

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Analýza provozních parametrů hybridních vozidel
Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Veronika Hartová, Ph.D.
Autor práce: Bc. Jana Stočesová

Praha 2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jana Stočesová

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Analýza provozních parametrů hybridních vozidel

Název anglicky

Analysis of operating parameters of hybrid vehicles

Cíle práce

Cílem práce je analýza a porovnání provozních parametrů hybridního vozidla v podmínkách reálného provozu.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika práce
4. Přehled řešené problematiky
5. Vlastní zpracování
6. Výsledky a diskuse
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů
9. Přílohy

Doporučený rozsah práce

50 – 60 str. včetně obrázků, tabulek a grafů

Klíčová slova

spotřeba, dojezd, elektrovozidlo, rekuperace

Doporučené zdroje informací

Berjoza, D., Jurgena, I., Vartukapteinis, K., Research in electro and internal combustion engine motor vehicle energy costs, 11th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development; Jelgava; Latvia; 24 May 2012 through 25 May 2012; Code 94767, ISSN: 16913043
Vémola, A. Diagnostika automobilů . (2006).
VLK, F.: Diagnostika motorových vozidel Vlk, Brno, 2006, 576s., ISBN 80-239-7064-0

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Veronika Hartová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 13. 2. 2018

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 25. 03. 2019

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Analýza provozních parametrů hybridních vozidel vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědoma, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědoma že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne: _____

Podpis: _____

Poděkování:

Touto cestou bych ráda poděkovala více lidem. Nejprve nejbližší rodině (svým osvěceným rodičům, a nekonečně laskavé sestře), která mě podporovala jak hmotně tak duševně, nejen při psaní této práce; ráda bych jim poděkovala za laskavost, trpělivost a lásku, kterou mi prokazovali po celou dobu mého studia. Za totéž bych chtěla poděkovat i svému příteli, který během mé tvorby této práce prokázal velké pochopení.

Ráda bych poděkovala rovněž vedoucí mé práce Ing. Veronice Hartové, Ph.D. a Ing. Martinu Kotkovi, Ph.D., za věcné rady, podporu při psaní práce, a laskavou pomoc při měřeních a synchronizaci výsledků.

Abstrakt:

Tato práce je věnována hybridním vozidlům a analýze jejich provozních parametrů. Cílem práce je představit koncepci hybridních vozidel, provést měření u vybraného vozidla v reálném provozu a zanalyzovat výsledky měření i parametry udávané výrobcem.

Práce má dvě části; teoretickou a praktickou. První část práce je literární rešerší; je zde rozebrána historie i současnost hybridních vozidel, jejich vlastnosti a legislativní opatření, která se na hybridní vozidla vztahují. Dále je pojednáno o vlivech různých druhů klimatu, provozu a provozních podmínkách vozidel; v závěru teoretické části jsou zmíněny metody měření využité v praktické části.

Ve druhé části práce jsou k dispozici informace o vybraném vozidle a trase, na které probíhá praktické měření. Tato část dále obsahuje popis použité techniky a výsledky měření, které jsou v závěru druhé části analyzovány, diskutovány a porovnány s provozními parametry, jež uvádí výrobce vozidla. Závěr práce se zabývá přínosem hybridních vozidel, efektivitou současné metody měření provozních parametrů, jež nařizuje evropská legislativa a příčinou rozdílu mezi skutečnými a uváděnými parametry.

Klíčová slova: Spotřeba, dojezd, elektrovozidlo, rekuperace

Analysis of operating parameters of hybrid vehicles**Summary:**

This thesis is dedicated to hybrid vehicles and their operating parameters analysis. The aim of this work is to introduce the concept of hybrid vehicles, to measure the operating parameters of a selected vehicle in real traffic conditions and to analyse the measurement results and parameters declared by the car producer.

The thesis is divided two parts; theoretical and practical. The first part of the work is a literature search dealing with the history as well as their current situation with focus on their properties and legislative measures. Furthermore the impact of different climate and traffic conditions is discussed; at the end of the theoretical part there are mentioned measurement methods further employed in the practical part.

In the second part of the work the information about selected vehicle and route, where the measurement is done, are stated. A description of the used equipment and results are also included, and at the end of the second part the results are analysed, discussed and compared to operating parameters declared by car producer. The final part of the thesis is focused on contributions of hybrid vehicles, the efficiency of current method of measuring operating parameters, which is required by the European legislation, and the cause of discrepancy between actual and declared parameters.

Key words: Consumption, range, electric vehicle, recuperation

OBSAH

1 Úvod	1
2 Cíl práce.....	3
3 Metodika práce	4
4 Přehled řešené problematiky	5
4.1 Historický vývoj elektrifikovaných vozidel	5
4.2 Koncepce hybridních vozidel	9
4.2.1 Stupně hybridizace	9
4.2.2 Sériové uspořádání	10
4.2.3 Paralelní uspořádání	10
4.2.4 Kombinované uspořádání	11
4.2.5 Hybridní vs. konvenční vozidla.....	12
4.3 Legislativa	12
4.3.1 USA a EU	12
4.3.2 Čína a Indie.....	15
4.4 Provozní parametry PHEV vozidel	17
4.4.1 Vliv různých druhů provozů a jízdních stylů na provozní parametry PHEV.....	17
4.4.2 Vliv klimatických podmínek na provozní parametry PHEV.....	21
4.4.3 Náklady na provoz PHEV	23
4.4.4 Měření provozních parametrů PHEV vozidel	27
5 vlastní zpracování - Měření provozních parametrů hybridních vozidel.....	31
5.1 Technické parametry vozidla.....	31
5.2 Trasa a podmínky měření	34
5.3 Použitá technika.....	36
5.4 Postup výběrů a výpočtů dat.....	38
6 Výsledky a diskuze.....	40
6.1 Výsledky měření.....	40
6.1.1 Městský provoz	40
6.1.2 Mimoměstský provoz	44

6.1.3 Dálniční provoz	48
6.2 Diskuze	51
7 Závěr	55
Seznam použitých zdrojů.....	57
Seznam obrázků.....	63
Seznam tabulek.....	64

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

HDP	Hrubý domácí produkt
EV	Elektrická vozidla
HEV	Hybrid electric vehicles (Hybridní elektrická vozidla)
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicles (Hybridní elektrická vozidla napájená přes externí elektrickou síť)
BEV	Battery electric vehicles (Elektrická vozidla s baterií)
USA	United States of America (Spojené státy americké)
CAFE	Corporate Average Fuel Economy (standard pro průměrnou spotřebu paliva na jednotku vzdálenosti – platný ve Spojených státech)
OSN	Organizace spojených národů
EU	Evropská Unie
ARRA	American Recovery and Reinvestment Act (Americký zákon o obnově a reinvestování)
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration (Národní správa bezpečnosti provozu – ve Spojených státech amerických)
FAME	Faster Adoption and Manufacturing of Electric Vehicles (program rychlejšího přijetí a výroby elektrických vozidel v Indii)
ČR	Česká republika
SOC	State of charge (Stav nabití baterie)
ERÚ	Energetický regulační úřad
NEDC	Nový evropský jízdní cyklus (Emisní test)
WLTP	Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (Emisní test)
VW	Volkswagen
RDE	Real Driving Emission Test (Emisní test v reálném provozu)
PEMS	Portable Emission Measurement System (Přenosný systém pro měření emisí)
EOBD	European On-Board Diagnostic (Evropská palubní diagnostika)
OBD	On-Board Diagnostic (Palubní diagnostika)
SUV	Sport utility vehicle (Sportovní užitkové vozidlo)
AWD	All wheel drive (Pohon všech kol)
CVT	Continuously variable transmission (Převodovka s proměnným převodovým poměrem)
GPS	Global Positioning System (Globální polohový systém)
NDIR	Non Dispersive Infra-Red (Neroztýlené infračervené světlo)
EPA	Environmental Protection Agency (Úřad pro ochranu životního prostředí – Spojené státy americké)

1 ÚVOD

Automobilová doprava je v současnosti nedílnou součástí lidských životů. S rostoucí světovou populací roste i počet uživatelů osobních automobilů; v roce 2015 čítala světová populace 7,38 miliard lidí [1], přičemž vozidel v provozu bylo zhruba 947 milionů [2]. Do roku 2040 by se počet vozidel v provozu měl zdvojnásobit [3], k čemuž povede především růst HDP v Indii a Číně. V kontrastu s touto skutečností se tenčí zásoby fosilních paliv, je kladen důraz na životní prostředí, ekonomičnost a obnovitelnost zdrojů energie.

Spalovací motory jsou v současné době na technologickém vrcholu; přesto u nich přetrvává mnoho negativ, díky nimž je třeba najít vhodnou alternativu pohonů do budoucna. Hlavním problémem je především obnovitelnost zdroje energie – fosilní paliva budou do konce tohoto století vyčerpána; ropné zásoby by měly být dle odhadů vyčerpány zhruba do poloviny 21. století [4]. V současnosti se navíc řeší emise látek (produktů spalovacího procesu), které mají negativní dopad na lidský organismus a životní prostředí – jde především o pevné částice, nespálené uhlovodíky (HC), oxidy uhlíku (CO, CO₂) a oxidy dusíku (NO_x). S ohledem na všechny dříve zmíněné faktory jsou hledána alternativní řešení – ať už v oblasti alternativních paliv do spalovacích motorů, nebo přímo alternativních pohonů. Jedním z těchto řešení je elektrifikace vozidel.



Obr. 1: PHEV značky Mercedes-Benz; model C 350 e [6]

Elektrifikovaná, resp. elektrická vozidla (EV) se rozdělují do několika menších skupin v závislosti na druhu pohonu [5]. První z nich jsou vozidla s označením HEV; spalovací motor je zde kombinován s elektrickým pohonem, přičemž elektrická energie je generována během procesu regenerativního brždění. Druhou skupinou jsou vozidla s označením PHEV; i zde je kombinován spalovací motor a elektrický pohon, elektrickou energii lze však získat nejen

z procesu brždění, ale i z externích zdrojů (elektrické zásuvky). Poslední skupinou jsou pak vozidla označovaná jako BEV, která jsou plně elektrifikovaná; pohonem je pouze baterie, kterou lze stejně jako u vozů PHEV dobít z externích zdrojů, nebo procesem regenerativního brždění.

Tato práce se podrobněji zabývá první a druhou ze skupin vozidel – vozidly HEV a PHEV (viz Obr. 1) a jejich provozními parametry.

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je představit koncepci hybridních vozidel, a dále analyzovat a porovnat provozní parametry vybraného hybridního vozidla reálné s provozními hodnotami uváděnými výrobcem.

První část práce se bude podrobněji věnovat následujícím oblastem:

- historický vývoj
- legislativa
- konstrukce hybridních vozidel
- vliv klimatických podmínek a různých druhů provozů na vlastnosti hybridních vozidel
- srovnání elektrických pohonů s ostatními alternativami ke spalovacím motorům
- metody měření provozních parametrů

Znalost poslední z výše uvedených položek bude klíčová pro měření a analýzu provozních parametrů vozidla ve druhé - praktické části. Měření budou probíhat v podmínkách reálného provozu, provozní parametry budou sledovány v různých druzích provozu (městském, mimoměstském a dálničním). Výsledky měření a analýzy provozních parametrů vozidla budou v závěru práce porovnány s parametry uváděnými výrobcem; dále bude zhodnocena metoda WLTP, na jejímž základě jsou parametry nových vozů v současnosti uváděny, včetně přínosu hybridních vozidel.

3 METODIKA PRÁCE

Teoretická část práce bude literární rešerší – podstatou této metodiky je prostudování dostupných literárních zdrojů v elektronické, tištěné, či internetové podobě; na základě získaných informací je vytvořen souhrn nejdůležitějších faktů, které se nastíněného tématu týkají. Podrobnější popis a rozdělení do tematických celků této části práce je v kapitole 4.

Praktická část práce bude spočívat v měření provozních parametrů vybraného hybridního vozidla; měření jsou prováděna v mírných klimatických podmínkách a to opakovaně. Podmínkou měření je reálný provoz; trasa vybraná pro uskutečnění měření je rovnoměrně složena tak, aby zahrnovala 3 druhy komunikací – dálnici, silnici a místní komunikaci. Měření probíhají v Praze a blízkém okolí.

Pohyb vozu je zaznamenáván pomocí GPS jednotky umístěné na střeše vozidla; ta je dále propojená s emisním analyzátozem zaznamenávajícím okamžitou hodnotu emisí v průběhu celého měření. Pomocí diagnostického programu napojeného na palubní diagnostiku vozu jsou zaznamenávána některá další provozní data jako otáčky spalovacího motoru, okamžitá rychlost, či množství nasávaného vzduchu.

Data budou následně synchronizována; pro každou vteřinu měření budou k dispozici hodnoty jednotlivých složek emisí, ujetá dráha, okamžitá rychlost a otáčky spalovacího motoru. GPS souřadnice budou dále využity pro práci v programu Google Earth, kde lze přehledně zobrazit vybranou trasu.

Popis a vyhodnocení získaných dat bude následovat diskuze provozních parametrů vozidla v různých druzích provozů a srovnání s hodnotami udanými výrobcem na základě WLTP metody.

4 PŘEHLED ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Pojem e-mobilita je dnes hlavním heslem automobilového průmyslu. Ne vždy tomu tak ovšem bylo; k pochopení toho, proč je koncept elektrických vozů (EV) dnes tak oblíbený, nebo proč elektrifikovaná vozidla neovládla trh už daleko dříve, je dobré znát historické souvislosti.

Tato kapitola tedy bude věnována historickému vývoji (nejen HEV a PHEV), konstrukci HEV a PHEV a budou v ní představena legislativní opatření týkající se elektrovozidel. V závěru této kapitoly budou popsány způsoby měření provozních parametrů, z nichž bude vycházet praktická část práce.

4.1 Historický vývoj elektrifikovaných vozidel

Domnívat se, že vývoj prvních elektrifikovaných vozidel je otázkou zhruba 50 předchozích let, by bylo hrubým omylem. Jejich historie sahá mnohem dál, a sice do první poloviny 19. století.

Prvním, kdo sestrojil elektrický motor, který byl později využit pro pohon EV, byl Thomas Davenport. Motor sestrojil už v roce 1834, patent však získal až v roce 1837 [7], kdy jej využil právě pro pohon vozidla. Svůj vynález ještě vylepšil a použil ho v roce 1847 pro pohon vozidla určeného pro dvě osoby [5].

Motor (Obr. 2) byl založen na principu proměnného elektromagnetického pole; skládal se z elektromagnetu umístěného na rotoru a permanentního magnetu na statoru. Dnes je tento motor známý jako stejnosměrný elektromotor.



Obr. 2: Stejnosměrný elektromotor - vynález T. Davenporta [7]

Dalším zásadním okamžikem ve vývoji elektrických pohonů byl Edisonův vynález baterie s anodou ze železa a katodou z niklu (NiFe baterie) koncem 19. století. Edison čerpal inspiraci z již existujících baterií, které byly vynalézány už od počátku 19. století; svůj vynález však vylepšil v oblasti kapacity baterie – ta byla nesrovnatelně větší než kapacity dosud existujících baterií, a proto byla vhodná i k použití do EV. Baterii bylo samozřejmě možné dobíjet, což bylo další výhodou pro její využití v automobilovém průmyslu.

Zajímavostí je, že v USA v roce 1900 z prodaných 4200 vozidel tvořila EV 38 %; pouze 22 % z nich byly vozidla se spalovacím motorem a zbytek tvořila stále ještě vozidla poháněná parou [5].

V průběhu příštích 14 let však výrobci od EV postupně upouštěly a orientovali se spíše na vývoj a výrobu vozidel se spalovacími motory. Důvod byl jednoduchý; přes veškerou popularitu měla EV menší dojezdové vzdálenosti než vozidla se spalovacími motory, a byla dražší na výrobu [5]. Benzín s naftou v té době navíc byly velmi levnými palivy – jednalo se v podstatě o odpadní produkt z procesu ropné rafinace (hlavními získávanými produkty byly petrolej, mazací oleje a parafin). Příchod První světové války tento trend jenom uspil.

První světovou válku vystřídala Druhá a EV upadla téměř v zapomnění; 50. a 60. léta 20. století se nesla v duchu vzpamatování se z obou válek a snah udržet mír mezi tzv. Západem a Východem.

Jiskra naděje pro EV svítla s příchodem 70. let; ta se nesla ve znamení ropných krizí, které zasáhly především USA. První ropná krize zasáhla Spojené státy a západní Evropu roku 1973; mezi Izraelem a arabskými státy právě probíhala Jomkipurská válka, ve které USA podpořily Izrael. Válka skončila během 20 dní a odměnou za pomoc Izraeli bylo ropné embargo zahájené 17. října 1973 zeměmi OPEC. Cena ropy stoupla ze tří na dvanáct dolarů za barel [8].

Roku 1979 přišla s íránsko-iráckým konfliktem další ropná krize; prozápadní íránská vláda byla vyměněna za vládu protizápadní. Dovoz íránské ropy byl nejprve omezen, poté zastaven úplně [8].

V 70. letech se navíc akademická obec začala zajímat o dopady lidské činnosti na životní prostředí. Ukázalo se, že emise ze spalovacích motorů významně podporují vznik skleníkových plynů, které mají za důsledek globální oteplování; a nešlo jen o skleníkové plyny. Ve výfukových plynech byly najity i další látky škodlivé pro lidský organismus.

Tyto události měly zásadní vliv na další vývoj automobilů. Na jejich základě vznikají dva požadavky; jednak je potřeba snížit závislost západních zemí na dodávky ropy. Země OPEC se nacházejí v politicky nestabilních oblastech, vztahy mezi nimi a západními zeměmi jsou křehké a vždy závisí na aktuálním politickém režimu zemí. Dále vzniká potřeba vyrábět vozy, které svým provozem nebudou tolik zatěžovat lidský organismus a životní prostředí.

Na základě výše zmíněných požadavků začínají vznikat první standardy a legislativní opatření. V USA to byl už v 70. letech CAFE standard (Corporate Average Fuel Economy) [9]; jedná se o standard průměrné spotřeby paliva, který určuje, jak daleko by mělo vozidlo dojet na 1 galon paliva; standard je rozdělen dle různých typů vozidel - osobní vozy, lehké nákladní automobily a střední a těžké nákladní automobily [10].

V roce 1974 začíná společnost Sebring-Vanguard sériově vyrábět osobní automobil nesoucí jméno CitiCar (Obr. 3) [9]; jedná se o první masově vyráběný elektrický vůz. Do roku 1977 bylo prodáno přes 2 000 kusů těchto vozidel [11]; jejich produkce byla v témže roce zastavena a firma zkrachovala. Přestože CitiCar byl pro běžné uživatele cenově dostupný, měl jednu velkou nevýhodu – jeho nejvyšší rychlost dosahovala kolem 64 km/h [11] a dojezdová vzdálenost činila zhruba 80 – 96 km [3]. Vůz byl zároveň hlučný a špatně ovladatelný; a tak ve chvíli, kdy cena ropy opět klesla na únosnou hranici a byla opět dostupná, přestal být o CitiCar zájem. Podobně na tom byl vůz s názvem Elcar od italské automobilky Zagato [3].

Do vývoje EV začínají v 70. a 80. letech investovat i další automobilky a koncerny – General Motors, Renault, Peugeot, nebo Audi.

Přestože se o lidské činnosti na životní prostředí v průběhu 70. a 80. let neustále mluví, z pohledu legislativních opatření se nic podstatného neděje. Zájem o EV v 80. letech opět upadá.



Obr. 3: CitiCar [3]

Zlom přichází s počátkem 90. let – konkrétně s rokem 1992 a Rámcovou úmluvou OSN o změně klimatu (UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change). Jedná se o dokument, jehož ratifikací státy OSN uznávají, že na tvorbu skleníkových plynů a tedy efekt globálního oteplování má mimo jiné vliv i lidská činnost. Tyto státy se zároveň zavazují, že přispějí ke zmírnění tvorby skleníkových plynů legislativními opatřeními, standardy a regulacemi [12].

Svémi legislativními dokumenty přispěly i USA – v roce 1990 (Clear Air Act Amendment) a 1992 (Energy Policy Act).

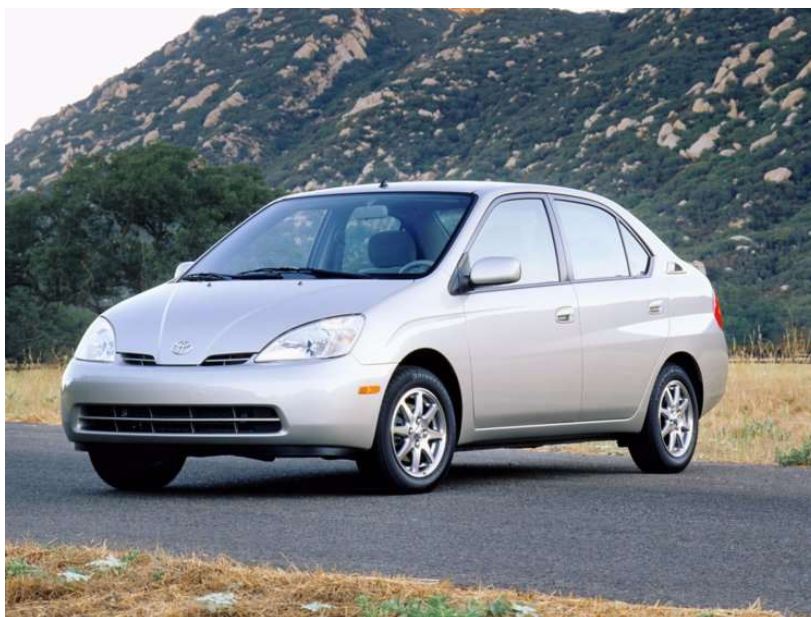
Tlak na snížení emisí znamenal pro EV renesanci; v roce 1996 se na trhu objevil EV1 od General Motors. Dojezdová vzdálenost EV1 byla kolem 160 km a vůz se stal mezi zákazníky brzy populární. Kuriozitou bylo, že se vůz nedal koupit, ale pouze pronajmout; takto se pronajalo přes 1 000 kusů. Nicméně zisky z pronájmu tohoto modelu nebyly nijak závratné a General Motors výrobu brzy ukončily. Po vypršení nájemních smluv byly vozy zničeny; zachováno bylo pouze 40 vozů, které byly darovány muzeím [3].

