



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Porovnání alternativních paliv pro pohon automobilů

Comparison of alternative fuels for cars

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Vítek, CSc.

Tomáš Jirka

Praha 2015

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Jirka Tomáš**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektrotechnika a management

Název tématu:

Porovnání alternativních paliv pro pohon automobilů

Pokyny pro vypracování:

1. Přehled alternativních paliv.
2. Specifikace vybraných variant využívající alternativní paliva z ekonomického hlediska.
3. Porovnání variant z hlediska projektu.

Seznam odborné literatury:

1. Hromádko J. a kol.: Spalovací motory. GRADA, Praha, 2011.
2. Ehsani M., Gao Y., Ehadi A.: Modern electric, hybrid electric and Fuel Cell Vehicles. Fundamentals, Theory and Design, 2009.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslav Vítek, CSc.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

Doc.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.

vedoucí katedry

Prof.Ing. Pavel Ripka, CSc.

děkan

V Praze dne 10.2.2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci pod vedením Ing. Miroslava Vítka, CSc. vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 21. 05. 2015

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé práce, Ing. Miroslavu Vítkovi, CSc., za odborné vedení a konzultace při jejím zpracování, Ing. Janu Voříškovi ze společnosti Nano Energies za zodpovězení mých otázek k tématu efektivity pohonu automobilů, alternativních paliv, hydraulických hybridů a aerodynamiky, a Janu Hořčíkovi, redaktoru serveru hybrid.cz, za zodpovězení mých otázek k tématu alternativních paliv a elektromobilům.

Za poskytnutí servisních dat bych chtěl poděkovat společnosti Autobond Group, a.s. pro Nissan LEAF a svému vedoucímu pro benzínovou Škodu Octavia.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá alternativními formami energie pro pohon automobilů, ať už pro spalovací nebo elektrické motory, či technologiemi pro snížení spotřeby fosilních paliv a emisí.

V první části práce se věnuji důvodům, proč se touto problematikou zabýváme, a jsou zde vysvětleny některé základní principy, historie a důležité systémy a pojmy ohledně spalovacích i elektrických motorů (akumulátory, palivové články). V této části se snažím věnovat problematice celkové energetické náročnosti (celkové účinnosti) převodu zdrojové energie na pohyb automobilu a potřebné infrastruktury.

Ve druhé části jsou uvedena paliva (CNG/LNG, LPG, biopaliva, vodík, vzduch) a technologie (hybridy, možnosti rekuperace nebo na snížení spotřeby motoru), které v současnosti používáme, nebo blízké budoucnosti budeme.

Ve třetí části se věnuji porovnání ekonomické výhodnosti vybraných druhů pohonu formou simulace firemního a soukromého provozu vybraných vozidel.

Klíčová slova

Alternativní paliva, pohon automobilů, CNG, LNG, LPG, E85, bionafta, biopaliva, palivové články, elektřina, baterie, elektromobily, hybridy, rekuperace energie, celková účinnost pohonu, auta na vzduch, Volkswagen Golf, Škoda Octavia, Nissan LEAF

Abstract

This bachelor thesis deals with alternative forms of energy to power cars, either for combustion or electric motors, or technology to reduce fossil fuel consumption and emissions.

The first part is focused on the reasons why we deal with this issue. Some basic principles, history and critical systems and concepts about combustion and electric motors (batteries, fuel cells) are explained here. In this section, I also try to focus on the issue of overall energy demand (total efficiency) transfer of the source energy to move the car and the necessary infrastructure.

In the second section I introduce the fuels (CNG/LNG, LPG, biofuels, hydrogen, air) and technologies (hybrids, the possibility of recovery or reduce consumption of the engine), which we currently use, or in the near future we will.

The third part is devoted to comparing the economic benefits of selected drive species through simulation of business and private operation of selected vehicles.

Keywords

Alternative fuel, car drives, CNG, LNG, LPG, E85, biodiesel, biofuels, fuel cells, electricity, battery electric vehicles, hybrids, energy recovery, the overall efficiency of the drive, the air powered car, Volkswagen Golf, Skoda Octavia, Nissan LEAF

1 Obsah

1	Úvod	1
2	Možnosti pohonu automobilu	3
2.1	Problematika zásob ropy a škodlivosti zplodin spalovacích motorů	3
2.2	Motory – historie, pojmy, technologie	4
2.3	Tepelné motory	5
2.3.1	Princip činnosti	5
2.3.2	Parní stroj	5
2.3.3	Spalovací motor	6
2.4	Elektrické motory	8
2.4.1	Historie a vývoj elektromobilů	8
2.4.2	Elektrický motor	9
2.4.3	Trakční akumulátory	10
2.4.4	Dobíjecí stanice	11
2.4.5	Palivové články	13
3.	Alternativní paliva a technologie pro pohon automobilů	15
3.1.	Plynná paliva pro spalovací motory	15
3.1.1	LPG (Liquefied petroleum gas)	15
3.1.2	CNG (Compressed-) a LNG (Liquefied natural gas)	16
3.1.3	Vodík pro přímé spalování v motoru	18
3.1.4	Pohon stlačeným vzduchem	19
3.2	Biopaliva pro spalovací motory	20
3.2.1	Bioetanol (E85)	20
3.2.2	Bionafta (B20, B30)	22
3.3	Automobily poháněné elektřinou a elektrické hybridy	23
3.3.1	Mikrohybridy	23
3.3.2	Rozdělení a rozdíly mezi hybridy	23
3.3.3	Elektromobily	25
3.4	Další možnosti snižování spotřeby automobilů a rekuperace energie	26
3.4.1	Volvo KERS – rekuperace využitím kinetické energie	26
3.4.2	Mazda i-ELOOP – rekuperace využitím elektrické energie	26
3.4.3	Hydraulické hybridy - rekuperace s využitím tlakové energie	27
3.4.4	Vypínání válců spalovacího motoru při nízkém zatížení	28
3.5	Snižování jízdních odporů – aerodynamický odpor	29
3.5.1	Aerodynamický odpor	29
3.5.2	Tabulka spotřeb vozidla při ustálené rychlosti a vliv odporů	30
3.5.3	Technologie a úpravy pro snížení aerodynamického odporu, aktivní aerodynamika	31
4	Specifikace vybraných variant využívající alternativní paliva	33

4.1	Varianta 1: Volkswagen Golf, firemní provoz.....	33
4.1.1	Simulace firemního provozu.....	33
4.1.2	Úvod k modelu Golf.....	33
4.1.3	Volkswagen e-Golf.....	34
4.1.4	Volkswagen Golf TGI.....	35
4.1.5	Porovnávané varianty.....	35
4.2	Varianta 2: Škoda Octavia, Nissan LEAF, soukromý provoz	35
4.2.1	Simulace soukromého provozu	35
4.2.2	Úvod k porovnání Škody Octavia s Nissanem LEAF.....	35
4.2.3	Škoda Octavia G-Tec.....	36
4.2.4	Nissan LEAF.....	36
4.2.5	Porovnávané varianty.....	38
4.3	Tabulka průměrných cen jednotlivých paliv za načerpanou jednotku.....	38
4.3.1	Ceny paliv pro spalovací motory	38
4.3.2	Cena elektřiny pro elektromobily	39
5	Porovnání variant z hlediska ekonomické výhodnosti	41
5.1	Zanedbávané položky.....	41
5.2	Detailní náhled na cash flow při provozu Škody Octavie a Nissanu LEAF	41
5.2.1	Způsob výpočtu a počáteční podmínky.....	41
5.2.2	Způsob ekonomického porovnání – čistá současná hodnota	42
5.2.3	Tabulka a graf hodnot cash flow v jednotlivých letech provozu vozidel.....	42
5.3	Detailní náhled na výpočet KDCF pro Volkswagen e-Golf.....	44
5.4	Porovnání ekonomie provozu jednotlivých variant	46
5.4.1	Způsob výpočtu a počáteční podmínky.....	46
5.4.2	Porovnání ekonomie firemního provozu Volkswagenu Golf s různými druhy pohonu	46
5.4.3	Porovnání ekonomie soukromého provozu Škody Octavia a Nissanu LEAF	48
5.4.4	Vyhodnocení ekonomické výhodnosti provozu vybraných automobilů	50
6	Závěr.....	51
7	Seznam použité literatury	53
7.1	Knižní (hlavní) zdroje:	53
7.2	Internetové zdroje.....	54
7.3	Zdroje obrázků.....	60
8	Seznam použitých obrázků, tabulek a grafů.....	63
8.1	Seznam použitých obrázků.....	63
8.2	Seznam tabulek	63
8.3	Seznam grafů.....	64

1 Úvod

Vynález automobilu byl jedním z nejdůležitějších milníků moderní technologie. Automobily umožnily rozvoj současné společnosti a systému dopravy, kterou využíváme každý den. Automobilový průmysl a jemu přidružené výroby dávají práci nezanedbatelné části lidstva.

Společně s rozvojem automobilismu postupem času vyvstaly otázky jeho vlivu na nerostné zdroje naší planety, které spotřebováváme, a kvalitu životního prostředí. Problémem je, že roste jak celkový počet lidí, tak počet lidí, kteří si mohou dovolit pohodlný, ale energeticky náročný život, a tedy že s energií, kterou můžeme využívat, do budoucna nebudeme moci příliš plýtvat. Z tohoto důvodu se začínáme věnovat zlepšování účinnosti přeměny vstupní energie na výsledný pohyb vozidla, ať už volbou zdroje energie, nebo následné vylepšování účinnosti tohoto pohybu, do čehož velmi značně zasahuje rekuperace kinetické energie vozidla do určitého zásobníku, která by se jinak změnila pouze v opotřebení a ohřev brzdových destiček. Další oblastí zájmu je snižování jízdních odporů a zvyšování plynulosti dopravy.

V posledních desetiletích jsou tyto otázky stále markantnější, a tak se věda stále více věnuje jejich možným řešením, která se v této práci budu snažit představit [K3 – 1].

Teoreticky existuje také jiná možnost, jak se s tímto problémem vypořádat, technicky výrazně jednodušší, ale jinak nesmírně složitá možnost, a to je změna myšlení lidí: vyloučení zbytečných jízd (vyloučení zbytečné přepravy zboží po světě), zvýšení používání hromadné dopravy (jako v Japonsku) a dopravování se po městech vlastními silami (pěšky, na kole či elektrokole), používání prostředků racionální velikosti, nikoliv velká SUV s jedním člověkem uvnitř.

Značný vliv na spotřebu paliva a opotřebení automobilu má plynulost dopravy, jejímž zvyšováním dokážeme snížit nejen emise výfukových plynů, ale také prach z brzdových destiček a hlučnost dopravy.

V této práci se budu věnovat možnostem alternativních paliv a možnostem motorů, jejich ekologickému i ekonomickému významu, protože, stejně jako každého kupce, mne zajímají provozní náklady vozidla v první řadě. Tomuto se samozřejmě věnují i automobilky, které potřebují prodat své produkty, a tak se musí věnovat cenově dostupným palivům, aby je zákazníci kupovali, ale zároveň vyhověly normám. [K7 - 13]

Na toto téma již bylo napsáno vícero bakalářských i diplomových prací, nebo odborných publikací (ať už z hlediska ekonomického, strojařského, dopravního či elektrotechnického), z nichž také čerpám. Kvůli zaměření států i automobilek na toto téma dochází k rychlému rozvoji elektromobilů i vozidel spalujících alternativní paliva a jim přizpůsobené infrastruktury, a proto lze práce na toto téma postupně aktualizovat a pozorovat změny v dosažených výsledcích.

2 Možnosti pohonu automobilu

2.1 Problematika zásob ropy a škodlivosti zplodin spalovacích motorů

Těžba nerostných surovin pro pohon automobilů či energetiku je z hlediska celkové účinnosti, kolik energie do toho nyní vložíme a kolik získáme, poměrně výhodná, protože se jedná o sluneční energii za pomoci fotosyntézy a milionů let na Zemi uloženou, kterou stačí vzít, zpracovat a využít pro naše potřeby.

Současná doprava (osobní i nákladní), je téměř 100% závislá na těžbě a zpracování (rafinaci) ropy, o které se čas od času objeví zmínka, že by mohla dojít v blízké budoucnosti, o čemž se mluvilo v minulosti již několikrát, nejvíce však v sedmdesátých letech v době ropné krize. Faktem je, že roční objem těžené ropy stále roste. Důvodem je to, že všechna ložiska neznáme, a že naše současná technologie neumožňuje vytěžit ložisko ropy celé. Doposud se těžilo tak, že se vrt navrtal a zhruba 20% uložené ropy samo vyteklo. Díky sekundárním metodám, kdy ložisko znovu natlakujeme například vzduchem, či CO₂, dokážeme vytěžit dalších 5 - 15% v něm uložené ropy. V souvislosti s rostoucí cenou ropy na trhu se vyplatí otvírat ložiska v hůře dostupných místech, nebo s využitím náročnějších technologií, čehož příkladem může být současná těžba z břidlic v USA. Ropa s námi ještě nějakou chvíli určitě bude, ale její cena nejspíše postupně poroste. [K7 – 10 až 13]

Spalování ropných produktů má také své nevýhody, co se týče kvality našeho ovzduší. Nejvíce zmiňovaným problémem je zvyšování množství jinak pro živé organismy nejedovatého CO₂ v naší atmosféře a s tím související skleníkový efekt a možnost námi způsobeného globálního oteplování, o jehož příčinách a důsledcích se vědci stále přou.

V minulosti byly hlavním znečišťovatelem ovzduší ve městech továrny s komíny, jenž byly symbolem průmyslové revoluce. Dnes je to díky odchodu těžkého průmyslu a rozvoji centrálního zásobování teplem právě doprava, která stojí za znečištěním ovzduší.



Obrázek 1 - Smogová situace 21. 10. 2013 v Čínském městě Feng-Li

Vzhledem k tomu, že nejhustší doprava je v místech s největší hustotou zalidnění, jsou problémem zplodiny lidskému zdraví škodlivé: CO, NO_x, SO_x, O₃, HC, ale hlavně smog způsobující částice prachové (saze), které vznikají nedokonalým spalováním kapaliny, zvláště pak motorové nafty. Důvodem je vznik větších kapiček paliva při přímém vstřiku, které mohou hořet na povrchu a vnitřek se speče do pevné částice – saze. Problémy s nimi se v současnosti vyskytují u všech kapaliny spalujících přeplňovaných motorů, [K7 – 14 až 15]. Dalším problémem je značná hlučnost dopravy a s tím související hlukové znečištění životního prostředí.

Problémy s prachovými částicemi způsobují také řidiči, kteří z finančních důvodů místo opravy filtru pevných částic volí jeho vyřiznutí z výfukového systému, nebo řidiči, kteří si nechávají upravit řídicí jednotku pro vstřikování většího množství paliva, čímž vzroste výkon i točivý moment, ale spalování je nedokonalé kvůli příliš bohaté směsi, a tak na silnicích potkáváme občas téměř parní lokomotivy.

2.2 Motory – historie, pojmy, technologie

Motor je stroj, který mění jiné druhy energie na mechanickou práci. [1] Při použití pro automobil nás hlavně zajímá jeho poměr výkon/hmotnost (či jím zaujímaný objem/hmotnost kvůli omezenému prostoru zástavby), v současné době také forma energie (palivo), který je na jeho vstupu, ale samozřejmě i ekonomické hledisko následného provozu, kterému se budu věnovat v poslední části této práce.

Na začátcích automobilismu na konci 19. století stál překvapivě právě elektromobil, konkrétně první funkční elektromobil byl představen v roce 1881 Gustavem Trouvéem a elektrický pohon dopravních prostředků byl po parním pohonu 2. nejrozšířenějším na konci 19. století. [K4 - 9]

Elektromobily byly brzy převálcovány motory spalujícími ropné deriváty, které vydržely další desítky let, leč s řadou změn, jako například přeplňováním.

Přeplňování rozhodně není naprostou novinkou, neboť jeho vývoj započal již také v 19. století, kdy se mu věnovali pánové Gottlieb Daimler, Wilhelm Maybach a Rudolf Diesel. Tyto motory s mechanickým přeplňováním byly využívány v letadlech, kde za pomoci přeplňování neklesal výkon s rostoucí letovou hladinou, a tedy klesajícím tlakem vzduchu. První automobily s turbomotory v Evropě uvádí na trh BMW v roce 1973. [2]

V současné době, ať už z důvodu snižování emisí kvůli normám, vlastní ekologické vizi, nebo snaze zbavit se závislosti na fosilních palivech z politicky problematických oblastí, má téměř každý výrobce automobilů v nabídce alternativní řešení, mnohdy pro pouhé snížení spotřeby paliva či emisí standardního pohonu, nebo přímo pohon na palivo alternativní k dnes běžným.

K tomu se poslední dobou stále více přidávají vlády s podporou elektromobility a alternativních paliv dotacemi, sníženými daněmi (Od 1. 1. 2009 jsou v ČR osvobozena ekologická vozidla od silniční daně: elektromobily, hybridy, vozidla na biopaliva, CNG i LPG. [3]) či emisními normami, za pomoci kterých by měly růst prodeje rychleji, tím také objem výroby. S rostoucím objemem výroby budou náklady na vývoj a zavedení technologie rozpuštěny na více prodaných kusů, u kterých bude moci být dosaženo nižší (konkurenceschopné) ceny i bez dotací.

V současné době je na tom, co se zastoupení alternativních pohonů automobilů (elektromobilů) týče, nejlépe Norsko. To je způsobeno jejich štedrými dotacemi a tamní levné vodní energii [4]. V prvním čtvrtletí roku 2015 se podařilo díky masivním dotacím dosáhnout 18% podílu elektromobilů v prodaných vozidlech [5], a kde díky 91% zastoupení hydroelektráren na norském energetickém mixu lze skutečně tvrdit, že mají opravdu nulové emise. [6]

Motory můžeme v základu rozdělit podle zdroje vstupní energie na tepelné a elektrické, existuje ovšem nepřeberné množství dalších možností, které zde ale nebudu uvádět, neb pro potřeby této práce toto rozdělení bude stačit.

2.3 Tepelné motory

2.3.1 Princip činnosti

Tepelné motory pracují na základě prvního termodynamického zákona, tedy že je možné částečně přeměnit teplo na mechanickou práci. Dodržují zákon zachování energie, ze kterého plyne pojem účinnost jakožto poměr výstupní energie ku energii na vstupu. Rozdíl mezi těmito energiemi je způsoben energií ztrátovou. Dodržují také druhý termodynamický zákon, tedy že teplo vždy předává teplejší těleso chladnějšímu, nikoliv naopak. [7]

Tepelné motory můžeme dále rozdělit dle toho, jak je energie plynného média, které slouží k „přeměně“ energie tepelné na mechanickou pro pohon, předávána, na pístové (využívají tlaku spalin), turbínové (využívají proud spalin) a proudové (využívají rychlosti spalin). Pro pohon automobilů používáme motory pístové, které můžeme dále rozdělit na parní a výbušné. [K1 - 11]

2.3.2 Parní stroj

První parní stroj sestrojil Nicolas Joseph Cugnot v roce 1764. Všeobecně známé zásluhy za parní stroj má ale James Watt, který ho sestrojil až v roce 1769, nechal si jej patentovat a zasloužil se o jeho rozšíření a zdokonalování.

V roce 1815 konal první pokusné jízdy s parní lokomotivou George Stephenson a v roce 1830 začíná provozovat pravidelný provoz na trati Liverpool – Manchester, čímž začíná nejslavnější éra železnice, která se rozšíří natolik, že téměř vytlačí silniční dopravu. [K1 – 11 až 12] Díky tomuto vynálezu získalo celé 19. století přezdívku „Století páry“, neboť parní stroje se rozšířily nejen v dopravě, ale také v průmyslu.

Pracovní látkou parního motoru je pára získaná z parního kotle mimo motor, která je rozdělována, nejčastěji šoupátkovými komorami, do pístů, u kterých tlakem způsobuje pohyb. Problémem je, že odpadní pára je kontaminována olejem, který se z ní velmi špatně odstraňuje [K5 - 16]. Samotný kotel pro získání páry má účinnost okolo 50% a přenos energie páry z pístu na hřídel maximálně 30%, takže celková účinnost samotného parního stroje je poměrně malých 5 - 15% [8], aniž bychom započítali energii vynaloženou na těžbu a dopravu nejčastěji uhlí do kotle.

Parní stroj je, co se pohonu dopravy, v současné době již historií, jeho princip se ale nadále používá u parních elektráren, kde tlak páry vznikající v kotli nepohybuje písty, nýbrž roztáčí

turbínu, jejíž účinnost se díky optimalizaci aktuálně pohybuje do 50%, ale je možno je využívat i k vytápění domácností odpadním teplem, tedy kogeneraci elektřiny a tepla. [9]

Výhody parního stroje:

- nedestruktivně přetížitelné - mohou se i zcela zastavit aniž by došlo k poškození
- vysoká spolehlivost
- pružnost, velký rozsah otáček
- velký motor nepotřebuje převodovku

Nevýhody parního stroje:

- nízká účinnost motoru, maximálně 15%
- nevýhodný poměr výkon/hmotnost

2.3.3 Spalovací motor

U spalovacího motoru je pracovní látkou plyn, který vzniká hořením paliva. [10] Pro pohon automobilů převažují čtyřdobé motory s vnitřním spalováním. V zásadě existují dva druhy těchto motorů již dlouhá desetiletí: vznětové a zážehové, jejichž palivem může být kapalina či plyn.

Jejich špičková účinnost (při ideálních otáčkách a zatížení, jiným režimům se věnuje problematika BSFC /brake specific fuel consumption/ - udává účinnost [v kg paliva/kWh] v závislosti na otáčkách a energetickém odběru = zatížení) se pohybuje kolem 25%, s využitím přeplňování až 35%, při běžném provozu je ale mnohdy až řádově menší. [K5 - 12]

Další možností zvyšování účinnosti spalovacích motorů je chlazení nasávaného vzduchu ať už klasickým mezichladičem, nebo vstřikováním malého množství vody (s metanolem), která se prudce odpaří, jako se to chystá uvést na trh BMW s modelem M4 GTS v roce 2016. [11]

Dvoudobé lodní motory mají účinnost až 50%. Jejich výhodou jsou velmi vysoké válce, jednoduchá konstrukce a práce ve stabilních otáčkách po velice dlouhý čas, na což jsou optimalizované [12]. Palivo je v nich spalováno nedokonale a jeho část uniká do výfuku, čímž roste měrná spotřeba paliva a obsah vypouštěných škodlivin. [K5 - 12]

Dalšími větvemi vývoje spalovacích motorů byly například:

- rotační motor Wankelův, použitý v modelech Mazda RX, který trpěl nespolehlivostí a problémy s utěsněním spalovacích komor, ale který měl jednoduchou a lehce vyvažitelnou konstrukci a velmi snadno se roztácel. [K5 - 14]
- Stirlingův motor má vnější spalování, čímž nedochází ke kontaktu oleje se spalinami, takže spotřeba oleje v motoru je nulová a nedochází k jeho degradaci a nutnosti výměny, takže jsou také čistší zplodiny. Má dokonce vyšší účinnost a nižší hlučnost, ale je konstrukčně poměrně složitý, veliký a drahý, se špatnou regulací výkonu, a tak se hodí spíše pro stacionární použití. [K5 - 16]

Vznětový motor pracuje na základě samovznícení paliva při jeho stlačení válcem poté, co je vstříknuto do pracovní komory. V současné době se používá s využitím přeplňování (i vícenásobného pro různé pracovní otáčky). Jeho ideální pracovní běh popisuje Sabatův (modernizovaný Dieselův) cyklus. Kompresní poměr těchto motorů je od 14 do 23:1. [13]

Zážehový motor potřebuje k zapálení paliva svíčky a trend turbodmychadel poháněných nejčastěji výfukovými plyny (v blízké budoucnosti pravděpodobně i elektricky) k němu dorazil až v současné době kvůli emisním normám. Například japonští výrobci se zatím snaží, poměrně úspěšně, přeplňování vyhnout (Mazda, Toyota) za pomoci zvyšování kompresního poměru u atmosférických jednotek (na až 14,1:1). [13]

Jeho ideální běh popisuje Ottův cyklus. V současné době se objevují i motory s lehce odlišným Atkinsonovým cyklem (rozdílný kompresní a expanzní poměr), který je navozen pozdějším uzavřením sacích ventilů, což ulehčí pístu práci na počátku kompresní fáze, a který má vyšší účinnost, ale nižší specifický výkon. Používá se u atmosférických jednotek s proměnným časováním ventilů.

