavený Li-ion bateriemi. Dojezd na plné nabití byl 300 kilometrů. Největší úspěch Tesla zaznamenala až roku 2012, kdy začal prodej čtyřdveřového sedanu pod názvem Tesla model S. Ve Spojených státech se v roce 2013 prodalo 22 450 kusů modelu S. [46]

Obrázek 22 Tesla model S Exteriér vozidla [47]



Obrázek 23 Tesla model S Interiér vozidla [48]

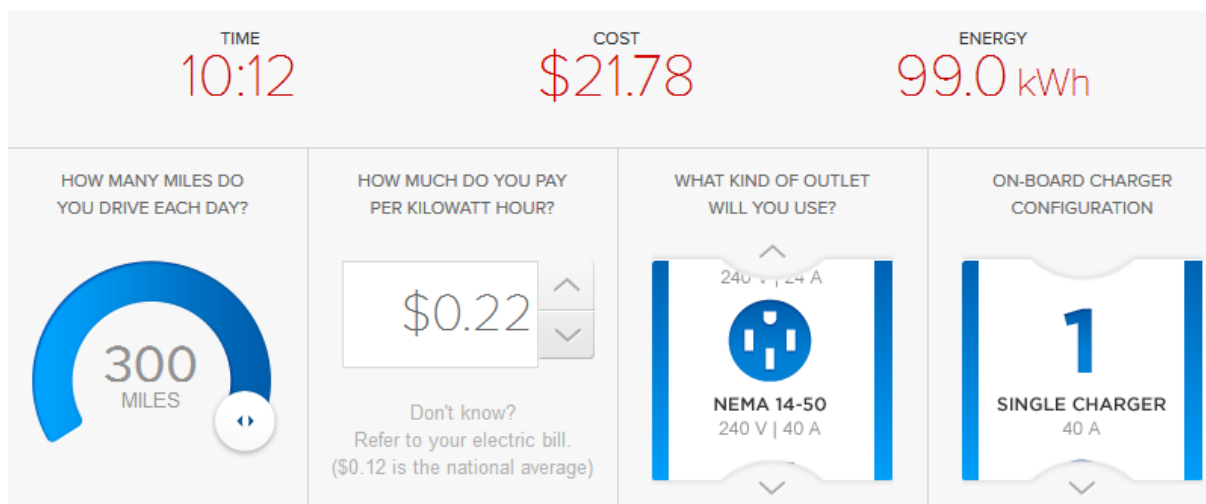


Supercharger

Supercharger je síť rychlodobíjecích stanic, které jsou všem majitelům vozů Tesla k dispozici k dobíjení zdarma v délce životnosti vozidla. Rychlodobíjecí stanice jsou budovány strategicky ve vzdálenosti dojezdu automobilu. Tesla používá k dobíjení svých vozů sluneční energii, kterou získává z fotovoltaických panelů, jenž jsou instalovány v dobíjecích stanicích. Instalovaný dobíjecí výkon Superchargeru je 120 kW, jedná se o nejvýkonnější síť dobíjecích stanic. Nejrozšířenější dobíjecí stanice v České republice mají instalovaný výkon dobíjení jen okolo 50 kW.

Pomocí jednofázové zásuvky s napětím 240V a proudem 40A se model S dobije za 10 hodin a 12 minut. Během jedné noci by se zcela vybité vozidlo mělo nabít na maximální hodnotu viz obrázek 24. Čím déle je vozidlo nabíjeno, tím více spotřebovává energie nad kapacitu baterie. Provozní náklady se sníží zakoupením tzv. Dual Chargers, který je nutné zaškrtnout v konfigurátoru vozidla, v doplňkové výbavě stojí 3 600 \$. Jedná se o duální nabíječku. Součástí Dual Chargeru je konektor nazývaný jako Wall Connector, který vozidlo nabije za jednu hodinu na 87 kilometrů. Vybité vozidlo je plně nabito za 5 hodin.