Čistě elektrická vozidla byla stále limitována svým dojezdem a dlouhým dobíjením, což mělo významný vliv na zájem o EV.

V roce 1997 však přišla Toyota s modelem Prius (Obr. 4); jednalo se o první masově vyráběný hybridní automobil – kombinaci elektro pohonu a spalovacího motoru, která vyřešila zmíněný problém.

O 2 roky později přišla Honda s podobným konceptem – model Insight se spolu s Toyotou Prius zasloužily o masové rozšíření EV po celém světě [9].

V průběhu prvního desetiletí nového milénia se na trhu objevují další hybridy – např. Escape SUV (Ford), Sierra a Silverado (General Motors), a další [9].



Obr. 4: Toyota Prius [3]

V roce 2008 přichází na trh i Tesla se svým modelem Roadster (BEV); dojezdová vzdálenost cca 380 km je dosud nevídaná, stejně jako cena – 100 000 dolarů za kus (cca 1,7 milionu Kč při průměrném kurzu 17 Kč/Dolar v roce 2008 [13]). Následuje Model S (2012) s dojezdovou vzdáleností kolem 420 km [3].

Ačkoliv Tesla v současnosti na poli EV dominuje, objevují se na trhu i jiné perspektivní modely jejích konkurentů; konceptu EV podlehla, zdá se, většina existujících automobilek.

Vozidla HEV a PHEV by měla být v budoucnu zřejmě zcela nahrazena BEV. V současné chvíli však BEV stále ještě naráží na poměrně zásadní problémy týkající se dobíjení – je to dlouhá doba dobíjení a řídká síť dobíjecích míst (v porovnání s běžnými čerpacími stanicemi). V tomto ohledu mají hybridní vozidla stále navrch a je zřejmé, že přerod ze spalovacích motorů na čistě elektrické bude ještě nějakou dobu trvat.

4.2 Koncepte hybridních vozidel

Tato kapitola se věnuje koncepci hybridních vozů jednak z pohledu stupně hybridizace vozidel, a dále z pohledu uspořádání pohonů. Znalost koncepce hybridních vozidel je nezbytná pro identifikaci výhod PHEV a HEV ve srovnání s vozidly s konvenčním pohonem.

4.2.1 Stupně hybridizace

Role elektrického pohonu se v různých hybridních vozidlech může lišit – obecně rozeznáváme 3 stupně hybridizace dle funkce elektrického pohonu [9]:

- Micro-hybrid
- Mild-hybrid
- Full-hybrid

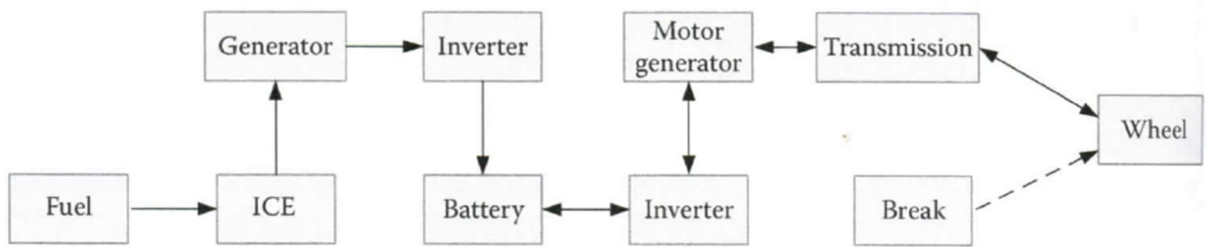
První z této skupiny (Micro-hybrid) označuje EV, u kterých má elektrický pohon poměrně malou roli. Slouží především k zabezpečení systému start/stop a funkci regenerativního brzdění [9]. Příklady vozů s nižším stupněm hybridizace jsou Range Rover Velar, Škoda Kodiaq, nebo BMW 530d [14].

Funkce Mild-hybridů jsou rozšířené o přídavný točivý moment; elektrický pohon u tohoto stupně hybridizace poskytuje energii získanou regenerativním brzděním zpět k pohonu vozidla v podobě přídavného točivého momentu, který se přičítá k momentu vytvořenému spalovacím motorem. Touto formou je schopen elektrický pohon poskytnout až 10 % celkové energie [9]. Příklady vozů s tímto stupněm hybridizace jsou VW Golf 1.5 TSI MHEV, Audi A8 3.0 TFSI, nebo Mercedes-Benz CLS 450 [14].

Full-hybrid je nejvyšším stupněm hybridizace; ve formě přídavného točivého momentu je schopen poskytnout až 40 % celkové energie [9]. V této kategorii dlouhodobě kralovala Toyota s modelem Prius; příklady jiných vozů tohoto stupně jsou také Kia Niro, nebo Lexus IS 300h [14].

4.2.2 Sériové uspořádání

Sériové uspořádání pohonu je zobrazeno na Obr. 5.



Obr. 5: Schéma sériového uspořádání [5]

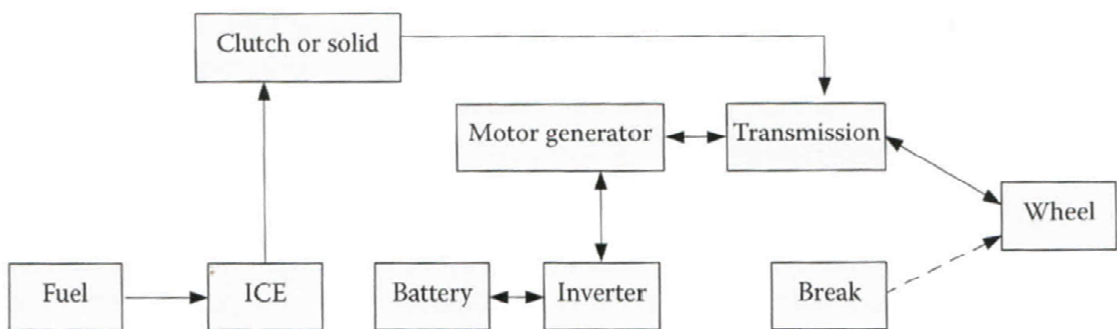
Ze schématu je zřejmé, že spalovací motor slouží k pohonu kol nepřímou; nejprve dobíjí elektrický motor; ten pak následně pohání kola [5].

Nevýhodou tohoto uspořádání je velikost elektrického motoru – ten musí zajistit vždy celkovou hnací sílu, což se projevuje na jeho větších rozměrech [9]. Zároveň díky vícenásobným přeměnám mechanické energie na elektrickou a zpět dochází k větším ztrátám energie (než u uspořádání paralelního). Tyto ztráty se ovšem dají pokrýt energií získanou regenerativním brzděním, což dělá toto uspořádání vhodným pro městský provoz [9].

Výhodou sériového uspořádání ve srovnání s paralelním je jednoduchost převodového systému.

4.2.3 Paralelní uspořádání

Paralelní uspořádání pohonu je zobrazeno na Obr. 6.



Obr. 6: Schéma paralelního uspořádání [5]

V tomto případě je ze schématu dobře patrné, že na pohonu kol se přímo podílí jak spalovací, tak elektrický motor. Paralelní uspořádání obvykle vyžaduje složitější převodové ústrojí (planetové převodovky) a jde rozdělit na další dva druhy podle počtu hřídelů.

Paralelní uspořádání s jedním hřídelem – elektrický i spalovací motor jsou vyvedeny na stejnou hřídel, kde je zároveň převodovka [9].

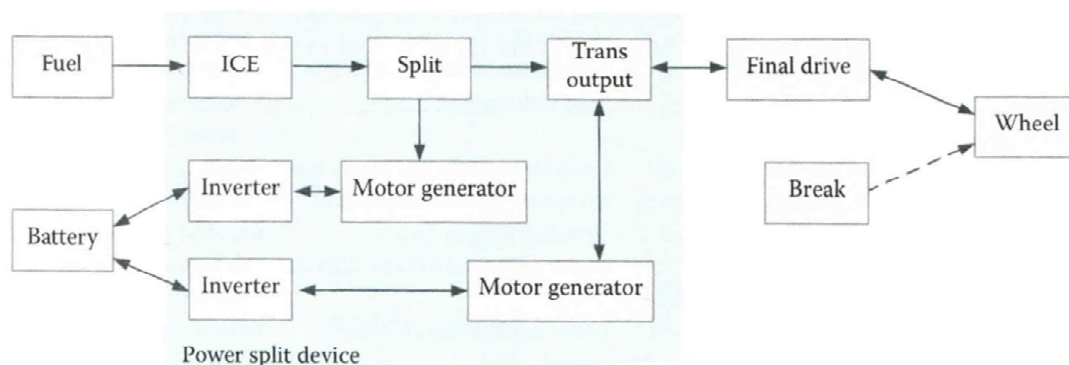
U dvouhřídelového uspořádání má každý motor vývod na vlastní hřídel; na každém hřídeli je převodovka [9].

Nevýhodou tohoto uspořádání je složitost převodového ústrojí. Naopak výhodou v porovnání se sériovým uspořádáním je možnost zmenšení elektrického motoru, který slouží spíše jako podpora k spalovacímu podporu. V porovnání se sériovým uspořádáním rovněž nedochází ke ztrátám v důsledku vícerych přeměn energie.

Jak u sériového, tak u paralelního uspořádání platí, že vůz může být poháněn buď oba motory najednou, nebo každým zvlášť; elektrický motor může být dobíjen jak regenerativním brzděním, tak spalovacím motorem.

4.2.4 Kombinované uspořádání

Kombinované uspořádání je zobrazeno na Obr. 7.



Obr. 7: Schéma kombinovaného uspořádání [5]

Jedná se o kombinaci sériového a paralelního uspořádání; oproti sériovému může spalovací motor pohánět kola samostatně. V porovnání s paralelním je uspořádání bohatší o další elektrický motor, který primárně funguje jako generátor. Toto uspořádání tak čerpá výhody z obou přechozích druhů uspořádání a zajišťuje vyšší synergii mezi spalovacím a elektrickým motorem.

Spojení spalovacího motoru, elektrického motoru a generátoru je provedeno přes planetovou převodovku; hřídel spalovacího motoru je napojen na unašeč, hřídel elektromotoru je napojen na korunové kolo a hřídel generátoru na centrální kolo [5].

4.2.5 Hybridní vs. konvenční vozidla

Ať už je stupeň hybridizace, nebo způsob uspořádání pohonu u hybridních vozidel jakýkoliv, obecně lze uvést několik výhod hybridních vozidel ve srovnání s koncepčními vozy.

Hlavní výhody hybridů pramení především ze schopnosti elektrického motoru zastat alespoň v určitých oblastech motor spalovací. Důsledkem této schopnosti je snížení spotřeby paliva pro spalovací motor, a tedy finančních prostředků na něj vydané; snížením spotřeby paliva rovněž dojde ke snížení emisí škodlivých látek.

Spalovací motor nemusí být v chodu po celou dobu jízdy vozidla; dá se tedy říct, že spalovací motory hybridních vozidel mají tímto způsobem prodlouženou životnost. Prodlouženou životnost má i brzdový systém, díky funkci regenerativního brždění. Jsou-li tedy sledovány emise daného vozidla z globálního pohledu (tzn. emise vyprodukované za celý životní cyklus vozidla – tedy nejen při provozu vozidla, ale i jeho výrobou, likvidací, atd.), dochází k jejich dalšímu snížení.

Poslední neméně významnou výhodou je snížení hlučnosti vozů – ta má, stejně jako emise škodlivých látek, negativní dopady na lidský organismus a životní prostředí.

4.3 Legislativa

Odlišnost vlastností hybridních vozidel od těch konvenčních samozřejmě vyvolává potřebu tvorby nové, nebo zásahu do stávající legislativy. Většina legislativních opatření, týkajících se hybridních vozidel, byla vytvořena proto, aby došlo ke snížení emisí skleníkových plynů pocházejících z automobilové dopravy. Tato kapitola se tedy bude věnovat legislativě v zemích (a sdružení zemí – v případě EU), které patří v oblasti dopravy mezi největší znečišťovatele. Bude rozdělena na dvě části – v první části bude rozebrána legislativa USA a EU¹; druhá část této kapitoly se bude věnovat legislativě velkých rozvojových zemí – Číny a Indie.

4.3.1 USA a EU

Legislativní opatření v USA a Evropě jsou pro hybridní a konvenční vozidla víceméně společná. Pojem hybridních vozidel je v legislativě definován, ale pravidla provozu vozidel na pozemních komunikacích, emisní normy, a další předpisy platí stejně pro oba případy.

Pomineme-li předpisy, jsou hybridní vozidla ve většině případů zvýhodňována.

¹ Pod EU bude v kapitole zahrnuta i Velká Británie, která v současné době z uskupení vystupuje.

V USA byl v roce 2009 schválen ARRA (American Recovery and Reinvestment Act), z kterého, mimo jiné, plyne daňové zvýhodnění v případě koupě elektricky poháněných vozidel. Zpřísněny byly i CAFE standardy, které snižují průměrnou spotřebu paliva (respektive zvyšují počet mil ujetých na galon paliva); pro modely od roku 2012 o 16 % vůči standardům pro modely do roku 2011, pro modely od roku 2016 dokonce o 33 % vůči stejným standardům [15].

Dále 47 z 50 států USA podporuje alespoň nějakým vlastním legislativním opatřením provoz HEV a PHEV; z toho 40 států poskytuje daňové úlevy za koupi HEV/PHEV.

Některé státy poskytují zvýhodněná, nebo bezplatná parkovací oprávnění (např. Arizona, Kalifornie, Florida, atd.); další například finanční benefity za nízké emise (Aljaška, Nevada, Oregon, atd.) [15].

Za zmínku rozhodně stojí i regulace a zákony týkající se zvuku, které by EV měla vydávat.

V USA jsou to především 2 dokumenty a sice „*The Pedestrian Safety Enhancement Act*“ a návrh NHTSA pro posouzení životního prostředí „*Minimum Sound Requirements for Hybrid and Electric Vehicles*“.

První z dokumentů je zákon zaměřený na zvýšení bezpečnosti chodců. Tento zákon z roku 2010 vyžaduje, aby hybridní, případně elektrické vozy vydávaly v nižších rychlostech varovný zvuk, dle kterého by vozidlo mohli chodci identifikovat [16].

Druhý z dokumentů se přímo věnuje požadavkům na tento zvuk. Návrh byl podán v roce 2013 na základě studii NHTSA z roku 2010, která poukazovala na vyšší počet nehod v podobě střetu chodce s vozidlem u hybridních a elektrických vozidel, než u vozidel se spalovacím motorem [17]. Nařízení NHTSA týkající se varovného zvuku by mělo definitivně vstoupit v platnost roku 2020; už k září 2019 bude muset být vybaveno alespoň 50 % flotily elektrických a hybridních vozidel jednotlivých automobilek zařízením, které tento zvuk vydává [18].

Co se týká států EU – ty k podpoře hybridních, potažmo plně elektrických vozidel nepřistupují jednotně. Zřejmě nejvíce výhod a slev, co se týče hybridních vozidel, mají Velká Británie, Francie a Itálie. Opačnými případy jsou např. Estonsko, Lotyšsko a Chorvatsko, které koupi, či provoz hybridních vozidel legislativně nepodporují (Obr. 8).

Velká Británie se soustředí především na snížení emisí CO₂, jejichž původcem je silniční doprava. Od začátku roku 2011 běží program Plug-in Grant, který finančně zvýhodňuje nákup všech vozidel, jejichž emise nečiní více, než 75g CO₂ na km; týká se tedy nejen EV, ale např. i vozidel poháněných vodíkem. Peněžní grant se vyplácí ve výši 25 % z ceny vozu, nepřesáhne-li tato částka 5 000 liber. Majitelé vozidel, která produkují méně, než 100 g CO₂ na

km, jsou rovněž zbaveni povinnosti platit silniční daň. Daňově zvýhodnění EV se promítá i do oblasti podnikání [15].

Mimo daňových úlev, které v zemi platí obecně, existuje i lokální zvýhodňování; například v Londýně jsou EV zbaveny povinnosti platit tzv. „*London congestion charge*“ – tedy poplatek za průjezd Londýnem (doslovně za přetížení Londýna). Lokálně jsou EV zbavována povinnosti platit poplatky za parkování, nebo jsou jim účtovány nižší sazby [15].

Francie šla v oblasti daňových úlev ještě dál. Pro vozidla prodaná od roku 2008 platí plán, který daňově zvýhodňuje vozidla s nízkými emisemi CO₂, a naopak penalizuje vozidla, která produkují tyto emise vysoké. Ve výsledku se tedy alespoň část peněz ztracených daňovými úlevami pro vozidla s nízkými emisemi, vrátí v podobě těchto zvláštních poplatků (penalt).

Na firemní vozy se ve Francii dále vztahuje progresivní daň; jsou to 2 eura za gram CO₂ na km pro vozidla vykazující emise 100 g/km a menší, a až 19 euro za gram CO₂ na km pro vozidla vykazující emise 250 g/km a vyšší [15].



Obr. 8: Legislativní opatření ve státech EU - zeleně označeny státy, kde je koupě a provoz hybridních vozidel nejvýhodnější; žlutě označeny státy, jejichž legislativa koupí a provoz hybridních vozidel nijak nezvýhodňuje [19]

V Itálii jsou elektrické vozy osvobozeny od silniční daně na 5 let (od chvíle koupě) a dalších 5 let mají jejich majitelé povinnost platit 25 % částky, která se běžně platí za konvenční vozidla. Kromě toho jsou ve většině italských měst EV osvobozena (úplně, nebo částečně) od placení poplatků za parkování. Některé pojišťovny navíc nabízejí pro EV levnější pojištění.

Většina ostatních zemí EU neposkytuje hybridním vozidlům mimo daňové úlevy, či granty nic navíc.

V Německu je na hybridní vozidla od července 2016 poskytován ekologický bonus pro PHEV s prodlouženou dojezdovou vzdáleností ve výši 3 000 euro [20]. Daňové úlevy jsou určeny pouze čistě elektrickým vozidlům – ta jsou na 10 let od koupě osvobozena od silničních poplatků [15].

Ve Španělsku jsou pro hybridní vozidla zavedeny pouze daňové úlevy – úlevy se vztahují k silniční dani, i k daňovým poplatkům vztahujícím se k firemním vozidlům. Nejedná se ovšem o úplné osvobození od daní [20].

V ČR jsou od silniční daně zcela osvobozena jak čistě elektrická, tak hybridní vozidla; podobně je tomu např. v Řecku, kde jsou tato vozidla osvobozena od registračního poplatku a tzv. „*luxury tax*“ tedy daně z luxusu [20].

Jednotně EU přistupuje k hybridním vozidlům pouze v oblasti zvuku – zde řeší stejný problém jako USA. Tento problém řeší evropská regulace č. 540/2014, která předepisuje výrobcům hybridních a čistě elektrických vozidel povinnost vozidla vybavovat akustickým varovným systémem. Tento systém by měl být funkční v rychlostech 0 – 20 km/h a během couvání. V případě hybridních vozidel musí být za stejných podmínek v provozu pouze ve chvíli, kdy v provozu není spalovací motor. Zvukový efekt by měl být souvislý (nepřerušovaný), podobný zvuku spalovacího motoru; zároveň by hlasitost tohoto zvuku neměla přesáhnout hlasitost spalovacího motoru vozidla stejné kategorie, spuštěného za stejných podmínek [21].

4.3.2 Čína a Indie

Čína a Indie jsou s v současnosti nejlidnatějšími zeměmi světa. Populace obou zemí dohromady se blíží číslu 2,8 miliardy lidí (1,415 miliard v Číně; 1,354 miliard v Indii – data k září 2018 [1]). Obě země jsou řazeny mezi země rozvojové, a jak již bylo v úvodu uvedeno, čeká se u obou zemí velký růst HDP. Tato skutečnost se mimo jiné promítne i do oblasti automobilového průmyslu – v příštích letech se očekává rychlý růst počtu uživatelů automobilů, z nichž většina bude právě z těchto zemí. Tato část kapitoly věnující se legislativě hybridních vozů proto bude zaměřena právě na tyto rychle rostoucí a vyvíjející se země.

Čína je zvláštním případem rozvojové země, která je vysoce industrializovaná, a život ve velkých městech silně připomíná život ve vyspělých zemích. Na druhou stranu zde existuje vysoký počet obyvatel, kteří žijí na, nebo pod hranicí chudoby; to je důvodem, proč se Čína mezi rozvojové země stále řadí [22].

Pokud jde o legislativní opatření týkající se hybridních vozidel, tak Čína za vyspělými zeměmi nezaostává. Kupující EV zde byli zbaveni povinnosti platit daň při koupi vozidla v letech 2014 – 2017; tato výlučka byla vládou prodloužena až do roku 2020 [23]. Do roku 2020 zároveň platí dotační program běžící s obměnami od roku 2010; nejnovější podoba programu platí od roku 2016, kdy byla na každý PHEV přidělena dotace ve výši 30 000 čínských Juanů, tedy necelých 104 000 Kč (při průměrném kurzu 3,458 korun za juan z roku 2017 [13]) [23].

Ministerstvo průmyslu a informačních technologií v září roku 2017 zformulovalo nové požadavky na prodej EV, respektive nastavilo novou politiku. Automobilky budou za prodeje vozů v Číně získávat kredity; z celkového počtu získaných kreditů musí pro rok 2019 alespoň 10 % z nich pocházet z prodeje EV, v roce 2020 to má být 12 % kreditů [24]. Počet kreditů za prodaný EV se bude odvíjet od dojezdové vzdálenosti vozidla, energetické účinnosti, jmenovitého výkonu systému palivových článků, a dalších definovaných parametrů [23], [24]. Lépe hodnocené budou také vozy BEV, než HEV, nebo PHEV [24].