Varianta pro přeplňované motory se nazývá Millerovým cyklem [14], přičemž automobilka Toyota chystá ovládání ventilů krokovým elektromotorem pro možnost použití těchto dvou cyklů dle aktuální potřeby [15], čímž dojde ke snížení spotřeby paliva.

Výhody čtyřdobého spalovacího motoru:

- jednoduchost a osvědčenost konstrukce
- kompaktnost (výhodný poměr výkon/váha), a to i při započtení obslužných zařízení (palivový systém, chladicí systém, převodovka)
- možnost rychlého spouštění i zatěžování ve srovnání s parními stroji
- vícepalivové provedení (kapalné i plynné)
- dlouhý dojezd díky vysoké energetické hustotě paliva v nádrži
- značná rozšířenost a s tím spojený stav infrastruktury, jež jim je přizpůsobena

Nevýhody čtyřdobého spal. motoru:

- nutnost spouštění cizím zdrojem energie
- nevýhodný průběh točivého momentu
- hluk, vibrace, škodlivé zplodiny, zvláště při spalování kapalin
- špičková účinnost motoru je sice dobrých 35%, účinnost v běžném provozu je nižší

Zdroj: [K1 – 24 až 25]

2.4 Elektrické motory

2.4.1 Historie a vývoj elektromobilů

Elektromobily byly na konci 19. století populárnější v USA, protože automobily se používaly pouze ve městech, kde byly jediné silnice s pevným povrchem, a tak jim stačil kratší dojezd. Měly zpočátku navrch, protože se nemusely složitě startovat klikou a nebyly tak hlučné a složitě na údržbu [16], navíc u nich nebylo třeba tehdy velmi náročné řazení rychlostních stupňů. [17] Maximum jejich produkce bylo dosaženo v roce 1912, šlo hlavně o firmu Holtzer Cabot Electric. [17] Situace v Evropě byla odlišná, a tak vyvstal stejný problém, jaký mají elektromobily dodnes: dojezd. [K3 - 13]

Vzhledem k nárůstu výkonu, univerzalitě a dojezdu spalovacích automobilů, k čemuž se v USA přidalo ještě objevení ropných nalezišť v Texasu, vynálezu elektrického startéru Charlesem Ketteringem v roce 1912 a zahájení sériové výroby automobilů Henry Fordem za velmi dostupné ceny, vymizely elektromobily na dalších 60 let z trhu, nepočítáme-li golfová vozítka, vnitropodniková vozidla (zastřešené areály se značným pohybem lidí i těchto vozidel, kde jsou zplodiny obzvláště nežádoucí [K5 - 44]) a podobné aplikace. [K3 - 13] [17]

Po druhé světové válce byl vynalezen tranzistor a nedlouho poté i tyristor, který umožnil spínání velkých proudů, a tak byl umožněn rozvoj frekvenčně řízených střídavých motorů. Nejslavnějším vozidlem této éry bylo Lunární vozítko, které využili astronauti projektu Apollo při průzkumu Měsíce [K3 - 14], a jemu funkčně obdobný Lunochod z tehdejšího Sovětského svazu.

I přes pár pokusných vozidel v dobách ropné krize v letech 1973 a 1977, nebyla tato technologie nijak rozvíjena až do začátku devadesátých let, kdy se objevilo pár elektromobilů Peugeot 106/Citroen Saxo (plánovaná produkce byla 20 000 vozidel ročně, ale ve výsledku se za celou dobu prodalo jen 6400 kusů kvůli vysoké ceně [18]) a GM EV1 (z programu státu Kalifornie „Zero-Emission Vehicle“ kvůli tehdejšímu značnému znečištění ovzduší [K5 - 45]), ale vzhledem k nedokonalé technologii baterií se příliš neprodávaly a byly zapomenuty. [K3 - 14]

V roce 2003 zahájila dnes velmi dobře známá automobilka Tesla Motors vývoj elektromobilu Tesla Roadster, který se dostal na trh v březnu 2008, což je stejný rok, kdy vyjel na silnici hybridní Chevrolet Volt a elektrický Smart. V roce 2009 přichází na trh Peugeot iOn a Mitsubishi Miev jako městské elektromobily a začíná rozvoj veřejných dobíjecích zařízení. V roce 2010 přichází na trh Nissan LEAF, který se do roku 2015 stává nejprodávanějším elektromobilem světa. [19]

Obdobně tomu je i u hybridních vozidel, kdy se první hybridní vozidlo objevilo již v roce 1899, kombinovalo elektromotor s malým spalovacím motorem, který dobíjel akumulátor (tomuto se u nás věnoval například František Křížík [17]). Stejně jako u elektrických vozidel, nebylo při nízkých cenách ropy potřeba je dále rozvíjet až do devadesátých let, kdy v roce 1997 automobilka Toyota představila hybridní model Prius (od roku 2010 také jako plug-in hybrid), který se stal průlomovým vozidlem zvláště na americkém trhu. [K3 - 17]

2.4.2 Elektrický motor

Motor je v elektromobilu točivý elektrický stroj, který slouží primárně k přeměně energie elektrické na mechanickou práci. Pro toto použití je výhodné, že může pracovat v režimu motorickém i generátorickém, ve kterém může rekuperovat energii (odebírání mechanickou energii z hřídele a přeměňuje ji na energii elektrickou, kterou dobíjí baterii), přičemž mezi těmito režimy může velmi rychle přecházet. Lze jej použít i jako pouhou brzdu (odebírání elektrický výkon ze zdroje, ale momentově působí proti mechanickému momentu na hřídeli, přičemž se ale značně ohřívá), čímž lze šetřit brzdovou soustavu. [20]

Elektromobily automobilky PSA z konce devadesátých let používaly stejnosměrné motory se sériovým buzením, jejichž konstrukčním problémem je drahý a značně namáhaný komutátor.

V současnosti se k pohonu elektromobilů používají frekvenčně řízené střídavé stroje: automobilky Tesla, BMW a Mercedes používají asynchronní motor, Nissan synchronní s permanentními magnety.

V porovnání s motory spalovacími jsou elektromotory velmi spolehlivé, nenáročné na údržbu a jejich točivý moment je výrazně vyšší již od nulových otáček. Průběh točivého momentu a rozsah pracovních otáček je značně výhodnější než u spalovacího motoru.

V případě, že vozidlo stojí, nespotečbovává žádnou energii, obdobně jako v současné době fungují automobily se systémem Stop&Start. Problémem je nedostatek odpadního tepla, kterým by se dal vytápět interiér vozidla, což je způsobeno jejich vysokou účinností přeměny energie z elektrické na kinetickou, takže bývají doplněny o nezávislé topení. [21]

Zájem o elektromobily je svázán s cenou paliv na trhu. V době ropné krize je nejvyšší, zatímco v době, kdy cena ropy na světových trzích klesá, zájem o ně upadá, tedy k masovému prodeji dojde pouze v případě, že se ekonomicky vyplatí, i když mají i mnoho jiných provozních výhod. [22] V segmentu luxusních automobilů jsou nyní elektromobily velmi úspěšné kvůli požadavku tiché a plynulé jízdy bez ohledu na cenu.

Způsobem uložení elektrické energie omezený dojezd elektromobilu by se dal také vyřešit speciálním dobíjecím pruhem na silnicích, nebo lépe řečeno dálnicích, po kterých probíhá v Evropě valná většina dálkových cest uživatelů. Podle Korejských vědců by takto stačilo pokrýt jen 10% jejich délky. [23] Většina uživatelů automobilů ujede v průměru za den méně než 110 kilometrů, na což již dojezd současných elektromobilů stačí. [K7 - 21]

Výhody elektromotoru:

- výhodnější průběh točivého momentu
- vysoká účinnost (špičková až 95%)
- nulové emise a hluk v místě provozu
- spolehlivost, jednoduchost
- nízké provozní a údržbové náklady
- účinná a jednoduchá schopnost rekuperace

Nevýhody elektromotoru:

- limitovaný dojezd závislý na způsobu uložení elektrické energie
- zatím vyšší pořizovací cena vozidla
- chybějící infrastruktura pro doplnění energie do baterie či palivového článku

2.4.3 Trakční akumulátory

Akumulátor elektromobilu je stejnosměrný elektrochemický zdroj elektrické energie, běžně nazývaný baterií, který je složen z mnoha malých článků. Ty se, zjednodušeně, skládají z kladné a záporné elektrody různých tvarů, mezi kterými je elektrolyt. [K5 - 48]

Akumulátory můžeme rozdělit podle potřeby použití na záložní, startovací, které mají i klasické automobily se spalovacími motory, a trakční, které jsou konstruovány pro vyšší počet nabíjecích cyklů, a které jsou tedy vhodné přímo pro pohon.

Zajímavostí je, že elektromobil, tedy jeho zdroj energie (baterie), by se také dal využít jako zdroj pro spotřebu rodinného domu, nebo že v případě odběrových špiček či nečekaném poklesu výkonu v síti, by bylo možné využít energii z baterií k síti právě připojených elektromobilů k jeho vyrovnání, čemuž by se ale domácí dobíjecí stanice musely přizpůsobit. [K4 - 10]

V každém automobilu se spalovacím motorem je akumulátor olověný, který se používá ke startu. V plně nabitém stavu je katoda z čistého olova a anoda z PbO_2 , mezi nimiž je zředěná kyselina sírová (35% roztok). Tento akumulátor má účinnost dobíjení 70 - 92% a v porovnání s ostatními nižší cenu. Nelze jej použít jako trakční kvůli nízké měrné kapacitě, která je pouhých 40 Wh/kg [K5 - 49], malému počet dobíjecích cyklů (500-800). Další nevýhodou je toxicita olova. [24]

Jednou z vývojových větví pro trakční baterie byly akumulátory na bázi niklu:

- Ni-Cd (nikl kadmiový) akumulátor má katodu tvořenou oxid-hydroxidem niklitým a anoda je čisté kadmium. Elektrolytem je obvykle vodný roztok hydroxidu draselného. Účinnost jeho nabíjení je 66-90%, životnost až 2000 cyklů. Je odolný proti přebíjení a hlubokému vybíjení v porovnání s olověným. Pro použití v současných elektromobilech se nehodí kvůli nízké měrné kapacitě (60 Wh/kg), paměťovému efektu (pro dosažení plné kapacity je nutno jej pravidelně úplně vybit), samovybíjení (až 20% měsíčně) a časové degradaci, a tak se dnes již téměř nepoužívají. [K5 - 50]
- Ni-MH (nikl-metalhydrid), má anodu ze speciální kovové slitiny ve směsi s vodíkem, díky čemuž bylo dosaženo nižší škodlivosti k životnímu prostředí, snížení paměťového efektu a kapacity až 110 Wh/kg. Má životnost až 1000 cyklů a účinnost při dobíjení 66%. Tento typ akumulátorů používá automobilka Toyota a Honda pro hybridy a v současnosti jsou schopny své „vlastní“ staré akumulátory také recyklovat a získávat z nich vzácné suroviny pro další použití. [25] Akumulátor ale trpí samovybíjením (až 30% měsíčně). [K5 - 50]

Díky rozvoji spotřební elektroniky v posledních desetiletích a vývoji baterií pro ni, do kterého byly investovány nemalé peníze [26], lze v současné době používat akumulátory na bázi lithia:

- Li-Ion (lithium iontový) akumulátor má anodu vyrobenou z uhlíkové matrice a katodu z oxidů lithia (Li_2MnO , $LiCoO_2$, $LiNiO_2$). Elektrolyt se skládá z rozpouštědla a vodivé soli ($LiPF_6$). Li-Ion akumulátor netrpí paměťovým efektem, samovybíjení bylo minimalizováno na 5% měsíčně, měrná kapacita je až 190 Wh/kg a účinnost dobíjení 90%. Obtížemi při použití v elektromobilech jsou: časová degradace a nemožnost

hlubokého vybíjení. [K5 - 52] Společnost Tesla Motors ve spolupráci se společností Panasonic v současné době budují novou továrnu na výrobu těchto baterií v Kalifornii, jenž by měla snížit jejich cenu až na 100\$ za kWh. Zároveň se mluví o roku 2017 jako o přelomu, kdy bude mít i anodu z lithia, čímž bude dosaženo až dvojnásobné kapacity. [27][28] V současné době tento typ baterií v elektromobilech převažuje.

- Li-pol (lithium polymerový) se liší použitým elektrolytem, který je složen z pevného polymeru, a tak nepotřebuje příliš masivní obal. Jeho výhodou je bezpečnost, rychlé dobíjení s účinností až 95%, vyšší hustota energie (až 170 Wh/kg), odolnost vůči mrazu, životnost až 10 000 cyklů, nízká hmotnost a libovolné tvary konstrukce. Nevýhodou je značně vyšší cena, křehkost a nutnost používání elektronické ochrany při nabíjení i vybíjení. [K5 - 52]

V současnosti probíhá vývoj baterií zinek/hliník - vzduch, jenž budou mít nižší cenu, dlouhou životnost a kapacitu až 370, respektive 1300 Wh/kg, ale zatím mají ještě příliš mnoho problémů. Obdobně zajímavý vývoj slibuje také použití nanotechnologií. [K5 - 54]

2.4.4 Dobíjecí stanice

Elektromobily můžeme nabíjet buď z veřejných dobíjecích stanic, nebo z domácí nabíječky:

- Pro domácí dobíjení se na vnější zeď či do garáže montuje takzvaný wallbox. Tyto wallboxy u nás nabízí hlavně společnost ČEZ, pro kterou se jedná vlastně o budování vlastního trhu, se svým projektem elektromobilita.cz. Pro klienty jsou připraveny tarify C27d a D27d, ve kterých je možno využívat levnější noční energii právě pro dobíjení elektromobilu, čímž by mohlo dojít také k mírnému vyrovnaní energetického sedla na denním diagramu zatížení. [29] K dispozici jsou jednofázové verze 3,7 a 7 kW, nebo třífázové verze 11 a 22 kW.
- Pro dobíjení elektromobilů na cestách jsou k dispozici veřejné dobíječky, které u nás staví nejen společnost ČEZ, ale také BMW ve společnosti s Volkswagenem [30], a které slouží k dobíjení baterie na delší trase. Konkrétně společnost ČEZ nabízí možnost dobíjení na svých stanicích za paušální poplatek 150 Kč bez DPH měsíčně. [29]
- Rychlodobíjecí stanice jsou speciální podskupinou veřejných dobíjecích stanic, která je budována u dopravních tepen a slouží k rychlému dobíjení baterie na cestě velkým výkonem (nad 22 kW a 32 A [31]). Například stanice Supercharger automobilky Tesla dokáže nabít její baterii v řádu desítek minut (výkon až 135 kW [31]).

V Japonsku je v současné době již více dobíjecích stanic (celkem 40 000) než stanic čerpacích (celkem 34 000), zatímco u nás se toto odvětví teprve rozjíždí. Do konce roku 2015 by dle vyjádření společnosti ČEZ mělo být k dispozici od nich alespoň 150 stanic. Problémem je, že ne všechny jsou rychlonabíjecí a může se stát, že řidič dorazí ke stanici již obsazené [32].

Výstavba rychlonabíjecí stanice s více konektory není levná (cena může být až statisícová) a takováto stanice poměrně značně zatěžuje rozvodnou síť na rozdíl od pomalých domácích dobíjecích stanic (wallboxů, jejichž cena je v řádu desetitisíců dle výkonu), u kterých je výhoda, že se vozidlo nabíjí vždy, když není používáno, a tak nabíjení nezabírá řidiči žádný čas. [31]



Obrázek 2 - Mapa veřejných dobíjecích stanic pro elektromobily, stav k 26. 4. 2015, celkem: 80 [33]

Pro dobíjení elektromobilů existuje vícero konektorových standardů (které se navíc mohou lišit na různých kontinentech), které se liší nejen výkonem (na kterém je závislý čas dobíjení), ale také místem usměrňovače pro nabíjení baterie:

- První skupinou jsou konektory do standardní střídavé sítě, kde k usměrnění proudu pro dobíjení baterie dochází až v palubní nabíječce elektromobilu. Na jejich parametrech závisí maximální dobíjecí výkon, a tak například VW e-Up! vybavený 3,7 kW palubní nabíječkou lze nabíjet stejně pomalu ze všech možných výkonových variant těchto nabíječek. Existují tyto dvě možnosti:
 - Dobíjení z běžné domácí zásuvky, nebo třífázové zásuvky s konektorem Shuko. Samotný venkovní zásuvkový rozvaděč stojí zhruba 1300 Kč a adaptér stojí zhruba 500 Kč. Jedná se o nejlevnější možnost domácího dobíjení elektromobilů, která v závislosti na maximálním proudu (16/32 A) a palubní nabíječce vozidla nemusí být úplně špatnou volbou. [31]
 - Třífázový Mennekes má dobíjecí výkon až 22 kW. Nabíjecí stanice s tímto konektorem stojí desítky až stovky tisíc podle počtu konektorů. [31]
- Druhou skupinou jsou nabíjecí stanice, jejichž výstupem je stejnosměrný proud, a tak je palubní nabíječka elektromobilu obcházena (není omezován maximální dobíjecí výkon):
 - CHAdeMO je používán v Evropě, USA a hlavně Japonsku. [31]
 - Combo – CCS (Combined Charging System) vznikl kvůli snaze o standardizaci konektorů pro použití mezi elektromobily napříč značkami. Výkon těchto stanic je až 50 kW (chystají se až 90 kW nabíječky [34]). Tento standard je preferovaným v Evropské unii. [31]
 - Supercharger stanice od společnosti Tesla mají výkon až 135 kW. Samotné nabíjení je na těchto stanicích zdarma pro majitele automobilů Tesla.

Celkovou účinnost přeměny energie na pohyb vozidla mohou hrubě spočítat takto (celkovou účinnost výroby elektrické energie v ČR odhaduji na 35% podle převážného podílu uhelných a jaderných elektráren):

$$\eta_{CELKOVÁ_BATERIE} = \eta_{VÝROBY_EL_ENERGIE} * \eta_{PŘENOSU} * \eta_{NABÍJENÍ_BATERIE} * \eta_{ELEKTROMOTORU}$$

$$\eta_{CELKOVÁ_BATERIE} = 35\% * 90\% * 90\% * 95\% \doteq 27\%$$

Výhody bateriového elektromobilu:

- jednoduchá obsluha
- vysoká celková účinnost přeměny energie
- žádné zplodiny při provozu (lokálně nulové emise)

Nevýhody bateriového elektromobilu:

- dlouhá doba nabíjení ve srovnání s minutovým načerpáním paliva do nádrže
- zatím nízká hustota energie v akumulátoru a jeho časová degradace

2.4.5 Palivové články

Další možností uchování energie pro elektromotor jsou palivové články, jimž se aktuálně nejvíce věnuje automobilka Hyundai, Honda s modelem FCX Clarity a Toyota se svým modelem Mirai. Hlavním problémem je aktuálně jejich cena, protože není zaběhnuta sériová výroba, což se automobilka Toyota snaží změnit uvolněním svých patentů.

Druhým problémem je nerozšířená infrastruktura plnicích stanic na vodík. V Norsku byla v letech 2005 až 2008 budována 560 km dlouhá vodíková dálnice HyNor. V USA v roce 2008 v San Franciscu a Las Vegas byly postaveny plnicí stanice na vodík pro autopůjčovny s vozidly Honda FCX Clarity a pro testování. U nás byla v roce 2009 v Neratovicích spuštěna jediná vodíková plnicí stanice, zvláště pro projekt TriHyBus, tedy autobus s palivovým článkem.

Palivový článek byl teoreticky vynalezen již v roce 1838 švýcarským vědcem Christianem Friedrichem Schönbeinem a v roce 1839 jej podle této publikace sestavil Sir William Grove. Po vynálezu dynama Wernerem von Siemensem palivový článek upadl částečně v zapomnění. Prvního moderního použití se dočkal až v roce 1959 Francisem Thomasem Baconem a v následujících šedesátých letech se uplatnil díky výhodnému poměru výkon/hmotnost v kosmickém výzkumu a vojenství. [35]

V palivovém článku dochází na základě elektrochemických procesů k přeměně chemické energie na energii elektrickou. Na anodu přivádíme palivo (anoda je přizpůsobena skupenství paliva, aby jej zachytila, ale zároveň musí zachycovat též elektrolyt), které je zde oxidováno (nejčastěji na H⁺), vyloučené elektrony putují ke katodě, čímž vytváří stejnosměrný proud.

Na katodu je přiváděno okysličovadlo (většinou kyslík), které zde naopak redukuje (na O²⁻) a slučuje se s přicházejícími kationty (O²⁻ + 2H⁺ = H₂O). Obě elektrody jsou vyrobeny z kovů nebo z uhlíkových nanotrubiček. [K5 – 56][35]

Palivové články můžeme podle pracovní teploty a dále podle elektrolytu rozdělit na několik skupin. Vzhledem k provozním teplotám lze v elektromobilech používat pouze články

nízkoteplotní (pracovní teplota je do 130°C, odpadní teplo můžeme využívat jako u spalovacího motoru). Středněteplotní a vysokoteplotní články pro toto použití vhodné nejsou, používají se ale pro výrobu elektrické energie. [K5 - 57]

Nízkoteplotní palivové články lze rozdělit na:

- Palivový článek s alkalickým elektrolytem používá jako palivo vodík a kyslík. Elektrolyt je 3 - 50% roztok hydroxidu draselného, pohyblivý iont OH^- . Účinnost má až 60%, pracovní teplotu 60 - 80°C a životnost až 15 000 hodin, ale kvůli potřebě čistého kyslíku není v automobilech používán. Používal se například v kosmických lodích Apollo. [K5 - 58]
- Metanolový palivový článek používá jako palivo metanol, elektrolyt může být polymerová folie, nebo vodný či alkalický roztok KOH, ve kterém je pohyblivý iont H^+ . Tento palivový článek má velkou výhodu v jednoduchém skladování metanolu v porovnání s vodíkem, přestože je jedovatý. Použit lze také bioetanol. Problémem těchto článků je malý výkon a nízká účinnost (40%), a tak jsou pro použití v automobilech také nevhodné. [K5 - 60 a 62]
- Jediným palivovým článkem, který je svými parametry aktuálně použitelný v automobilech pro výrobu elektrické energie pro jejich pohon elektrickým motorem, je palivový článek polymer-elektrolyt (PEMFC). Palivem pro tento článek je vodík a pohyblivým iontem je H^+ , který prochází tenkou polymerovou membránou mezi katodou a anodou. Pracovní teplota článku je 70 - 90 °C, při pokojové teplotě dodává zhruba 50% svého výkonu, který může dosahovat až 250 kW. Jeho životnost je až 20 000 hodin, a tak jediným problémem, který brání jeho většímu nasazení, je jeho cena a výroba a skladování vodíku. Jeho účinnost je 40 - 60%. [K5 - 59]

Účinnost přeměny „elektřina → vodík → elektřina“ dosahuje jen asi 30 - 40%, závisí hlavně na způsobu získávání vodíku. Tento proces by bylo možno energeticky vylepšit, kdyby byla k výrobě vodíku využívána energie z velkých (jaderných i tepelných) elektráren v době energetického sedla (v době, kdy není potřeba mít v rozvodné síti k dispozici maximální výkon, neboť není odebírán). [35]

$$\eta_{\text{CELKOVÁ_ČLÁNEK}} = \eta_{\text{VÝROBY_EL_ENERGIE}} * \eta_{\text{PŘENOSU}} * \eta_{\text{E-V-E}} * \eta_{\text{ELEKTROMOTORU}}$$

$$\eta_{\text{CELKOVÁ_ČLÁNEK}} = 35\% * 90\% * 40\% * 95\% \doteq 13\%$$

Výhody palivových článků (PEMFC):

- možnost rychlého doplnění energie
- výkonová hustota až 1300 Wh/l [K5 - 59]
- provozuschopnost při vysokém napětí
- nedochází k destrukci elektrod
- zplodiny tvoří pouze vodní pára, tedy provoz má nulové lokální emise, obdobně také hluk je nulový

Nevýhody palivových článků (PEMFC):

- energeticky náročná výroba vodíku
- složité skladování vodíku
- téměř neexistující infrastruktura
- vysoká cena
- nízká celková účinnost

3. Alternativní paliva a technologie pro pohon automobilů

3.1. Plynná paliva pro spalovací motory

3.1.1 LPG (Liquefied petroleum gas)

LPG je směs zkapalněných (z 250 l plynu získáme 1 l kapaliny za mírně zvýšeného tlaku) uhlovodíkových plynů – propanu a butanu, která vzniká v rafineriích při zpracování ropy, nebo se získává jako vedlejší produkt při těžbě zemního plynu.