Obrázek 24 Kalkulátor dobíjení Tesla model S [49]



Dual Chargers

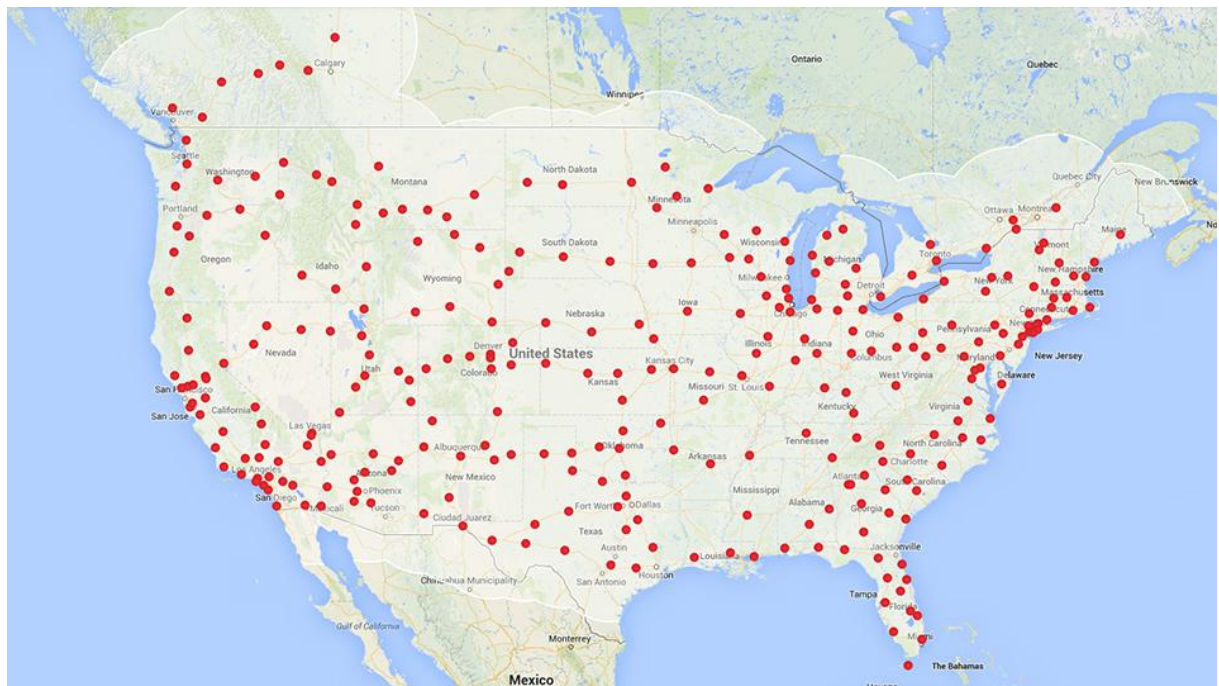
Dual Charger je umístěn uvnitř automobilu. Konektor po zapojení posílá střídavý proud do nabíječky. Charger pak převádí střídavý proud na stejnosměrný, kterým baterie nabíjí.

V současné době je ve Spojených státech amerických 135 Superchargerů, v Evropě 106 a v Asii 39. V České republice Supercharger prozatím není, k jeho realizaci se přistoupí koncem roku 2015. Nejbližší Supercharger se nachází v sousedním Salzburgu. Kalifornská automobilka umožňuje i metodu pod názvem Battery Swap, jedná se o výměnu baterií, kdy je stará baterie demontována a nová roboticky instalována během 90 sekund. Koncem roku 2014 byl spuštěn pilotní provoz mezi San Franciskem a Los Angeles, ale pouze pro vybrané majitele vozů Tesla. [50]

Obrázek 25 Vývoj Superchargerů v Evropě pro rok 2016 [28]



Obrázek 26 Vývoj Superchargerů v USA koncem roku 2015 [28]



Obrázek 27 Vývoj Superchargerů Asie a Austrálie koncem roku 2015 [28]