Systému je přezdíváno „*dual-credit policy*“ tedy politika dvojího kreditu, neboť v současné době zároveň běží program získávání kreditů v závislosti na průměrné spotřebě paliva vozidel; těmito kredity bude zároveň možno doplnit kredity chybějící z prodeje EV [24].

V případě, že některá z automobilek nedosáhne požadovaného množství kreditů z prodeje EV, bude si moci kredity odkoupit od některé z automobilek, které hranice dosáhly, respektive ji překonaly [24].

Mimo předchozích úlev a nařízení mohou v Číně majitelé EV čerpat i jiné výhody. Na EV se totiž vztahuje povolení užívání jízdního pruhu pro plně obsazené vozy bez omezení, a také rychlejší výdej registrační značky a nižší poplatky za její výdej [23].

V Indii běží od roku 2015 program FAME (Faster Adoption and Manufacturing of Electric Vehicles) podporující osobní HEV, PHEV a BEV vozidla, vozidla dvoukolá a tříkolá. Podpora je koncipována ve formě dotací, které jsou vypláceny výrobcům vozů. Pro program bylo vyhrazeno 55 miliard indických rupií, tedy zhruba 19,7 miliard Kč (při průměrném kurzu 0,35882 Kč za Indickou rupii v roce 2017) [25].

Na program FAME by měl navázat roku 2020 program FAME II, který zahrnuje širší oblast vozidel – kromě osobních, dvou- a tříkolých budou dotovány nákladní vozidla a autobusy [26]. S tímto programem budou finanční podpora navýšena na 87,3 miliard indických rupií, tedy zhruba 31,3 miliard korun (při průměrném kurzu 0,35882 Kč za Indickou rupii v roce 2017) [25].

Indická vláda rovněž schválila zavedení tzv. zelených registračních značek, na základě nichž bude možno parkovat zdarma ve zpoplatněných zónách a vjezd do zón kongescí [26].

4.4 Provozní parametry PHEV vozidel

Tato kapitola bude věnována třem oblastem. V první z nich bude probrán vliv různých druhů provozu na spotřebu a emisní parametry vozidel PHEV a bude následována kapitolou, kde bude věnována pozornost vlivu vnějších podmínek (venkovní teploty) na tyto parametry. Obě kapitoly budou srovnávat výše jmenované parametry s parametry vozidel s konvenčními pohony.

Další část se pak bude věnovat způsobům měření provozních parametrů – důraz bude kladen na způsob zvolený pro měření v praktické části této práce.

4.4.1 Vliv různých druhů provozů a jízdních stylů na provozní parametry PHEV

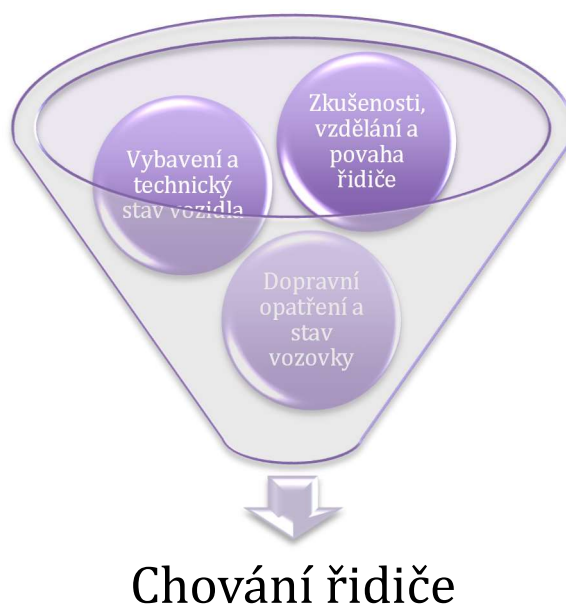
Název kapitoly napovídá, že se kapitola bude zabývat pouze PHEV vozidly. Kromě provozu a jízdního stylu vycházejícího z vlastností řidiče vozidla, má však na provozní parametry hybridních vozidel významný vliv také tzv. SOC – stav nabití baterie. V závislosti na SOC je totiž spouštěn elektropohon; jízdní data v důsledku stavu nabití baterie potom vykazují jistou nahodilost a nespojitost.

Proto je tato kapitola zároveň věnována srovnání mezi vozy s konvenčními pohony a hybridními vozy.

Z provozních parametrů bude tato kapitola (jak bylo výše uvedeno) zaměřena především na spotřebu a emise; respektive na vliv různých druhů provozů a jízdních stylů na tyto parametry.

Roli ve vlivu na zmíněné parametry samozřejmě má nejen druh provozu, ale i jízdní styl závisející především na chování řidiče, které vychází z aktuálního stavu vnějších (stav technických prostředků) a vnitřních (vzdělání a charakter řidiče, atd.) podmínek [27] – tuto situaci lépe vystihuje Obr. 9.

Všechny faktory, které mají vliv na chování řidiče, se vzájemně prolínají [27]. Jízdní styl obvykle řidič přizpůsobí svým zkušenostem, vzdělání, či temperamentu; řidič zároveň vychází z technického stavu vozidla (např. větší rozestupy a méně dravá jízda, pokud vozidlo hůře brzdí) a ze stavu vozovky (nezpevněné krajnice, výmoly, mokrá vozovka).



Obr. 9: Graf faktorů ovlivňující chování řidiče [54]

Ačkoliv je chování řidičů individuální, v praxi je omezeno dalším faktorem – druhem provozu. Svoji jízdu musí více či méně přizpůsobit prostředí, ve kterém se pohybuje; tato prostředí lze pro zjednodušení rozdělit na provoz městský, mimoměstský a dálniční.

Každý z těchto provozů se vyznačuje svými specifiky.

4.4.1.1 Dálniční provoz

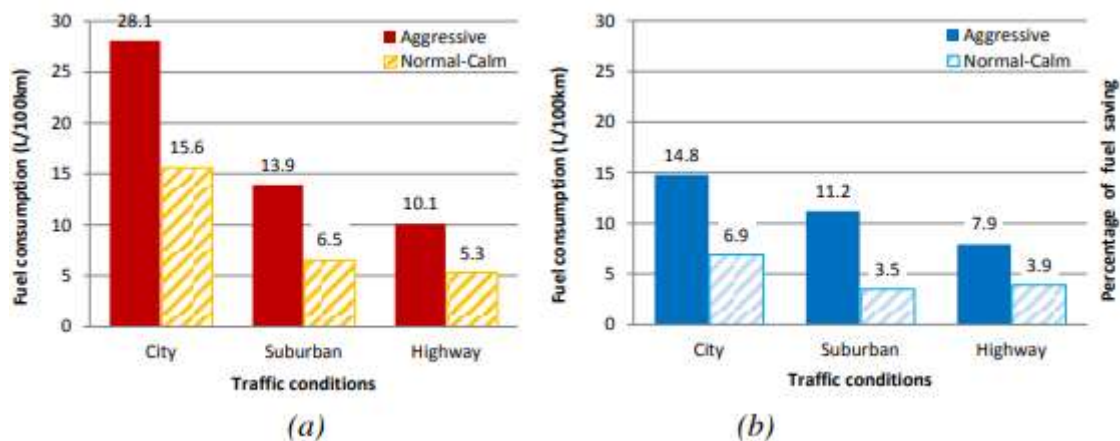
Dálniční provoz se obvykle vyznačuje poměrně stabilní a rovnoměrnou jízdou (rychlost a otáčky motoru prudce nekolísají, obvykle se pohybují v úzkém, konstantním rozsahu hodnot). Na dynamiku jízdy zde může mít jistý vliv místní omezení rychlosti (např. při průjezdu tunely), nejedná se však o zásadní změny v dynamice jízdy.

S dálničním provozem se obvykle počítá od průměrných rychlostí nad 80 km/h [27], [28].

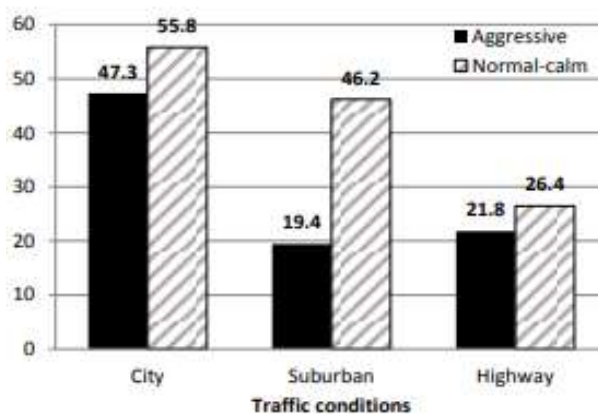
Co se týká vozidel s konvenčním pohonem, lze k dálničnímu provozu obecně říci, že největší vliv na spotřebu a tedy i emise vozu mají rychlost jízdy (respektive otáčky motoru) a váha vozidla (dána vlastní konstrukcí, počtem a váhou osob a zavazadel ve vozidle).

Pokud jde o PHEV vozidla, hodnoty spotřeby paliva a emisí jsou sice ve srovnání s hodnotami konvenčních pohonů nižší, nicméně nejedná se o dramatický pokles – PHEV vykazují zhruba 20 % pokles těchto hodnot vůči vozům s konvenčním pohonem (viz Obr. 10 a 10, Tabulka 1) [28], [29].

I u PHEV záleží na rychlosti jízdy (otáčkách motoru) a váze vozidla; v režimu dálničního provozu k vypínání motoru prakticky nedochází [28].



Obr. 10: Spotřeba paliva v městském (Urban), mimoměstském (Suburban) a dálničním (Highway) provozu; (a) – vozidel s konvenčním pohonem, (b) – vozidel PHEV.



Obr. 11: Úspora spotřeby paliva při použití PHEV vozidla ve srovnání s vozidlem s konvenčním pohonem; v městském (Urban), mimoměstském (Suburban) a dálničním (Highway) provozu [28].

Typ vozu	Spotřeba v [%] při rychlosti vozu		
	17 km/h	60 km/h	95 km/h
Zážehový, EURO 4 (1400 - 2000 cm ³)	100	100	100
Zážehový, EURO 3 (1400 - 2000 cm ³)	102	95	96
Vznětový, EURO 3 (1400 - 2000 cm ³)	78	82	82
Toyota Prius II	38	58	82
Honda Civic IMA	62	60	78

Tabulka 1: Normalizovaná spotřeba vozidel s konvenčními pohony a vybraných PHEV vozidel při různých rychlostech odpovídajících městskému, mimoměstskému a dálničnímu provozu [29].

4.4.1.2 Mimoměstský provoz

Provoz mimoměstský se vyznačuje mírně dynamičtějším stylem jízdy, může docházet i k úplnému zastavení vozidla. Průměrná rychlost v tomto druhu provozu by se měla pohybovat kolem 60 km/h [28], [29], [30].

Nelze obecně říci, zda tento druh provozu vykazuje nižší, či vyšší hodnoty spotřeby paliva a emisí, než u dálničního provozu; v obou případech silně záleží na stylu jízdy řidiče (klidný, agresivní). Na obecné úrovni je ale možné tvrdit, že v případě klidného jízdního stylu vykazuje mimoměstský provoz nižší, nebo přibližně srovnatelné hodnoty obou parametrů jako provoz dálniční [28], [29], [30].

PHEV vozidla v tomto ohledu vykazují mírně vyšší úsporu v oblasti spotřeby paliva, a snížení emisí, ve srovnání s vozy s konvenčním pohonem, než tomu je u dálničního provozu. I zde ovšem významně záleží na jízdním stylu řidiče, pročež nelze přesněji určit obecnou hodnotu [28], [29], [30].

4.4.1.3 Městský provoz

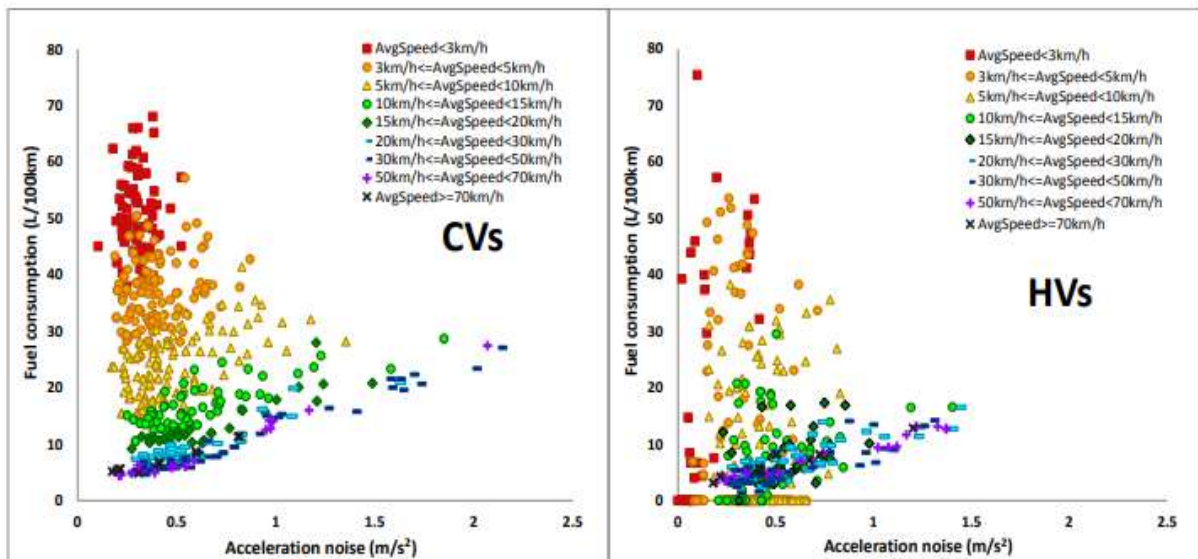
Zde je jízdni styl řidiče nejvíce ovlivněn okolím – jednak dopravními opatřeními vytvořenými, či umístěnými za účelem zvýšení bezpečnosti, nebo usměrnění provozu (zóny s omezením rychlosti, zpomalovací prahy, okružní křižovatky, světelná signalizační zařízení, atd.), jednak kvantitou a kvalitou ostatních řidičů využívajících pozemní komunikaci (kongesce) [27]. Tyto skutečnosti se projevují velmi proměnlivou dynamikou jízdy [27], [28], [30].

Záleží ovšem na způsobu, jakým jsou dopravní opatření aplikována – k plynulejšímu průběhu dynamiky jízdy vozidel přispívají synchronizované fáze po sobě jdoucích světelných signalizačních zařízení, zpomalovací prahy umístěné v zónách s rychlostí omezenou na 30 km/h, vhodně umístěné okružní křižovatky, atd. [27].

Jedná se o provoz, kde se rychlost vozidla může pohybovat v rozmezí 0 – 50 km/h, přičemž hodnota průměrné rychlosti závisí na aktuální intenzitě dopravy; v dopravních špičkách to bývá hodnota okolo 5 – 10 km/h [28], [29], [30].

Jedná se zřejmě o nejproblémovější druh provozu co do spotřeby a emisí vozu s konvenčním pohonem a zřejmě nejsilněji se zde projevuje rozdíl mezi těmito vozidly a PHEV vozidly.

PHEV vozidla jsou pro městský provoz jako stvořená; nejvíce se zde uplatní schopnost rekuperace energie. Vozidlo místy automaticky přepíná pouze na elektropohon, což vytváří jistou zmíněnou nahodilost v charakteristice spotřeby paliva oproti vozům s konvenčním pohonem (viz Obr. 12).



Obr. 12: Charakteristika spotřeby paliva; vlevo pro vozidla s konvenčním pohonem (CVs), vpravo pro vozidla hybridní (HVs). Svislá osa představuje spotřebu paliva, vodorovná osa představuje zrychlení. „AvgSpeed“ je označení pro průměrnou rychlost. [28]

Provoz elektromotoru je, jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly, závislý na stavu nabití baterie (SOC); ten v městském provozu obvykle kolísá kolem hranice 50 % nabití, přičemž při poklesu SOC pod úroveň 39 % dochází k aktivaci spalovacího motoru, který generuje energii. V případě, že úroveň nabití překročí 51 %, motor je vypnut [28].

PHEV vozidla vykazují v porovnání s vozidly s konvenčním motorem nejvyšší úsporu paliva, a to zhruba o 40 - 60% (viz Obr. 11, Tabulka 1).

4.4.2 Vliv klimatických podmínek na provozní parametry PHEV

Existuje řada studií, zabývající se vlivem klimatických podmínek na provozní parametry hybridních vozidel, které prokázaly, že jejich vliv není zanedbatelný. Měření v praktické části této práce bude probíhat v ČR, tedy v mírném klimatickém pásu; proto je velmi pravděpodobné, že se vnější teplota během měření bude pohybovat v intervalu hodnot, které na provoz hybridních vozidel vliv nemají. Přesto je vhodné se tomuto tématu věnovat, neboť se v ČR především v průběhu posledních let setkáváme v letních obdobích s tropickými teplotami, které vydrží až několik týdnů. Naopak v zimních obdobích musí automobily čelit mrazům; jedná se tedy o zanedbatelný faktor, kterému se tato kapitola bude krátce věnovat.

Klimatické podmínky mají vliv jak na spalovací motor, tak na baterii.

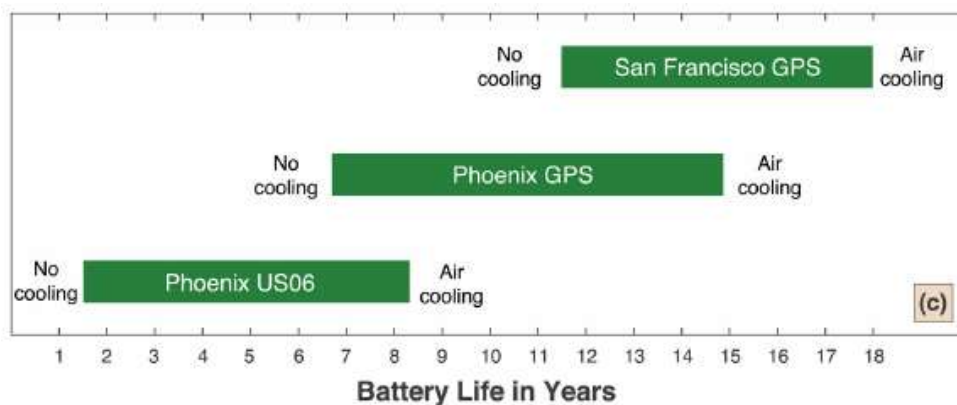
U spalovacího motoru jde především o dosažení provozní teploty motoru – v letním období snadnější, než v zimním – a schopnost chladicího systému tuto teplotu udržet – v letním období obtížnější než v zimním.

Mnohem zásadnější vliv mají klimatické podmínky na baterii; u PHEV vozidel obvykle Li-ion (Lithium-iontové).

Vnější teploty mají vliv především na ztrátu výkonu a kapacity baterie – tedy její stárnutí. Ideální chování vykazuje baterie při teplotách odpovídajících mírnému klimatu, pohybujících se v rozmezí zhruba mezi 0 - 25 °C. Zhoršené vlastnosti jsou pak vykazovány v rozsahu mimo tento interval teplot [31], [32].

V teplých klimatických podmínkách dochází ke ztrátě kapacity baterie (a tedy stárnutí) rychleji, než v mírných podmínkách, a to především díky přetěžování baterie nadměrným využíváním klimatizace [31]. Vliv mírných a teplých klimatických podmínek na stárnutí baterie je lépe zřetelný z Obr. 13; ten vychází ze studie [31], jejíž podstatou bylo vytvořit reálný model životnosti baterie na základě údajů z GPS souřadnic (tras) PHEV vozů, která jsou na trhu běžně dostupná. Dalším předmětem zkoumání pak byl model městského režimu, kdy se vůz pohybuje výhradně v městském provozu (US06). S ohledem na roční dobu byl model vytvořen pro měsíc květen, pro dvě města odpovídající dvěma uvedeným klimatickým podmínkám - San Francisco, kde se průměrné květnové teploty pohybují v rozmezí 17 – 19 °C; a Phoenix, kde se průměrné květnové teploty pohybují v rozmezí 33 – 37 °C [33].

Z grafu je patrné, že významný vliv na životnost baterie má také chlazení. Konec životnosti baterie byl přirovnán ke stavu, kdy skutečná kapacita baterie klesne pod 80 % počáteční hodnoty.



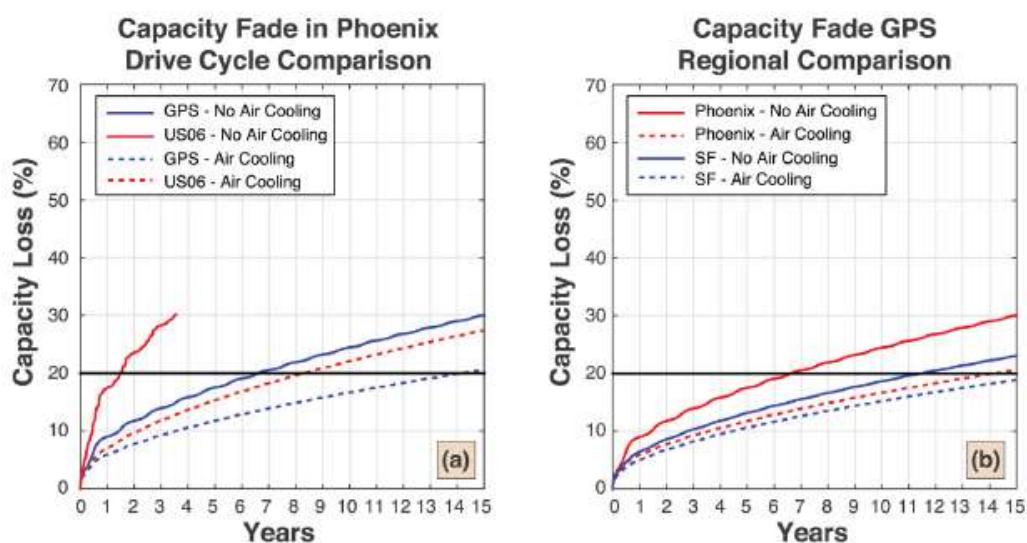
Obr. 13: Životnost Li-ion baterie pro různá města (Phoenix, San Francisco), v různých provozech (smíšený – GPS; městský – US06) bez a s využitím vzduchového chlazení baterie (Air cooling) [31].