Používá se i na vaření, osvětlování či vytápění [K1 – 32], jde o bezbarvý a nejdovatý plyn, který je těžší než vzduch, jehož použití v motoru je bezproblémové a ověřené, jeho emisní parametry jsou lepší než u motorové nafty a benzínu, ale stále obsahují stejné problematické látky, takže se nejedná o dlouhodobé řešení problému a ani se nejedná o obnovitelný zdroj energie. [K6 - 6]

Vozidla na LPG nesmí parkovat v podzemních garážích kvůli možnosti úniku plynu, který by při smísení se vzduchem mohl vytvořit výbušnou směs, přestože dnešní technická řešení (nádrží a ventilů) jsou na velmi vysoké úrovni. [37]

Zážehové motory lze přestavět (nejedná-li se o vozidlo s pohonem na LPG z výroby) na spalování benzínu i LPG (přídavná nádrž), jenž má nižší ekologickou zátěž [10] a nižší cenu paliva. Motor je tišší, ale kvůli nižší energetické hustotě paliva klesne výkon o 5% a spotřeba vzroste o 10% [38].

Výhodou LPG oproti CNG je vyšší počet čerpacích stanic v ČR, v podstatě jeho „větší tradice“ pro pohon automobilů u nás, hlavně proto, že přeprava a čerpání kapaliny je značně jednodušší než přeprava plynu. Přepravuje se v cisternách a tankuje také klasicky.

Dlouhá léta nabízela automobilka Subaru pohon na LPG a i Škoda měla Octavii II na LPG [39]. V současné době se automobilky zaměřují spíše na CNG, ale stále je možné pořídit nová vozidla s pohonem na LPG přímo od výrobce, například: Opel [40], Hyundai [41], Dacia [42], Fiat [43].



Obrázek 3 - Mapa LPG stanic v ČR, stav k 16. 3. 2015, celkový počet: přes 900

Výhody LPG:

- nižší cena paliva (nízká spotřební daň) a osvobození od silniční daně
- klidnější a tišší chod motoru
- nižší emise díky spalování plynu

Nevýhody LPG:

- nižší výkon a vyšší spotřeba
- nemožnost parkovat v podzemních garážích

3.1.2 CNG (Compressed-) a LNG (Liquefied natural gas)

Zemní plyn je z více než 90% tvořen metanem, 6% etanem a nehořlavými složkami jako je dusík a oxid uhličitý, které snižují jeho kvalitu. [K1 – 32] Zemní plyn bývá uložen v pórovitých horninách spolu s ropou nebo uhlím, se kterými se také těží, následně čistí a dále dopravuje plynovody. Pro jeho použití není nutná rafinace. Používá se také na vytápění, ohřev vody či vaření v domácnostech. [44]

Zemní plyn není obnovitelným zdrojem, jeho zásoby vydrží minimálně do roku 2060 [45]. Lze ho také kombinovat či plně nahradit bioplynem (biometan), který již obnovitelným zdrojem energie je. Získává se metanogenním kvašením organických látek (čističky, skládky, mrva a kejda) [K1 - 37] [46]. Co se emisí týče, má lepší parametry [47], využívá se také v kogeneračních jednotkách a jako pohon automobilů je například ve Švédsku celkem běžný [K1 – 37]. Nejčastěji je ve vozidle malá benzínová a plynová nádrž společně.

Zemní plyn jako palivo pro automobily zažívá v současné době značný rozvoj. Roste počet stanic i vozidel v nabídce automobilek, které svou techniku uzpůsobují tak, aby nádrž nezabírala místo v zavazadelníku jako se tomu stává u přestaveb aut na jiné palivo běžně (je umístěna místo rezervního kola, které je nahrazeno sadou na opravu pneumatik). K pohonu automobilů se zemní plyn ale využíval již ve třicátých a padesátých letech, avšak kvůli omezené dostupnosti zdrojů nebyl příliš rozšířen. [48]

V současnosti je vozidel na CNG v ČR již přes 8000. [49] Populárním palivem se stává také u autobusů a nákladních vozidel, kde není problém s velkou nádrží a podpora státu může způsobit i zajímavé snížení nákladů dopravce. Velkou výhodou je výměna mnohdy stále provozovaných starých dieselů za modernější vozy. [48]

Spalování zemního plynu vede k velmi podstatnému snížení škodlivin ve výfukových plynech zážehových motorů (pevné částice a oxidy síry se při jeho spalování téměř nevyskytují [37] a emise CO₂ jsou o 25% nižší v porovnání s benzinem [45], neboť jde o palivo plynné - plyn se ve spalovací komoře lépe smíchá se vzduchem a jeho spalování je dokonalejší [50]) a snížení hlučnosti motoru až o 50% [50].

Dalšími výhodami jsou osvobození od silniční daně a nezatížení spotřební daní (minimálně do roku 2020), a tedy nízká cena paliva u plnicích stanic, kterých je k 16. 3. 2015 v ČR 86 [51].

Stlačený zemní plyn se přepravuje plynovody a pro naplnění nádrže je potřeba kompresor. Díky již existujícím rozvodům plynu do domácností si lze pořídit domácí plnicí stanici.



Obrázek 4 - Mapa CNG stanic v ČR, stav k 16. 3. 2015, celkový počet stanic: 86

Při nehodě nemůže dojít ke kontaminaci půdy a vody. [50] Zemní plyn má navíc oktanové číslo 100 - 130, takže lze zvýšit kompresní poměr motoru, zvednout jeho výkon a kompenzovat chudší směs ve spalovací komoře, ve které navíc plyn neulpívá na jejím povrchu. [K5 - 20]

Povinné prohlídky a atestace tlakové palivové soustavy jsou po 10 letech, nevýhodami jsou tedy pouze mírný pokles výkonu motoru o 5 – 10% a zatím řídká síť čerpacích stanic. [45]

V případě provozu na bioplyn má jeho čistota podstatný vliv na životnost motoru, čištění je ale nákladné, a tak řešením by bylo možné použití Stirlingova motoru, kde dochází ke vnějšímu spalování [K1 – 37], problémem je ale jeho velikost.

Výhody CNG:

- výrazně nižší množství zplodin, téměř nulové emise sazí a SO₂ [K6 - 7]
- nižší hlučnost a delší životnost motoru
- nižší provozní náklady (spotřební daň)
- osvobození od silniční daně
- existence rozvodů zemního plynu a velkých plynovodů, není nutná rafinace

Nevýhody CNG:

- zatím nízký počet čerpacích stanic
- vyšší pořizovací cena vozidla
- časově náročnější plnění nádrže
- zemní plyn stále není plně obnovitelným zdrojem energie, ale lze jej získávat jako biometan z lidských odpadů, nebo vyrábět z CO₂ jako syntetický metan

Další související možností je LNG, tedy zkapalněný zemní plyn, který je zatím hubdou blízké budoucnosti. Jeho výhodou je zhruba 3x menší zaujímaný objem oproti CNG, a tedy větší dojezd na stejnou nádrž a možnost jeho snadnější dopravy v cisternách.

Nevýhodou je to, že se zkapalněný v přírodě nevyskytuje, tedy je nutno ho draze zkapalnit ještě před dopravou. Problematice LNG se věnuje společnost Volvo Trucks, která také spolupracuje na tvorbě takzvaných „modrých koridorů“ v Evropě, tedy výstavbě čerpacích stanic pro

alternativní paliva kolem evropsky důležitých tepen. [52] O LNG se mluví také v souvislosti s provozem lodní a kolejové dopravy.

Výhody LNG:

- vyšší energetická hustota paliva – delší dojezd proti CNG při stejném objemu nádrže
- jednodušší způsob dopravy oproti CNG

Nevýhody LNG:

- nutnost zkapalnění (energeticky náročné)
- neexistence čerpacích stanic

V současné době se portfolio vozidel na zemní plyn výrazně rozšiřuje, dostupná je velká část vozidel koncernu VW (Škoda, Seat, Volkswagen, Audi), Fiat, Opel, Volvo, Mercedes-Benz. [51]

Pohon na CNG (a biometan) byl také vybrán EU jako preferovaná alternativa k tradičním fosilním palivům díky svým vlastnostem, zvláště výrazně nižším emisím prachových částic. [53]

3.1.3 Vodík pro přímé spalování v motoru

Že „uhlím“ budoucnosti bude voda, předpovídal již slavný Jules Verne ve své knize Tajuplný ostrov v roce 1874, který dokonce očekával, že voda se bude v budoucnosti již všudypřítomnou elektřinou rozkládat na jednotlivé prvky [54], neboť vodík se sám o sobě v přírodě nevyskytuje.

Jeho výroba je velmi drahá a ještě větším problémem je jeho samostatné uskladnění, neboť jde o prvek velmi reaktivní s velmi malou molekulou, která lehce projde těsněním, ventily i materiálem nádrží. V nich může být za nízké teploty držen v kapalném stavu (-253°C), což je ale energeticky náročné a navíc se vodík v sebelepší nádrži odpařuje a je nutno jej přetlakovým ventilem odpouštět, takže po několika dnech je dojezd automobilu s původně plnou nádrží krátký [K5 – 27 až 28, 40 až 42]. Nebo jej zle skladovat stlačený jako CNG na 20 MPa v tlakových lahvích [K5 – 39], či v drahých hydridech kovů.

Vodík je nejjednodušší chemický prvek, který je zároveň také nejrozšířenějším (jeho zásoby jsou tedy prakticky neomezené) na Zemi. Je velmi reaktivní, ve směsi s kyslíkem nebo halogenovými plyny výbušný, což můžeme využít právě ve spalovacím motoru, kde se projeví výhoda jeho vysoké výhřevnosti (zhruba trojnásobné oproti naftě či benzínu, takže stačí velmi chudá směs) a velmi nízké energii potřebné k vznícení, přičemž produktem „spalování“ (oxidace) je vodní pára. Kvůli složení vzduchu, se kterým reaguje ve spalovací komoře, vznikají ale také NO_x, ale v malém množství. [K5 – 29]

Vodík je v současné době vyráběn parním reformováním (při 500 – 950°C a tlaku 0,3 – 2,5 MPa je metan přiveden do vodní páry a následnou reakcí vznikne vodík a oxid uhelnatý, který je následně opět reakcí s vodní párou rozložen na již nejedovatý oxid uhličitý a vodík) ze zemního plynu, což je z uvedených metod ta nejjednodušší a nejvýhodnější, vzniká při tom ale poměrně velké množství oxidu uhličitého. V ideálním případě by byl vyráběn elektrolýzou vody (rozklad molekul H₂O stejnosměrným proudem na H⁺ a OH⁻, což je energeticky poměrně náročné, proto se hodí zemím s levnou vodní či geotermální energií), nebo termickým rozkladem (za pomoci solární energie dodávané soustavou zrcadel) oxidu zinečnatého, což je vhodné pro země s možností stavby velkých „solárních“ parků. [K5 – 34 až 38]

Všechny tyto metody jsou poměrně energeticky náročné s nepříliš vysokou celkovou účinností (se započtením výroby energie potřebné k náročné výrobě vodíku), kterou ještě sráží nízká účinnost spalovacího motoru, a proto byly projekty BMW a Mercedesu na vývoj vozidel spalujících vodík zastaveny [K5 – 34 až 38] a vývoj týkající se pohonu na vodík se ubíral k palivovým článkům (viz 2.4.4).

Výhody spalování vodíku:

- „zplodiny“ jsou jen vodní pára
- díky vysoké výhřevnosti a nízké energii nutné ke vznícení stačí chudá směs

Nevýhody spalování vodíku:

- problém se skladováním, infrastrukturou
- energeticky náročná výroba
- velmi reaktivní – odpařuje se a je nutno jej poté upouštět, nesmí do garáží

3.1.4 Pohon stlačeným vzduchem

Vývojem vozidla poháněného na vzduch se zabývá společnost MDI (Moteur Developpment International s továrnou na jihu Francie a obchodním střediskem v Barceloně [55]) založená v roce 1991 Guy Negrem, která v roce 1995 postavila na testování svůj první prototyp, který měl na delší cesty spalovací motor a na krátké (městské) jízdy motor na vzduch. K představení vozu došlo roku 2003. [56]

Motor je poháněn stlačeným vzduchem z plastové nádrže, kde má tlak zhruba 30-50 MPa. Do pístu je nasán okolní vzduch, který je stlačen (na přibližně 15 MPa) a tím vzroste jeho teplota přibližně na 400°C, v tuto chvíli dojde k vstřiku stlačeného relativně chladného vzduchu z nádrže, který se v této teplotě rychle rozpíná a žene píst. Mezi další použitá řešení patří karoserie ze skelných vláken, použití radiových vln namísto kilometru kabelů k ovládání elektrických součástí a centrální displej [57].

175 litrovou nádrž na stlačený vzduch lze naplnit buď speciální plnicí stanicí, kde to trvá zhruba 3 minuty, nebo připojením do elektrické sítě, kde motor ve vozidle poháněný elektromotorem použijeme jako kompresor a nádrž naplníme za zhruba 3 hodiny.

Cena obojího by měla být v řádu korun, ale část (zhruba 30%) energie ztratíme značným zahřátím stlačovaného vzduchu [58]. Maximální celková účinnost tedy je (celkovou účinností výroby elektrické energie v ČR odhaduji na 35% podle převážného podílu uhelných a jaderných elektráren):

$$\eta_{CELKOVÁ_VZDUCH} = \eta_{VÝROBY\ EL.} * \eta_{ROZVODU\ EL.} * \eta_{STLAČOVACÍHO\ ELEKTROMOTORU} * \eta_{POHONU}$$

$$\eta_{CELKOVÁ_VZDUCH} = 35\% * 90\% * 95\% * 70\% \doteq 21\%$$

Dojezd na nádrž se u testovacích vozidel MDI pohybuje kolem 200 - 300 km (rok 2007) [55].

Výhodou tohoto řešení je absence spalin. Z výfuku motoru jde pouze vzduch o teplotě -30 až 0°C, a tedy jej lze využít na chlazení interiéru. Údajně dle oficiálního webu má být atmosférický vzduch na vstupu čištěn filtry tak, že výstupní bude dokonce čistší. [55]

Nevýhodou je závislost na teplotě okolí, neboť čím vyšší teplota vzduchu na vstupu, tím vyšší bude mít motor výkon. [57]

V roce 2007 uvažovala o výrobě tohoto automobilu sériově indická společnost Tata s pořizovací cenou okolo 220 000 Kč, v roce 2009 – 2010 se mělo vozítko s cenou okolo 300 000 Kč prodávat v USA. [59] Trh s těmito vozidly prozatím neexistuje.

Výhody pohonu stlačeným vzduchem:

- absence škodlivých spalin
- vzduch z výfuku lze použít k chlazení

Nevýhody pohonu stlačeným vzduchem:

- závislost výkonu motoru na teplotě okolí
- nedostatek tepla pro vytápění interiéru

3.2 Biopaliva pro spalovací motory

Biopaliva se na rozdíl od paliv fosilních řadí do zdrojů obnovitelných, protože jsou „pěstovány“ jako biomasa, která v podstatě představuje akumulovanou sluneční energii.

Rozdělujeme je na biopaliva první a druhé generace podle procentuální úspory emisí CO₂, ale také podle toho, zda jsou vyráběna z potravinářských (cukrová řepa, cukrová třtina, kukuřice, obilí) či nepotravinářských (dřevo, sláma, tráva, štěpka) surovin. Druhá generace ještě není na trhu, ale již se mluví o generaci třetí, která má být vyráběna z mořských řas či odpadních materiálů.

Jejich problémem je v Evropě náročná výroba, zatímco v Brazílii je díky její zeměpisné poloze jeho výroba levnější, čímž má nižší cenu než benzin a trh s automobily spalujícími etanol je zde výrazně rozvinutější. [60]

V současné době značně klesá popularita biopaliv, neboť se zjistilo, že jejich parametry (první generace) nejsou tak výhodné, jak se původně zdálo, a že také zvyšují cenu potravin a dochází k odlesňování v chudších částech světa [61], takže se od nich po novějších studiích jejich významu aktuálně distancuje i samotná Evropská unie. [62]

Celková účinnost tohoto procesu není příliš výhodná. Jde, zjednodušeně, o tuto kombinaci:

$$\eta_{CELKOVÁ_BIO} = \eta_{FOTOSYNTÉZY} * \eta_{ZPRACOVÁNÍ} * \eta_{DISTRIBUCE} * \eta_{MOTORU}$$

$$\eta_{CELKOVÁ_BIO} = 2\% * \eta_Z * \eta_D * 35\% \doteq 0,7\% * \eta_Z * \eta_D$$

I když uvažujeme pouze špičkovou účinnost přeplňovaného spalovacího motoru a účinnost fotosyntézy [63], tak zjistíme, že celková účinnost tohoto procesu, jak rozpohtybovat vozidlo, nebude vyšší než 1%. Navíc také spotřebujeme určité množství energie na výrobu tohoto typu paliva ze sklizených plodin, což je ale číslo obtížně měřitelné, a dále jeho dopravu.

3.2.1 Bioetanol (E85)

Bioetanol, vyrobený ze zemědělských produktů, se využíval k pohonu automobilů již před Druhou světovou válkou (u nás bylo od roku 1926 do roku 1936 povinné přidávání 20% etanolu do benzínu a prodávala se také směs Dynakol, což bylo 50% etanolu, 30% benzenu a 20% benzínu), následně byl ale převálcován ropou a zemním plynem, které byly levnější. [K5 - 26]

Opětovný energetický zájem se objevil až v souvislosti s ropnou krizí v 70. letech. V současné době se po denaturaci opět dostává na scénu, buď jako příměs benzínu, nebo samostatně

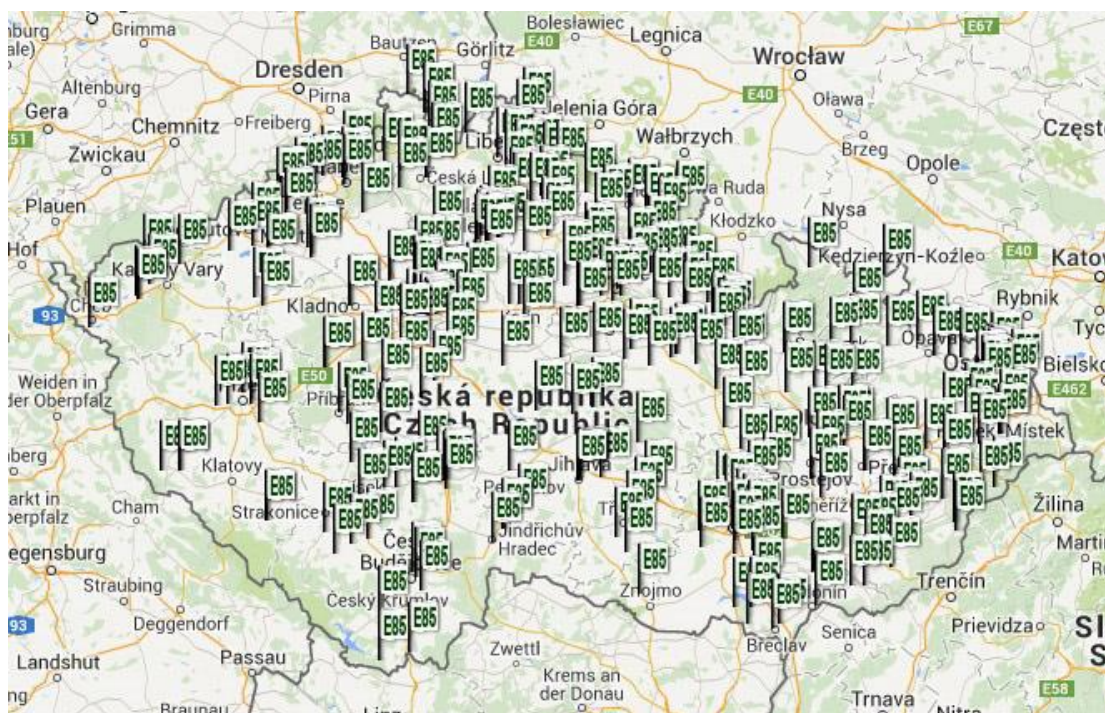
alternativní obnovitelné palivo, zvané též Flexi-fuel (FFV). Počet čerpacích stanic sice nedosahuje počtu jako u LPG, ale čerpání i jeho přeprava jsou obdobné klasickým palivům. [64]

Další ekvivalenty etanolu lze v současné době získávat z více zdrojů: řepa cukrovka, cukrová třtina, kukuřice, brambory, obilí [K5 - 26], jako vedlejší produkty při destilaci whisky [65], či z mořských řas [66].

Podle normy ČSN-EN-228 lze etanol ve směsi do 10% s benzínem spalovat v běžných zážehových motorech, nebo jej lze jako E85 (85% etanolu a 15% benzínu) spalovat v upravených zážehových motorech. V současnosti je dokonce nařízen 4,1% podíl etanolu v běžném benzínu. [62]

Etanol má vysoké oktanové číslo (107), ale nižší měrnou výhřevnost než benzín, a tak je k jeho používání nutno, mimo úprav motoru, přeprogramovat řídicí jednotku pro vstřikování vyššího množství paliva, čímž vzroste spotřeba paliva až o 40%. [K1 - 34]

Biopaliva jsou v současné době nejpopulárnější ve Švédsku, kde se ale jedná již o jejich druhou, smysluplnější, generaci, čemuž je (respektive byla) také uzpůsobena nabídka automobilek Volvo a SAAB, které vozidla pro pohon Flexi-fuel / BioPower nabízejí. Populární byly také v USA díky koncernu Ford [67]. Jako další se nabízí Dacia a Renault, v minulosti spalovala E85 také Škoda Octavia 1,6 MPI. [68] Na E85 jezdí také vozidla (hypersporty) automobilky Koenigsegg.