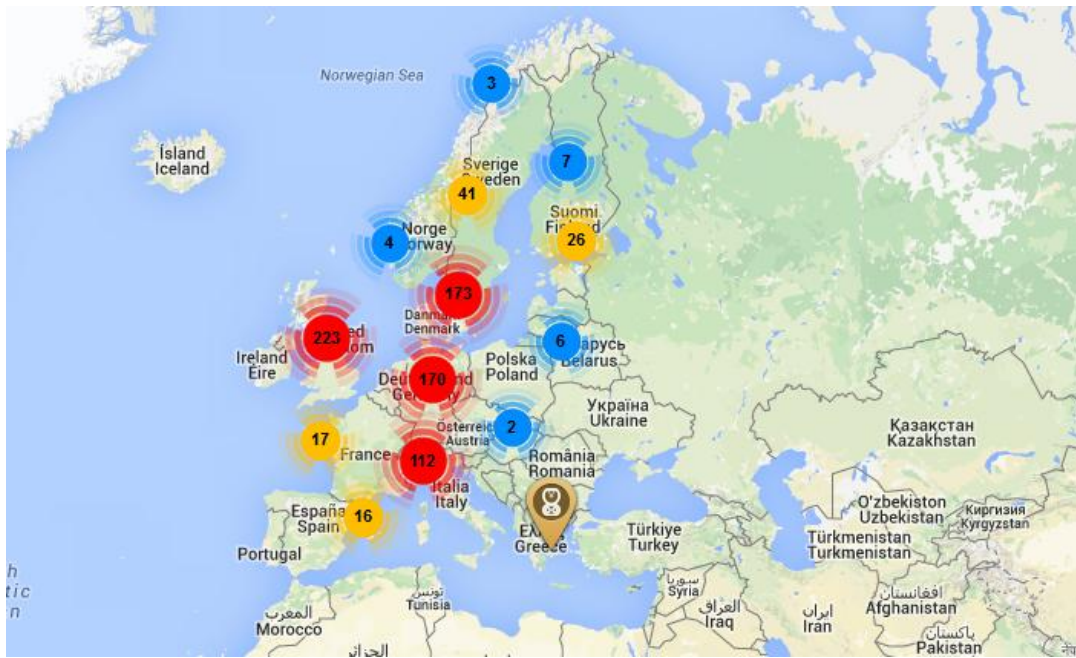


Obrázek 28 Nabíjecí stanice CHAdeMO 12.10. 2014 [51]

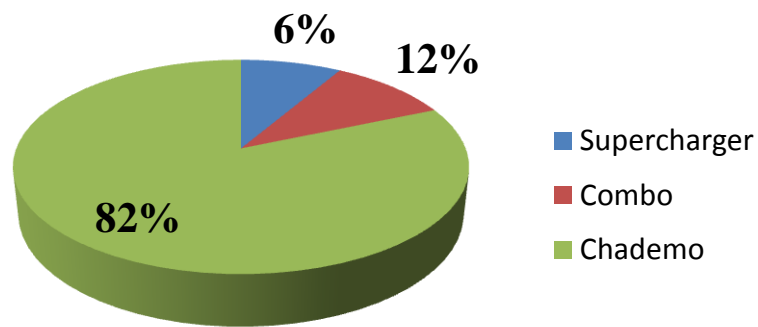


CHAdeMO patří k nejrychleji rostoucím infrastrukturám na světě. Podíl na světové dobíjecí infrastruktuře je zobrazen v grafu 4. Je nutné si uvědomit, že Supercharger má na jednom dobíjecím místě alespoň 6 stojanů u konkurence se nejčastěji jedná o jeden dobíjecí stojan a z tohoto důvodu mohou být statistiky o nejrozšířenějších dobíjecích stanicích zkreslené. Graf 4 zobrazuje počet dobíjecích stanic nikoliv dobíjecí stojany.