Trochu jasněji je situace zřejmá z Obr. 14, kde je vidět výrazný rozdíl jednak mezi druhy provozu, ve kterých se vozidla pohybují, jednak mezi samotnými městy – rozdíl je výrazný především mezi křivkami, které odpovídají chování baterie bez vzduchového chlazení. V případech, kde vzduchové chlazení aplikováno bylo, je rozdíl méně markantní.

Na rozdíl od teplých klimatických podmínek, které ovlivňují především kapacitu a životnost baterie, mají studené klimatické podmínky vliv především na výkon baterie. Tato

skutečnost závisí především na chemickém složení baterie. Svou roli do určité míry hraje i elektrolyt, zásadní vliv mají ale vlastnosti elektrod Li-ion baterií za nízkých teplot. Bylo prokázáno, že za nízkých teplot dochází k u elektrod ke snižování schopnosti přenosu náboje [32].

Zároveň záleží na SOC – nabíjet vybitou baterii je obtížnější, než vybíjet dobítkou [32]. Tato vlastnost je důsledkem vlastností kationtů Lithia, jejichž schopnost difuze na uhlíkové anodě se při teplotách pod 0 °C významně snižuje. Tato snížená schopnost je navíc úměrná množství volných kationtů Lithia v elektrolytu již rozptýlených. V tomto ohledu je dobré zmínit, že u Li-ion baterií dochází při vybíjení k tvorbě Lithiové soli, a tedy k úbytku volných kationtů Lithia [32].



Obr. 14: Závislost ztráty kapacity na stáří baterie - vlevo porovnání jízd v různých druzích provozu (městský - US06, smíšený - GPS) ve městě Phoenix, vpravo porovnání různých druhů klimatických podmínek (mírné - SF, teplé - Phoenix). Ztráta kapacity baterie je rovněž závislá na případném chlazení baterie [31].

4.4.3 Náklady na provoz PHEV

Do provozních parametrů PHEV vozidel je možné započítat i provozní náklady. Ty se zprvce zcela přirozeně odvíjí od ceny paliva relevantního pro spalovací motor, kterým PHEV disponuje. Zadruhé se odvíjí od nákladů na dobíjení baterie; v tomto bodě hraje roli nejen cena elektrické energie (která je v různých denních dobách rovněž proměnná), ale také místo, kde vozidlo dobíjíme [34].

Existují 3 varianty míst, kde lze vozidlo dobíjet; v domácnosti, na veřejném místě (veřejné dobíjecí stanice), nebo na soukromém místě (dobíjení vyhrazeno pouze určitému okruhu osob; např. ve firmě) [34].

První z variant – dobíjení v domácnosti, s sebou nese náklady spojené s vybudováním jednoduchého dobíjecího místa (toto obnáší speciální kabel, či dobíjecí box), a náklady na elektrickou energii samotnou.

Nabíjet elektromobily doma jde 3 způsoby. První z nich je pomocí vlastní nabíječky příslušné k danému elektromobilu přímo ze zásuvky. Při nabíjení dochází k transformaci střídavého proudu ze zásuvky na stejnosměrný; délka nabíjení závisí na kapacitě baterie, obvykle je to ovšem v řádu několika hodin [35].

Druhým způsobem je pořízení speciálního adaptéru určeného k využití vícefázové 16 A zásuvky; ta je dostupná ve většině rodinných domů (užívá se např. pro provoz míchačky, či cirkulárky). Pořízení takového adaptéru se pohybuje v řádu stovek až tisíc korun. Rychlost dobíjení se i nadále pohybuje v řádu hodin, dobíjecí doba se však zkrátí alespoň o polovinu [35].

Poslední varianta je pořízení nástěnné stanice, neboli wallboxu (většinou zařízení o maximálním výkonu a proudu 22 kW/32 A). Jejich cena se pohybuje v řádech desetitisíců korun, s těmi nejlepšími je ale možno dobíjet až 10x rychleji, než přes klasickou zásuvku [35].

Pokud jde o nabíjení na soukromém místě, může se cena odvíjet v závislosti na okolnostech a umístění daného místa. Do ceny mohou a nemusí být započítány (částky odpovídající spotřebované elektrické energii) náklady na výstavbu daného místa, případně pronájem tohoto místa. Bude platit, že cena za nabíjení v tomto případě bude rovna, nebo větší, než cena za nabíjení v domácnosti [34].

Posledním případem je nabíjení na veřejném místě; zde je již třeba počítat se zohledněním nákladů na výstavbu nabíjecího místa, respektive jejich promítnutím do ceny. Záležet přitom bude také na tom, zda jde o místo, kde je možnost rychlého nabití, či nikoliv [34].

Pokud jde o náklady spojené s využitím elektrické energie, je dobré zmínit, že pro vlastníky EV a HEV existuje sazba D27d. Jedná se o dvoutarifovou sazbu, kdy zákazník může 8 hodin ze dne využívat elektrickou energii za výrazně levnějšího tarifu. Přesný čas, kdy tarif běží, definuje distributor. Sazba je schválena Energetickým regulačním úřadem (ERÚ) s účinností od 1. 7. 2013 [36].

Podmínkou majitele EV, nebo HEV je prokázat vlastnictví takového vozu – fakturou, technickým průkazem, nebo leasingovou smlouvou [36].

Cena nízkého tarifu se různí dle dodavatele. Za účelem odhadu ceny nízkého tarifu sazby D27d (viz Tabulka 2) byly vybrány 3 distributoři s největším počtem odběratelů (v řádech stovek tisíců) – RWE, Bohemia Energy a Centropol Energy [37].

Dodavatel	Nízký tarif (D27d)	Vysoký tarif (D27d)
RWE	1971,92 Kč/MWh	4694,97 Kč/MWh
Bohemia Energy	979,62 Kč/MWh	3207,10 Kč/MWh
Centropol Energy	1146,62 Kč/MWh	3458,10 Kč/MWh
Průměr	1366,05 Kč/MWh	3786,72 Kč/MWh

Tabulka 2: Odhad průměrného nízkého tarifu sazby D27d [38], [39], [40]

Pro účely srovnání nákladů na pohonné hmoty byl vybrán vůz Mitsubishi Outlander; tento vůz je prodáván s konvenčním i hybridním pohonem. Dostupná technická specifikace obsahuje údaje jak o průměrné spotřebě paliva, tak o průměrné spotřebě elektrické energie.

K porovnání byly vybrány přibližně srovnatelné vozy, jejichž parametry jsou rozepsány v Tabulce 3.

	Mitsubishi Outlander	Mitsubishi Outlander PHEV
Typ motoru	Vznětový	Zážehový
Typ elektromotoru	-	2 synchronní elektromotory s permanentním magnetem
Zdvihový objem motoru [cm³]	2268	2360
Maximální výkon [kW]	132	165
Pohon	4WD	4WD
Spotřeba paliva kombinovaná [l/100 km]	5,9	5,7
Spotřeba elektrické energie [kWh/100 km]	-	14,8

Tabulka 3: Parametry vozů Mitsubishi Outlander (konvenční pohon a PHEV) [41], [42]

Pokud jde o náklady na pohonné hmoty u vozu Mitsubishi Outlander s konvenčním pohonem, výpočet je následující [34]:

$$I_d = C_d * Q \quad (4.4.3.1)$$

, kde:

- I_d náklady na provozní hmoty (Kč)
- C_d náklady za jednotku provozních hmot (Kč/l)
- Q průměrná spotřeba paliva

Bude-li v rovnici zohledněna průměrná aktuální cena nafty (cena nafty platná 7. týden roku 2019) [43], budou náklady na pohonné hmoty na 100 km pro vůz s konvenčním pohonem následující:

$$I_{dK100} = 30,94 * 5,9 = 182,546 \text{ Kč}$$

Pokud jde o náklady na provoz PHEV vozu; ty se odvíjí zaprvé od ceny paliva (v tomto případě benzín), a zadruhé od ceny elektrické energie. Pro zjednodušení výpočtu nebude uvažováno dobíjení baterie v průběhu jízdy (rekuperací).

Náklady na pohonné hmoty budou při zohlednění průměrné aktuální ceně benzínu [43] (cena platná 7. týden roku 2019) na 100 km pro PHEV následující:

$$I_{dPHEV100} = 30,60 * 5,7 = 171,342 \text{ Kč}$$

Náklady na dobítí elektrické energie vycházejí z následujícího vztahu [34]:

$$I_u = T_N * E + \frac{I_{LP}}{t} \quad (4.4.3.2)$$

, kde:

- I_u náklady na dobítí baterie (Kč)
- T_N tarif platný pod dobu dobíjení baterie (Kč)
- E množství energie, které je třeba na dobítí baterie (kWh)
- I_{LP} náklady na vybudování dobíjecího místa (Kč)
- t životnost dobíjecího místa, resp. počet dobíjecích cyklů, které bude v rámci životnosti dobíjecího místa provést

V případě dobíjení v domácnosti může být zanedbána položka $\frac{I_{LP}}{t}$, neboť nabíjení je možné přímo ze sítě a není třeba speciálních úprav dobíjecího místa.

Kapacita baterie vozu Mitsubishi Outlander PHEV činí 13,8 kWh; z údajů z Tabulky 3 je zároveň patrné, že toto množství elektrické energie není dostačující na ujetí 100 km, respektive vystačí na ujetí cca 93 km [41].

Z technické specifikace vozu zároveň vyplývá, že běžné nabití baterie v domácnosti (ze stavu úplného vybití) trvá 5,5 hodiny; tento předpoklad vyhovuje podmínce využití nízkého tarifu D27d, který je možno využívat maximálně 8 hodin ze dne [41]. Náklady na dobítí baterie Mitsubishi Outlander PHEV jsou za uvažovaných okolností následující:

$$I_{uPHEV93} = \frac{1366,05}{1000} * 13,8 = 18,851 \text{ Kč}$$

Jsou-li obě hodnoty (cena pohonných hmot a nabití baterie) sečteny, jsou celkové náklady PHEVu na ujetí 193 km (v případě že nebude uvažována rekuperace) následující:

$$I_{PHEV193} = I_{uPHEV93} + I_{dPHEV100} = 190,193 \text{ Kč}$$

Náklady na ujetí stejné vzdálenosti vozem téhož typu s konvenčním pohonem jsou následující:

$$I_{K193} = I_{dK100} * 1,93 = 352,314 \text{ Kč}$$

Z výpočtů je zřejmé, že náklady na ujetí stejné vzdálenosti se u vozu PHEV a vozu s konvenčním pohonem výrazně liší.

Tyto výpočty jsou ovšem zjednodušeny a aplikovány tak, že by PHEV vůz musel jet nejprve zvlášť na spalovací motor a poté přepnout do režimu elektropohonu. Ve skutečnosti často dochází k aktivaci obou pohonů zároveň; ať už za účelem zvýšení výkonu, nebo optimalizace spotřeby paliva spalovacího motoru. Rovněž funguje rekuperace energie elektromotorem, která při výpočtech zohledněna není.

4.4.4 Měření provozních parametrů PHEV vozidel

Tato kapitola se bude věnovat rozboru metod, jež byly použity při měření v praktické části práce. Hlavními sledovanými parametry bude spotřeba, emise a chod spalovacího motoru a elektromotoru. Tyto údaje budou získány z palubního počítače, z dat naměřených emisním analyzátořem, a s pomocí automobilové diagnostiky.

Spotřeba zobrazovaná na palubním počítači se dá v současné době považovat za poměrně přesný údaj; její hodnota vychází z množství paliva, které prošlo vstřikovači (resp. z doby otevření vstřikovačů) a ujeté dráhy. Nepřesnosti v zobrazovaných datech mohou být způsobeny zaokrouhlením (spotřeba je uváděna s přesností na jedno desetinné místo), rozdílnou hustotou paliv, nebo chybným změřením ujeté dráhy [44].

Přesnější způsob změřením spotřeby paliva je pouze pomocí změřením hmotnosti emisí na dráze o známé délce [44].

Co se týká spotřeby, výrobce vozu v technických specifikacích obvykle udává průměrnou hodnotu vycházející ze standardizované metody měření. V současné době se přechází z metodiky NEDC na WLTP. Metodiky slouží nejen k zjištění spotřeby vozů, ale především ke stanovení množství emisí škodlivých látek [45], [46].

NEDC je zkratkou pro metodiku nazvanou „*Nový evropský jízdní cyklus*“. Metodika vznikla již v roce 1970 a poslední úpravou prošla v roce 1997. Její užívání je podmíněno nařízením Komise (ES) č. 692/2008; jedná se o metodiku platnou v zemích EU [46].

Měření probíhá ve dvou jízdních cyklech nazvaných ECE 15 a EUDC; městský a mimoměstský cyklus. Před začátkem měření musí být vozidlo vystaveno teplotě v rozmezí 20 – 30 °C; test je obvykle prováděn na válcové zkušebně, probíhá 1180 sekund a během testu vozidlo najede 10,966 km [45], [47].

ECE 15 zahrnuje 4 opakující se cykly simulující jízdu v městském provozu; každý z nich obsahuje 15 fází, ve kterých je zahrnut volnoběh, ustálená rychlost, zrychlení, zpomalení, atd. Tento cyklus je měřen na úseku 4,052 km a maximální přípustná rychlost je 50 km/h [45], [47].

EUCD zahrnuje jediný cyklus simulující jízdu mimo město; obsahuje 13 fází, je měřen na úseku 6,955 km a maximální přípustná rychlost činí 120 km/h [45], [47].

Tato metodika byla již delší dobu označována za nedostatečnou, a to z vícero důvodů; rozsah teplot, za kterých se měření provádí, je velmi malý, čas měření i najetá vzdálenost je nedostačující, akcelerace a decelerace probíhají velmi zvolna (neodpovídají reálným zrychlením). Další nevýhodou této metody byla možnost optimalizačních opatření např. ve formě snižování valivého odporu (přefukování pneumatik), atd. [46].

O nedostatečnostech metodiky NEDC probíhají diskuze již od přechodu na emisní normu Euro 3 (přelom 90. let a nového tisíciletí) – spotřebitelé i výrobci vozů začali vnímat rozdíly mezi spotřebou udávanou na základě laboratorních měření a spotřebou reálnou. Proto se začalo pracovat na nové metodice a přechod na ní byl plánován kolem roku 2020 [45].

V září roku 2015 se ovšem provalila aféra Dieseldgate, která přechod urychlila. Předmětem aféry se stal speciální software řídící jednotky vozů z koncernu VW, který dokázal rozpoznat jízdní režim specifický pro emisní test. Na základě této identifikace došlo u vozu k přechodu na ekologický režim, při němž provoz vozu vykazoval výrazně nižší množství emisí [48].

WLTP je metodika, na kterou se začalo přecházet v průběhu roku 2017. Od září 2019 bude povinnost pro všechny vozy prodávané na území EU projít měřením dle této metodiky. Povinnost zavedení této metodiky vychází z nařízení Komise (EU) 2017/1151, doplňující nařízení Komise (ES) č. 715/2007 [46].

U WLTP se na rozdíl od NEDC přihlíží k hmotnosti testovaných vozů; ty jsou rozděleny do tří kategorií dle poměru výkon/hmotnost. Do první z kategorií spadají vozy s výkonovou hmotností menší, nebo rovnou 22 W/kg; vozy spadající do této kategorie procházejí během měření třemi režimy – nízká, střední a vysoká zátěž. Druhá z kategorií je vymezena rozsahem 22 – 34 W/kg (včetně horní hranice); vozy této kategorie prochází čtyřmi režimy – nízká,

střední, vysoká a extra vysoká zátěž. Do poslední kategorie nad 34 W/kg spadá většina vozů prodávaných v EU, i zde vozy prochází čtyřmi režimy zatížení [45], [49].

WLTP rovněž zohledňuje HEV a EV vozidla, která jsou automaticky řazena do kategorie 3 (musí tedy projít čtyřmi režimy měření), měření probíhá v módech nabíjení i vybíjení [49].

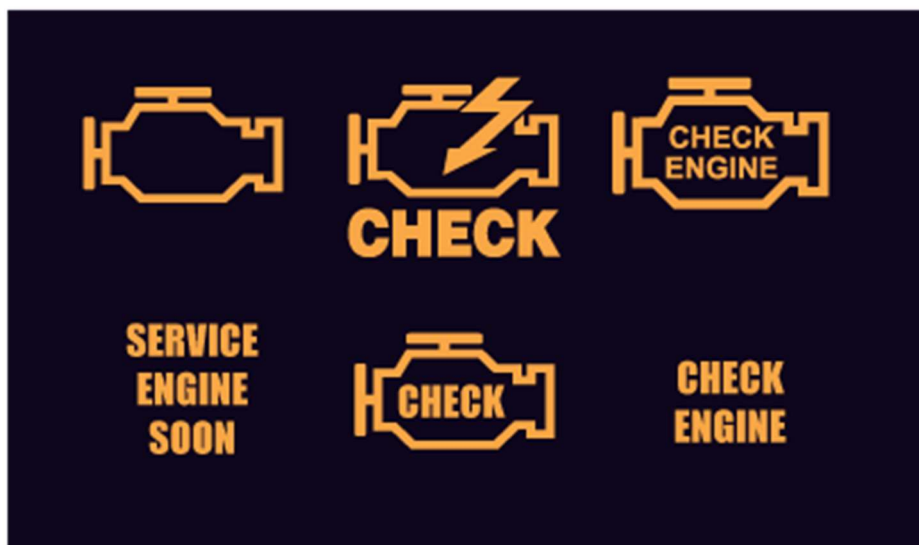
Na rozdíl od NEDC probíhá WLTP 1800 sekund, přičemž je s vozidlem najeto 23,274 km. Během měření je dosahováno maximální rychlosti 132 km/h; zatížení, akcelerace a decelerace se neustále mění. Měření rovněž probíhá na válcové zkušebně [45].

Ruku v ruce s WLTP metodikou jde také měření RDE, které probíhá za reálného provozu; měření je rozděleno na třetiny, přičemž 1/3 probíhá v městském provozu (rychlost do 60 km/h), 1/3 v mimoměstském provozu (rychlost 60 - 90 km/h) a 1/3 v dálničním provozu (rychlost 90 - 145 km/h). K akceleraci a deceleraci probíhá náhodně dle podmínek provozu. Venkovní teplota se musí pohybovat v rozmezí -7 až +35 °C, doba jízdy je 90 – 120 minut. Pro účely měření je využito zařízení PEMS, které určuje množství emisí CO, CO₂ a NO_x, a množství pevných částic [45].

Mimo spotřebu a emise budou v teoretické části sledovány i další provozní parametry – např. otáčky a chod spalovacího motoru, množství nasávaného vzduchu, atd. Tyto parametry lze zjistit pomocí EOBD [50].

EOBD je evropský standard palubního diagnostického systému OBD. Ten vznikl v 80. letech v Kalifornii za účelem kontroly elektronických jednotek vozu, které mají vliv na množství a složení emisí. Důvodem bylo rychle rostoucí množství motorových vozidel v provozu a tím způsobené vyšší znečištění ovzduší [50].

Závadu v systému indikuje kontrolka MIL, jejíž symbol má obvykle podobu motoru (viz Obr. 15) [50].



Obr. 15: Různé podoby kontrolky MIL [51]

EOBD monitoruje díly mající vliv na emise, chod a otáčky motoru, lambda sondy, katalyzátory, palivový systém, recirkulaci spalin, vhnání přídavného vzduchu a teplotu nasávaného vzduchu, teplotu chladicí kapaliny a další parametry, či systémy [50].

Palubní diagnostika zároveň usnadňuje indikaci závad na vozidle, neboť disponuje tzv. pamětí závad, ze které je možné vyčíst, na které z jednotek k závadě došlo a o jakou závadu se jedná; jednotky i chyby jsou popsány standardizovanými kódy [50].

OBD systém existuje zatím ve dvou verzích, v současné době se zatím stále uvažuje o verzi třetí. OBD I byl systém zavedený roku 1988; tento systém informoval o kompletním výpadku, respektive závadě komponent spojených s emisemi. OBD II je systém povinný od roku 1996 (postupně zaváděn již od roku 1994); na rozdíl od OBD I tato verze neinformuje pouze o kompletních závadách, ale i o stárnutí komponent a závadách částečných, při kterých může dojít k výraznému zvýšení množství emisí. U OBD II rovněž došlo ke standardizaci diagnostického rozhraní a komunikaci, chybových kódů, atd [52].

OBD III je poslední verze, která by měla být aplikována; kromě všech zmiňovaných funkcí by u OBD III měla vzniknout možnost odesílat data o stavu vozidla úřadům; účelem je schopnost úřadů zabránit uživatelům vozidel v pokračování jejich užívání, pokud vykazují zvýšené emise. Doposud se tak děje pravidelnými emisními kontrolami; jejich počet by díky zavedení OBD III mohl rovněž odpadnout. Omezeny by tímto systémem mohly být i neoprávněné zásahy do diagnostického systému vozidel [52].

5 VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ - MĚŘENÍ PROVOZNÍCH PARAMETRŮ HYBRIDNÍCH VOZIDEL

Tato část práce se již bude věnovat vlastnímu měření. Předmětem tohoto měření jsou (jak již bylo v práci zmíněno) provozní parametry hybridních vozidel v různém druhu provozu – městském, mimoměstském a dálničním.