Obrázek 5 - Mapa E85 stanic v ČR, stav k 16. 3. 2015, celkem přes 170

Výhody:

- nižší cena a také nulová daň silniční
- nižší přímé emise, vyšší výkon o motoru oproti provozu na benzín
- rychlost přestavby

Nevýhody:

- značný růst spotřeby automobilu
- přestavba není možná u všech aut [69]
- problematika jeho skutečné ekologie
- horší start motoru za nízkých teplot [69]

3.2.2 Bionafta (B20, B30)

Bionafta je souhrnný název pro směsi motorové nafty s minimálním podílem 5% metylesterů mastných kyselin. Nejčastěji se používá B20 a B30, přičemž se používají oleje z řepky olejky, slunečnice, nebo sóji. 80% celosvětové produkce zaujímá metylester řepkového oleje – MEŘO, jehož vlastnosti jsou lepší jen v některých ohledech než standardní nafta, zejména co se SO_2 , CO a kouřivosti týče (lépe hoří ve spalovací komoře, kouřivost oproti standardní naftě klesne na asi 50%, což je jeho největší výhodou), také má lepší mazací schopnosti, ale má nižší výhřevnost a vyšší teplotu vzplanutí. [K6 - 6]

Důvodem jejího nepřilíšného použití je vyšší hustota, nižší výhřevnost a vyšší viskozita, což může způsobit problémy s palivovým filtrem či tryskami vstřikovačů. Je agresivnější vůči těsněním. Je nutno častěji měnit motorový olej kvůli jeho ředění. Biologicky je rychleji odbouratelná, což znemožňuje její dlouhodobé skladování. Z tohoto plyne, že její jen o něco málo lepší vlastnosti než má klasická nafta, se nemohou vyrovnat s jejími nevýhodami. [K5 - 25]

Další otázkou je, zda při započtení veškeré energie při její výrobě nebudou výsledné parametry v porovnání s klasickou naftou z rafinerie dokonce ekologicky horší. Technicky není možno jí vyrábět více než cca 5% celkové produkce motorové nafty v zemědělské produkci, což je hlavním důvodem, proč se bionafta palivem budoucnosti rozhodně nestane. [K6 - 6]

V současnosti je nařízen 6% podíl bionafty v motorové naftě. [62]

Výhody:

- nižší kouřivost a obsah CO , SO_2 ve zplodinách oproti naftě
- lepší mazací schopnosti

Nevýhody:

- problémy se skladováním
- technické problémy s vyšší hustotou a viskozitou MEŘO v porovnání s naftou, čímž může dojít k poškození motoru
- nižší výhřevnost (a tedy vyšší spotřeba až o 8%) a vyšší teplota vzplanutí
- náročná výroba
- problematika její skutečné ekologie

3.3 Automobily poháněné elektřinou a elektrické hybridy

3.3.1 Mikrohybridy

Mikrohybridy jsou automobily s pouze pokročilým systémem Stop&Start, někdy kombinované s kondenzátorem, který nahradí funkci baterie při následném startu vozidla, jejich zástupci jsou například vozidla e-HDI od francouzského koncernu PSA. Zaměřují se právě na zbytečné spalování paliva, když se vozidlo nepohybuje, ale zatěžují startér i celý motor právě jeho spínáním a vypínáním. [70]

3.3.2 Rozdělení a rozdíly mezi hybridy

Označení hybrid je obecné pro všechna vozidla, jenž mohou být poháněna spalovacím motorem a elektromotorem, a tedy mají nádrž i baterii. V základním provedení si je lze laicky představit tak, že mají kapacitně o něco větší baterii, kterou je za jízdy možno při brždění dobít a následnou energii opět využít. Hlavním pohonem je stále spalovací motor, ale zároveň lze využít výhod elektrického motoru a v některých případech jet na elektřinu pár kilometrů, čímž se dělí na mild a full, kde druhé zmiňované mohou jet čistě na elektřinu. [70]

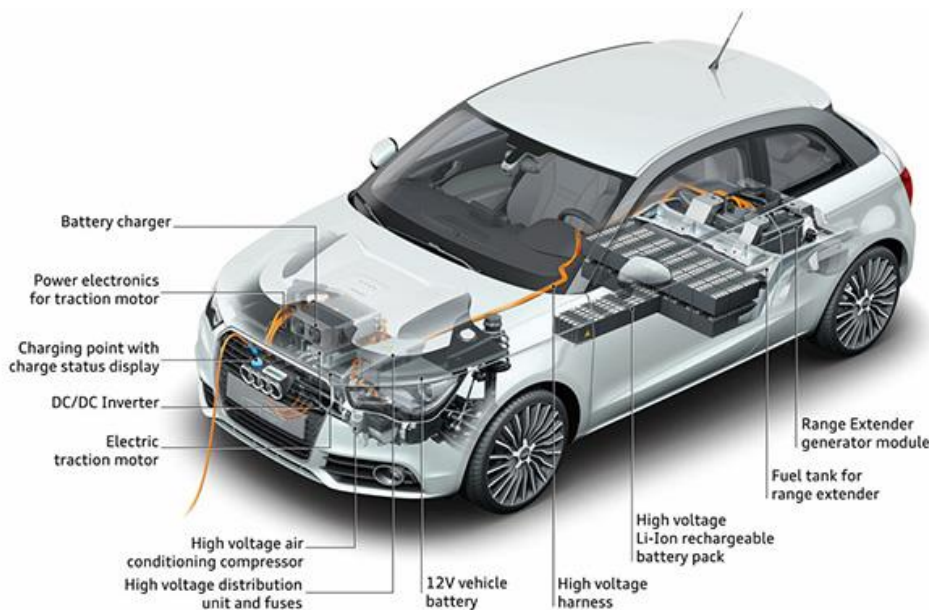
Dále je možno je rozdělit na sériové a paralelní hybridy dle toho, zda mohou pracovat oba druhy pohonu samostatně, nebo ne. Paralelní hybridy jsou velmi často plug-in-hybridy, které jsou schopny jet čistě na elektřinu pár desítek kilometrů. U paralelních hybridů je možno každým druhem pohonu pohánět rozdílnou nápravu, čehož lze využít například v zimních měsících, kdy je to výhodné při rozjezdech. Rozhodně se ale nebude jednat o sportovně či do terénu vhodné vozidlo. [70]



Obrázek 6 - Toyota Prius Plug-in-hybrid 2012

Plug-in hybridy lze navíc připojit i do zásuvky, a tím dobít jejich baterii. Jejich výsledná spotřeba je silně závislá na délce uražené trasy. V případě kratších jízd mohou jezdit čistě na elektřinu (obvykle ujedou pár desítek kilometrů), a v případě docházející energie v baterii nebo potřebě vyššího výkonu se spustí motor spalovací. Jejich podskupinu tvoří automobily označované jako plug-in hybridy s Range-extenderem, které se od běžných hybridů liší tím, že jejich spalovací

motor není propojen s žádnou nápravou. Jeho jediným účelem je dobíjení baterií v případě nouze, a proto může být dimenzován na stacionární běh ve svých ideálních otáčkách s vysokou účinností a životností. O pohon automobilu se tak stará pouze elektromotor. [70]



Obrázek 7 - Audi A1 e-tron 2014, elektromobil s možností prodloužení dojezdu

Další možnost rozdělení hybridů je na benzínové a dieselové (například Citroen DS5 Hybrid a Kia Optima) podle druhu spalovacího motoru, který využívají. Zajímavé je, že se zatím neobjeví hybrid s využitím CNG, nejspíše je to proto, že baterie a CNG nádrž jsou velmi rozměrné a výsledný vůz by byl výrazně těžší.

Průkopníky a hlavními představiteli této technologie byly japonské automobilky Toyota (Lexus) a Honda, ale v současné době mají hybridní řešení již téměř všichni světoví výrobci. Typickými zástupci kategorie PHEV (plug-in hybrid electric vehicle) jsou: Toyota Prius, Volvo V60 Plug-in-hybrid, BMW i8, Kia Optima, ale v současné době připravuje plug-in-hybridy i automobilka Škoda. [71] Zástupci vozidel kategorie vozidel s Range-extenderem jsou Chevrolet Volt a sesterský Opel Ampera, BMW i3 RE a Audi A1 e-tron.

Výhody:

- rekuperace energie do baterií
- možnost provozu čistě na elektřinu u full-hybridů a pohonu obou náprav u paralelních hybridů bez mechanického propojení
- kombinace výhod obou druhů pohonu: točivý moment a tichost elektromotoru spojená s možností rychlého doplnění energie do nádrže pro spalovací motor, a tedy jejich univerzálnost

Nevýhody:

- vyšší cena kvůli složitosti systému
- složitost systému a vyšší hmotnost

3.3.3 Elektromobily

Plné elektromobily mají velkou výhodu v jednoduchosti své konstrukce motorové jednotky. Problémem je uskladnění elektrické energie pro jejich provoz v bateriích či palivových článcích, zmíněných v úvodu, přesto mají mnoho nesporných výhod: nulové emise a hluk v místě provozu, výhodnější průběh točivého momentu, a tím pohodlnější a jednodušší provoz. V případě rozběhu sériové výroby dojde ke snížení jejich pořizovacích cen, čímž se stanou plně konkurenceschopnými v hustě zalidněných oblastech, jako je Evropa.



Obrázek 8 - Schéma elektromobilu: Nissan LEAF s elektromotorem vpředu a bateriemi uloženými pod podlahou

Jako příklady těchto vozidel mohou uvést Nissan LEAF, BMW i3, Volkswagen e-Golf. Elektromobilům se věnuje také velmi úspěšná americká automobilka Tesla, kterou založil a vlastní miliardář Elon Musk, a která se svým futuristickým Modelem S oslavila mnohé úspěchy.

V roce 2014 bylo v České republice asi 350 elektrických vozidel a ČEZ provozoval přes 40 dobíjecích stanic, do konce roku 2014 by měl spustit až deset dalších rychlodobíjecích stanic, další dvě plánuje přímo sama Tesla. Do roku 2020 by jich mělo být v provozu 500 až 1000, čímž by byl umožněn bezstarostný provoz. Do roku 2030 by počet elektromobilů u nás mohl dosáhnout čtvrt milionu podle odhadů. [72]

O testování vozidel s palivovými články se pokoušelo více automobilek, například Honda s modelem FCX Clarity. V současné době jde již přímo na trh první vozidlo s vodíkovým pohonem: Toyota Mirai, a Audi A7 H-Tron společně s Volkswagen Golf HyMotion na sebe pravděpodobně nenechají dlouho čekat. Zajímavé je, že Toyota očekává, že projekt Mirai bude ztrátový, ale přesto jej spustilo a uvolnilo patenty, aby došlo k rozvoji technologie a infrastruktury. Audi sice představilo vodíkovou A7, ovšem ve své vizi paliv budoucnosti se věnuje spíše syntetické naftě a syntetickému metanu (v kombinaci s CNG známo TCNG).

3.4 Další možnosti snižování spotřeby automobilů a rekuperace energie

Největší spotřebu má spalovací motor v městském provozu, kde se jedná o neplynulou jízdu plnou rozjezdů a brždění, jehož energii lze různými rekuperačními systémy využít, ať už dobíjením baterie u klasických elektrických hybridů, nebo jinými způsoby, ke kterým není třeba vozit s sebou těžkou a drahou baterii. Těchto systémů je velmi mnoho, pouze pro představu jsem vybral ty, které považuji za zajímavé.

3.4.1 Volvo KERS – rekuperace využitím kinetické energie

V roce 2013 automobilka Volvo uvedla do testovacího provozu systém KERS (Kinetic Energy Recovery System), který by měl být schopen snížit spotřebu paliva až o 25%, zvláště pak samozřejmě v městském neplynulém provozu. [73] Produkční vozy by se na silnicích mohly objevit kolem roku 2020 [74], aktuálně je obdobná technologie nasazena na několika trolejbusích ve švýcarské Basileji.

Nejde o stejný systém KERS jako ve Formuli 1, kde jde o uchování elektrické energie, nýbrž o uchování mechanické energie v setrvačnicku uloženém ve vakuu (kvůli snížení ztrát) [73], který následně dokáže krátkodobě zvýšit celkový výkon pro pohon vozidla.

Tento setrvačnick by se dle švédského výrobce měl nacházet u osobních automobilů na zadní nápravě a být schopen se roztočit až na 60 000 otáček za minutu, otázkou jsou setrvačné síly tohoto rotujícího 6 kg vážícího závaží, které vylepšení jízdních vlastností pravděpodobně nezpůsobí [39] a zároveň kladou velmi vysoké nároky na použité materiály a konstrukci ložisek, která bývají magnetická pro snížení třecích ztrát. [K5 - 72]

3.4.2 Mazda i-ELOOP – rekuperace využitím elektrické energie

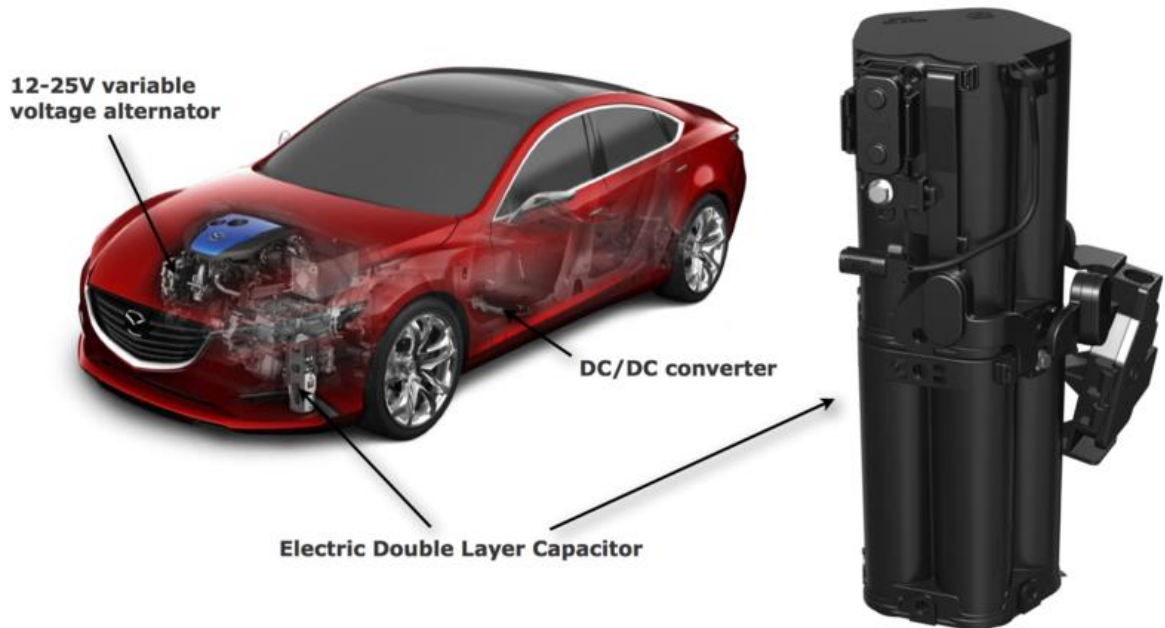
Systém i-ELOOP je na trhu v produkčních vozech Mazda od roku 2012, poprvé byl představen v konceptu Takeri a použit v SUV CX-5. [75]

Elektrická energie získaná rekuperační při brždění je uchována v kondenzátoru místo baterie, čímž se spotřeba vozidla sníží až o 10%. Kondenzátor má výhodu rychlého nabíjení i vybíjení v řádu sekund proti baterii [75], zároveň vydrží velké množství cyklů, je netoxický, má vysokou účinnost nabíjení, netrpí snižováním životnosti ani paměťovým efektem a je schopen velmi rychle reagovat. [K5 - 71]

Tento systém je součástí balíčku technologií zvaného Skyactiv, kterými se automobilce Mazda daří poměrně výrazně snížit hmotnost vozidla a zlepšit aerodynamický odpor, což samozřejmě také přispívá k velice příznivé spotřebě vozidla. Mazda 6 2,0 121 kW má na serveru spritmonitor.de medián průměrné spotřeby od uživatelů 7,2 l/100 km, pro porovnání shodně velká Škoda Superb 1,8 TSI 118 kW 8,3 l/100 km.

Superkondenzátory jsou použity i v některých autobusech v Šanghaji a v technologii „BMW Active Hybrid“.

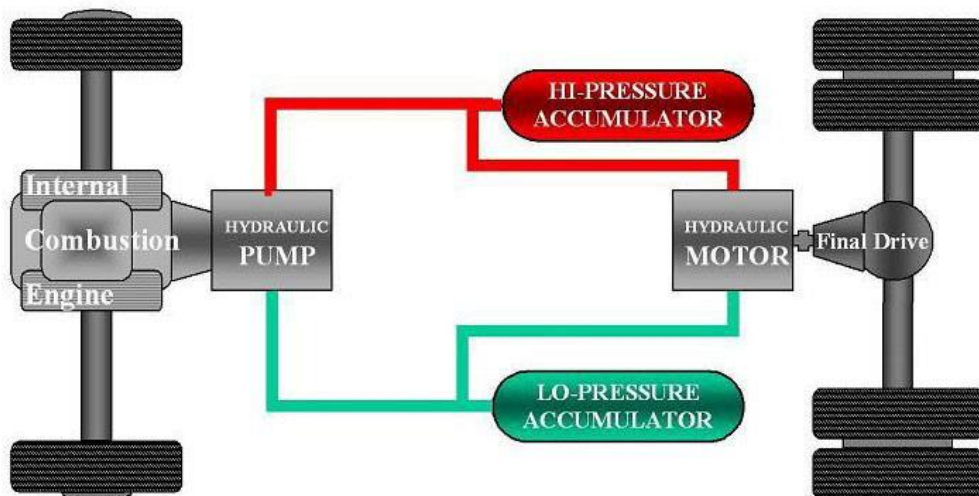
Mazda i-ELOOP regenerative braking system



Obrázek 9 - Schéma Mazdy 6 i-Eloop se superkondenzátorem na uchování elektrické energie

3.4.3 Hydraulické hybridy - rekuperace s využitím tlakové energie

Systém hydraulického hybridu funguje tak, že při brždění vozu se spustí hydraulická pumpa, která stlačí vzduch nebo dusík do vysokotlaké nádrže, odkud pak může při rozjezdu pohánět hydraulický motor při svém přestupu do nádrže nízkotlaké. Kvůli svým rozměrům byla tato technologie vyvíjena hlavně pro dodávkové a nákladní vozidla s častým zastavováním. Věnují se jí například společnosti Parker hybrids a Lightning hybrids v USA. Velkou výhodou tohoto systému je neomezený počet cyklů a nulová časová degradace. [K5 - 74]



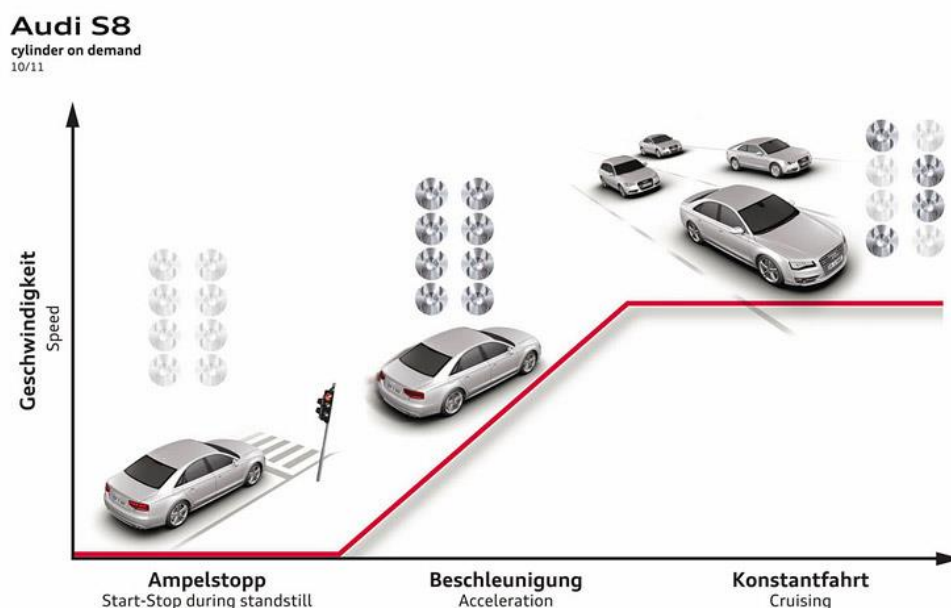
Obrázek 10 - Systém hydraulického hybridu s uchováváním energie v podobě stlačeného plynu

Společnost Lightning hybrids z Colorada uvádí, že její hybridy mají nejrychlejší finanční návratnost ze všech (podle UPS při investici 7000 USD byla návratnost 3 roky [K5 - 74]), přičemž dojde také k dramatickému navýšení intervalu výměny brzdových destiček, menšímu opotřebením motoru a spojky, značnému snížení emisí, pohodlnějším a dynamičtějším rozjezdům. Největší výhodou je možnost zástavby do vozidla s kterýmkoliv druhem paliva za poměrně krátký čas, přičemž je možné až 50% snížení emisí. [76]

V roce 2013 představil v Ženevě koncern PSA obdobný koncept vozidla s technologií HybridAir (krátkodobý pohon stlačeným vzduchem, který do nádrže natlakuje hydraulická pumpa, a který je následně vstřikován do spalovacích komor pístů místo klasického paliva při rozjezdu) s tím, že první vozidla by se v provozu mohla objevit kolem roku 2016. Jde o jejich samostatnou technologii, dle tvrzení vedoucího týmu Karima Mokkaema se společností MDI nespolečně spolupracují, což potvrdil i Guy Negre. [56] 23. 1. 2015 byl z finančních důvodů vývoj této technologie pozastaven. [77] Jejich systém je tímto způsobem schopen uspořit až 45% paliva v městském provozu, tedy obdobné úspory paliva jako u motorů elektrických, ale za méně peněz, díky čemuž se tato technologie dá nasadit i do segmentu B a C (Citroen C3 a C4, Peugeot 508).

3.4.4 Vypínání válců spalovacího motoru při nízkém zatížení

Systém vypínání některých válců při nízkém zatížení byl používán již v některých motorech 1.4 TSI koncernu Volkswagen, nebo motorech V8 Hemi koncernu Chrysler. V roce 2012 přišla divize GM Ventures se systémem na dynamické vypínání válců, čímž dojde k jejich rovnoměrnému opotřebování. Jde o vynechání zážehu v daném válci, neboť motor má nejvyšší účinnost při vysokém zatížení (obdobným směrem míří moderní trend downsizingu), jinak ji snižuje škrticí klapka tím, že se válec musí více „namáhat“, aby potřebný vzduch nasál, zatímco tímto způsobem může pracovat v režimech vyššího zatížení s méně válci a s otevřenou škrticí klapkou, i když motor téměř nezatěžujeme, čímž se ušetří až 15% paliva. [78]



Obrázek 11 - Technologie vypínání válců při nízkém zatížení u Audi S8 s motorem V8 4.0 TFSI

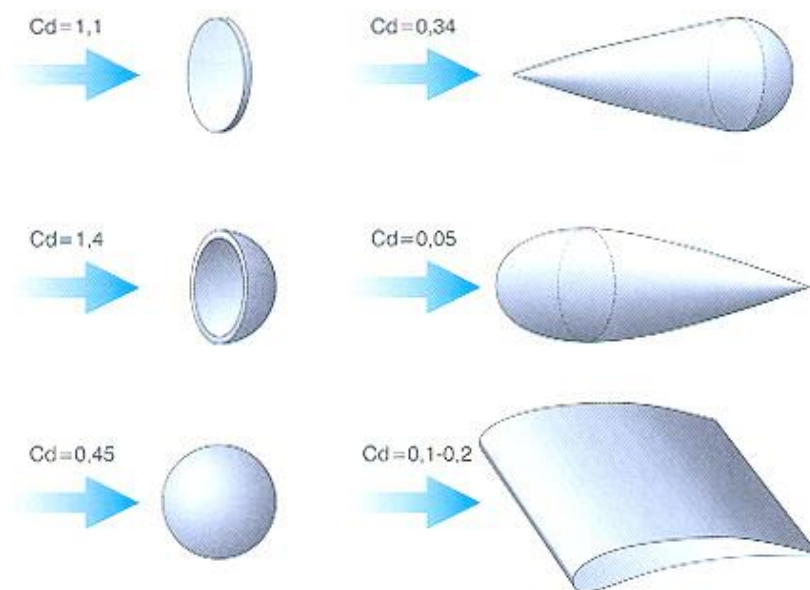
3.5 Snižování jízdních odporů – aerodynamický odpor

3.5.1 Aerodynamický odpor

Aerodynamika se zabývá prouděním (obtékáním) vzduchu kolem těles, což na těleso silově působí (brání pohybu tělesa v daném prostředí) a může způsobovat jeho přitlačování nebo odlehčování podle toho, kde na karoserii automobilu vzniká přetlak či podtlak. Toto automobilky aktuálně testují v nákladných aerodynamických tunelech, protože vliv aerodynamiky ve vyšších rychlostech je značný a od 80 km/h je při ustálené rychlosti hlavní silou, kterou musí automobil překonávat. To je také důvod, proč se v současné době výrobci nákladních automobilů a jejich návěsů zaměřují na vylepšování jejich aerodynamiky, neboť většinu času tyto vozy tráví na dálnici při ustálené rychlosti 90 km/h [79]. Nejmodernější aerodynamický tunel má v současnosti Mercedes-Benz, díky čemuž téměř všechna její vozidla ve svých třídách v aerodynamice excelují, a tím také ve spotřebě paliva ve vyšších rychlostech. Sedan nižší střední třídy Mercedes-Benz CLA dosáhl součinitele aerodynamické odporu vzduchu dokonce 0,22, což je nejnižší hodnota u současných produkčních vozidel vůbec [80], například Tesla S má 0,24.