Obrázek 29 Rychlodobíjecí stanice Combo, které mají zastoupení pouze v Evropě [52]



Graf 4 Infrastruktura nejrozšířenějších dobíjecích stanic ve světě ke dni 11.3. 2015



Zdroj: sesit.xlsx

Obrázek 30 Dobíjecí stanice skupiny ČEZ [53]





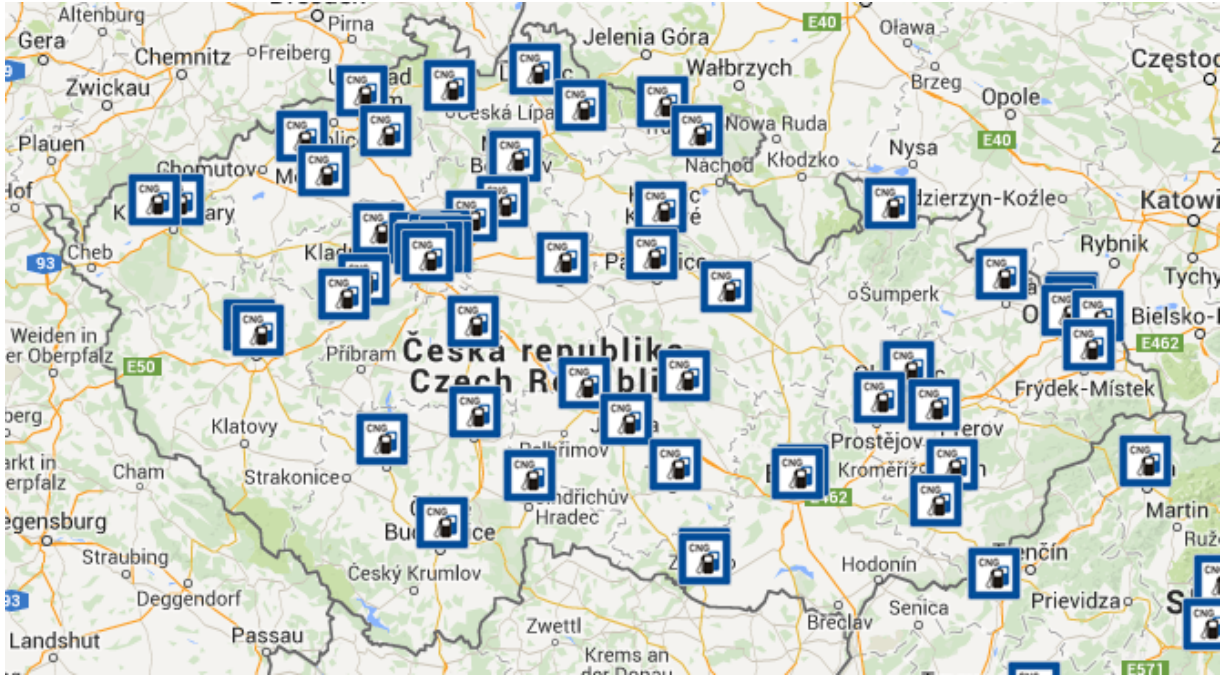
Standardní dobíjení konektory Mennekes (32A/400V). Běžná domácí (16A/230V).