Kapitola nejprve stručně seznámí s vybraným vozidlem a jeho technickými parametry, dále s podmínkami měření a zvolenou trasou, na které měření probíhalo. V závěru kapitoly budou k dispozici výsledky měření a jejich vyhodnocení. Vyhodnocení výsledků bude zahrnovat nejen srovnání hodnot naměřených parametrů s hodnotami udávanými výrobcem (v tomto čase již dle metodiky WLTP); bude vyhodnocena také účelnost hybridního pohonu a využití elektromotoru v různých částech trasy.

5.1 Technické parametry vozidla

Pro účely měření byl vybrán vůz automobilky Toyota; ta se může pyšnit mnohaletým úspěchem v oboru; především s populárním modelem Prius. Zhruba polovina nabízených modelů automobilky Toyota jsou buď modely, které jsou vyráběny jak ve variantě s konvenčním pohonem, tak ve variantě hybridní, nebo čistě hybridy.

Vybraným vozem je SUV Toyota RAV4 (4. generace); rok výroby vozu je 2018 (první registrace 11/2018) – vůz je na Obr. 16, technické parametry v Tabulce 4.



Obr. 16: Měřený vůz - Toyota RAV4 [54]

Název parametru	Hodnota
Zdvihový objem [cm ³]	2 494
Palivo [-]	BA
Maximální výkon [kW]	114
Otáčky při max. výkonu [min ⁻¹]	5 700
Nejvyšší rychlost [km/h]	180
Provozní hmotnost [kg]	1 765

Tabulka 4: Technické parametry měřeného vozidla z malého TP

Jedná se o vůz s automatickou převodovkou e-CVT a pohonem všech kol (AWD). CVT je převodovka s proměnným převodovým poměrem, jejímž účelem je držet konstantní, optimální otáčky motoru; jejím základem je variátor [53].

V Tabulce 5 jsou dále shrnuty provozní parametry uváděné výrobcem – rozsah, ve kterém by se měla pohybovat spotřeba paliva vozu, a průměrné emise CO₂ vozu. Údaje jsou definovány na v souladu s WLTP metodikou.

Název parametru	Rozpětí
Spotřeba – průměrná [l/100 km]	5,0 – 5,8
Spotřeba – město [l/100 km]	5,1 – 6,2
Spotřeba – mimo město [l/100 km]	4,9 – 5,5
Průměrné emise CO ₂ [g/km]	117 – 131

Tabulka 5: Provozní parametry měřeného vozidla [55]

Modely Toyota disponují kombinovaným uspořádáním pohonu; zdroj energie (baterie, spalovací motor) je volen tak, aby spotřeba a emise vozu byly co nejnižší, ale zároveň byly splněny požadavky uživatele vozu (např. rychlá akcelerace). Rozdělení pohonů dále vychází z vybraného módu, pokud uživatel nějaký zvolil. Standardně je nastaven mód Normal, dále jsou na výběr módy EV, Power, a Eco [56].

Normal je implicitně nastavený režim, nevyžadující speciální aktivaci; tento režim by měl z pohledu spotřeby a výkonu zajistit optimální chod obou motorů. Nevyznačuje se prudkými akceleracemi, ale také nedochází k maximálnímu využití elektromotoru [56].

Eco je režim, který může automaticky aktivovat systém i uživatel sám – a to pomocí tlačítka pod hlavním ovládacím panelem. Zde se nacházejí i tlačítka pro aktivaci režimů Power a EV. Eco zajišťuje optimální součinnost obou pohonů za účelem minimalizace emisí, vyznačuje se vyšším využitím elektromotoru v průběhu jízdy [56].

Režim EV může být rovněž aktivován systémem i uživatelem; při jeho aktivaci k přepnutí výhradně na elektrický pohon. Přípravenost vozu k přepnutí do tohoto režimu je signalizována kontrolkou „EV Ready“ na přístrojové desce (viz Obr. 17) [56].

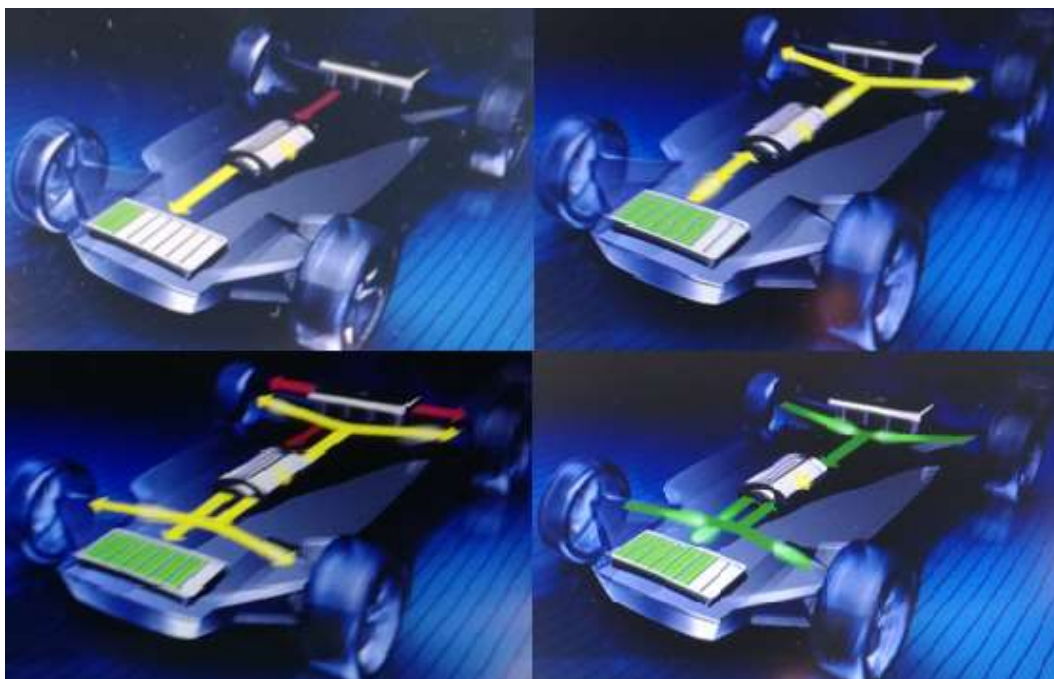
Posledním režimem je Power, který lze opět aktivovat oběma dříve zmíněnými způsoby; při jeho aktivaci by se jízda měla stát dynamičtější – zrychlování probíhá intenzivněji, než u ostatních režimů [56].



Obr. 17: Přípravenost vozu k přepnutí do elektrického pohonu [54]



Obr. 18: Základní rozdělení pohonů - stav baterie, elektromotor, zážehový motor [54]



Obr. 19: Různý stav pohonů - nahoře: nabíjení baterie spalovacím motorem (vlevo), pohon vozu elektromotorem (vpravo); dole: hybridní pohon vozu (vlevo), nabíjení baterie rekuperací (vpravo) [54]

Z Obr. 17 je také zřejmá koncepce druhého budíku (první zobrazuje aktuální rychlost); ten je rozdělen na 3 části; PWR (Power) – oblast maximálního výkonu, ECO (Ecology) – oblast optimální spotřeby paliva, a CHG (Charging) – oblast nabíjení baterie [56].

Informace o aktuálním stavu pohonů jsou k dispozici i na hlavním panelu (rádio) – základní zobrazení je na Obr. 18, zobrazení stavů pohonů je na Obr. 19.

Stav nabití baterie je zobrazen pomocí piktogramu baterie a uživatel jej může sledovat spolu s aktuálním stavem pohonů. Úroveň dobití baterie se pohybuje v rozmezí 20 – 80 % garantovaném výrobcem.

5.2 Trasa a podmínky měření

Trasa, na které měření probíhalo, byla volena s ohledem na tři základní druhy provozu – městský, mimoměstský a dálniční. Celá trasa je vyznačena na Obr. 20; barevně jsou vymezeny jednotlivé úseky dle druhu provozu.

Úsek vymezený červenou barvou charakterizuje městský provoz; jedná se o úsek vedoucí z pražského Suchdola dále vedoucí přes Dejvice, navazující na pražskou magistrálu a končící na Pankráci. Tato trasa se vyznačuje vyšším počtem křižovatek se světelnými signalizačními zařízeními, vyšší mírou kongescí a nutností přizpůsobit jízdu hustému městskému provozu. Přestože je pražská magistrála dvou, místy až třípruhou komunikací, která

není narušována zpomalovacími prvky jako jsou křižovatky, či bezpečnostní a další opatření, jedná se o úsek vykazující vysokou hustotu dopravy a ke sjezdu na Pánkrác platí rychlostní omezení 50 km/h.

Dalším úsekem je část vedoucí z Pankráce směrem na Kunratice, Jesenici a dále do Psár. Tato část nejlépe charakterizuje mimoměstský provoz, je to úsek začínající prakticky na periferii Prahy vedoucí ven z hlavního města s využitím komunikací propojující obce, kde je povolena rychlost do 80 km/h.

Dálniční úsek se mírně prolíná s úsekem mimoměstským; prakticky až k Jesenici se stále jedná o provoz mimoměstský, proto lze úsek považovat za relevantní od nájezdu na Pražský okruh u Jesenice. Trasa dále probíhá po okruhu kolem Zbraslavy, Řeporyjí a Zličína a končí u Ruzyně. Z Obr. 20 jsou zřejmé výchylky z trasy v oblastech u Lochkova a Komořan; zde se nachází tunely označené dle svého umístění (Komořanský tunel → 1937 m; Lochkovský tunel → 1659 m) [57]. V tunelech zřejmě došlo k výpadku GPS navigace, proto je trasa v těchto úsecích vyznačena nepřesně.



Obr. 20: Trasa měření; jednotlivé úseky vyznačeny barevně (červená = městský provoz, žlutá = mimoměstský provoz, modrá = dálniční provoz) [58].

Vnější teplota se během měření pohybovala v rozmezí 4 – 7 °C, přičemž její nejvyšší hodnota byla naměřena na začátku měření, její nejnižší na konci měření. Rozsah hodnot teplot tedy spadá do rozsahu hodnot, jejichž vliv byl v teoretické části vyhodnocen jako zanedbatelný. Vliv okolní teploty na naměřené hodnoty provozních parametrů lze vyloučit.

Měření probíhalo zhruba mezi 10. a 14. hodinou odpolední, mimo dopravní špičku, která by mohla mít na měření zásadní vliv.

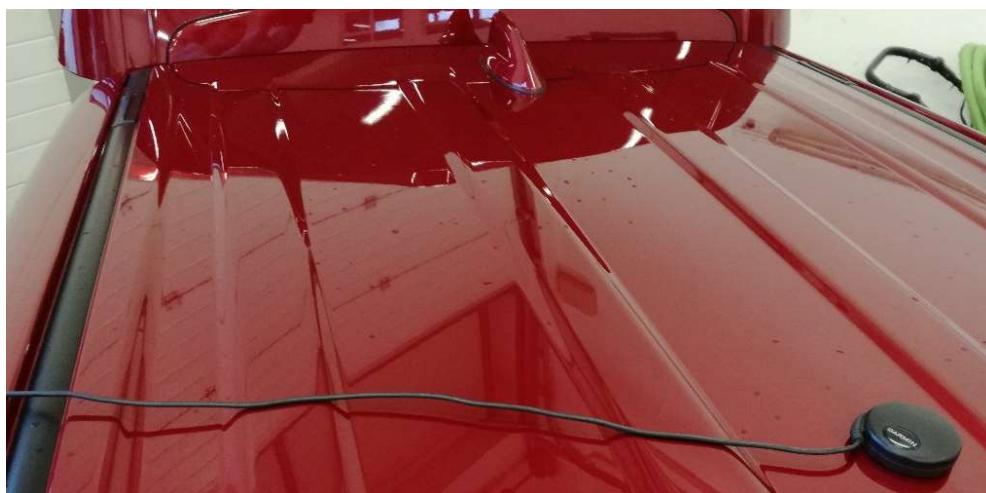
V průběhu měření byl aktivní standardní mód – Normal. Vůz řídil zkušený řidič, jehož jízdní styl se pohyboval v mezích běžný – klidný; jízda nebyla agresivní. Ve vozu byli přítomni 3 lidé, během měření vůz neobsahoval žádný náklad (mimo emisního analyzátoru).

5.3 Použitá technika

K získání výsledků z měření bylo využito pomocné techniky – jeden GPS přijmač Garmin GPS 18x, emisní analyzátor a notebook s OBD.

Přijmač Garmin GPS 18x (5 Hz) byl umístěn na střeše vozidla (viz Obr. 21); výstupem byla přesná poloha vozidla (GPS souřadnice) v každé vteřině měření. Přijmač je propojen s emisním analyzátozem.

Použitý emisní analyzátor VMK je zdokumentován na Obr. 22²; jedná se o přenosný 5-složkový analyzátor spalin snímající okamžité hodnoty emisí oxidů uhlíku (CO, CO₂), nespálených uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NO_x) a kyslíku (O₂) [59].



Obr. 21: Přijmač Garmin GPS 18x umístěný na střeše měřeného vozidla [54]

² Na Obr. 21 vpravo je jiné, než měřené vozidlo; foto bylo pořízeno během měření stejného typu vozidla v září 2018, jehož výsledky bohužel nebyly publikovatelné.

Emise uhlíkatých látek jsou snímány pomocí NDIR metody, jejíž princip tkví v absorpci infračerveného světla zmíněnými látkami. Ve zkratce se jedná o to, že zkoumaný plyn prochází vzorkovou komorou, ve které se nachází zdroj infračerveného záření (na jednom konci) a snímač infračerveného záření (na opačném konci). Procházející infračervené záření je absorbováno uhlíkatými látkami a po dopadu zbylého (neabsorbovaného záření) na snímač dochází k vyhodnocení procentuálního zastoupení uhlíkatých látek ve vzorku plynu [60].

Emise O₂ a NO_x jsou snímány s pomocí elektrochemických článků; při změně koncentrace obou zmíněných látek dochází v článku ke změně napětí.



Obr. 22: Emisní analyzátor VMK (vlevo), upevnění snímačů emisních plynů do výfukového potrubí (vpravo) [54]

Na Obr. 23 je dále tabulka uvedená na stránkách Katedry vozidel a pozemní dopravy, kde je popsán jak rozsah, tak přesnost měření jednotlivých složek emisním analyzátozem.

Měřená složka	Rozsah	Rozlišení	Nejistota měření
CO	0 - 10 % vol.	0,001 % vol.	0 - 0,67%: 0,02% absolutně, 0,67 - 10%: 3% z naměřené hodnoty
CO ₂	0 - 16 % vol.	0,01 % vol.	0 - 10%: 0,3% absolutně, 10 - 16%: 3% z n.h.
HC	0 - 20 000 ppm	1 ppm	10 ppm or 5% z n.h.
NO _x	0 - 5 000 ppm	1 ppm	0 - 1000 ppm: 25 ppm, 1000 - 4000 ppm: 4% z n.h.
O ₂	0 - 22 % vol.	0,1 % vol.	0 - 3%: 0,1% 3 - 21%: 3% z n.h.

Obr. 23: Rozsah a přesnost emisního analyzátozem VMK při měření jednotlivých složek emisí [59]

Měření skutečné rychlosti, otáček motoru a množství nasávaného vzduchu bylo prováděno pomocí multi-značkového programu OBD od Bosche. Program byl k dispozici na notebooku, který byl připojen k vozidlu pomocí diagnostické zásuvky pod volantem (viz Obr. 24).



Obr. 24: Umístění OBD zásuvky ve voze Toyota RAV4 [54]

5.4 Postup výběrů a výpočtů dat

Data získaná z měření musela být nejprve synchronizována – ke každé vteřině měření jsou přiřazena data o poloze vozidla (GPS souřadnice), ujetá dráha za danou vteřinu měření, okamžitá rychlost, okamžité otáčky motoru, okamžitý stav baterie a hodnoty emisí.

Při výběru dat z měření v daném typu provozu byl vždy vybrán časový úsek ohraničený okamžikem vyjetí na trasu ($v > 0$ km/h) a okamžikem zastavení na místě, kde proběhl záznam dat z přístrojové desky a reset záznamů ($v = 0$ km/h).

Do doby měření je zahrnuta počáteční i koncová vteřina měření. Průměrné hodnoty parametrů jsou vypočítány pomocí funkce aritmetického průměru.

Co se týká emisí látek CO, CO₂, NO a HC; ty jsou na dané trase dány sumou jednotlivých látek vydělenou dráhou daného úseku v km (viz vzorec):

$$emise = \frac{\sum_{i=1}^n x_1 + x_2 + \dots + x_n}{s} \quad (5.4.1.)$$

, kde:

n	počet prvků (-)
i	sumační index
x	množství emitované látky (g)
s	dráha (km)

Kromě emisí je vždy zohledněna spotřeba a to jak průměrná zobrazená (vyčtena z dat z přístrojové desky), tak průměrná skutečná, která vychází z emisí CO₂. Výpočet skutečné

spotřeby je proveden dle metodiky zveřejněné Úřadem pro ochranu životního prostředí v USA (EPA). Vzorec pro výpočet skutečné spotřeby je následující [61]:

$$S_{prům} = \frac{emise_{CO_2}}{23,38} \quad (5.4.2.)$$

, kde:

- $S_{prům}$ Průměrná spotřeba na dané trase (l/100 km)
 e_s Suma emisí CO₂ emitovaných na dané trase (g)

6 VÝSLEDKY A DISKUZE

Tato kapitola bude přirozeně rozdělena na dvě části a to na část obsahující výsledky (kde bude zahrnut především jejich popis) a na diskuzi (kde budou výsledky rozebrány).

6.1 Výsledky měření

Tato kapitola je rozdělena na tři části dle druhu provozu v úseku, kde měření probíhalo. V každé části pak budou popsány výsledky z obou měření, přičemž trasa bude ve stejném směru projeta tam a zpět (v každém druhu provozu tedy měření proběhne 2x). Podkapitoly budou zahrnovat tabulky s přehledem naměřených hodnot, které budou okomentovány. K jednotlivým měřením budou k dispozici vždy dvě tabulky, popisující naměřené hodnoty provozních parametrů a průměrné hodnoty emisí a spotřeby paliva.

6.1.1 Městský provoz

Přehled hodnot provozních parametrů z 1. měření (mimo emise) je k dispozici v Tabulce 6.

Parametr	Hodnota	Jednotka
Doba měření	1 728	s
Počátek měření	10:22:44	-
Konec měření	10:51:31	-
Ujetá dráha	15 711,39	m
Průměrná rychlost	32,73	km/h
Nejvyšší dosažená rychlost	75	km/h
Doba činnosti spalovacího motoru	622	s
Doba nečinnosti spalovacího motoru	1 106	s
Průměrné otáčky spalovacího motoru v době činnosti	1 444,77	min ⁻¹
Nejvyšší dosažené otáčky spalovacího motoru	3 738,5	min ⁻¹
Počet spuštění motoru	42	-
Průměrná doba činnosti spalovacího motoru na 1 spuštění	14,81	s
Průměrný stav baterie	56,3	%
Nejvyšší dosažená úroveň nabití baterie	65,9	%
Nejnižší dosažená úroveň nabití baterie	49,2	%

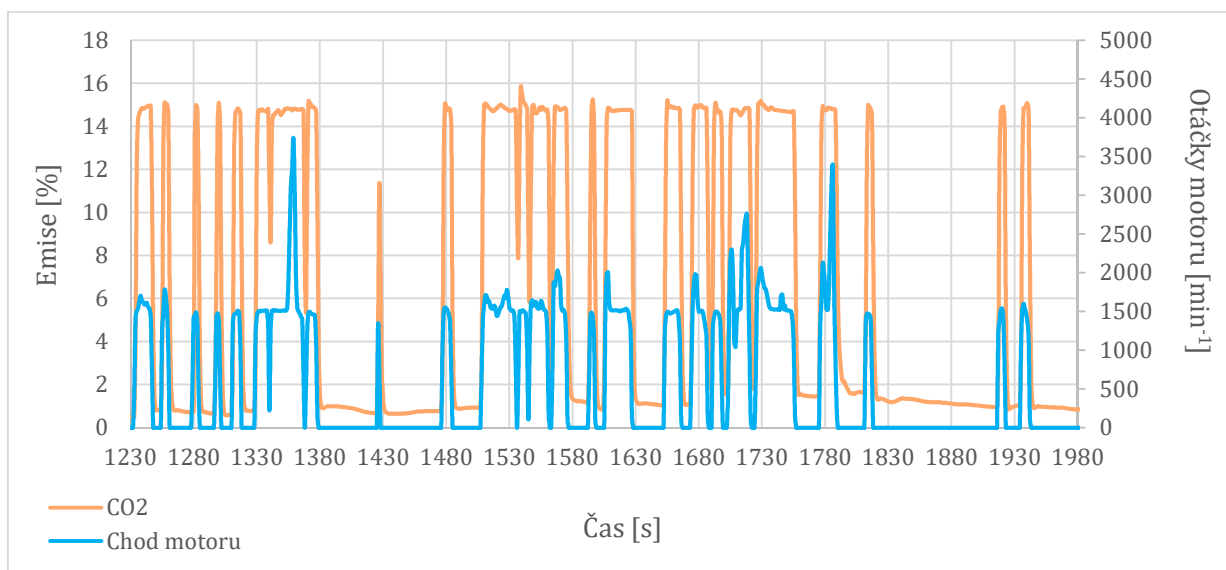
Tabulka 6: Přehled naměřených provozních parametrů (městský provoz, měření č. 1) [54]

Během prvního měření bylo ujeto 15,7 km v čase téměř 29 minut. Z Tabulky 6 je patrné, že spalovací motor byl v chodu pouze 34 % času, kdy měření probíhalo. Poměrně zajímavým údajem je pak počet spuštění spalovacího motoru, který vyjadřuje, kolikrát během měření došlo ke spuštění a opětovnému vypnutí spalovacího motoru – motor byl takto v chodu celkem 42x. Ke spuštění motoru obvykle docházelo při akceleraci řidičem – nebylo tomu tak ovšem vždy. Ve 3 případech se motor spustil ve chvíli, kdy byla udržována konstantní rychlost a následně docházelo k zpomalování. V jiných 2 případech došlo ke spuštění motoru dlouho před akcelerací (9 a 20 s před akcelerací, do té doby udržována konstantní rychlost).