Proudění vzduchu kolem vozidla může být laminární (s rovnoběžnými proudnicemi) nebo turbulentní, což je nežádoucí, neboť se proudnice navzájem víří a kříží. U automobilů nás nejvíce zajímá aerodynamický součinitel odporu vzduchu (C_x , v zahraničí označováno též jako C_d = drag coefficient), což je bezrozměrná veličina, která vyjadřuje aerodynamickou efektivitu (čistotu) obtékaného tělesa – čím menší, tím menší odpor vzduchu na automobil působí. V současné době je tato hodnota běžně 0,3, ale nejedná se o jedinou důležitou hodnotu, neboť síla, která na automobil při ustálené jízdě působí má více proměnných – velikost čelní plochy, rychlost, hustotu prostředí, ve kterém se automobil pohybuje a zmiňovaný aerodynamický součinitel odporu vzduchu [81]:

$$F_A = \frac{1}{2} * C_x * S * \rho * v^2$$



Obrázek 12 - Příklady různých hodnot C_x podle tvaru tělesa

3.5.2 Tabulka spotřeb vozidla při ustálené rychlosti a vliv odporů

Pro ilustrativní porovnání spotřeby (například hodnota čelní plochy není příliš přesná) při ustálené jízdě jsem si vybral na našich silnicích vozidlo nejčastější: Škodu Octavii ve variantě 1.6 TDI. Z dat uvedených na obrázku 21 je vidět, že do ustálené rychlosti zhruba 70 km/h převažuje valivý odpor pneumatik a nad tuto rychlost začíná převažovat odpor aerodynamický, na jehož překonání stačí pouze desítky kW.

Pro následné porovnání jsem zvolil Cx 0,21, který měla již Tatra 77 v roce 1934 a dodnes patří k velmi dobře aerodynamicky navrženým vozidlům. [82]

Vehicle weight [1]:	<input type="text" value="1305"/>	<input type="text" value="kg"/>
Crr - Coefficient of rolling resistance [2]:	<input type="text" value=".010"/>	
Cd - Coefficient of drag [3]:	<input type="text" value=".30"/>	
A - frontal area [4]:	<input type="text" value="1.8"/>	<input type="text" value="sq. meters"/>
CdA	0.30 m ² / 3.23 ft ²	
Fuel energy density (Wh/US gal.) [5]:	<input type="text" value="37953"/>	- or - <input type="text" value="No. 2 Diesel 129,500 BTU / 37,953 Wh"/>
Engine efficiency [6]:	<input type="text" value=".18"/>	
Drivetrain efficiency:	<input type="text" value=".95"/>	
Parasitic overhead, eg. at idle (optional, in Watts):	<input type="text" value="0"/>	
Air Density (rho) in kg/m ³ [7]:	<input type="text" value="1.225"/>	- or - <input type="text" value="1.225 @ 15 C / 59 F"/>

Obrázek 13 - Vstupy pro „Aerodynamic & rolling resistance, power & MPG calculator“ na www.EcoModder.com

KM/H	% Aero	% Rolling	Watts	HP	L/100km	% Aero	% Rolling	Watts	HP	L/100km
8	0.71%	99.29%	288.11	0.39	2.09	0.50%	99.50%	287.49	0.39	2.08
16	2.79%	97.21%	588.52	0.79	2.13	1.97%	98.03%	583.60	0.78	2.12
24	6.06%	93.94%	913.57	1.23	2.21	4.32%	95.68%	896.94	1.20	2.17
32	10.30%	89.70%	1,275.54	1.71	2.31	7.44%	92.56%	1,236.14	1.66	2.24
40	15.21%	84.79%	1,686.77	2.26	2.45	11.15%	88.85%	1,609.82	2.16	2.33
48	20.52%	79.48%	2,159.55	2.90	2.61	15.31%	84.69%	2,026.58	2.72	2.45
56	26.01%	73.99%	2,706.21	3.63	2.80	19.75%	80.25%	2,495.06	3.35	2.58
64	31.46%	68.54%	3,339.05	4.48	3.03	24.32%	75.68%	3,023.87	4.06	2.74
72	36.75%	63.25%	4,070.39	5.46	3.28	28.91%	71.09%	3,621.62	4.86	2.92
80	41.77%	58.23%	4,912.53	6.59	3.56	33.43%	66.57%	4,296.93	5.76	3.11
89	46.47%	53.53%	5,877.80	7.88	3.87	37.80%	62.20%	5,058.44	6.78	3.33
97	50.81%	49.19%	6,978.49	9.36	4.22	41.96%	58.04%	5,914.74	7.93	3.57
105	54.80%	45.20%	8,226.93	11.03	4.59	45.91%	54.09%	6,874.46	9.22	3.83
113	58.44%	41.56%	9,635.43	12.92	4.99	49.60%	50.40%	7,946.23	10.66	4.11
121	61.74%	38.26%	11,216.29	15.04	5.42	53.05%	46.95%	9,138.65	12.26	4.42
129	64.74%	35.26%	12,981.83	17.41	5.88	56.25%	43.75%	10,460.34	14.03	4.74
137	67.46%	32.54%	14,944.37	20.04	6.37	59.20%	40.80%	11,919.93	15.98	5.08
145	69.92%	30.08%	17,116.21	22.95	6.89	61.93%	38.07%	13,526.04	18.14	5.45

Obrázek 14 - Porovnání výstupních parametrů z programu EcoModder, vlevo s Cx = 0,30, vpravo 0,21

Z této tabulky plyne, že se velmi liší návrh vozidla pro dálniční přesuny oproti vozidlu určenému na městský provoz, bohužel se k tomu v současnosti příliš nepřihlíží. Velmi obecně se dá říci, že snížení odporu vzduchu o desetinu znamená snížení spotřeby paliva o 2,5%, [81] jak již ale bylo zmíněno v předchozí kapitole: na odpor vzduchu pohybujícího se vozidla má přímo úměrný vliv nejen součinitel odporu vzduchu, ale také čelní plocha vozidla, která v současné době kvůli požadavkům na bezpečnost posádky a chodců (zmohutnění „čumáků“) a designu roste.

Vliv má samozřejmě také zpřevodování a plynulost provozu, neboť nejvíce energie spálí vozidlo při rozjíždění se na danou rychlost, s čímž souvisí (pře)dimenzování motorů, neboť pro jízdu ustálenou rychlostí stačí značně menší výkon (viz obrázek 14). [81]

3.5.3 Technologie a úpravy pro snížení aerodynamického odporu, aktivní aerodynamika
Navržení aerodynamického vozidla by se dalo rozdělit do dvou částí – optimální tvar a očištění karoserie o zbytečnosti. Optimální aerodynamický tvar v současné době na silnicích příliš nevidáme, ale věnovaly se mu téměř všechny automobilky ve třicátých letech minulého století, jimž vévodila automobilka Tatra. V současnosti jde jen o občasné koncepty jako GM Precept 2001 či Honda FCV 2015.

Druhou možností je právě očištění karoserie o přečnívající zbytečnosti: spoilery, zástěrky, střešní nosiče a boxy, anténu (bývá nahrazována „ploutvičkou“) boční zrcátka (legislativně zatím není možno je nahradit kamerami, ale mají značný vliv), vystupující kliky u dveří, dnes se již téměř nevyskytující mrkací světla. Citroen u svého modelu C-Cactus například neponechal otevírací zadní okénka a vyhladil je s karoserií a Mercedes se věnuje turbulentnímu proudění kolem kol nebo jejich zakrytování. [83]

Poměrně novou možností je aktivní aerodynamika, která se začala používat hlavně na sportovních a závodních vozidlech dle aktuálních potřeb přítlaku, případně pro aerodynamické brždění, které testoval již například Mercedes 300 SL v roce 1952. U osobních automobilů určených pro přepravu jde o částečné uzavírání otvorů vedoucích ke chladiči ve vyšších rychlostech, případně autonomní dálniční jízdu v silničních vlcích ve větrném zákrytu, kde je značně snížený protivítr a spotřeba může klesnout až o 20%, přičemž o řízení a bezpečnost (auta jsou velmi blízko za sebou) se stará elektronika. [84]



Obrázek 15 – Počátky aerodynamiky u osobních automobilů a proudnicový tvar automobilu Tatra 77 ($C_x = 0,21$) z roku 1934, navržený Paulem Jarrayem, designérem Erichem Uberlackerem a konstruktérem Hansem Ledwinkou

4 Specifikace vybraných variant využívající alternativní paliva

Přestože již existují velice zajímavé druhy pohonu osobních automobilů, pro porovnání ekonomie provozu jsem vybral ty, které jsou již dnes na trhu, takže zákazník může reálně uvažovat o jejich koupi a bude ho právě zajímat to, který druh pohonu se mu vyplatí.

Pro porovnání jsem vybral nižší střední třídu osobních automobilů (odborně nazýváno segment C) se svými typickými zástupci. Nižší střední třída je nejprodávanějším segmentem osobních vozidel v ČR, za prvních 7 měsíců roku 2014 se v ní prodalo 6156 vozidel [85] v čele právě se třetí generací Škody Octavia, na čtvrtém místě sedmou generací VW Golf. V celé Evropské unii tento segment nevede s tak ohromným náskokem a segment C a D (střední třída, jehož nejtypičtějšími zástupci jsou Škoda Superb, BMW řady 3 a Audi A4) jsou v prodeji téměř vyrovnány [86].

Inovativní řešení jdou samozřejmě primárně do vlajkových lodí automobilek, ale zde zákazníka ekonomie provozu příliš nezajímá. Jde spíše o společenskou prestiž a velkou část ceny vozidla hraje logo na masce chladiče, navíc se jejich prodeje u nás počítají v řádu desítek kusů. [85]

Pro samotné porovnání jsem se snažil za pomoci ceníků automobilek vozidla specifikovat na obdobné parametry nejen motoricky, ale také co se vnitřní výbavy týče, aby se daly smysluplněji srovnávat pořizovací ceny, v čemž jsem byl v prvním případě omezen poměrně dobrou základní a také jedinou možnou výbavou Volkswagenu e-Golf, k němuž jsem tedy musel nastavit ostatní verze, ve druhém případě jde o dovybavení vozu Škoda Octavia alespoň přibližně k Nissanu LEAF.

Prodejní ceny ojetin daných modelů odhaduji ze serverů sauto.cz či mobile.de, neboť některé z nich se ještě nemusí u nás v nabídce autobazarů vyskytovat.

Níže zmiňované zákazníky udávané průměrné spotřeby pochází z německého serveru spritmonitor.de z toho důvodu, že spotřeby normované dle cyklu NEDC často vůbec neodpovídají realitě. Jedná se o medián uváděné spotřeby německými řidiči kvůli většímu množství „respondentů“ (oproti obdobnému serveru v České Republice).

4.1 Varianta 1: Volkswagen Golf, firemní provoz

4.1.1 Simulace firemního provozu

U firemního provozu počítám nájezd 50 000 km za rok po dobu tří let s následným prodejem, kdy mají vozy ještě značnou zůstatkovou hodnotu. Jejich pořizovací ceny by se mohly výrazně změnit při využití fleetového programu při nákupu většího množství vozidel.

Ceny vozidel i paliv jsou počítány bez DPH, u uvedených paliv bez silniční daně.

4.1.2 Úvod k modelu Golf

Volkswagen Golf je aktuálně jediným vozem na světě, které se prodává se všemi možnostmi pohonu, které se na trhu nabízí. Je možno jej koupit s benzínovými motory TSI, naftovým TDI, plynovým motorem TGI (1.4 TSI upravené pro spalování CNG), elektromotorem jako e-Golf, jako

plug-in-hybrid zvaný GTE a nejnověji také s pohonem vodíkovým, tedy elektromotorem a vodíkovými články místo baterií zvaný HyMotion, který zatím nemá ceník. [87]

Volkswagen Golf je nejdůležitějším modelem automobilky z německého Wolfsburgu, který se vyrábí již v sedmé generaci a je dokonce nejprodávanějším vozidlem v Evropě vůbec. [88] Celosvětově mu konkuruje Ford Focus a Toyota Corolla.



Obrázek 16 - Volkswagen Golf 2014

4.1.3 Volkswagen e-Golf

Volkswagen e-Golf se od standardního Volkswagenu Golf liší pouze v detailech, například nových diodových světlech, speciálních ráfcích pro zlepšení aerodynamiky ($C_x = 0,281$) a absencí výfuků na zádi. Baterie nijak nezasahují do prostoru pro posádku. Je poháněn elektromotorem Bosch a jeho baterie Panasonic, uložené pod podlahou, mají kapacitu 24,2 kWh. Automobilka uvádí spotřebu 12,7 kWh na 100 km a tedy dojezd 130-190 km. [89]

Dojezd se může lišit podle stylu jízdy řidiče a nastaveném režimu na „převodovce“: Eco režim sníží výkon na 70 kW a Eco+ na pouhých 55 kW, spolu s čímž se sníží také maximální dosažitelná rychlost na 115, respektive 90 km/h a je také omezen výkon klimatizace. Dobíjení ze standardní zásuvky trvá 13 h, s konektorem CCS za 8 hodin, na nejnovějších rychlodobíjecích stanicích CCS lze baterie dobít na 80% své kapacity za 30 minut. Volkswagen nabízí záruku na elektrický systém a baterie 8 let nebo 160 000 km. [90]

Zajímavou položkou je mobilní aplikace CarNet pro správu nabíjení vozidla a systém pro nouzové brždění a zabránění kolize. Součástí pořizovací ceny jsou také „standardní záruky mobility dodatečné služby“, tedy zapůjčení jiného vozidla (vyšší kategorie dle informací od zastoupení Volkswagenu v ČR, tedy zřejmě modelu Passat) v případě potřeby vycestování na delší vzdálenost až po 30 dnů v roce a odtah k nejbližší dobíjecí stanici v případě úplného vybití vozidla. [91] Důvodem k nabídce těchto služeb je, že 80% všech řidičů neujede denně více než 50km, na které jim elektrický Golf bohatě stačí, na ostatní cesty je tu právě zapůjčení alternativního vozidla, čímž lze řešit obavu mnohých lidí o dojezd elektromobilu.

4.1.4 Volkswagen Golf TGI

Automobilka VW Group uvedla na trh plynové varianty svých stěžejních modelů: Octavia, Golf, Passat, Leon, protože se u nich předpokládá vyšší zájem zákazníků kvůli výrazně nižším provozním nákladům (kvůli spotřební dani), přičemž právě Golf a Octavia (ve verzi kombi), jsou si co do ceny a chování velmi podobné. [92] Automobily mají pod zavazadelníkem nádrže na plyn, ale také klasickou benzínovou nádrž, což jim dává možnost velmi dlouhého dojezdu, ale varianta jízdy na dražší benzín je spíše nouzová, když dojde plyn. Zajímavé je, že na serveru mobile.de mají CNG varianty značně vyšší prodejní ceny oproti klasickým vozidlům.

4.1.5 Porovnávané varianty

Pro následné porovnání jsem vybral výkonné varianty: 1.4 TSI, 1.4 TGI a 1.6 TDI spřažené s převodovkou DSG, neboť e-Golf taktéž postrádá manuální řazení. U naftové varianty předpokládám, že filtr pevných částic, jehož oprava je poměrně drahá, daný nájezd vydrží, protože norma Euro 5 jej již vyžaduje bezpodmínečně. Otázkou je, nakolik moderní naftové motory od 1. 1. 2014 platnou normu Euro 6 splňují i v reálném provozu, nikoliv pouze laboratorním. [93]

Technické a cenové specifikace pro variantu 1				
Vozidlo:	Volkswagen Golf hatchback (Highline, e-Golf)			
Varianta:	e-Golf	1.4 TSI DSG	1.6 TDI DSG	1.4 TGI DSG
Výkon [kW]:	85	103	77	81
Točivý moment [Nm]:	270	250	250	200
Hmotnost [kg]:	1585	1288	1313	1395
Spotřeba na 100km:	15 kWh	6.4 l	5.3 l	4.3 kg
Kupní cena [tisíce Kč bez DPH]:	763	465	472	485
Prodejní cena [tisíce Kč bez DPH]:	280	200	200	240

Tabulka 1 - Tabulka technických údajů, pořizovacích a odhadovaných prodejních cen variant Volkswagenu Golf

4.2 Varianta 2: Škoda Octavia, Nissan LEAF, soukromý provoz

4.2.1 Simulace soukromého provozu

U soukromého provozu počítám nájezd 20 000 km ročně po dobu 8 let a následný prodej vozidla.

4.2.2 Úvod k porovnání Škody Octavia s Nissanem LEAF

Škoda Octavia je nejprodávanejším vozidlem v ČR (první tři místa v prodeji obsazuje pouze společnost Škoda Auto a. s.), velmi je také zastoupena ve firemních flotilách, hlavně s motorem 1.6 TDI. Převaha TDI motorů platila pro druhou generaci, ta současná je již ohrožena moderními přeplňovanými benzinovými motory a také variantou spalující CNG. Kvůli nižším provozním nákladům nakoupila společnost Vítkovice Machinery Group 300 vozidel Octavia G-Tec. [94]

Výhodou Škody Octavia při jejím provozu v České Republice je velmi rozšířená servisní i prodejní síť, důvěra lidí v domácí automobilku, díky čemuž jsou následné prodejní ceny výrazně vyšší

v porovnání se stejně starou a ojetou například korejskou konkurencí, a na svou třídu poměrně prostorný interiér, nebo některá „simply clever“ řešení v interiéru.

Proti ní stavím Nissan LEAF, nejprodávanější elektromobil na světě (celkem 165 000 kusů, v Evropě 35 000 k 4/2015), s nímž mám díky společnosti Autobond Group a.s. dokonce osobní zkušenost, a který je na trhu již od roku 2010. Na rok 2017 se chystá druhá generace s nižší cenou, vyšším dojezdem, ale hlavně nižší vahou a klasičtějším vzhledem. [95]

4.2.3 Škoda Octavia G-Tec

Škoda označuje třetí generaci Octavie s pohonem na stlačený zemní plyn za důležitý milník v cestě za ekologickými (splňuje s velkou rezervou normu Euro 6) a cenově dostupnými modely ve své nabídce [96] a ani server hybrid.cz při redakčním testu nešetří superlativy a označuje ji za „auto budoucnosti“ [97]. Základní verze tohoto modelu ve výbavě Active vyjde zákazníka na 433 900 Kč [98], což je oproti benzinové verzi 1,4 TSI 103 kW příplatek nemalých 29 tisíc Kč a v porovnání s 1,6 TDI 77 kW vyjde o 9 000 Kč draž. Odpověď na otázku, zda se tato vyšší počáteční investice ekonomicky vyplatí, budu hledat v páté kapitole této bakalářské práce.



Obrázek 17 - Škoda Octavia III 2012

Octavia G-Tec je vozidlo označované jako Bi-fuel, tedy má 50 litrovou benzinovou nádrž, na kterou je dle normované spotřeby schopna ujet 920 km a pod podlahou zavazadlového prostoru má tlakovou nádrž na 15 kg zemního plynu a dojezdem 410 km, což dělá celkový teoretický možný dojezd působivých 1330 km. [96]

4.2.4 Nissan LEAF

Tvůrci Nissanu LEAF se drželi myšlenky, že elektromobil se musí odlišovat od ostatních automobilů již svým vzhledem. Otázka krásy designu je čistě subjektivní, nutno ale říci, že Nissan LEAF je značně nekonvenční.

Kvůli nižší spotřebě byla pozornost věnována také jeho aerodynamickému návrhu, což je důvod tvaru jeho předních světel, které odklání proud vzduchu, aby lépe obtékal zpětná zrcátka, což snižuje aerodynamický odpor a hluk, který by byl uvnitř více patrný díky absenci hluku motoru.

Při testovací jízdě jsem si potvrdil svá očekávání od elektromobilu. Kvůli synchronnímu elektromotoru je jízda velmi tichá, rozjezdy jsou naprosto plynulé díky absenci jakékoliv převodovky, přičemž přísun točivého momentu je zpočátku konstantní, takže řidiče svým zátahem do zhruba 60 km/h doslova překvapí. Jeho maximální rychlost je elektronicky omezena na 145 km/h. Zaujalo mne, že elektromobil vcelku výrazně přibrzdí, pokud řidič nešlape na plyn, přičemž dochází k rekuperaci energie zpět do baterie, která je umístěna v podlaze.

Baterie má kapacitu 24 kWh (Nissan ale pro další generaci testuje také verze s 36 a 48 kWh, aby udržel krok s konkurencí [99]) a dle oficiálních údajů má vozidlo dojezd 200 km. Zkušenosti dealera mluví o 130 – 250 km dle řidiče a toho, zda má zapnuté vyhřívání sedadel a klimatizaci. Brzdové destičky se u tohoto elektromobilu mění až po 90 tisících kilometrech.

Nissan také slibuje, že po ujetí 100 000 km či 5 letech bude mít baterie stále více než 75% své původní kapacity, přičemž jednotlivé články, ze kterých je složena, lze po diagnostickém vyšetření a shledání závadnými vyměnit. Není tedy třeba měnit vždy celou baterii, která by dle sdělení autorizovaného servisu vyšla na zhruba 100 000 Kč bez DPH, což se zatím žádnému LEAFu v České republice nestalo. Z celkového počtu 35 000 LEAFů prodaných v Evropě bylo nutno vyměnit kompletní baterii pouze u 3 kusů. [100]



Obrázek 18 - Nissan LEAF 2011

4.2.5 Porovnávané varianty

Pro porovnání jsem vybral benzinové varianty Škoda Octavia 1.2 TSI a 1.4 TSI a naftovou 1.6 TDI s manuální převodovkou ve výbavách elegance, které nejlépe sedí k základní výbavě Nissanu LEAF, která obsahuje mimo jiné automatickou klimatizaci, navigaci, parkovací kameru, vyhřívání předních sedadel a volantu.

Technické a cenové specifikace pro variantu 2					
Vozidlo:	Škoda Octavia (Elegance)				Nissan
Varianta:	1.2 TSI	1.4 TSI	1.6 TDI	G-Tec	LEAF
Výkon [kW]:	77	103	77	81	80
Točivý moment [Nm]:	175	250	250	200	300
Hmotnost [kg]:	1225	1230	1305	1390	1511
Spotřeba na 100km:	5.9 l	6.8 l	5.3 l	4.2 kg	15 kWh
Kupní cena [tisíce Kč s DPH]:	482	519	539	548	715
Prodejní cena [tisíce Kč s DPH]:	140	160	160	200	180

Tabulka 2 - Tabulka technických údajů, pořizovacích a odhadovaných prodejních cen Škody Octavia a Nissanu LEAF

4.3 Tabulka průměrných cen jednotlivých paliv za načerpanou jednotku

4.3.1 Ceny paliv pro spalovací motory

Průměrná cena benzínu a nafty pochází ze serveru ccs.cz a jedná se o průměrnou cenu mezi daty: 1. 1. 2012 a 18. 5. 2015 [101], protože tato hodnota kolísá. Spotřební daň pochází ze serveru peníze.cz, DPH je u benzínu i nafty 5,50 Kč za litr. [102]

Cenu 1 kg CNG počítám pro 2. 12. 2014 z tabulky průměrných cen na webu cngplus.cz. [103]

Vzhledem k postupné diverzifikaci trhu s palivy lze očekávat, že aktuální stav spotřební daně se změní. Pro porovnání jsem zvolil stav, kdy stát přestane zvýhodňovat některá paliva a že spotřební daň se vyrovná u všech paliv na vyšší hodnotu, jinak by totiž vypadl státní správě významný zdroj příjmů. Pro její vyrovnání jsem zvolil jednotnou spotřební daň za každou kWh obsaženou v jednotce paliva [104].

$$\text{Rovná spotřební daň} = \frac{\text{Spotřební daň na benzin}}{\text{Obsah energie v benzínu}} = \frac{12,80 \text{ Kč/l}}{8,6 \text{ kWh/l}} \doteq 1,49 \text{ Kč/kWh}$$

Ceny paliv pro spalovací motory a jejich hodnoty pro následné porovnání			
Palivo:	Benzín (N95)	Nafta	CNG
Obsah energie	8.6 kWh/l	9.9 kWh/l	13.3 kWh/kg
Cena [s DPH]:	35.71 Kč/l	35.45 Kč/l	25.95 Kč/kg
Z toho spotřební daň:	12.80 Kč/l	10.90 Kč/l	0.50 Kč/kg (do 2017)
Cena [bez DPH]:	30.21 Kč/l	29.95 Kč/l	21.03 Kč/kg
Cena za 1 kWh energie [s DPH]	2.66 Kč	2.48 Kč	1.91 Kč
Vyrovnaná cena [s DPH]	35.71 Kč/l	39.30 Kč/l	45.27 Kč/kg
Z toho spotřební daň:	12.80 Kč/l	14.75 Kč/l	19.82 Kč/kg
Vyrovnaná cena [bez DPH]	30.21 Kč/l	33.80 Kč/l	40.85 Kč/kg

Tabulka 3 - Ceny paliva, spotřební daně a obsah energie v palivu pro následné porovnávání

4.3.2 Cena elektřiny pro elektromobily

Pro provoz elektromobilů uvažuji tarif C27d (16 hodin nízkého tarifu) pro firemní zákazníky [105], respektive D27d (8 hodin nízkého tarifu) pro soukromé odběratele [106] od společnosti ČEZ, kde se výsledná cena skládá z měsíční platby za příkon nad 25 A a následně ceny za kWh v nízkém či vysokém tarifu.