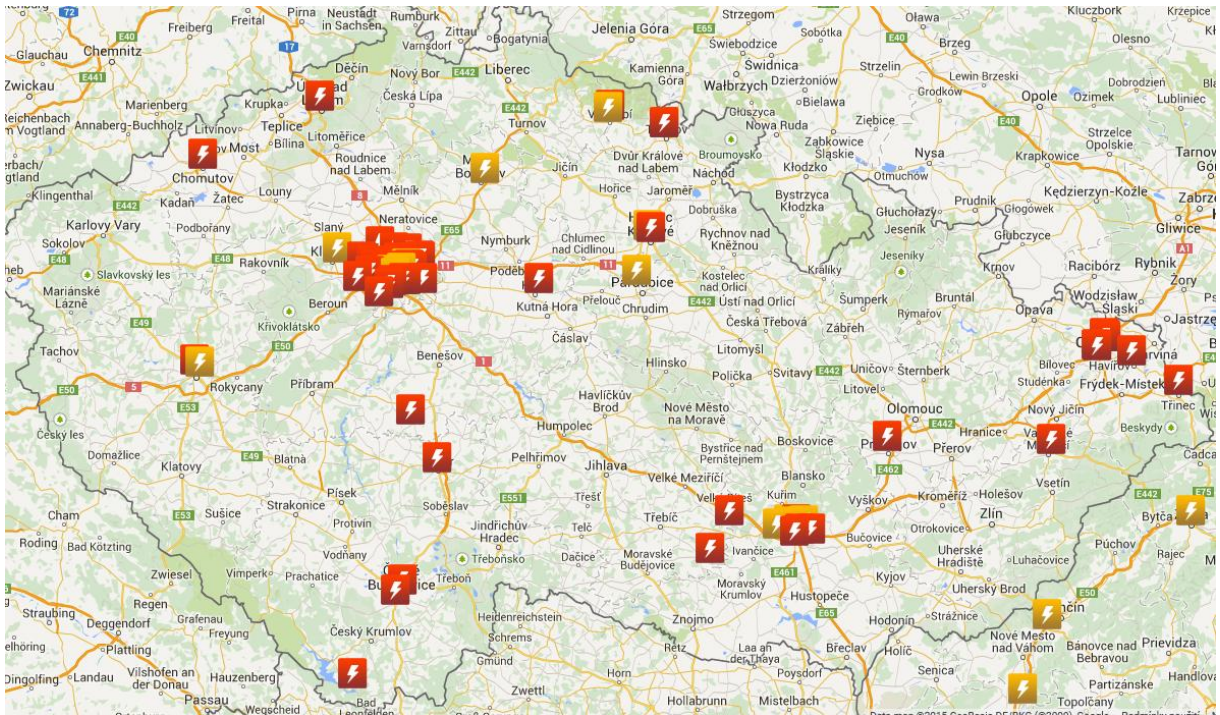
Rychlodobíjecí umožňuje CHAdeMO 50 kW a Combo 50 kW. AC Mennekes 32A/400V.

Každá dobíjecí stanice je vybavena dvěma zásuvkami pro dobíjení elektromobilů. Jedna je typu Mennekes a umožňuje třífázové dobíjení až 32A/400V, druhá klasická domácí zásuvka umožňuje jednofázové dobíjení na úrovni 16A/230V. [54]

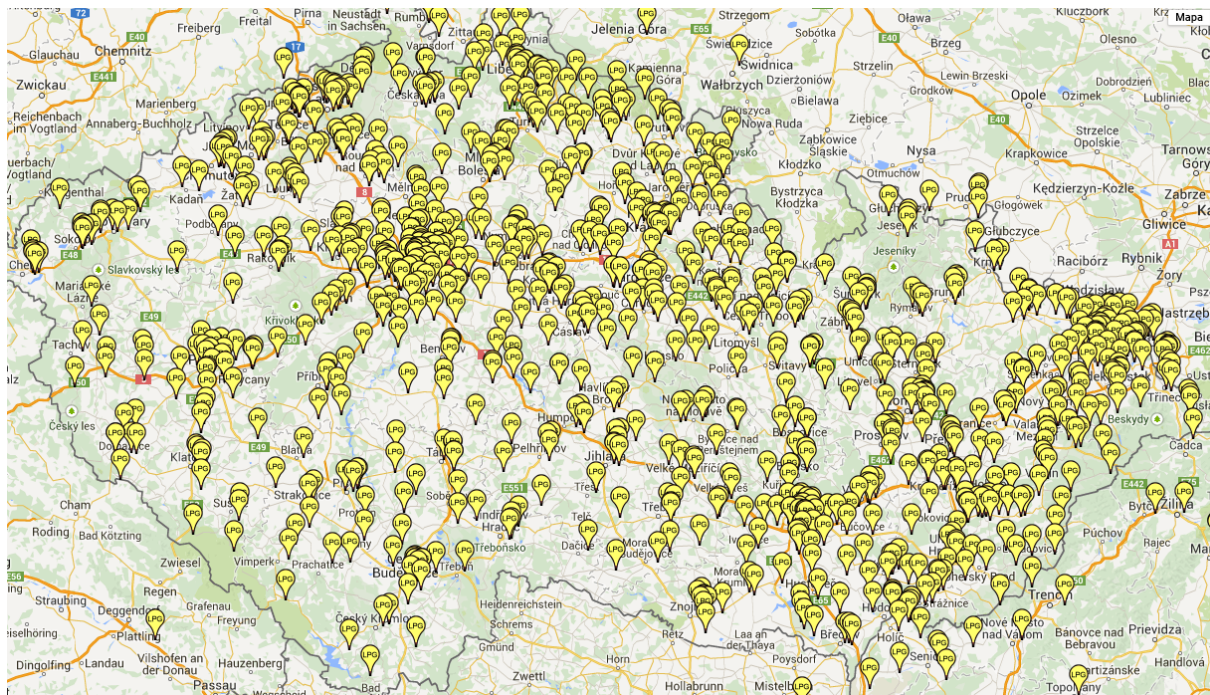
Obrázek 31 Infrastruktura stanic se CNG [55]