Co se týká akcelerace vozidla, lze obecně říci, že byl spalovací motor spuštěn téměř vždy (i zde je ovšem výjimka, kdy v jednom případě došlo ke zrychlení o 4,86 m/s za 11 s – tedy ke zrychlení, kdy byl spalovací motor již obvykle spínán).

V případech, kdy byla rychlost vozidla konstantní, nebo vozidlo zpomalovalo, byl spalovací motor obvykle vypnut.

Začátek měření se vyznačuje delšími časovými úseky, kdy je spalovací motor vypnut. Blíže k centru města se však začíná spalovací motor spínat častěji. V druhé polovině měření často dochází ke spuštění motoru v krátkých časových intervalech v řádech několika vteřin; to je patrné z Obr. 25, který mapuje úsek od křižovatky ulic Veletržní a Bubenská (nájezd na magistrálu) k Pankráci. Z Obr. 25 je zároveň patrná závislost průběhu emisí CO₂, jež jsou vyjádřeny v procentuálním zastoupení vzhledem k celkovému množství emisních látek, na činnosti spalovacího motoru. Vyšší výkyvy hodnot otáček spalovacího motoru jsou závislé na poloze plynového pedálu, z naměřených dat není zřejmá závislost mezi prudkou změnou rychlosti a zvýšenou hodnotou otáček.



Obr. 25: Grafické znázornění chodu spalovacího motoru v centru města (městský provoz, 2. polovina 1. měření) [54]

Hodnota nabití baterie nabývá svého minima v úseku za Nuselským mostem, tedy po projetí většiny centra města. Naopak svého maxima tato hodnota nabývá (očekávatelně) na začátku měření, po průjezdu kopce ze Suchdola do Podbaby.

Parametr	Hodnota	Jednotka
Průměrná spotřeba zobrazovaná	6,2	l/100 km
Průměrná spotřeba skutečná	8,1	l/100 km
CO	0,2102	g/km
CO ₂	190,4035	g/km
NO _x	0,0017	g/km
HC	0,0230	g/km

Tabulka 7: Spotřeba a emise škodlivých látek (městský provoz, 1. měření) [54]

Emisím škodlivých látek se dále věnuje Tabulka 7, ve které jsou zachyceny čtyři měřené škodlivé látky – oxidy uhlíku (CO, CO₂), dusíku (NO_x), a nespálených uhlovodíků (HC). V tabulce jsou rovněž zachyceny spotřeby – průměrná zobrazovaná a průměrná skutečná; jejich hodnoty se poměrně významným způsobem liší.

Přehled hodnot provozních parametrů z 2. měření (mimo emise) je k dispozici v Tabulce 8.

Parametr	Hodnota	Jednotka
Doba měření	1 742	s
Počátek měření	12:48:22	-
Konec měření	13:17:23	-
Ujetá dráha	15 629,31	m
Průměrná rychlost	32,30	km/h
Nejvyšší dosažená rychlost	68	km/h
Doba činnosti spalovacího motoru	596	s
Doba nečinnosti spalovacího motoru	1 146	s
Průměrné otáčky spalovacího motoru v době činnosti	1 525,59	min ⁻¹
Nejvyšší dosažené otáčky spalovacího motoru	3 799,0	min ⁻¹
Počet spuštění motoru	31	-
Průměrná doba činnosti spalovacího motoru na 1 spuštění	19,23	s
Průměrný stav baterie	55,0	%
Nejvyšší dosažená úroveň nabití baterie	63,1	%
Nejnižší dosažená úroveň nabití baterie	44,7	%

Tabulka 8: Přehled naměřených provozních parametrů (městský provoz, měření č. 2) [54]

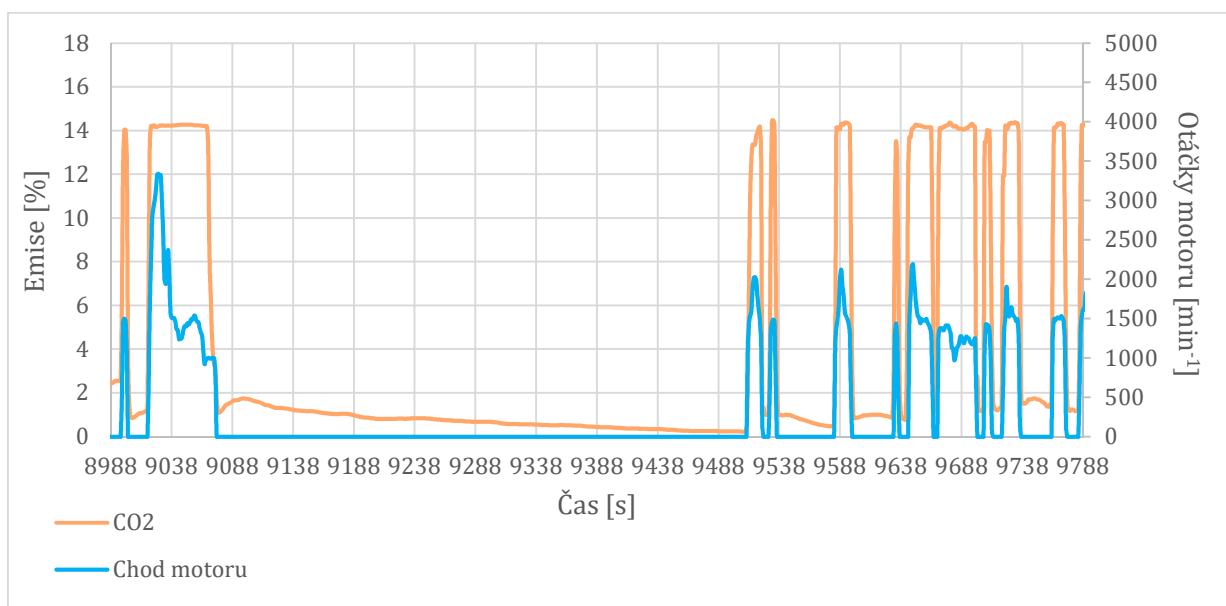
Během druhého měření bylo ujetu něco málo přes 15,6 km v čase lehce přes 29 minut. Zde je vhodné dodat, že trasa nebyla projeta zcela stejně, jako při prvním měření, neboť na sjezdu z magistrály za Hlávkovým mostem (trasa byla při 2. měření projížďena v opačném směru) došlo k uzavírce, a do ulice část trasy (ulice Bubenská a Veletržní) byla nahrazena objížděnkou po Nábřeží Kapitána Jaroše a ulicí Dukelských hrdinů. Tento fakt je nicméně prakticky zanedbatelný, neboť došlo o zkrácení trasy o 82 metrů a z pohledu času o prodloužení měření o 14 vteřin. Obě měření jsou tedy srovnatelná. Průměrná rychlost se i v tomto měření stále pohybuje okolo 32 km/h; ke spuštění spalovacího motoru došlo pouze 31x, přičemž intervaly spuštění motoru byly v průměru o necelých 5 vteřin delší. Využití spalovacího motoru se z hlediska času opět pohybuje na hranici 34 % z celkové doby měření.

Ke spuštění motoru opět docházelo většinou za účelem akcelerace vozu, přičemž nyní nastal pouze 1 případ, kdy se motor spustil při deceleraci vozidla. Z dat je zřejmé, že stav nabití baterie se v tomto případě blížil průměrné úrovni nabití, není tedy zjevné, proč se motor spustil.

Opět lze obecně říci, že spalovací motor byl vypnut v situacích, kdy byla udržována konstantní rychlost, docházelo k deceleraci, a během 2. měření také výrazněji více v situacích při rozjezdu vozidla s volnou akcelerací.

Nejvyšší hodnoty otáček motoru bylo při druhém měření dosaženo při prudké akceleraci – rychlost se zvýšila o 4,44 m/s během 4 vteřin.

K dosažení minimálního stavu nabití baterie došlo v centru města u I. P. Pavlova; za účelem nabití baterie nicméně nebyl spuštěn spalovací motor. Úroveň nabití baterie dosáhla svého maxima pod kopcem na Suchdol. Pro srovnání s předchozím měřením je zařazen Obr. 26 mapující jízdu v centru města (úsek Pankrác – sjezd na Nábřeží Kapitána Jaroše).



Obr. 26: Grafické znázornění chodu spalovacího motoru v centru města (městský provoz, 1. polovina 2. měření) [54]

Zajímavý je úsek od sjezdu na Podolí, Pankrác až po oblast za Nuselským mostem, který trvá něco málo přes 7 minut, kde ke spuštění spalovacího motoru vůbec nedošlo. Průměrná rychlost v tomto úseku byla 17,51 km/h, přičemž první minutu a půl byla udržována konstantní rychlost, která poté klesla na nulovou hodnotu. Průběh rychlostí po zbytek tohoto časového úseku je charakteristický pro městské kongesce – opakovaně docházelo k pozvolné akceleraci do rychlostí okolo 10 km/h a následné deceleraci.

Emisím při druhém měření na úseku městského provozu se dále věnuje Tabulka 9; z té je patrné, že podíl emisí škodlivých se mírně změnil ve srovnání s prvním měřením. Stoupl podíl emisí CO₂, přičemž je naopak znatelný pokles emisí CO. Opět se velmi liší hodnota spotřeby zobrazované a skutečné.

Parametr	Hodnota	Jednotka
Průměrná spotřeba zobrazovaná	6,5	l/100 km
Průměrná spotřeba skutečná	8,7	l/100 km
CO	0,0609	g/km
CO ₂	202,6267	g/km
NO _x	0,0011	g/km
HC	0,0212	g/km

Tabulka 9: Spotřeba a emise škodlivých látek (městský provoz, 2. měření) [54]

6.1.2 Mimoměstský provoz

Přehled parametrů z prvního měření (mimo emise) je k dispozici v Tabulce 10.

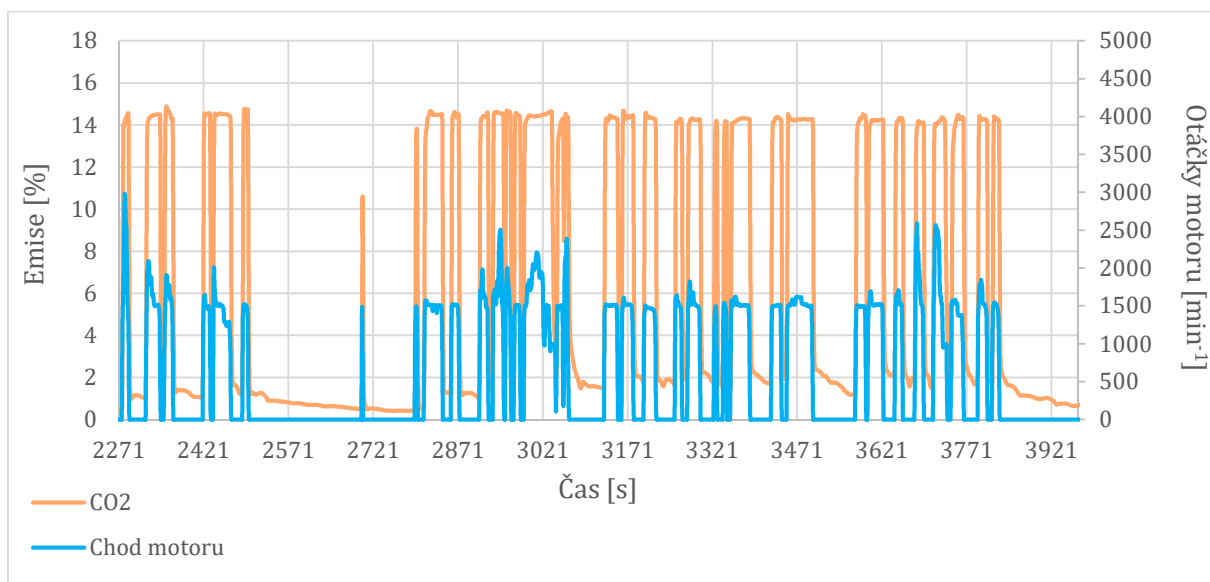
Doba měření i ujetá dráha jsou přibližně stejné, jako tomu bylo u měření v městském provozu; průměrná rychlost se nezvýšila, což je především důsledkem toho, že první třetinu trasy zahrnuje výjezd z města (zbylé 2/3 trasy vykazují průměrnou rychlost přes 41 km/h). U dalších parametrů však nebyl zaznamenán výrazný rozdíl při přechodu z městského na mimoměstský provoz.

Dochází k navýšení průměrné doby spuštění motoru; zhruba ve 1/3 případů, kdy byl motor spuštěn, nedochází k jeho vypnutí okamžitě při ustálení rychlosti či deceleraci, jako tomu bylo u městského provozu. V těchto případech je obvyklé, že poslední 1/3 času, kdy je motor spuštěn, je rychlost konstantní, výjimečně deceleruje. Ve 3 případech se motor opět spustil při udržování konstantní rychlosti. Ani v jednom z těchto jmenovaných případů nedosahovala úroveň nabití baterie svého minima (tzn. stav baterie na spuštění spalovacího motoru vliv neměla).

Spalovací motor byl celkově sepnut 38 % měřeného času, dochází tedy k navýšení jeho využití. Nejvyšších otáček dosahoval při prudkém zrychlení, kdy došlo k akceleraci o 4,31 m/s během 4 vteřin.

Parametr	Hodnota	Jednotka
Doba měření	1 832	s
Počátek měření	10:54:13	-
Konec měření	11:24:44	-
Ujetá dráha	16 000,97	m
Průměrná rychlost	31,44	km/h
Nejvyšší dosažená rychlost	80	km/h
Doba činnosti spalovacího motoru	693	s
Doba nečinnosti spalovacího motoru	1 139	s
Průměrné otáčky spalovacího motoru v době činnosti	1 470,75	min ⁻¹
Nejvyšší dosažené otáčky spalovacího motoru	2 973,0	min ⁻¹
Počet spuštění motoru	35	-
Průměrná doba činnosti spalovacího motoru na 1 spuštění	19,8	s
Průměrný stav baterie	54,8	%
Nejvyšší dosažená úroveň nabití baterie	62,0	%
Nejnižší dosažená úroveň nabití baterie	43,9	%

Tabulka 10: Přehled naměřených provozních parametrů (mimoměstský provoz, měření č. 1) [54]



Obr. 27: Grafické znázornění chodu spalovacího motoru mimo město (1. měření) [54]

Minimální hodnoty stavu nabití baterie bylo dosaženo hned na začátku měření, při rozjezdu v Psárech prakticky ve stejném místě, kde byla naměřena nejvyšší hodnota otáček spalovacího motoru. Ke spínání spalovacího motoru dochází poměrně periodicky – viz Obr. 27.

Parametr	Průměrná hodnota	Jednotka
Průměrná spotřeba zobrazovaná	6,8	l/100 km
Průměrná spotřeba skutečná	9,0	l/100 km
CO	0,1037	g/km
CO ₂	211,2256	g/km
NO _x	0,0013	g/km
HC	0,0058	g/km

Tabulka 11: Spotřeba a emise škodlivých látek (mimoměstský provoz, 1. měření) [54]

Emisím na úseku Budějovická - Psáry se věnuje Tabulka 11.

Ve srovnání s měřením ve městě narostly emise oxidů uhlíku; výzamně se liší spotřeba skutečná a zobrazovaná. Emise nespálených uhlovodíků naopak klesly zhruba o 3/4 vzhledem k hodnotám naměřeným ve městě.

Přehled parametrů z druhého měření (mimo emise) je k dispozici v Tabulce 12.

Parametr	Hodnota	Jednotka
Doba měření	1 458	s
Počátek měření	12:21:14	-
Konec měření	12:45:31	-
Ujetá dráha	15 639,31	m
Průměrná rychlost	38,62	km/h
Nejvyšší dosažená rychlost	77	km/h
Doba činnosti spalovacího motoru	490	s
Doba nečinnosti spalovacího motoru	968	s
Průměrné otáčky spalovacího motoru v době činnosti	1 459,67	min ⁻¹
Nejvyšší dosažené otáčky spalovacího motoru	2 099,0	min ⁻¹
Počet spuštění motoru	26	-
Průměrná doba činnosti spalovacího motoru na 1 spuštění	18,85	s
Průměrný stav baterie	52,8	%
Nejvyšší dosažená úroveň nabití baterie	59,6	%
Nejnižší dosažená úroveň nabití baterie	48,2	%

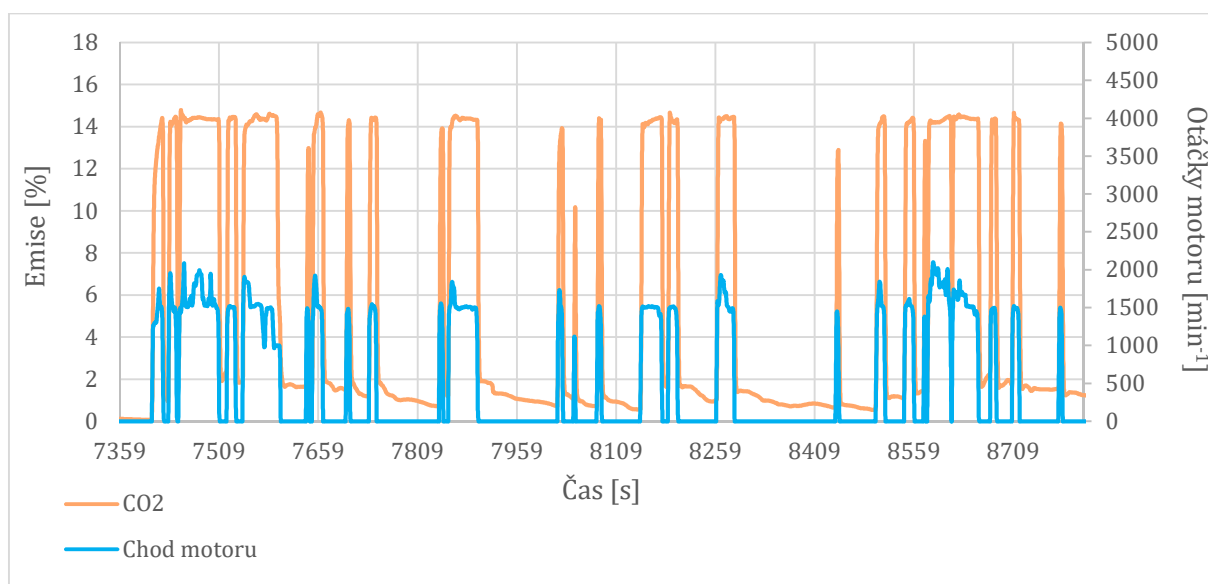
Tabulka 12: Přehled naměřených provozních parametrů (mimoměstský provoz, měření č. 2) [54]

Doba druhého měření na přibližně stejné dráze (v tomto měření ujetu zhruba o 50 m více) je přibližně o 6 minut kratší ve srovnání s měřením prvním. Vliv na tuto skutečnost má především průjezd okrajem města v oblasti Budějovická – Kunratice, který v předchozím měření trval téměř o 5 minut déle.

Průměrná rychlost se mírně zvýšila; čas po který byl spalovací motor v chodu se snížil na 34%. Snížila se i průměrná doba chodu spalovacího motoru a poměrně významně i počet spuštění motoru (o 25 % v porovnání s 1. měřením). Spouštění spalovacího motoru opět neprobíhalo výhradně při akceleraci; ve 3 případech k němu došlo při udržování konstantní rychlosti. V dalších 6 případech k němu sice došlo při akceleraci, ale minimálně polovinu doby, kdy byl motor v chodu (během 1 spuštění) byla udržována konstantní rychlost. Z dat je dále zřejmé, že ne vždy docházelo při prudší akceleraci ke spuštění motoru. Ke konci měření (1 minuta; 218 metrů před koncem měření) došlo ke zrychlení o 6,39 m/s během 5 vteřin a to bez spuštění spalovacího motoru; úroveň nabití baterie na počátku zrychlení dosahovala 59,2 %, jednalo se o rozjezd (počáteční rychlost byla nulová).

Toto měření se dále vyznačuje poměrně úzkým rozsahem pracovních hodnot (stav nabití) baterie, které se pohybovali pouze v rozmezí 11,4 %. Minimálního stavu nabití baterie bylo dosaženo zhruba za polovinou cesty; v tuto dobu byl rovněž spuštěn spalovací motor, ale z dat je zřejmé, že podnětem ke spuštění bylo akcelerace vozidla.

Ke spuštění spalovacího motoru opět docházelo poměrně periodicky, což je lépe vidět na Obr. 28.



Obr. 28: Grafické znázornění chodu spalovacího motoru mimo město (2. měření) [54]

Souhrn dat o emisích a průměrné spotřebě je v Tabulce 13.

Z té je zřejmé, že při 2. měření v mimoměstském provozu došlo k výraznému snížení emisí CO₂. Rovněž došlo ke snížení emisí CO a navýšení emisí HC.

Záporná hodnota emisí NO_x je zřejmou chybou, ke které došlo při měření emisí; chyba zřejmě nastala na straně emisního analyzátoru, přičemž je v souladu s tolerancí uvedenou na Obr. 23.

Parametr	Průměrná hodnota	Jednotka
Průměrná spotřeba zobrazovaná	4,8	l/100 km
Průměrná spotřeba skutečná	6,3	l/100 km
CO	0,0208	g/km
CO ₂	146,2152	g/km
NO _x	-0,0003	g/km
HC	0,0099	g/km

Tabulka 13: Spotřeba a emise škodlivých látek (mimoměstský provoz, 2. měření) [54]

6.1.3 Dálniční provoz

V Tabulce 14 je k dispozici přehled parametrů z prvního měření.