Pro toto použití elektromobilů předpokládám noční dobíjení v nízkém tarifu. Předpokládám dobíjení ze zásuvky 16 A, a tedy nabíjení vozidla každou noc, přičemž díky nízkému nabíjecímu proudu není žádný doplatek za rezervovaný příkon.

K tomuto je ještě nutno připočítat paušální platbu za možnost využívání veřejných dobíjecích stanic ČEZ: 180 Kč s DPH za měsíc pro nabíjení vozidla přes den. [107]

Spotřební daň na elektřinu pro elektromobily neexistuje a technicky není možné ji odlišit, proto u ní ani pro druhou variantu paliv spotřební daň neuvažuji.

Cena elektřiny v použitých tarifech C27d a D27d pro následné porovnání		
Tarif:	C27d [cena bez DPH]	D27d [cena s DPH]
Pevná cena za měsíc [Kč]	10	12.1
Cena za kWh [Kč]	1.87	2.59
Poplatek za dobíjecí stanice [Kč měsíčně]	150	180

Tabulka 4 - Ceny elektřiny v tarifech C27d a D27d pro následné porovnávání

5 Porovnání variant z hlediska ekonomické výhodnosti

5.1 Zanedbávané položky

Při porovnání jednotlivých vozidel zanedbávám tyto výdaje:

- Poplatek za registraci motorového vozidla a vydání registrační značky, protože se jedná o částku velmi malou v porovnání s ostatními, které uvažuji, a která je shodná pro všechna porovnávaná vozidla (800, respektive 450 Kč [108])
- Povinné ručení, jehož hodnota se mění nejen podle objemu motoru, ale velmi významně také podle věku registrátora a jím počtu ujetých kilometrů bez nehody.
- Dálniční známku, o jejíž koupi se provozovatel rozhoduje dle potřeb a byla by také cenově shodná pro všechny varianty.

5.2 Detailní náhled na cash flow při provozu Škody Octavie a Nissanu LEAF

5.2.1 Způsob výpočtu a počáteční podmínky

Vstupní hodnoty jsou uvedeny v kapitole 4 v jednotlivých tabulkách, počítám s variantou 2 (soukromý provoz, 20 000 km po dobu 8 let). Pro lepší zobrazení v následných grafech jsou mé výdaje označeny jako kladné a příjmy (prodej vozu) jako záporné, což stejně používám v práci i dále. Diskont u soukromého provozu počítám 2% (podle zadání vedoucího práce).

Servisní náklady pro Škodu Octavii dodal vedoucí práce, pro Nissan LEAF společnost Autobond Group, a.s. Vzhledem k značné nezávislosti servisních nákladů pro Nissan LEAF na nájezdu kilometrů bylo rozhodnuto, že budu počítat se servisními náklady 2000 Kč/rok, neboť celkové náklady na nájezd 150 000 km byly spočteny na 9720 Kč bez DPH. Tato nízká hodnota je způsobena tím, že se jedná pouze o výměny filtru klimatizace, brzdové kapaliny a jednu výměnu brzdových destiček.

Protože se mi nepodařilo získat hodnoty servisních nákladů pro jednotlivé porovnávané vozy, budu počítat s těmito náklady i dále, neboť servisní náklady spalovacích a elektrických verzí by měly být rámcově stejné, když se jedná o stejnou třídu vozidel a ne prémiové značky.

Výpočet palivových nákladů (p):

$$p = \frac{S}{100} * cpm [Kč/km]$$

S ... spotřeba automobilu na 100 km v litrech (kg) nebo kWh dle druhu pohonu

Cpm ... cena pohonné hmoty za načerpanou jednotku

Palivové náklady pro Škodu Octavii 1.4 TSI na 1 km:

$$p_{Octavia\ 1.4\ TSI} = \frac{6,8}{100} * 35,71 \doteq 2,43\ Kč/km$$

Palivové náklady pro Nissan LEAF na 1 km (včetně měsíčních poplatků za dobíjení):

$$p_{LEAF} = \frac{15}{100} * 2,59 + \frac{180 + 12,10}{20000/12} \doteq 0,50 \text{ Kč/km}$$

5.2.2 Způsob ekonomického porovnání – čistá současná hodnota

Pro porovnání ekonomické výhodnosti jsem zvolil metodu NPV:

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_z} \frac{CF_T}{(1+r)^t}$$

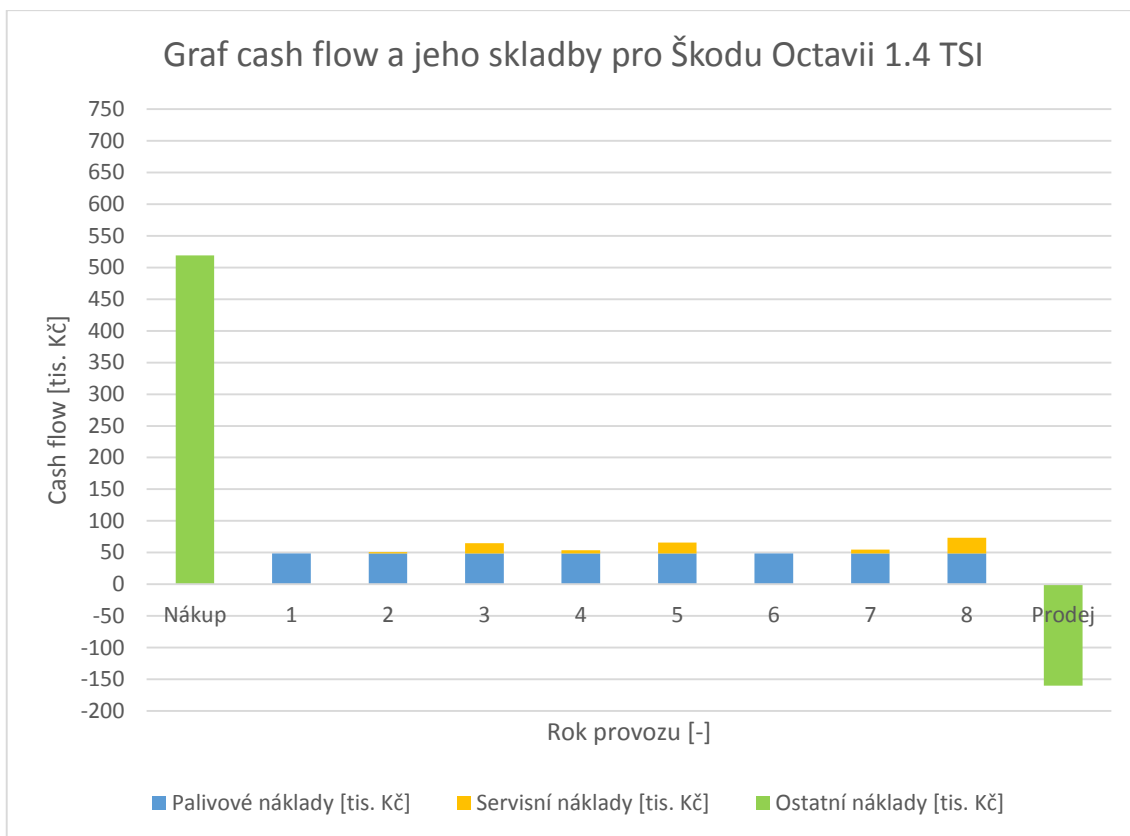
Nejlepší variantou je ta, která má hodnotu NPV nejnižší, což znamená, že výdaje na koupi a provoz budou za dobu porovnání (životnosti) nejnižší. Tato metoda mi pro toto hodnocení postačí. Jedná o stejně dlouhé doby provozu (doby životnosti = T_z) u všech uvažovaných vozidel.

5.2.3 Tabulka a graf hodnot cash flow v jednotlivých letech provozu vozidel

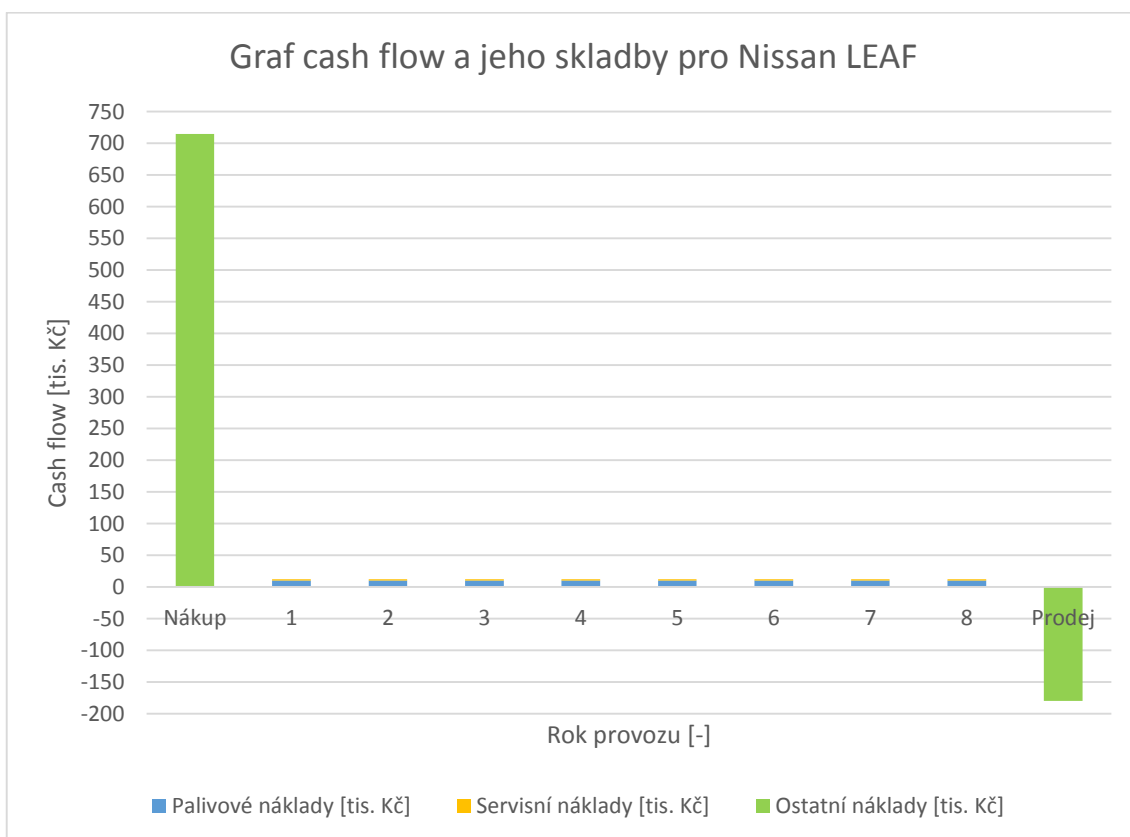
Příklad skladby cash flow v jednotlivých letech a výsledného NPV										
Rok	Nákup	1	2	3	4	5	6	7	8	Prodej
Škoda Octavia 1.4 TSI Elegance										
Palivové náklady [tis. Kč]	0	49	49	49	49	49	49	49	49	0
Servisní náklady [tis. Kč]	0	0	2	16	5	17	0	6	25	0
Ostatní náklady [tis. Kč]	519	0	0	0	0	0	0	0	0	-160
Cash flow [tis. Kč] - CF_T	519	49	51	65	54	66	49	55	74	-160
NPV [tis. Kč]	802									
Nissan LEAF										
Palivové náklady [tis. Kč]	0	10	10	10	10	10	10	10	10	0
Servisní náklady [tis. Kč]	0	2	2	2	2	2	2	2	2	0
Ostatní náklady [tis. Kč]	715	0	0	0	0	0	0	0	0	-180
Cash flow [tis. Kč] - CF_T	715	12	12	12	12	12	12	12	12	-180
NPV [tis. Kč]	649									

Tabulka 5 - Cash flow a jeho složení v jednotlivých letech při provozu Škody Octavia a Nissanu LEAF

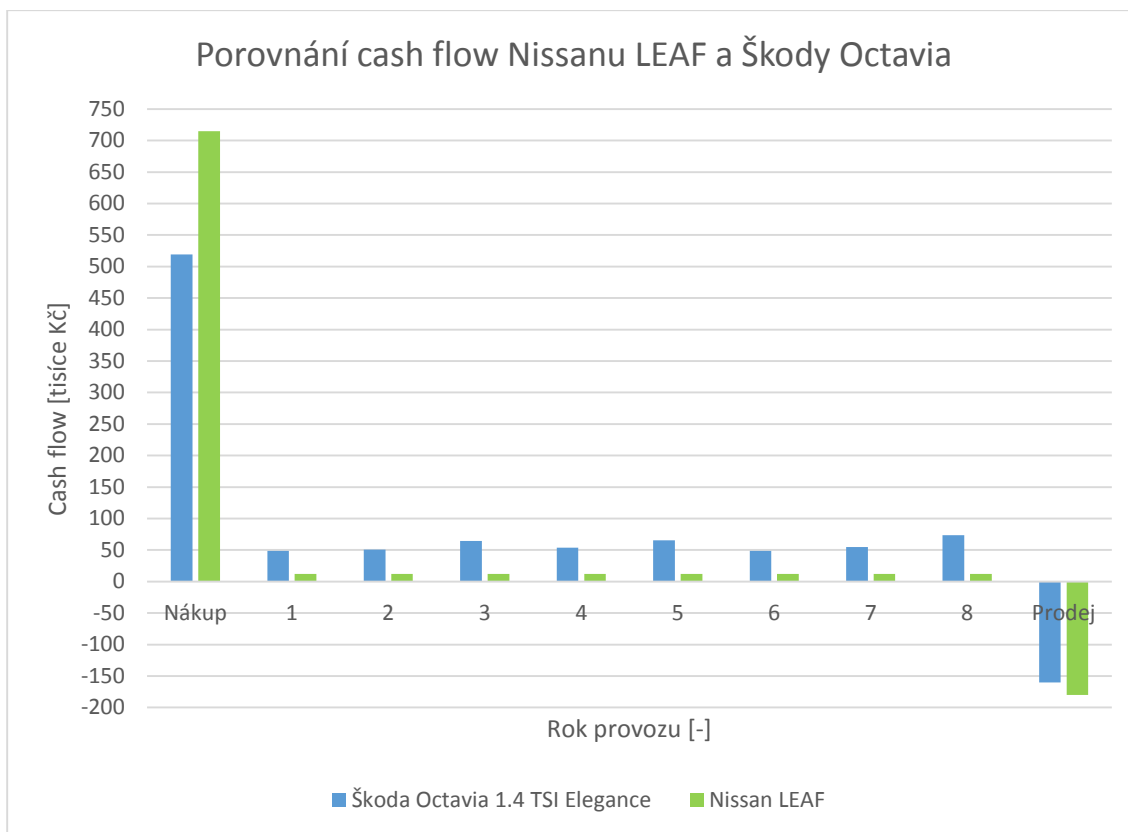
Nulové položky servisních nákladů u Škody Octavie jsou způsobeny servisním intervalem 25 000 km. V položce ostatní náklady je schována zůstatková hodnota a pořizovací cena.



Graf 1 - Cash flow a jeho skladby pro Škodu Octavii 1.4 TSI při provozu 20 000 km/rok po dobu 8 let



Graf 2 - Cash flow a jeho skladby pro Nissan LEAF při provozu 20 000 km/rok po dobu 8 let



Graf 3 - Porovnání celkového cash flow v jednotlivých letech provozu pro Škodu Octavii a Nissan LEAF

Z výše uvedených tří grafů je vidět rozdílnost provozu těchto dvou typů pohonu, kdy elektromobil má výrazně nižší provozní a servisní náklady, ale značně vyšší pořizovací cenu.

Jeho zůstatkovou hodnotu pouze odhaduji, neboť se na bazarech zatím takto stará vozidla nevyskytují. Odhadovat lze pouze dle některých použitých vozidel Volkswagen e-Golf, jemuž cena padá výrazně pomaleji, než jeho klasickým sourozencům, případně dle výrazně vyšších cen elektrických Citroenů Saxo a Peugeotů 106 z přelomu tisíciletí, jejichž spalovací bratři jsou dnes již téměř neprodejnou raritou.

Podíváme-li se na NPV v tabulce 5, jemuž se bude věnovat hlavně následující kapitola 5.4, zjistíme, že elektromobil nás celkově vyjde levněji. Toto ale není při rozhodování o jeho koupi vše k rozmyšlení. Jeho problémem je omezený dojezd a dlouhá doba nabíjení, tedy je nutno zvážit, zda mi svými parametry dovolí bezproblémový běžný provoz.

5.3 Detailní náhled na výpočet KDCF pro Volkswagen e-Golf

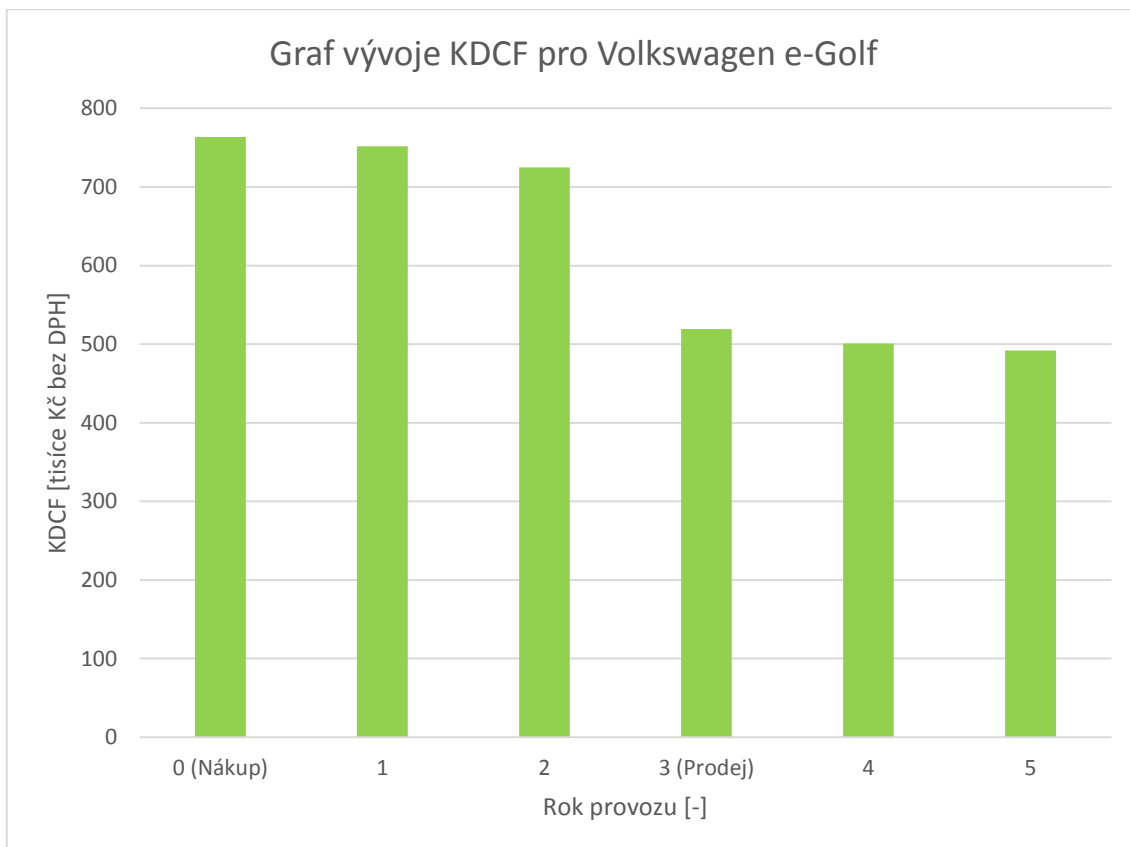
Protože se jedná o simulaci firemního provozu vozidla, zohledním také daňový štít. V principu jde v tomto případě o to, že pořizovací cenu automobilu postupně odpisují, čímž se mi pro každý rok provozu sníží daňový základ díky těmto nákladům. [109] Daň z příjmu právnických osob je 19% již od roku 2010. [110]

Automobil patří do odpisové skupiny 5, a tedy se odpisuje po dobu 5 let. Použiji zrychlené odpisování. [111] Z tohoto důvodu je zde zobrazeno 5 let, přestože je již po 3 letech vozidlo prodáno, protože ještě stále běží jeho daňové odpisy.

V grafu zobrazuji výdaje jako kladné a příjmy jako záporné pro lepší přehlednost. Poslední buňka v tabulce a zároveň poslední sloupec v grafu je roven NPV. Diskont volím podle zadání vedoucího práce 6% pro firemní provoz.

Příklad KDCF se zohledněním odpisového daňového štítu u VW e-Golf						
Vozidlo:	Volkswagen e-Golf					
Požizovací cena [tis. Kč bez DPH]:	763					
Prodejní cena [tis. Kč bez DPH]:	280					
Palivové náklady na 1 km [Kč bez DPH]:	0.3189					
Linearizované servisní náklady na 1 rok [tis. Kč bez DPH]	4.4					
Rok	0 (Nákup)	1	2	3 (Prodej)	4	5
Příjmy [tis. Kč bez DPH]	0	0	0	280	0	0
Výdaje [tis. Kč bez DPH]	763	20	20	20	0	0
Daňové odpisy [%]	0	20	32	24	16	8
Daňové odpisy [tis. Kč]	0	153	244	183	122	61
Změna základu daně [tis. Kč]	0	-173	-265	76	-122	-61
Daň 19% [tis. Kč]	0	-33	-50	15	-23	-12
CF _T [tis. Kč bez DPH]	-763	12	30	245	23	12
KDCF _T [tis. Kč bez DPH]	-763	-752	-725	-519	-501	-492

Tabulka 6 - Příklad KDCF se zohledněním odpisového daňového štítu u VW e-Golf



Graf 4 - Vývoj KDCF při provozu Volkswagenu e-Golf

5.4 Porovnání ekonomie provozu jednotlivých variant

5.4.1 Způsob výpočtu a počáteční podmínky

Pro spalovací vozy počítám servisní náklady 71 tisíc Kč s DPH a elektrické vozy 16 tisíc Kč s DPH na 150 (160) tisíc ujetých kilometrů (viz kapitola 5.2.1). Rozhodl jsem se navíc zanedbat jejich rozložení, aby byl graf bez výrazných skoků, které by tím vznikly. Zavedl jsem si tedy řádek v tabulce „Linearizované servisní náklady na 1 km [Kč]“.

Pro porovnání výhodnosti jednotlivých variant volím metodu NPV, při soukromém provozu s diskontem 2%, zatímco při firemním provozu s diskontem 6% dle zadání vedoucího práce.