Obrázek 32 Infrastruktura dobíjecích stanic v ČR [55]



Obrázek 33 Infrastruktura stanic na LPG [56]



Příloha 2 Obrazová příloha

Obrázek 34 Uspořádání hnacího ústrojí u sportovních osobních automobilů [19]



Obrázek 35 BMW i8 a i3 [57]



Obrázek 36 Elektronický skútr od české firmy Akumoto s motorem umístěným v náboji kola [58]



Obrázek 37 Z čeho se skládá elektrokolo [59]



Obrázek 38 Elektromotor v přední části kola [27]



Obrázek 39 Elektromotor v zadním kole [27]



Obrázek 40 Elektromotor ve středovém složení má kladný vliv na vyvážení kola [27]



Obrázek 41 Interaktivní kalkulačka ŠkoFIN, pro výpočet měsíčních splátek leasingu [60]

Model

Typ klienta Soukromá osoba Podnikatel, firma

Cena vozu vč. DPH

Splátka předem (%)

Obsah motoru (ccm)

Doba splácení (měsíců)

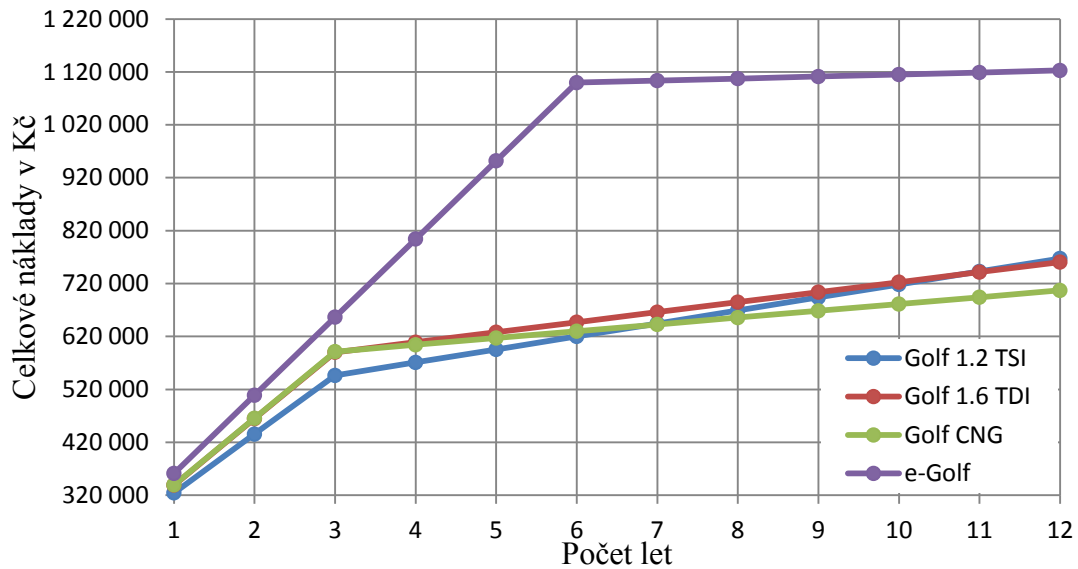
Zabezpečení bez (žádné) mechanické vyhledávací