Parametr	Hodnota	Jednotka
Doba měření	1 424	S
Počátek měření	11:28:15	-
Konec měření	11:51:58	-
Ujetá dráha	32 681,81	M
Průměrná rychlost	82,62	km/h
Nejvyšší dosažená rychlost	116	km/h
Doba činnosti spalovacího motoru	1 197	S
Doba nečinnosti spalovacího motoru	227	S
Průměrné otáčky spalovacího motoru v době činnosti	1 874,68	min ⁻¹
Nejvyšší dosažené otáčky spalovacího motoru	4 261,0	min ⁻¹
Počet spuštění motoru	11	-
Průměrná doba činnosti spalovacího motoru na 1 spuštění	108,82	S
Průměrný stav baterie	56,3	%
Nejvyšší dosažená úroveň nabití baterie	67,1	%
Nejnižší dosažená úroveň nabití baterie	52,5	%

Tabulka 14: Přehled naměřených provozních parametrů (dálniční provoz, měření č. 1) [54]

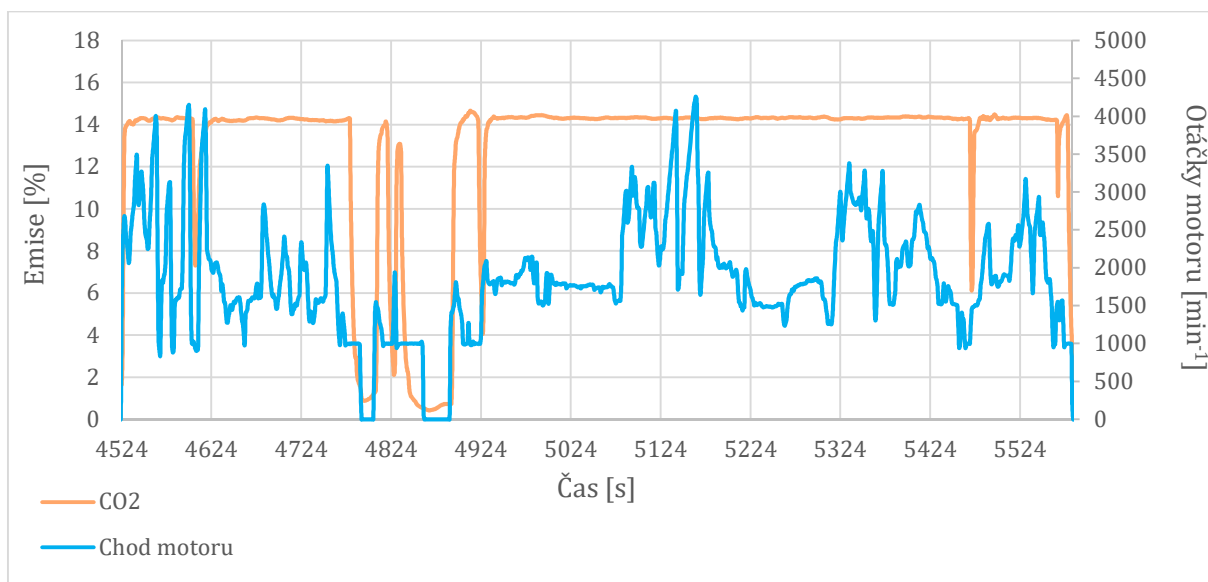
Měření posledního úseku charakteristického pro dálniční provoz bylo časově přibližně shodné s ostatními úseky; ujetá dráha však byla téměř dvojnásobná, čemuž odpovídá i průměrná rychlost, která se výrazně zvýšila.

Zásadní změnu dostal i poměr dob činnosti a nečinnosti spalovacího motoru; motor byl v provozu 84 % času měření. Naopak dochází ke snížení počtu spuštění spalovacího motoru. Tato skutečnost vychází především z toho, že prakticky od nájezdu na okruh, až po sjezd z něj byl motor trvale v provozu. Je třeba však upozornit na průjezd Lochkovským tunelem, kdy při vjezdu do něj došlo ke snížení rychlosti pod 70 km/h a vypnutí spalovacího motoru – tato situace trvala 14 vteřin, poté došlo k akceleraci na rychlost nad 80 km/h, motor byl na minutu v provozu, a následovala opět decelerace na rychlost menší, než 70 km/h, kdy byl spalovací motor na půl minuty mimo provoz. Při výjezdu z tunelu dochází opět ke zrychlení a až ke sjezdu z okruhu není chod motoru přerušen.

Zároveň dochází i ke zvýšení průměrné hodnoty otáček; ty se při rychlostech nad 100 km/h často pohybovali i kolem 3000 – 4000 min⁻¹.

Minimální úrovně nabití baterie bylo dosaženo při průjezdu Lochkovským tunelem, kde došlo ke spuštění motoru; zdat je zřejmé, že motor byl uveden do provozu kvůli zrychlení, nikoliv kvůli nedostatečnému stavu baterie.

Na Obr. 29 je zahrnut úsek cesty počínající nájezdem na Pražský okruh a konče sjezdem z něj; tento úsek cesty se zcela výrazně liší od předchozích měření (úsek Psáry – nájezd na okruh svým charakterem co do spuštění spalovacího motoru odpovídá spíše mimoměstskému provozu). Zajímavá je i závislost emisí CO₂ na otáčkách spalovacího motoru; platí, že při poklesu otáček pod hodnotu 1000 min⁻¹ dochází i k prudkému poklesu emisí CO₂.



Obr. 29: Grafické znázornění chodu spalovacího motoru na dálnici (1. měření) [54]

Emise jsou opět k dispozici zvlášť – v Tabulce 15.

Nárůst emisí CO₂ ve srovnání s předchozími 2 druhy provozu je pochopitelný a je zcela zřejmě důsledkem zvýšeného provozu spalovacího motoru; hodnoty emisí CO, NO_x a HC jsou

ovšem víceméně srovnatelné s hodnotami z předchozích měření (pohybují se ve stejných hladinách).

Parametr	Průměrná hodnota	Jednotka
Průměrná spotřeba zobrazovaná	7,3	l/100 km
Průměrná spotřeba skutečná	10,8	l/100 km
CO	0,0175	g/km
CO ₂	252,6872	g/km
NO _x	0,0011	g/km
HC	0,0276	g/km

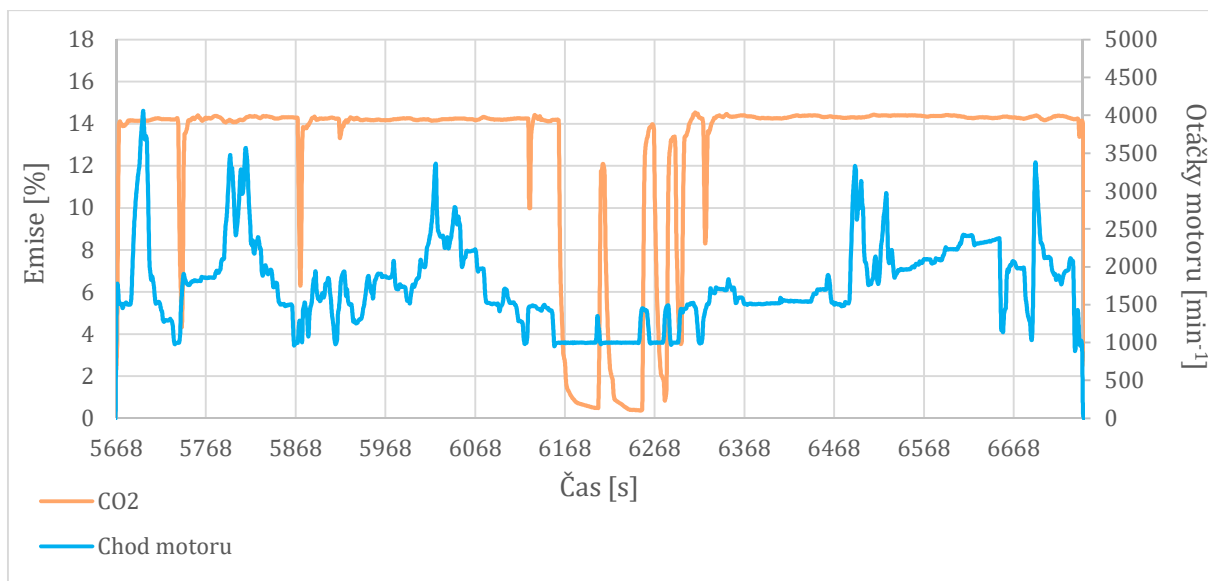
Tabulka 15: Spotřeba a emise škodlivých látek (dálniční provoz, 1. měření) [54]

Parametry získané z 2. měření dálničního úseku jsou v Tabulce 16 – z té je jasně patrné, že parametry získané během 2. měření jsou prakticky shodné s parametry získané 1. měřením.

Spalovací motor byl v provozu 83 % času měření; počet spuštění motoru však klesl téměř na polovinu. Stojí za to zmínit, že během 2. měření nedošlo od nájezdu na okruh až po sjezd z něj k přerušení provozu motoru, přičemž při průjezdu Lochkovským tunelem opět došlo ke snížení rychlosti pod 70 km/h.

Parametr	Hodnota	Jednotka
Doba měření	1 425	s
Počátek měření	11:51:59	-
Konec měření	12:15:43	-
Ujetá dráha	32 635,97	m
Průměrná rychlost	82,45	km/h
Nejvyšší dosažená rychlost	118	km/h
Doba činnosti spalovacího motoru	1 183	s
Doba nečinnosti spalovacího motoru	242	s
Průměrné otáčky spalovacího motoru v době činnosti	1 736,79	min ⁻¹
Nejvyšší dosažené otáčky spalovacího motoru	4 058,0	min ⁻¹
Počet spuštění motoru	6	-
Průměrná doba činnosti spalovacího motoru na 1 spuštění	197,17	s
Průměrný stav baterie	57,7	%
Nejvyšší dosažená úroveň nabití baterie	63,9	%
Nejnižší dosažená úroveň nabití baterie	53,7	%

Tabulka 16: Přehled naměřených provozních parametrů (dálniční provoz, měření č. 2) [54]



Obr. 30: Grafické znázornění chodu spalovacího motoru na dálnici (2. měření) [54]

Na Obr. 30 je pro porovnání opět znázorněn chod spalovacího motoru v úseku od nájezdu až po sjezd z Pražského okruhu. Z grafu je zřejmé, že při hodnotách otáček pod 1000 min^{-1} dochází k prudkému poklesu emisí CO_2 .

V Tabulce 17 jsou k dispozici hodnoty emisí a průměrných spotřeb.

Parametr	Průměrná hodnota	Jednotka
Průměrná spotřeba zobrazovaná	7,3	l/100 km
Průměrná spotřeba skutečná	9,3	l/100 km
CO	0,0243	g/km
CO ₂	217,1936	g/km
NO _x	0,0007	g/km
HC	0,0176	g/km

Tabulka 17: Spotřeba a emise škodlivých látek (dálniční provoz, 2. měření) [54]

Nárůst oproti předchozímu měření zaznamenávají pouze emise CO, zbytek složek zaznamenává pokles; jejich hodnoty jsou víceméně srovnatelné s ostatními druhy provozu.

6.2 Diskuze

V této kapitole budou probrány výsledky měření; bude rozebrán rozdíl provozních parametrů v jednotlivých druzích provozů, budou srovnány naměřené hodnoty emisí, spotřeby a úrovně nabití baterie s hodnotami udávanými výrobcem. Tato kapitola se ale bude také

věnovat rozboru ekologičnosti hybridních vozidel se zaměřením na celý životní cyklus hybridního vozidla.

Pokud jde o změny provozních parametrů v různých podmínkách provozu, je zřejmá především odlišnost dálničního provozu od provozu městského a mimoměstského.

Spalovací motor byl v provozu prakticky po celou dobu, kdy se vozidlo reálně nacházelo na Pražském okruhu. Z naměřených dat není zcela zřejmé, při jaké rychlosti dochází vždy k aktivaci, respektive vypínání spalovacího motoru; lze odhadnout, že k aktivaci dochází při rychlostech vyšších než 80 km/h, k deaktivaci dochází při rychlostech pod 70 km/h. Hlavním činitelem je však vždy stav baterie – tyto údaje proto mohou být lehce proměnlivé.

Z měření není patrný výraznější rozdíl mezi provozem městským a mimoměstským; spalovací motor se ve většině případů spouští především kvůli akceleraci, obvykle při zrychlení 1 m/s^2 po dobu alespoň 2 – 3 vteřin. Naopak k deaktivaci spalovacího motoru obvykle dochází při udržování konstantní rychlosti, či zpomalování po dobu 1 – 3 vteřin.

U městského provozu je mimo jiné patrné využití elektromotoru během rozjezdů v provozu odpovídajícímu kongescím.

Hodnoty udávané výrobcem vozu se s naměřenými hodnotami příliš neshodují. Co se týká stavu baterie (SOC), jeho pracovní rozsah by se měl pohybovat v mezích 20 – 80 % zaručených výrobcem; dle dostupných měření byl však nejnižší dosažený stav 43,9 % a nejvyšší dosažený stav 67,1 %. Existuje studie ([28]), která potvrzuje (rovněž u vozidel značky Toyota), že SOC baterie reálně neklesá pod 39 - 40 %. Průměrný SOC baterie se pohyboval v rozmezí kolem 55 – 56 %.

Hodnoty průměrné spotřeby vozidla zobrazované na přístrojové desce se s intervaly hodnot udávaných výrobcem opět neshodují. Ve městském provozu by hodnota průměrné spotřeby měla dle výrobce dosahovat maximálně hodnoty 6,2 l/100 km; první z měření tuto podmínku splňovalo, druhé již ne – hodnota průměrné spotřeby ve městě překračovala tuto mez o 0,3 l/100 km. Mimo město se pak spotřeba v intervalu daném výrobcem nenacházela ani v jednom ze čtyř případů (po 2 měřeních v mimoměstském a dálničním provozu); v jednom případě byla nižší, než udával výrobce (4,8 l/100 km), v ostatních případech však interval výrazně překročila – v mimoměstském provozu o 1,3 l/100 km, v dálničním dokonce o 1,8 l/100 km. V tomto bodě by ze strany výrobce bylo nejspíše vhodné udávat i rozmezí pro dálniční provoz, který se právě výrazně liší od obou zmíněných druhů provozu; je totiž očekávatelné, že se interval spotřeb zvýší, pokud dojde k nepřetržitému provozu spalovacího motoru.

Pro průměrnou spotřebu výrobce obecně udává rozmezí 5,0 – 5,8 l/100 km; ani do tohoto rozmezí se bohužel hodnota průměrné spotřeby získaná během měření nevejde; ta činí asi 6,5 l/100 km, horní mez udávanou výrobcem tedy překračuje o 0,7 l/100 km.

Ještě výraznější je pak rozdíl spotřeby reálné a zobrazované; v lepších případech je reálná spotřeba vzhledem k spotřebě zobrazované vyšší o 1,5 – 2 l/100 km. Největšího rozdílu bylo dosaženo při měření v podmínkách dálničního provozu, kde rozdíl mezi skutečnou (naměřenou) a zobrazenou spotřebou činil 3,5 l/100 km, tedy přes 50 % zobrazované spotřeby.

Výrobce dále uvádí interval průměrných emisí CO₂ v g/km; ani průměrné emise této látky za celé měření, ani průměrné emise pro jednotlivé druhy provozu do tohoto intervalu nespádají, respektive jej opět překračují, a to poměrně výrazně – průměrné emise CO₂ za všechna měření činí přes 203 g/km, což je o 55 % víc, než je uvedená horní hranice.

Co se týká emisních hodnot CO, HC a NO_x, ty výrobce neuvádí, z měření je však zřejmé, že se řádově pohybovaly ve stejných hladinách s výjimkou jednoho z měření mimo město, kdy zřejmě došlo k chybě u emisního analyzátoru, který naměřil záporné hodnoty NO_x. Dále je zřejmé, že úměrné zvýšení/snížení emisí CO₂ se během měření snižovaly/zvyšovaly emise CO.

Je tedy otázkou, jak moc přesná metodika WLTP je; dle dostupných podkladů by měření mělo probíhat za stavu, kdy je do provozní hmotnosti navíc započtena hmotnost řidiče (75 kg) a k tomu je přičteno dalších 200 kg nákladu – u NEDC byla brána v potaz pouze provozní hmotnost bez váhy řidiče a k ní bylo přičteno 100 kg nákladu [62]. S jistotou lze tedy říci, že je WLTP přesnější. Avšak v porovnání s výsledky reálného měření se příliš neshoduje – vozidlo bylo během měření obsazeno 3 lidmi (včetně řidiče), emisním analyzátozem a několika málo dalšími nezbytnostmi; váhový limit nebyl překročen – vliv tohoto faktoru na zvýšenou spotřebu a produkci CO₂ lze tedy vyloučit.

Během jednotlivých měření obvykle docházelo až k několika desítkám cyklů spouštění a vypínání spalovacího motoru; nejvyšší počet takto zaznamenaných cyklů byl dosažen v městském provozu – motor se zapnul a vypnul 42x. Je otázkou, jak velkou zátěž toto neustálé spínání pro motor představuje; už dříve zazněla kritika např. systému Start-stop u vozidel s konvenčním pohonem. U pohyblivých částí spalovacího motoru může častěji docházet k tzv. suchému tření, neboť s každým vypnutím motoru se přestává točit kliková hřídel, která pohání olejové čerpadlo, čímž dochází ke snížení tlaku oleje v celé soustavě. Při sepnutí motoru jednotka nastavuje mírně bohatší směs – tím se jednak v daném okamžiku zvyšují emise škodlivých látek a u zážehových motorů se benzínem ředí olej [63].

Výrobci olejů dnes již garantují jejich vysokou kvalitu a mazací schopnosti; na druhou stranu však prodlužují doporučené servisní intervaly výměny olejů až na 30 000 najetých km – v tomto bodě již dochází k výrazné degradaci oleje a sníženým mazacím schopnostem [63].

Životnost lithiových baterií, které jsou pro pohony hybridních vozů používány, je garantována minimálně na 10 let; jejich vlastnosti by neměly dojít k výraznější újmě především,

pohybuje-li se vozidlo v mírném klimatickém pásu. Je tedy očekávatelné, že pokud dojde k závadě na pohonu, bude na vině nejspíše spalovací motor.

7 ZÁVĚR

Elektromobilita v současné době zažívá velký boom; všude se o ní mluví a píše, automobilky nadšeně motivují svoje zaměstnance k její propagaci a inovacím v oblasti e-mobility.

Hybridní vozidla jsou nesporným přerodem vozidel s konvenčními pohony na vozidla elektrická a disponují řadou výhod – například schopností rekuperace energie, zvyšování výkonu vozidel při zachování emisních parametrů, nebo legislativními úlevami (parkování zdarma, osvobození od silniční daně, aj.). Jejich výrobci i bojovníci za životní prostředí v nich vidí budoucnost automobilové dopravy.

Skutečné výhody e-mobility jsou však v současné době sporné; automobilky sice chrlí hybridní i čistě elektrická vozidla, ale několik otázek stále není vyřešeno. Například – jsou hybridní vozy a elektrické vozy skutečně mírnější k životnímu prostředí? Jaký dopad na životní prostředí má celý životní cyklus vozidla?

Z dostupných informací není zjevné, že by infrastruktura byla připravena na takovou revoluci v oblasti e-mobility, kterou během následujících několika let automobilky očekávají. Otazník také visí nad pozdější recyklací lithiových baterií, která bude muset být prováděna v masovém rozměru – ani na tuto skutečnost není automobilový průmysl dosud připraven.

V neposlední řadě je pak nutno dodat, že přechod na elektrický pohon tak úplně neřeší problém omezenosti fosilních paliv. Elektrickou energii je totiž třeba také vyrábět a rozhodně nelze říci, že ji lidstvo vyrábí „ekologickými“, nebo „obnovitelnými“ zdroji. V uvozovkách neekologičtější se totiž mohou zdát vodní a větrné elektrárny, které svými zásahy mění lokální ekosystémy. Nelze s určitostí říci, jaký dopad tyto změny mohou přinést.

Z měření v této práci vyplývá, že hodnoty skutečných provozních parametrů se mnohdy zcela míjí s daty uváděnými výrobci; je zřejmé, že v konkrétním případě vozu Toyota RAV4 dochází především k nabídce vysoce výkonného vozu, kdy cílem není snížení spotřeby paliva, emisí spalovacího motoru, či prodloužení životnosti pohonného systému.

Počet cyklů spuštění spalovacího motoru spíše napovídá tomu, že životní cyklus celého vozidla bude výrazně omezen právě životností mechanického ústrojí spalovacího motoru. V současné době, kdy je vše vyráběno na „jedno použití“ lze očekávat, že se majitelům hybridních vozů příliš nevyplatí investovat do jeho případné opravy.

WLTP metodika, na jejímž základě výrobce garantuje některé provozní parametry, je sice přesnější než NEDC, stále však nedokáže zaručit hodnoty blízké reálnému provozu – jedná se spíše o jakousi záplatu zastaralé metodiky, která měla být již dávno nahrazena. Ostatně větší část měření se i nadále odehrává v laboratorních podmínkách, i když přesnějších. Čas, po který dochází k měření v reálném provozu, nedosahuje ani času, po který v této práci docházelo

k měření jednoho druhu provozu. Je tedy přirozené, že metoda nemůže plně vyhovovat podmínkám reálného provozu.

Je ovšem třeba také zmínit některé nedostatky měření; měření bylo provedeno v každém provozu pouze 2x, a to se stejným vozem. Vyšší relevanci výsledků by samozřejmě zaručil vyšší počet měření s různými vozy stejného typu. Je také zřejmé, že během jednoho z měření došlo u emisního analyzátoru k chybě, což výsledky opět poněkud zkresluje.