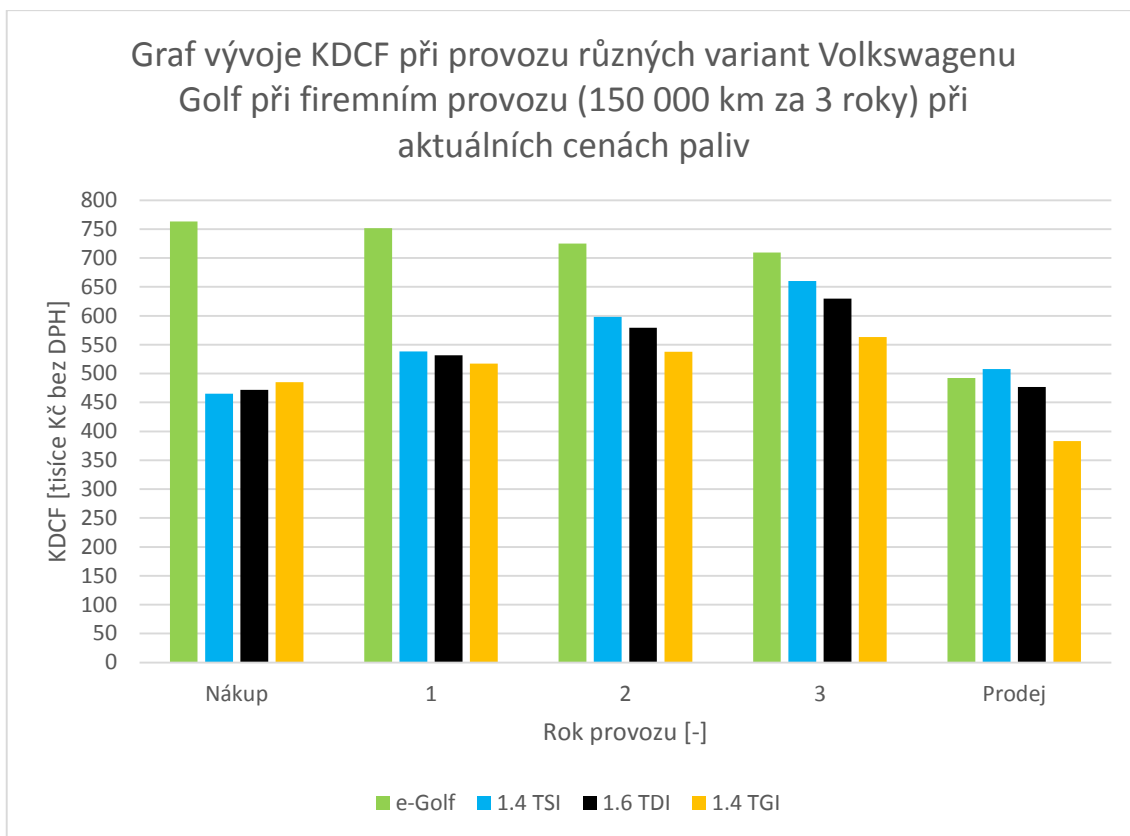
Způsob jeho výpočtu je uveden v kapitole číslo 5.2.2. V tabulkách je NPV rovno vždy poslednímu řádku kumulovaného diskontovaného cash flow pro danou variantu.

KDCF_{PRODEJ} zobrazuji na vlastním řádku a ve vlastním sloupci v grafu pro oddělení provozu od prodeje vozidla a lepší zobrazení výsledného NPV, přestože tato hodnota patří do posledního roku provozu a příslušným způsobem je také diskontována.

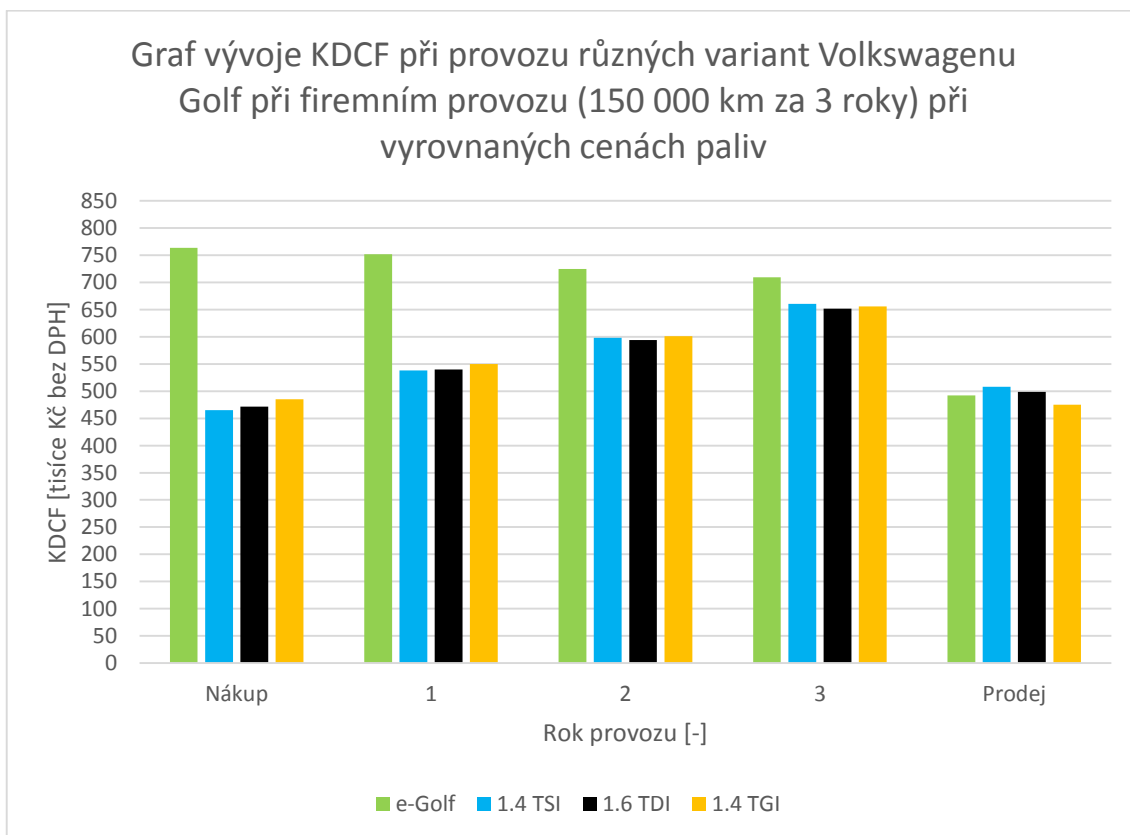
5.4.2 Porovnání ekonomie firemního provozu Volkswagenu Golf s různými druhy pohonu

Ekonomická výhodnost provozu variant Volkswagenu Golf				
Vozidlo	Volkswagen Golf (Highline s DSG)			
Varianta vozu	e-Golf	1.4 TSI	1.6 TDI	1.4 TGI
Silniční daň [Kč/rok]	0	1440	1800	0
Servisní náklady [tis. Kč bez DPH]	13	59	59	59
Lin. servisní náklady na 1 km [Kč bez DPH]	0.089	0.394	0.394	0.394
Varianta cen paliv	1. Aktuální ceny			
Palivové náklady na 1 km [Kč bez DPH]	0.319	1.933	1.587	0.904
Kumulované diskontované CF podle let provozu pro palivovou variantu 1				
KDCF ₀ [tis. Kč bez DPH]	763	465	472	485
KDCF ₁ [tis. Kč bez DPH]	752	538	532	517
KDCF ₂ [tis. Kč bez DPH]	725	598	579	538
KDCF ₃ [tis. Kč bez DPH]	710	660	630	563
KDCF _{PRODEJ} = NPV [tis. Kč bez DPH]	492	508	477	383
Varianta cen paliv	2. Ceny s "rovnou" spotřební daní			
Palivové náklady na 1 km [Kč bez DPH]	0.319	1.933	1.791	1.757
Kumulované diskontované CF podle let provozu pro palivovou variantu 2				
KDCF ₀ [tis. Kč bez DPH]	763	465	472	485
KDCF ₁ [tis. Kč bez DPH]	752	538	540	550
KDCF ₂ [tis. Kč bez DPH]	725	598	594	601
KDCF ₃ [tis. Kč bez DPH]	710	660	652	656
KDCF _{PRODEJ} = NPV [tis. Kč bez DPH]	492	508	499	475

Tabulka 7 - Hodnoty pro porovnání ekonomie Volkswagenu Golf s různými druhy pohonu provozu



Graf 5 - Graf vývoje KDCF pro Volkswagen Golf a jeho varianty při aktuálních cenách paliv

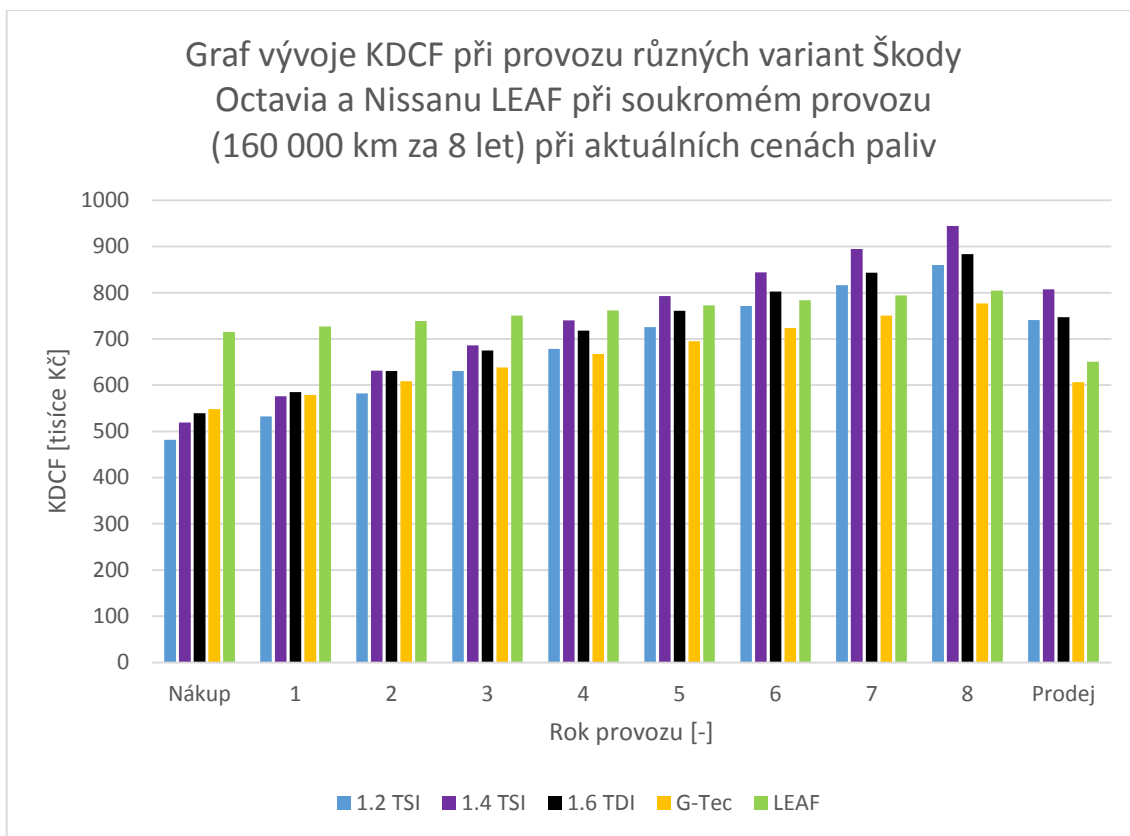


Graf 6 - Graf vývoje KDCF pro Volkswagen Golf a jeho varianty při vyrovnaných cenách paliv

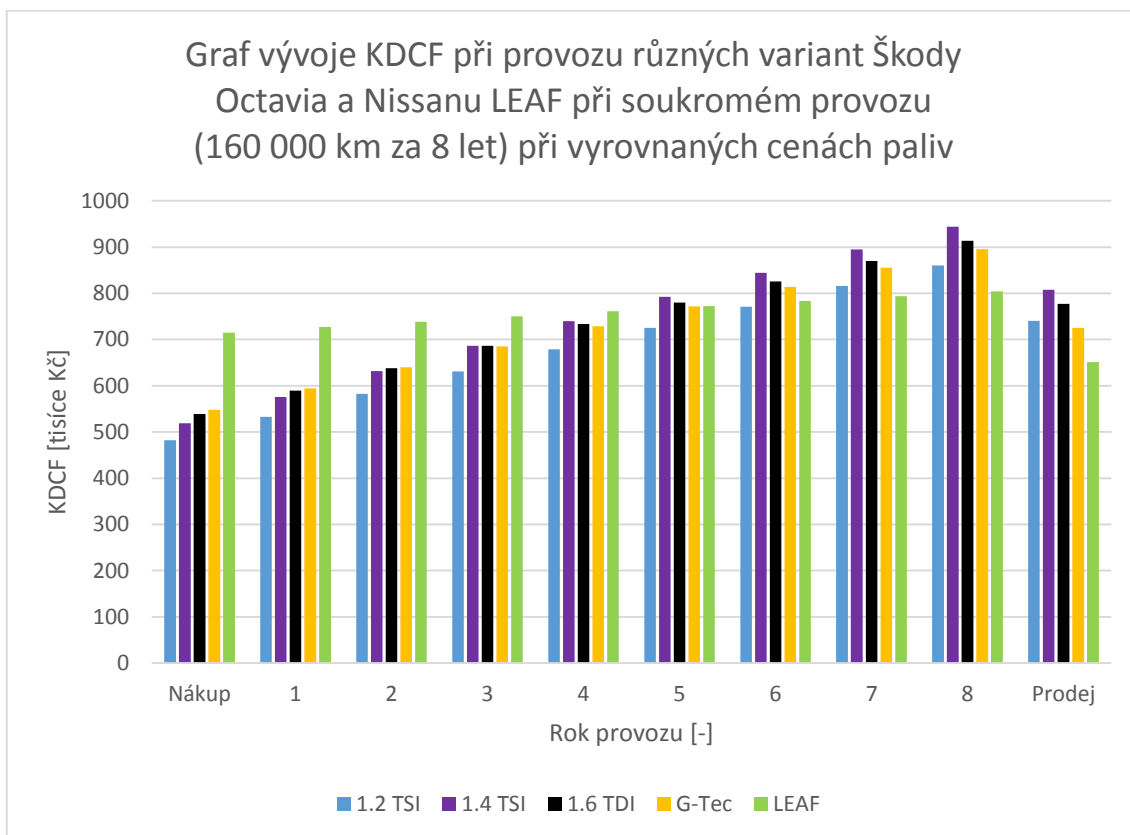
5.4.3 Porovnání ekonomie soukromého provozu Škody Octavia a Nissanu LEAF

Ekonomická výhodnost provozu Škody Octavie a Nissanu LEAF					
Vozidlo	Škoda Octavia				Nissan
Varianta vozu	1.2 TSI	1.4 TSI	1.6 TDI	G-Tec	LEAF
Servisní náklady [tis. Kč]	71	71	71	71	16
Linearizované servisní náklady na 1 km [Kč]	0.473	0.473	0.473	0.473	0.107
Varianta cen paliv	1. Aktuální ceny				
Palivové náklady na 1 km [Kč]	2.107	2.428	1.879	1.090	0.504
Kumulované diskontované cash flow podle let provozu pro palivovou variantu 1					
KDCF₀ [tis. Kč]	482	519	539	548	715
KDCF₁ [tis. Kč]	533	576	585	579	727
KDCF₂ [tis. Kč]	582	632	630	609	739
KDCF₃ [tis. Kč]	631	686	675	638	750
KDCF₄ [tis. Kč]	678	740	718	667	761
KDCF₅ [tis. Kč]	725	793	761	695	773
KDCF₆ [tis. Kč]	771	844	803	723	783
KDCF₇ [tis. Kč]	816	895	843	750	794
KDCF₈ [tis. Kč]	860	944	884	777	804
KDCF_{PRODEJ} = NPV [tis. Kč]	741	808	747	606	651
Varianta cen paliv	2. Ceny s "rovnou" spotřební daní				
Palivové náklady na 1 km [Kč]	2.107	2.428	2.083	1.901	0.504
Kumulované diskontované cash flow podle let provozu pro palivovou variantu 2					
KDCF₀ [tis. Kč]	482	519	539	548	715
KDCF₁ [tis. Kč]	533	576	589	595	727
KDCF₂ [tis. Kč]	582	632	638	640	739
KDCF₃ [tis. Kč]	631	686	686	685	750
KDCF₄ [tis. Kč]	678	740	734	729	761
KDCF₅ [tis. Kč]	725	793	780	772	773
KDCF₆ [tis. Kč]	771	844	825	814	783
KDCF₇ [tis. Kč]	816	895	870	855	794
KDCF₈ [tis. Kč]	860	944	914	896	804
KDCF_{PRODEJ} = NPV [tis. Kč]	741	808	777	725	651

Tabulka 8 - Hodnoty pro porovnání ekonomie provozu Škody Octavia s různými druhy pohonu a Nissanu LEAF



Graf 7 - Graf vývoje KDCF při provozu různých variant Škody Octavia a Nissanu LEAF při aktuálních cenách paliv



Graf 8 - Graf vývoje KDCF při provozu různých variant Škody Octavia a Nissanu LEAF při vyrovnaných cenách paliv

5.4.4 Vyhodnocení ekonomické výhodnosti provozu vybraných automobilů

Při současných cenách paliv v případě firemního i soukromého provozu vítězí automobil s pohonem na CNG. To je způsobeno téměř nulovou spotřební daní na tomto druhu paliva. V porovnání s klasickými variantami tento druh pohonu zvítězí i při značném zatížení spotřební daní podle obsahu energie v palivu.

Elektromobil má v obou variantách výhodu velmi levného provozu a poměrně vysoké zůstatkové hodnoty, a tak i přes vysokou pořizovací cenu může klasickým palivům konkurovat v obou variantách cen paliv. Jeho hlavním problémem je tedy dojezd a dlouhá doba nabíjení.

Při porovnání klasických paliv je stále výhodnější naftový motor díky své nízké spotřebě. Jeho provoz se s „rovnou“ spotřební daní téměř vyrovná benzínovým motorům.

6 Závěr

Tato práce byla zaměřena na ekonomické a následně ekologické zhodnocení možností alternativních paliv a pohonů, a proto jsem pro vyhodnocení vybral ta paliva, která jsou aktuálně k dispozici a mají velký prodejní potenciál. Spalování vodíku a palivové články jsem v porovnání vynechal, neboť takováto vozidla aktuálně nejsou na trhu. Žádné z mnou vybraných vozidel se nenabízí ve variantě pro spalování biopaliv či LPG, a tak jsem tyto možnosti, stejně jako způsoby rekuperace energie, uvedl pouze v teoretické části.

Při porovnání cash flow při provozu elektromobilu a konvenčního spalovacího motoru je zjevné, že elektromobil má zatím výrazně vyšší pořizovací náklady, ale značně levnější provoz a servis díky své jednoduchosti a spolehlivosti.

Při uvažování odpisového daňového štítu a jeho vlivu na kumulované diskontované cash flow při provozu Volkswagenu e-Golf je zajímavé, že snížení daně z příjmu je vyšší (hlavně díky odpisům) než náklady na provoz tohoto vozidla, a tak hodnota KDCF v daných letech postupně klesá.

Porovnáním NPV jednotlivých vybraných variant jsem došel k závěru, že finančně je elektromobil díky svým velmi nízkým servisním i provozním nákladům ke klasickým spalovacím motorům konkurenceschopný. Jeho problémem je hlavně dojezd a dlouhá doba nabíjení baterie. Za těchto podmínek bych elektromobil označil za vhodný do městského či příměstského provozu. Pro běžný provoz by musel mít vyšší kapacitu baterií, což by výrazně zvedlo jeho cenu. Stačí-li uživateli dojezd na baterii bez dobíjení, pak je elektromobil již v současnosti vhodnou volbou.

Při současných cenách paliv je nejvýhodnější variantou pohon vozidla stlačeným zemním plynem. Jeho nízká cena je způsobena velmi nízkou spotřební daní, ale ani značným zvýšením této daně se tento druh pohonu nestane nevýhodným. Značnou výhodou tohoto druhu pohonu jsou existující rozvody zemního plynu a rychle se rozvíjející síť plniček.

Vezmu-li v úvahu informace z teoretické části, pak bych stlačený zemní plyn označil za palivo blízké budoucnosti kvůli jeho velmi příznivým emisím, nízké hlučnosti a vypočteným nízkým provozním nákladům. Díky podpoře vozidel na CNG od domácí automobilky je tento druh paliva nejvíce rostoucím na celém trhu [112] a obdobně roste počet plnicích stanic.

Ve vzdálenější budoucnosti očekávám značnou diverzifikaci dopravních prostředků podle jejich účelu. Ve městech podle mne dojde k elektrifikaci městské hromadné dopravy a taxi služeb, přičemž kvůli propustnosti dopravních tepen dojde k postupné likvidaci individuální automobilové dopravy, protože je prostorově příliš náročná.

Myslím si, že spalovací motory, ať už na zemní plyn či biopaliva třetí generace, se v mimoměstském provozu udrží ještě velmi dlouhou dobu, protože mají výhodu velmi rychlého doplnění energie pro další jízdu a vysokou energetickou hustotu paliva v porovnání s baterií či palivovými články, a tedy dlouhý dojezd mezi nutností načerpat energii. Myslím si ale, že dojde k postupnému snižování aerodynamického odporu a zavedení autonomního způsobu řízení v silničních vlacích na dálnicích, čímž dojde také k výrazné úspoře paliva.

7 Seznam použité literatury

7.1 Knižní (hlavní) zdroje:

Pro označování jako [K_ – číslo stránky] jsem se rozhodl pro přehlednost kvůli četnosti citování.

[K1] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony* (Grada 2012).

ISBN: 978-80-247-4455-1, [cit. 2014-12-04]. Dostupný také z WWW:

<http://books.google.cz/books?id=HsFTiFiUkhIC&pg=PA19&dq=specialni+spalovaci+motory&hl=cs&sa=X&ei=21xGVITaM6yV7AaG5IG4AQ&ved=0CDQQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false>

[K2] HROMÁDKO Jan, HROMÁDKO Jiří, HÖNIG Vladimír, Miler Petr. *Spalovací motory* (Grada 2011). ISBN: 978-80-247-3475-0, [cit. 2014-12-04]. Dostupný také z WWW:

<http://books.google.cz/books?id=6gxbAgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=spalovaci+motory+hromadko&hl=cs&sa=X&ei=K3VGVlRJKIG7ygP864LQBQ&ved=0CDQQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false>

[K3] EHSANI Mehrdad, GAO Yimin, EMADI Ali. *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design* (2009). ISBN-13: 978-1420053982, [cit. 2014-12-04]. Dostupný také z WWW:

http://books.google.cz/books?id=Rue_FhZsV40C&printsec=frontcover&dq=modern+electric+hybrid+electric+and+fuel+cell+vehicles&hl=cs&sa=X&ei=wnV_VK22KIPTYgOztYCAA&ved=0CCEQ6AEwAA#v=onepage&q=modern%20electric%20hybrid%20electric%20and%20fuel%20cell%20vehicles&f=false

[K4] KOTT Jakub. *Elektromobilita v ČR (2014)*, bakalářská práce, Fakulta elektrotechnická ČVUT, Katedra ekonomie, manažerství a humanitních věd, [cit. 2015-03-15].

Dostupný také z WWW: <http://www.fel.cvut.cz/education/prace/00025.pdf>

[K5] NOVOSÁD Jan, Bc. *Alternativní pohon automobilů (2009)*, diplomová práce, Fakulta strojního inženýrství VUT, Ústav automobilního a dopravního inženýrství, [cit. 2015-04-12].

Dostupný také z WWW:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16518

[K6] BERAN Miloš, ČERVENÝ Jan. *Alternativní paliva v dopravě a jejich vliv na životní prostředí (2002)*, semestrální práce, Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, [cit. 2015-04-07]. Dostupný také z WWW: http://envi.upce.cz/pisprace/prezencni/27_SP_05.PDF

[K7] NJEŽIČ Marko, *Uplatnění alternativních paliv v automobilovém průmyslu (2012)*, bakalářská práce, Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, [cit. 2015-04-06].