Zůstatková hodnota

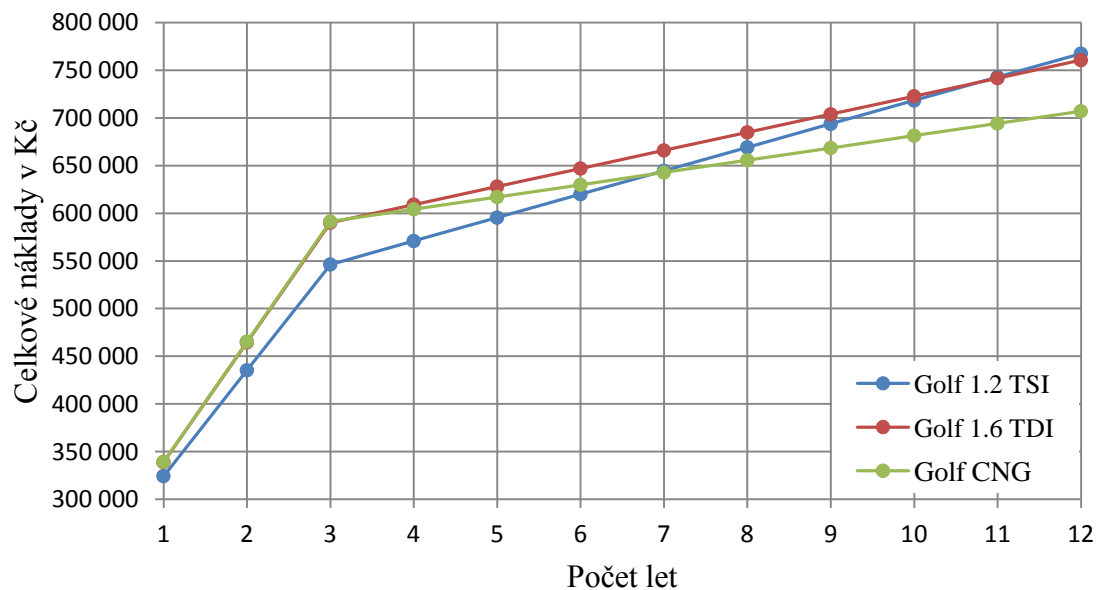
Spoluúcast havarijního pojištění

Bonusová pojistka

Graf 5 Celkový součet výdajů všech variant (vlastní zdroj)



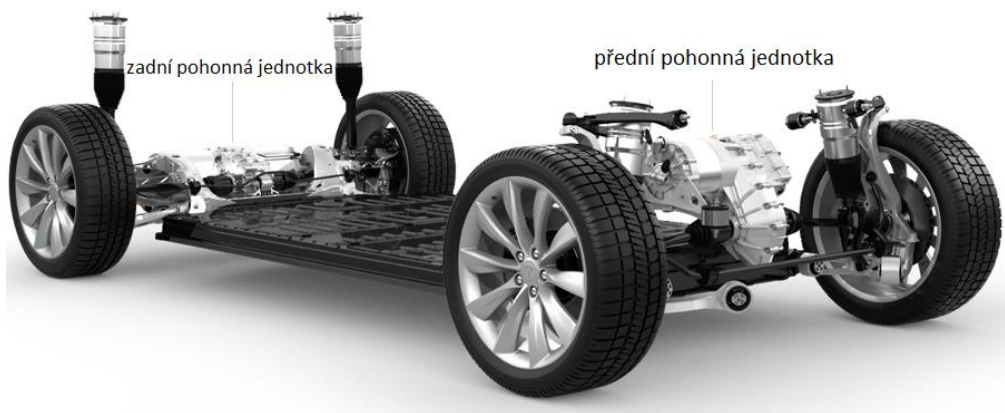
Graf 6 Celkový součet výdajů bez e-Golfu (vlastní zdroj)