Dostupný také z WWW:

http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/45946/2/NjezicM_UplatneniAlternativnich_HD_2012.pdf

7.2 Internetové zdroje

- [1] Motor [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Motor>
- [2] IDEÁLNÍ OBĚHY PŘEPLŇOVANÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=26887
- [3] Nulová silniční daň pro ekologická vozidla [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/novinky/nulova-silnicni-dan-pro-ekologicka-vozidla>
- [4] Norsko chce zakázat benzínová auta [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/novinky/norsko-chce-zakazat-benzinova-auta>
- [5] Pětina nově prodaných aut v Norsku jsou elektromobily [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/petina-nove-prodanych-aut-v-norsku-jsou-elektromobily>
- [6] Norsko [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://statni.vlajky.org/evropa/norsko.php>
- [7] Tepelný stroj [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%BD_stroj
- [8] Parní stroj [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Parn%C3%AD_stroj
- [9] Tepelná elektrárna [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%A1_elektr%C3%A1rna
- [10] Tepelný motor [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%BD_motor
- [11] Vstřikování vody do motoru jde do série, zřejmě ho dostane BMW M4 GTS [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.autohit.cz/novinky/128587-vstrikovani-vody-do-motoru-jde-do-serie-zrejme-ho-dostane-bmw-m4-gts>
- [12] V Roztokách vymýšlejí motor s nízkou spotřebou i emisemi pro Renault [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://archiv.ihned.cz/c1-63602020-v-roztokach-vymysleji-motor-s-nizkou-spotrebou-pro-renault>
- [13] Kompresní poměr [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Kompresn%C3%AD_pom%C4%9Br
- [14] Toyota: Ve znamení přeplňovaného motoru [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.auto.cz/toyota-ve-znameni-preplnovaneho-motoru-86101>
- [15] Lexus 200t: nový turbomotor detailně, zvládne Ottův i Atkinsonův cyklus [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.autoforum.cz/technika/lexus-200t-novy-turbomotor-detailne-zvladne-ottuv-i-atkinsonuv-cyklus/>
- [16] Elektromobil [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromobil>
- [17] Historie elektromobilismu [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://elektromobil.vseznamu.cz/historie-elektromobilismu>
- [18] Peugeot 106 [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Peugeot_106#Electric_versionhttp://en.wikipedia.org/wiki/Peugeot_106

- [19] Historie elektromobilů – přehled významných událostí posledních let [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/historie-elektromobilu-prehled-vyznamnych-udalosti-poslednich-let>
- [20] Co je to elektromobil [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://elektromobil.vseznamu.cz/co-je-to-elektromobil>
- [21] Elektromotor [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>
- [22] Informace o elektromobilech [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://elektromobil.vseznamu.cz/>
- [23] Nabíjení aut přímo ze silnice? Brzy už realita! [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://21stoleti.cz/blog/2009/08/20/nabijeni-aut-primo-ze-silnice-brzy-uz-realita/>
- [24] Baterie v elektromobilech [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech>
- [25] Toyota zrecykluje NiMH baterie do energetických systémů pro dealery / Honda bude získávat vzácné suroviny ze starých NiMH baterií / Toyota má program recyklace baterií z hybridů pro Evropu [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/tagy/nimh-baterie>
- [26] On-line rozhovor: Baterie v elektromobilech, elektroskútrech a elektrokolech [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.ekobonus.cz/online-rozhovory/baterie-elektromobilita>
- [27] Čekáme na ni všichni. Lithiová anoda zdvojnásobí kapacitu akumulátorů [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://technet.idnes.cz/lithiova-anoda-vylepsi-akumulatory-db6-/tec_tecnika.aspx?c=A140728_230625_tec_tecnika_nyv#utm_source=sph.idnes&utm_medium=richtext&utm_content=clanek-box
- [28] Dvojnásobná kapacita baterií v roce 2017? [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/solidenergy-dvojnásobna-kapacita-baterii-v-roce-2017>
- [29] Naše energie vás posouvá vpřed [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.elektromobilita.cz/>
- [30] BMW bude spolu s Volkswagenem budovat síť rychlonabíječek [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.auto.cz/bmw-spolu-volkswagenem-budovat-sit-rychlonabijecek-85465>
- [31] Nabíjecí stanice pro elektromobily, druhy a použití. Jak nenaletět [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/nabijeci-stanice-pro-elektromobily-druhy-pouziti-jak-venaletet>
- [32] V Japonsku mají více dobíjecích stanic než těch čerpacích [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.autorevue.cz/v-japonsku-maji-vice-dobijecich-stanic-nez-tech-čerpacích>
- [33] V Česku je asi 80 stanic pro elektromobily, chystají se další [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.auto.cz/v-cesku-je-asi-80-stanic-pro-elektromobily-chystaji-se-dalsi-87006>
- [34] BMW a General Motors: zatlučeme CHAdeMO do země [online][cit. 2015-05-16].

Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/bmw-general-motors-nove-vykonne-nabijeci-stance>

[35] Palivový článek [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Palivov%C3%BD_%C4%8DI%C3%A1nek

[36] S plynem v nádrži do podzemních garáží nesmíte [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.e-flotila.cz/aktuality/616-s-plynem-v-nadrzi-do-podzemnich-garazi-nesmite>

[37] Výhody autobusů s pohonem na zemní plyn [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/clanky/vyhody-autobusu-s-pohonem-na-zemni-plyn>

[38] Přestavba LPG [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.fedorauto.cz/prestavby-lpg>

[39] Test Škoda Octavia 1.6 LPG [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/test/skoda-octavia-lpg-16-mpi>

[40] Opel alternativní motory: LPG a CNG [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://www.opel.cz/vozidla/alternative_engines/lpg/models_lpg.html

[41] Hyundai přestavby vozidel na LPG z výroby [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hyundai.cz/prodej-a-sluzby/proc-hyundai/prestavby-vozu>

[42] Dacia LPG - přímo z výroby [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.dacia.cz/modelova-rada/dacia-lpg/>

[43] Fiat LPG z výroby [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.fiat.cz/lpg/>

[44] Mapa CNG stanic v ČR [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.cngplus.cz/cerpaci-a-plnici-stance.html>

[45] Pravdy a mýty o automobilech na CNG [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/pravdy-myty-o-automobilech-na-cng>

[46] Biometan jako biopalivo budoucnosti [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.ideje.cz/cz/clanky/biometan-jako-biopalivo-budoucnosti>

[47] Životní prostředí a CNG [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.cngplus.cz/o-cng/zivotni-prostredi.html>

[48] Stlačený zemní plyn [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Stla%C4%8Den%C3%BD_zemn%C3%AD_plyn

[49] Počet aut na stlačený zemní plyn (CNG) překročil 8000 [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/pocet-aut-na-stlaceny-zemni-plyn-cng-prekrocil-8000>

[50] Ekologie CNG [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.cng.cz/cs/ekologie/>

[51] Osobní vozy na CNG [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.cngplus.cz/auta/osobni-vozy.html>

[52] LNG vs CNG [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.cngplus.cz/lng-vs-cng.html>

[53] Legislativa pro CNG [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.cngplus.cz/o-cng/legislativa.html>

[54] Vodní palivový článek, určený pro motorová vozidla [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.autonavodu.cz/info/vyhody-3/?technologie>

- [55] MDI - MOTEUR DEVELOPPEMENT INTERNATIONAL [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://www.autonavzduch.cz/body_mdi.html
- [56] Auto na vzduch [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/auto-na-vzduch>
- [57] Automobil na vzduch – důležité vlastnosti [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://www.autonavzduch.cz/body_coche.html
- [58] Ukladanie energie do stlačeného vzduchu [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://sk.wikipedia.org/wiki/Ukladanie_energie_do_stla%C4%8Den%C3%A9ho_vzduchu
- [59] Auto na vzduch za rok, dojezd 1000 km! [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/novinky/auto-na-vzduch-za-rok>
- [60] Rozhovor: s Jiřím Trnkou, šéfem Biom.cz, o biopalivech [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/rozhovor-s-jirim-trnkou-sefem-biomcz-o-biopalivech>
- [61] Aktuálně: Pěstování biopaliv uvrhlo do chudoby 30 milionů lidí [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/novinky/aktualne-pestovani-biopaliv-uvrhlo-do-chudoby-30-milionu-lidi>
- [62] Podíl biopaliv v benzínu a naftě se v ČR zvýší [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/novinky/podil-biopaliv-v-benzinu-nafte-se-v-cr-zvysi>
- [63] Photosynthetic efficiency [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Photosynthetic_efficiency
- [64] Alternativní paliva – etanol E85 [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://point-s.cz/novinky/alternativni-paliva-etanol-e85/>
- [65] Skoti vymysleli jak z whisky dělat palivo pro auta [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/novinky/skoti-vymysleli-jak-z-whisky-delat-palivo-pro-auta>
- [66] Kanada začne vyrábět palivo z mořských řas [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/novinky/kanada-zacne-vyrabet-palivo-z-morskych-ras>
- [67] [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.ford.cz/AboutFord/Environment/Futuretechnologies>
- [68] Technologie budoucnosti [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.penize.cz/nakupy/231815-auta-na-e85-prestavba-za-nulu-palivo-o-10-kc-levnejsi-tak-kde-je-problem>
- [69] Tankujte biolíh E85, můžete ušetřit. Každé auto ho ale nevypije [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://auto.idnes.cz/tankujte-biolih-e85-muzete-usetrit-kazde-auto-ho-ale-nevypije-pry-/automoto.aspx?c=A101005_152001_automoto_fdv
- [70] Mikrohybrid, plug-in nebo asistovaný? Uděláme vám v autech jasno! [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/mikrohybrid-plug-nebo-asistovany-udelame-vam-v-autech-jasno>
- [71] Škoda Auto: hybridní Octavia a Superb od roku 2016 [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/skoda-auto-hybridni-octavia-superb-od-roku-2016>
- [72] Počet elektromobilů v ČR se příští rok zdvojnásobí [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.auto.cz/pocet-elektromobilu-v-cr-se-pristi-rok-zdvojnasi-84111>
- [73] Setrvačnick KERS v automobilech Volvo [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW:

<http://www.hybrid.cz/setrvacnik-kers-v-automobilech-volvo>

[74] Volvo vyvíjí hybridní systém na bázi KERS [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.auto.cz/volvo-vyviji-hybridni-system-bazi-kers-80354>

[75] Mazda i-ELOOP: Místo baterií kondenzátor [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.auto.cz/mazda-i-eloop-63307>

[76] Lightning hybrids – hybrid system [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://lightninghybrids.com/hybrid-system/hybrid-system-page>

[77] PSA zastavilo vývoj technologie Hybrid Air, automobilce se nevyplatí [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.autoforum.cz/predstaveni/psa-zastavilo-vyvoj-technologie-hybrid-air-automobilce-se-nevyplati/>

[78] Motory GM ušetří až 15 % paliva. Válce se budou vypínat „náhodně“ [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://auto.idnes.cz/tula-dynamic-skip-fire-vypinani-valcu-gm-fdu-automoto.aspx?c=A150119_204541_automoto_vok

[79] Zlepšování aerodynamiky nákladních vozů pro snížení spotřeby paliva [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.enviweb.cz/clanek/doprava/90547/zlepsovani-aerodynamiky-nakladnich-vozu-pro-snizeni-spotreby-paliva>

[80] Aerodynamika ušetří víc paliva než odlehčení auta. Záleží na detailech [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://auto.idnes.cz/aerodynamika-mercedes-benz-dde-automoto.aspx?c=A130708_210416_automoto_vok

[81] Aerodynamika – autolexikon [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/aerodynamika/>

[82] Tatra 77 [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Tatra_77

[83] 68 vehicle mods for better fuel economy [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://ecomodder.com/forum/fuel-economy-mpg-modifications.php>

[84] Vlak na dálnici - vítejte v budoucnosti [online][cit. 2015-05-16]. Dostupný z WWW: <http://www.autembezpecne.cz/cz/s40/c1437-Zpravy/n1895-Vlak-na-dalnici-vitejte-v-budoucnosti>

[85] Český trh v červenci 2014: Velký přehled segmentů [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.auto.cz/cesky-trh-cervenci-2014-velky-prehled-segmentu-82534>

[86] Evropské prodeje v prvním čtvrtletí 2014: Velký přehled segmentů [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.auto.cz/evropske-prodeje-v-prvnim-ctvrtleti-2014-velky-prehled-segmentu-81249>

[87] Golf je první auto využívající všechny známé druhy pohonu. Už umí jet i na vodík [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.denik.cz/autosalon/golf-je-prvni-auto-vyuzivajici-vsechny-zname-druhy-pohonu-uz-umi-jet-i-na-vodik.html>

[88] Vládce Evropy je důchodce: nejprodávanější auto je VW Golf [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: http://auto.idnes.cz/vladcem-evropy-je-duchodce-nejprodavanejsi-auto-je-vw-golf-pap-automoto.aspx?c=A081124_142459_automoto_fdv

[89] e-Golf – Vlastnosti [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.volkswagen.cz/modely/e-golf/vlastnosti>

- [90] Golfy jsou pod proudem. Vyzkoušeli jsme elektrickou i hybridní verzi_ [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: http://auto.idnes.cz/volkswagen-e-golf-a-golf-gte-prvni-jizda-fca-automoto.aspx?c=A140318_195825_automoto_vok
- [91] Volkswagen e-Golf [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://volkswagen.autojarov.cz/golf/e-golf/>
- [92] TEST: Volkswagen Golf Variant 1.4 TGI s pohonem na CNG [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/test-volkswagen-golf-variant-14-tgi-s-pohonem-na-cng>
- [93] Nejnovější diesellová auta v reálném provozu nesplňují emisní limity [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.auto.cz/nejnovejsi-dieselova-auta-realnem-provozu-nesplnuji-emisni-limity-83649>
- [94] Škoda prodala 300 CNG aut najednou [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/skoda-prodala-300-cng-aut-najednou>
- [95] Řidiči elektromobilu Nissan Leaf najedou průměrně více než řidiči spalováků [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/ridici-elektromobilu-nissan-leaf-najedou-prumerne-vice-nez-ridici-spalovaku>
- [96] ŠKODA Octavia G-TEC od 474 900 Kč [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.skoda-auto.cz/models/octavia-g-tec>
- [97] TEST: Škoda Octavia G-TEC (CNG) - české auto budoucnosti [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/test-skoda-octava-g-tec-cng-ceske-auto-budoucnosti>
- [98] Škoda Octavia – Ceník [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.skoda-auto.cz/SiteCollectionDocuments/skoda-auto/ke-stazeni/octavia-cenik.pdf>
- [99] Nissan testuje elektromobil Leaf s dvojnásobným dojezdem [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/nissan-testuje-elektromobil-leaf-s-dvojnaso-bnym-dojezdem>
- [100] Baterie Nissanu Leaf: 99,9 % z nich je stále v provozu [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/baterie-nissanu-leaf-999-z-nich-je-stale-v-provozu>
- [101] CCS.cz – Průměrná cena PHM [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.ccs.cz/pages/phm2.php>
- [102] Spotřební daně [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.penize.cz/80318-spotrebni-dane>
- [103] Ceny CNG v České republice [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.cngplus.cz/ceny-cng.html>
- [104] Ekonomika CNG - Obsah energie v palivech [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.cngplus.cz/o-cng/ekonomika.html>
- [105] Elektromobilita C27d – eTARIF FIX – Ceník [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.cez.cz/firmy/cs/elektrina/etarif-fix/cenik/2013/elektromobilita.html>
- [106] Elektromobilita D27d – eTARIF FIX – Ceník [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.cez.cz/cs/elektrina/etarif-fix/cenik/2013/d-elektromobilita.html>
- [107] <http://www.elektromobilita.cz/cs/faq.html>
- [108] Přehled základních správních poplatků - registry vozidel [online][cit. 2015-05-20].

Dostupný z WWW: <http://www.registr-vozidel.cz/prehled-zakladnich-spravnich-poplatku>
[109] Businesscenter.cz – Slovník pojmů: daňový štít [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://business.center.cz/business/pojmy/p1234-danovy-stit.aspx>
[110] Daň z příjmu právnických osob [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.czech.cz/cz/Podnikani/Jak-to-tu-funguje/Justice,-pravni-prostredi/Dan-z-prijmu-pravnickych-osob>
[111] Jak legálně snížit daně III. – podvojně účetnictví – Daňové odpisy [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.ucetnictvibezstarosti.eu/jak-legalne-snizit-dane-iii-podvojne-ucetnictvi/>
[112] Škoda Octavia zahýbala s prodeji aut na CNG. Podíl dieselů klesl [online][cit. 2015-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.autorevue.cz/skoda-octavia-zahybala-s-prodeji-aut-na-cng-podil-dieselu-klesl>

7.3 Zdroje obrázků

[Obrázek 1]: Smog chokes city in China, closing schools and airport [online][cit. 2015-05-04]. Dostupný z WWW: <http://america.aljazeera.com/articles/2013/10/21/china-shuts-downcityamidsmogemergency.html>
[Obrázek 2]: Mapa dobíjecích stanic na Hybrid.cz [online][cit. 2015-05-04]. Dostupný z WWW: <http://www.hybrid.cz/mapa-stanic/?t=ele>
[Obrázek 3]: Čerpací stanice LPG na mapě [online][cit. 2015-05-04]. Dostupný z WWW: <http://www.levnevozeni.cz/cerpaci-stanice-lpg-na-mape/>
[Obrázek 4]: Mapa CNG stanic v ČR [online][cit. 2015-05-04]. Dostupný z WWW: <http://www.cngplus.cz/cerpaci-a-plnici-stanice.html>
[Obrázek 5]: Seznam čerpacích stanic s E85 [online][cit. 2015-03-16]. Dostupný z WWW: <http://www.bioethanole85.cz/cerpaci-stanice-e85>
[Obrázek 6]: Toyota Prius [online][cit. 2015-05-04]. Dostupný z WWW: <http://businesslife.ba.com/Media/images/carh-Business-Life-Toyota-Prius-42f63d60-c9c9-4f90-8efd-8c52c8adb440-0-620x310.jpg>
[Obrázek 7]: Audi A1 e-tron 2014 [online][cit. 2015-05-04]. Dostupný z WWW: <http://www.plugincars.com/sites/default/files/a1-etron-diagram-620.jpg>
[Obrázek 8]: Nissan LEAF [online][cit. 2015-05-04]. Dostupný z WWW: <http://pricinginsider.carsdirect.com/wp-content/uploads/2011/05/nissan-leaf-drivetrain-specs-price.jpg>
[Obrázek 9]: Mazda 6 i-ELOOP [online][cit. 2015-05-04]. Dostupný z WWW: <http://aboutalternativecars.com/wp-content/uploads/2011/12/Mazda-i-ELOOP.png>
[Obrázek 10]: Hydraulic hybrid vehicles [online][cit. 2015-05-04]. Dostupný z WWW: <http://latesttechnology-world.blogspot.cz/2014/06/hydraulic-hybrid-vehicles-by-moses.html>
[Obrázek 11]: 2012 Audi S8 cylinder on demand [online][cit. 2015-05-04]. Dostupný z WWW: http://www.caricos.com/cars/a/audi/2012_audi_s8/1280x960/58.html
[Obrázek 12]: Aerodynamika – Autolexicon.net [online][cit. 2015-05-04]. Dostupný z WWW:

<http://www.autolexicon.net/cs/articles/aerodynamika/>

[Obrázek 13 a 14]: Aerodynamic & rolling resistance, power & MPG calculator [online][cit. 2015-05-04]. Dostupný z WWW: <http://ecomodder.com/forum/tool-aero-rolling-resistance.php>

[Obrázek 15]: Keď boli autá krásne: Kto „obliekal“ slávne značky do nových karosérií? [online][cit. 2015-05-04]. Dostupný z WWW: <http://zivot.cas.sk/clanok/17227/ked-boli-auta-krasne-kto-obliekal-slavne-znacky-do-novych-karoserii>

[Obrázek 16]: Volkswagen Golf 2.0 TDI 4motion BMT [online][cit. 2015-05-04]. Dostupný z WWW: <http://nl.auto.de/markt/angebot/id/1036/offerid/126051997/VW-Golf-2-0-TDI-4MOTION-BMT-Comfortline>

[Obrázek 17]: 100% Skoda Octavia [online][cit. 2015-05-04]. Dostupný z WWW: <http://www.skoda-sonneberg.de/#!/portfolio/cevz>

[Obrázek 18]: NISSAN CARNIVAL #DISCOVERNISSAN - 21-22 MARCH, 2015 AT THE BUDDHA INTERNATIONAL CIRCUIT, GREATER NOIDA, THE ZERO EMISSION DRIVE [online][cit. 2015-05-04]. Dostupný z WWW: https://www.nissan.in/Nissan_Carnival.html

8 Seznam použitých obrázků, tabulek a grafů

8.1 Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 - Smogová situace 21. 10. 2013 v Čínském městě Feng-Li	3
Obrázek 2 - Mapa veřejných dobíjecích stanic pro elektromobily, stav k 26. 4. 2015, celkem: 80 [33]	12
Obrázek 3 - Mapa LPG stanic v ČR, stav k 16. 3. 2015, celkový počet: přes 900	15
Obrázek 4 - Mapa CNG stanic v ČR, stav k 16. 3. 2015, celkový počet stanic: 86	17
Obrázek 5 - Mapa E85 stanic v ČR, stav k 16. 3. 2015, celkem přes 170	21
Obrázek 6 - Toyota Prius Plug-in-hybrid 2012	23
Obrázek 7 - Audi A1 e-tron 2014, elektromobil s možností prodloužení dojezdu	24
Obrázek 8 - Schéma elektromobilu: Nissan LEAF s elektromotorem vpředu a bateriemi uloženými pod podlahou	25
Obrázek 9 - Schéma Mazdy 6 i-Eloop se superkondenzátorem na uchování elektrické energie	27
Obrázek 10 - Systém hydraulického hybridu s uchováváním energie v podobě stlačeného plynu	27
Obrázek 11 - Technologie vypínání válců při nízkém zatížení u Audi S8 s motorem V8 4.0 TFSI	28
Obrázek 12 - Příklady různých hodnot C_x podle tvaru tělesa	29
Obrázek 13 - Vstupy pro „Aerodynamic & rolling resistance, power & MPG calculator“ na www.EcoModder.com	30
Obrázek 14 - Porovnání výstupních parametrů z programu EcoModder, vlevo s $C_x = 0,30$, vpravo 0,21	30
Obrázek 15 – Počátky aerodynamiky u osobních automobilů a proudnicový tvar automobilu Tatra 77 ($C_x = 0,21$) z roku 1934, navržený Paulem Jarrayem, designérem Erichem Uberlackerem a konstruktérem Hansem Ledwinkou	31
Obrázek 16 - Volkswagen Golf 2014	34
Obrázek 17 - Škoda Octavia III 2012	36
Obrázek 18 - Nissan LEAF 2011	37

8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Tabulka technických údajů, pořizovacích a odhadovaných prodejních cen variant Volkswagenu Golf	35
Tabulka 2 - Tabulka technických údajů, pořizovacích a odhadovaných prodejních cen Škody Octavia a Nissanu LEAF	38
Tabulka 3 - Ceny paliva, spotřební daně a obsah energie v palivu pro následné porovnávání ..	39
Tabulka 4 - Ceny elektřiny v tarifech C27d a D27d pro následné porovnávání	39
Tabulka 5 - Cash flow a jeho složení v jednotlivých letech při provozu Škody Octavia a Nissanu LEAF	42
Tabulka 6 - Příklad KDCF se zohledněním odpisového daňového štítu u VW e-Golf	45
Tabulka 7 - Hodnoty pro porovnání ekonomie Volkswagenu Golf s různými druhy pohonu provozu	46

Tabulka 8 - Hodnoty pro porovnání ekonomie provozu Škody Octavia s různými druhy pohonu a Nissanu LEAF	48
--	----

8.3 Seznam grafů

Graf 1 - Cash flow a jeho skladby pro Škodu Octavii 1.4 TSI při provozu 20 000 km/rok po dobu 8 let.....	43
Graf 2 - Cash flow a jeho skladby pro Nissan LEAF při provozu 20 000 km/rok po dobu 8 let ...	43
Graf 3 - Porovnání celkového cash flow v jednotlivých letech provozu pro Škodu Octavii a Nissan LEAF	44
Graf 4 - Vývoj KDCF při provozu Volkswagenu e-Golf	45
Graf 5 - Graf vývoje KDCF pro Volkswagen Golf a jeho varianty při aktuálních cenách paliv	47
Graf 6 - Graf vývoje KDCF pro Volkswagen Golf a jeho varianty při vyrovnaných cenách paliv .	47
Graf 7 - Graf vývoje KDCF při provozu různých variant Škody Octavia a Nissanu LEAF při aktuálních cenách paliv	49
Graf 8 - Graf vývoje KDCF při provozu různých variant Škody Octavia a Nissanu LEAF při vyrovnaných cenách paliv	49