Obrázek 42 Tesla model X budoucí nástupce modelu S [61]



Obrázek 43 Tesla model X s duálním motorem a pohonem 4x4 [61]



Obrázek 44 Elektrický Golf [62]

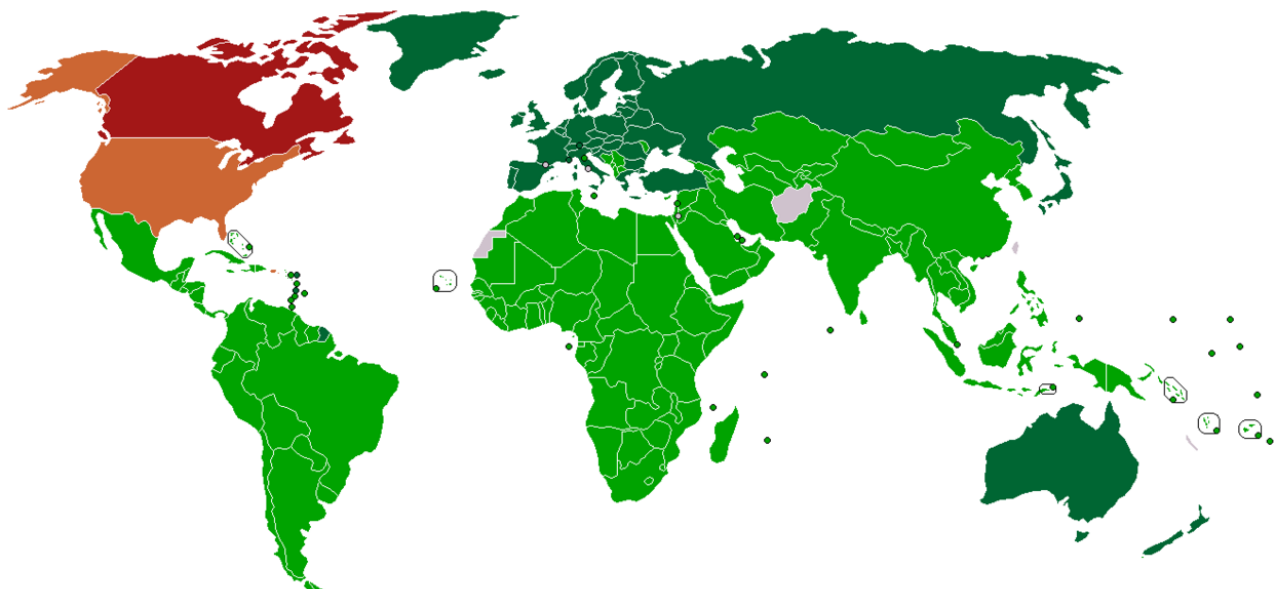


Kjótský protokol

Tabulka 15 Procentuální změna produkce skleníkových plynů pro jednotlivé státy úmluvy [10]

Stát	Limit emisí	Monaka	92
Austrálie	108	Německo	92
Belgie	92	Nizozemsko	92
Bulharsko	92	Norsko	101
Česká republika	92	Nový Zéland	100
Dánsko	92	Polsko	94
Estonsko	92	Portugalsko	92
Finsko	92	Rakousko	92
Francie	92	Rumunsko	92
Chorvatsko	95	Rusko	100
Irsko	92	Řecko	92
Island	110	Slovensko	92
Itálie	92	Slovinsko	92
Japonsko	94	Spojené státy americké	93
Kanada	94	Španělsko	92
Lichtenštejnsko	92	Švédsko	92
Litva	92	Švýcarsko	92
Lotyšsko	92	Ukrajina	100
Lucembursko	92	Velká Británie	92
Maďarsko	94		

Obrázek 45 Země, které podepsali Kjótský protokol [63]



zelená - protokol ratifikovaly (tmavě zelené státy podepsaly Annex I a II)

hnědá - podepsaly, ale odmítly ratifikovat

červená - Kanada, která od protokolu odstoupila v prosinci 2011

šedá - nepodepsaly nebo není známá pozice