Tak či onak lze však na závěr říci, že i přes snahy ochránců životního prostředí nelze emise do nekonečna snižovat; důležitým faktem navíc zůstává, že titíž lidé touží po výkonných vozech, které s sebou na životní prostředí nesou nesmazatelnou zátěž.

Celkově se boj za ochranu životního prostředí jeví jako hra, kde chtějí být všichni hrdinové, bez toho, aniž by se vzdali svého komfortu. Faktem ovšem zůstává, že na zemi je přes 7 miliard lidí a ti všichni chtějí jezdit automobily.

Seznam použitých zdrojů.

- [1] *Worldometers - real time world statistics* [online]. Dover: Worldometers.info, 2018 [cit. 2018-08-24]. Dostupné z: <http://www.worldometers.info/>
- [2] PC WORLD VEHICLES IN USE. *OICA* [online]. Paris: General Assembly, 2018 [cit. 2018-08-24]. Dostupné z: http://www.oica.net/wp-content/uploads//PC_Vehicles-in-use.pdf
- [3] *Business Insider* [online]. New York: Insider, 2018 [cit. 2018-08-24]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com/>
- [4] Kdy dojde ropa a co se stane? V optimistické verzi za 60 let. A v pesimistické... *National Geographic* [online]. Praha: National Geographic Society and VLTAVA LABE MEDIA, 2018 [cit. 2018-08-24]. Dostupné z: <https://www.national-geographic.cz/clanky/kdy-dojde-ropa-v-optimisticke-verzi-za-60-let-a-v-pesimisticke.html>
- [5] EMADI, Ali. *Advanced electric drive vehicles*. Boca Raton: CRC Press, [2015]. ISBN 978-1-4665-9769-3.
- [6] *Hybrid.cz* [online]. Brandýs n. L. - Stará Boleslav: Chamanne, 2018 [cit. 2018-08-24]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz>
- [7] *Edison Tech Center* [online]. New York: Edison Tech Center, 2014 [cit. 2018-08-25]. Dostupné z: <http://www.edisontechcenter.org/index.htm>
- [8] KLIMEŠ, David. Půl století ropné zbraně jménem OPEC. *Lidovky.cz* [online]. Praha: MAFRA, 2018, 10. září 2010 [cit. 2018-08-25]. Dostupné z: https://www.lidovky.cz/pul-stoleti-ropne-zbrane-jmenem-opec-dvv-/noviny.aspx?c=A100910_000051_ln_noviny_sko&klic=238817&mes=100910_0
- [9] KHAJEPOUR, Amir, M. Saber FALLAH a Avesta GOODARZI. *Electric and hybrid vehicles: technologies, modeling, and control : a mechatronic approach*. Chichester, West Sussex, United Kingdom, 2014. ISBN 978-111-8341-513.
- [10] *US Department of Transportation* [online]. Washington, DC: U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2018 [cit. 2018-08-26]. Dostupné z: <https://www.transportation.gov/>
- [11] BUNKLEY, Nick. Bob Beaumont, Who Popularized Electric Cars, Dies at 79. *The New York Times* [online]. New York: The New York Times Company, 2018, Oct. 29, 2011 [cit. 2018-08-26]. Dostupné z: <https://www.nytimes.com/2011/10/30/business/bob-beaumont-who-popularized-electric-cars-dies-at-79.html>
- [12] *UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE*. In: . New York: United Nations, 1992. Dostupné také z: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>

- [13] *Kurzy.cz* [online]. Praha: Kurzy.cz, 2018 [cit. 2018-09-16]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/>
- [14] WAGENKNECHT, Martin. Micro-hybrid, mild-hybrid, full-hybrid, plug-in hybrid. Jaký je mezi nimi rozdíl?. *FDrive.cz - Elektromobily, autonomní řízení a doprava budoucnosti* [online]. Praha: 24net, 2018, 02. 02. 2018 [cit. 2018-09-08]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/micro-hybrid-mild-hybrid-full-hybrid-plug-in-hybrid-jaky-je-mezi-nimi-rozdil-1857>
- [15] *Hybrid and Electric Vehicle Technologies* [online]. Portland: New West Technologies [cit. 2018-09-09]. Dostupné z: <http://www.ieahev.org/>
- [16] *Pedestrian Safety Enhancement Act*. In: . Washington, DC: Senate and the House of Representatives of the United States of America, 2011. Dostupné také z: <https://www.congress.gov/111/plaws/publ373/PLAW-111publ373.pdf>
- [17] *Minimum Sound Requirements for Hybrid and Electric Vehicles*. In: . Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, 2013. Dostupné také z: https://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/Quiet_Cars_Draft_EA.pdf
- [18] GASTELU, Gary. NHTSA 'quiet car' rules to require electric cars to make noise by 2020. *Fox News* [online]. FOX News Network: New York, 2018, February 27th 2018 [cit. 2018-09-09]. Dostupné z: <http://www.foxnews.com/auto/2018/02/27/nhtsa-quiet-car-rules-to-require-electric-cars-to-make-noise-by-2020.html>
- [19] *Mapy Google* [online]. Mountain View: Google, 2018 [cit. 2018-09-15]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/>
- [20] Overview on tax incentives for electric vehicles in the EU. *ACEA - European Automobile Manufacturers' Association* [online]. Brussels: ACEA, 2018 [cit. 2018-09-15]. Dostupné z: https://www.acea.be/uploads/publications/EV_incentives_overview_2018_v2.pdf
- [21] *Regulation (EU) No 540/2014*. In: . Brussels: European Commission, 2014. Dostupné také z: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=PI_COM:Ares\(2017\)1775419](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=PI_COM:Ares(2017)1775419)
- [22] China Overview. *World Bank Group - International Development, Poverty & Sustainability* [online]. Washington, DC: World Bank Group, 2018 [cit. 2018-09-16]. Dostupné z: <http://www.worldbank.org/en/country/china/overview>
- [23] Electric Vehicles Comparing U.S. and Chinese Electric Vehicle Policies. *Environmental and Energy Study Institute* [online]. Washington DC: Environmental and Energy Study Institute, 2018, February 28, 2018 [cit. 2018-10-07]. Dostupné z: <https://www.eesi.org/articles/view/comparing-u.s.-and-chinese-electric-vehicle-policies>
- [24] China's New Energy Vehicle Mandate Policy (Final Rule). *International Council on Clean Transportation* [online]. Washington DC: International Council on Clean Transportation, 2018, January 2018 [cit. 2018-10-07]. Dostupné z:

- https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/China-NEV-mandate_ICCT-policy-update_20032018_vF-updated.pdf
- [25] Electric, Hybrid Vehicles to get cheaper: Rs 1.5 lakh to 3 crore rebate to be announced under FAME II. *The Financial Express* [online]. Noida: The India Express, 2018 [cit. 2018-10-07]. Dostupné z: <https://www.financialexpress.com/auto/car-news/electric-hybrid-vehicles-to-get-cheaper-rs-1-5-lakh-to-3-crore-rebate-to-be-announced-under-fame-ii/1111560/>
- [26] MANTHEY, Nora. Electric cars coming to FAME II in India. *Electrive.com* [online]. Berlin: Rabbit Publishing, 2018, May 15, 2018 [cit. 2018-10-07]. Dostupné z: <https://www.electrive.com/2018/05/15/electric-cars-coming-to-fame-ii-in-india/>
- [27] VAN MIERLO, J, G MAGGETTO, E VAN DE BURG WAL a R GENSE. Driving style and traffic measures-influence on vehicle emissions and fuel consumption. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2005, **218**(1), 43-50. DOI: 10.1243/095440704322829155. ISSN 0954-4070. Dostupné také z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1243/095440704322829155>
- [28] PITANUWAT, Siriorn a Angkee SRIPAKAGORN. An Investigation of Fuel Economy Potential of Hybrid Vehicles under Real-World Driving Conditions in Bangkok. *Energy Procedia*[online]. 2015, **79**, 1046-1053 [cit. 2019-02-09]. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.11.607. ISSN 18766102. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610215023395>
- [29] FONTARAS, Georgios, Panayotis PISTIKOPOULOS a Zissis SAMARAS. Experimental evaluation of hybrid vehicle fuel economy and pollutant emissions over real-world simulation driving cycles. *Atmospheric Environment* [online]. 2008, **42**(18), 4023-4035 [cit. 2019-02-09]. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.01.053. ISSN 13522310. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S135223100800085X>
- [30] TAYMAZ, Imdat a Merthan BENLI. Emissions and fuel economy for a hybrid vehicle. *Fuel* [online]. 2014, **115**, 812-817 [cit. 2019-02-09]. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.04.045. ISSN 00162361. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016236113003463>
- [31] YUKSEL, Tugce, Shawn LITSTER, Venkatasubramanian VISWANATHAN a Jeremy J. MICHALEK. Plug-in hybrid electric vehicle LiFePO₄ battery life implications of thermal management, driving conditions, and regional climate. *Journal of Power Sources* [online]. 2017, **338**, 49-64 [cit. 2019-02-10]. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2016.10.104. ISSN 03787753. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378775316315130>
- [32] JAGUEMONT, J., L. BOULON a Y. DUBÉ. A comprehensive review of lithium-ion batteries used in hybrid and electric vehicles at cold temperatures. *Applied Energy* [online]. 2016, **164**, 99-114 [cit. 2019-02-10]. DOI:

- 10.1016/j.apenergy.2015.11.034. ISSN 03062619. Dostupné z:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261915014841>
- [33] *Current Results - Weather and Science Facts* [online]. Smitherhs BC: Current Results Publishing, 2019 [cit. 2019-02-10]. Dostupné z:
<https://www.currentresults.com/index.php>
- [34] BERJOZA, Dainis, Inara JURGENA a Kaspars VARTUKAPTEINIS. Research in electro and internal combustion engine motor vehicle energy costs. *Engineering for Rural Development - International Scientific Conference*. Jelgava, 2012, (11), 8. ISSN 16913043.
- [35] Jak na domácí nabíjení elektromobilu. *EcoFuture* [online]. České Budějovice: E.ON, 2019, 12.3.2018 [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <https://www.ecofuture.cz/clanek/jak-na-domaci-nabijeni-elektromobilu>
- [36] D27d. *Ceny energie* [online]. Brno: Redakce portálu Ceny energie, 2019, 17. 4. 2014 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://www.cenyenergie.cz/d27d/#/promo-ele-mini>
- [37] PONCAROVÁ, Jana. Nejúspěšnější dodavatelé elektřiny: Komu se daří na českém trhu?. *Finance.cz* [online]. Praha: Mladá fronta, 2019, 22. 3. 2016 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://www.finance.cz/zpravy/finance/463398-nejuspesnejsi-dodavatele-elektřiny-komu-se-dari-na-ceskem-trhu/>
- [38] Ceník elektřiny v kategorii domácnost. *Innogy* [online]. Praha: innogy Česká republika, 2019 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z:
https://www.innogy.cz/files/ceniky/EE_CEN_OPT_140101_DOM_EON.pdf
- [39] Ceny produktové řady Garance 2018. *Bohemia Energy* [online]. Praha: BOHEMIA ENERGY entity, 2019 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z:
https://www.bohemiaenergy.cz/wp-content/uploads/price_lists/100/BE-PD-EC-DOG8-CR_20180101-01.PDF
- [40] Ceník elektřiny společnosti Centropol Energy, a.s. pro domácnosti s odběry ze sítě nízkého napětí. *Centropol* [online]. Ústí nad Labem: Centropol Energy, 2019 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: https://www.centropol.cz/sites/default/files/2018-07/D-ME_CEZ.pdf
- [41] Nové Mitsubishi Outlander PHEV - parametry. *Mitsubishi Motors ČR* [online]. Praha: M Motors CZ, 2019 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://www.mitsubishi-motors.cz/modely/outlander-phev/parametry/>
- [42] Nové Mitsubishi Outlander 2019 - parametry. *Mitsubishi Motors ČR* [online]. Praha: M Motors CZ, 2019 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://www.mitsubishi-motors.cz/modely/outlander/parametry/>
- [43] *Český statistický úřad* [online]. Praha: Český statistický úřad, 2019 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/domov>
- [44] BUREŠ, David. Jak přesně změřit spotřebu paliva? Skutečně palubní počítače lžou?. *Auto.cz* [online]. Praha: Czech News Center, 2019, 18.12.2016 [cit. 2019-02-

- 27]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/jak-presne-zmerit-spotrebu-paliva-skutecne-palubni-pocitace-lzou-101440>
- [45] LAŽANSKÝ, Milan. WLTP: Noční měra výrobců aut je tady. Co znamená pro nové motory? Více na: <https://www.autorevue.cz/wltp-wiki-cyklus-rozdil-nedc>. *AutoRevue.cz* [online]. Praha: Czech News Centre, 2019, 5.9.2018 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/wltp-wiki-cyklus-rozdil-nedc>
- [46] MRÁČEK, Michael. Aktuální problémy měření a uvádění spotřeby a emisí u osobních vozidel. *Epravo.cz* [online]. Praha: EPRAVO.CZ, 2019, 28.6.2018 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://www.epravo.cz/top/clanky/aktualni-problemy-mereni-a-uvadeni-spotreby-a-emisi-u-osobnich-vozidel-107754.html>
- [47] ECE 15 + EUDC / NEDC. *Emission Test Cycles* [online]. Mississauga: Ecopoint, 2019 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php
- [48] Rok po začátku Dieselgate žalují Volkswagen další spolkové země. Koncern prodal více aut než loni. *Aktuálně.cz* [online]. Praha: Economia, 2019, 18.9.2016 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/rok-po-zacatku-dieselgate-zaluji-volkswagen-dalsi-spolkove-ze/r~fa0458f27d5f11e682470025900fea04/>
- [49] Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC). *Emission Test Cycles* [online]. Mississauga: Ecopoint, 2019 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>
- [50] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. Brno: Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.
- [51] Troubleshooting a Check Engine Light. *Autointhebox* [online]. New York: Autointhebox.com, 2015 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <http://blog.autointhebox.com/troubleshooting-a-check-engine-light.html>
- [52] YAO, Guang Tao, Heng WU a Zi Rong GUO. Research Status and Trend of On-Board Diagnostics. *Applied Mechanics and Materials* [online]. 2014, **2014**(vol. 538), 339-343 [cit. 2019-03-03]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.538.339. ISSN 1662-7482. Dostupné z: <https://www.scientific.net/AMM.538.339>
- [53] *Autolexicon.net* [online]. autolexicon.net, 2019 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/>
- [54] *Autor práce*.
- [55] Toyota RAV4 e-Katalog. *Toyota Central Europe - Czech s.r.o.* [online]. Praha: Toyota Central Europe - Czech, 2019 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.toyota.cz/new-cars/rav4/index/specifikace#/ajax/%2Fnew-cars%2Frav4%2Febrochure.json>
- [56] Katalog o hybridním pohonu. *Toyota Central Europe - Czech s.r.o.* [online]. Praha: Toyota Central Europe - Czech, 2019 [cit. 2019-03-06]. Dostupné z:

- <https://www.toyota.cz/new-cars/rav4/index/specifikace#/ajax/%2Fnew-cars%2Febrochure-hybrid.json>
- [57] *Dálnice-silnice.cz* [online]. Zlín: ZONER software, 2019 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.dalnice-silnice.cz/>
- [58] *Google Earth* [online]. Mountain View: Google, 2019 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://earth.google.com>
- [59] Emise - Katedra vozidel a pozemní dopravy. *Stránky kateder a útvarů ČZU* [online]. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://katedry.czu.cz/kvpd/merici-vybaveni/emise>
- [60] NDIR and CO2 Sensors Explained. *Environmental research and Monitoring Equipment* [online]. Moorabbin: Edaphic Scientific, 2019 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.edaphic.com.au/knowledge-base/articles/gas-articles/ndir-explained/>
- [61] Spočítejte si, kolik emisí CO2 vyprodukuje Vaše auto. *Ekoblog.cz - technologie a životní prostředí* [online]. Chamanne, 2014 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <http://www.ekoblog.cz/?q=emise>
- [62] DUSIL, Tomáš. Nový homologační emisní test WLTP: Opravdu znamená konec lhání?. *Auto.cz* [online]. Praha: Czech News Centre, 2019, 4. 10. 2017 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/novy-homologacni-emisni-test-wltp-opravdu-znamena-konec-lhani-110305>
- [63] DUSIL, Tomáš. Systém start-stop může poškodit motor! Věděli jste, jak moc?. *Auto.cz* [online]. Praha: Czech News Centre, 2019, 28. 3. 2017 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/system-start-stop-muze-poskodit-motor-vedeli-jste-jak-moc-104878>

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1: PHEV značky Mercedes-Benz; model C 350 e
- Obr. 2: Stejnoseměrný elektromotor - vynález T. Davenporta
- Obr. 3: CitiCar
- Obr. 4: Toyota Prius
- Obr. 5: Schéma sériového uspořádání
- Obr. 6: Schéma paralelního uspořádání
- Obr. 7: Schéma kombinovaného uspořádání
- Obr. 8: Legislativní opatření ve státech EU - zeleně označeny státy, kde je koupě a provoz hybridních vozidel nejvýhodnější; žlutě označeny státy, jejichž legislativa koupí a provoz hybridních vozidel nijak nezvýhodňuje
- Obr. 9: Graf faktorů ovlivňujících chování řidiče
- Obr. 10: Spotřeba paliva v městském (Urban), mimoměstském (Suburban) a dálničním (Highway) provozu; (a) – vozidel s konvenčním pohonem, (b) – vozidel PHEV.
- Obr. 11: Úspora spotřeby paliva při použití PHEV vozidla ve srovnání s vozidlem s konvenčním pohonem; v městském (Urban), mimoměstském (Suburban) a dálničním (Highway) provozu
- Obr. 12: Charakteristika spotřeby paliva; vlevo pro vozidla s konvenčním pohonem (CVs), vpravo pro vozidla hybridní (HVs). Svislá osa představuje spotřebu paliva, vodorovná osa představuje zrychlení. „AvgSpeed“ je označení pro průměrnou rychlost
- Obr. 13: Životnost Li-ion baterie pro různá města (Phoenix, San Francisco), v různých provozech (smíšený – GPS; městský – US06) bez a s využitím vzduchového chlazení baterie (Air cooling)
- Obr. 14: Závislost ztráty kapacity na stáří baterie - vlevo porovnání jízd v různých druzích provozu (městský - US06, smíšený - GPS) ve městě Phoenix, vpravo porovnání různých druhů klimatických podmínek (mírné – SF, teplé - Phoenix). Ztráta kapacity baterie je rovněž závislá na případném chlazení baterie
- Obr. 15: Různé podoby kontrolky MIL
- Obr. 16: Měřený vůz - Toyota RAV4
- Obr. 17: Přípravenost vozu k přepnutí do elektrického pohonu
- Obr. 18: Základní rozdělení pohonů - stav baterie, elektromotor, zážehový motor
- Obr. 19: Různý stav pohonů - nahoře: nabíjení baterie spalovacím motorem (vlevo), pohon vozu elektromotorem (vpravo); dole: hybridní pohon vozu (vlevo), nabíjení baterie rekuperací (vpravo)
- Obr. 20: Trasa měření; jednotlivé úseky vyznačeny barevně (červená = městský provoz, žlutá = mimoměstský provoz, modrá = dálniční provoz)
- Obr. 21: Příjmač Garmin GPS 18x umístěný na střeše měřeného vozidla

- Obr. 22: Emisní analyzátor VMK (vlevo), upevnění snímačů emisních plynů do výfukového potrubí (vpravo)
- Obr. 23: Rozsah a přenos emisního analyzátoru VMK při měření jednotlivých složek emisí
- Obr. 24: Umístění OBD zásuvky ve voze Toyota RAV4
- Obr. 25: Grafické znázornění chodu spalovacího motoru v centru města (městský provoz, 2. polovina 1. měření)
- Obr. 26: Grafické znázornění chodu spalovacího motoru v centru města (městský provoz, 1. polovina 2. měření)
- Obr. 27: Grafické znázornění chodu spalovacího motoru mimo město (1. měření)
- Obr. 28: Grafické znázornění chodu spalovacího motoru mimo město (2. měření)
- Obr. 29: Grafické znázornění chodu spalovacího motoru na dálnici (1. měření)
- Obr. 30: Grafické znázornění chodu spalovacího motoru na dálnici (2. měření)

SEZNAM TABULEK

- Tabulka 1: Normalizovaná spotřeba vozidel s konvenčními pohony a vybraných PHEV vozidel při různých rychlostech odpovídajících městskému, mimoměstskému a dálničnímu provozu.
- Tabulka 2: Odhad průměrného nízkého tarifu sazby D27d
- Tabulka 3: Parametry vozů Mistubishi Outlander (konvenční pohon a PHEV)
- Tabulka 4: Technické parametry měřeného vozidla z malého TP
- Tabulka 5: Provozní parametry měřeného vozidla
- Tabulka 6: Přehled naměřených provozních parametrů (městský provoz, měření č. 1)
- Tabulka 7: Spotřeba a emise škodlivých látek (městský provoz, 1. měření)
- Tabulka 8: Přehled naměřených provozních parametrů (městský provoz, měření č. 2)
- Tabulka 9: Spotřeba a emise škodlivých látek (městský provoz, 2. měření)
- Tabulka 10: Přehled naměřených provozních parametrů (mimoměstský provoz, měření č. 1)
- Tabulka 11: Spotřeba a emise škodlivých látek (mimoměstský provoz, 1. měření)
- Tabulka 12: Přehled naměřených provozních parametrů (mimoměstský provoz, měření č. 2)
- Tabulka 13: Spotřeba a emise škodlivých látek (mimoměstský provoz, 2. měření)
- Tabulka 14: Přehled naměřených provozních parametrů (dálniční provoz, měření č. 1)
- Tabulka 15: Spotřeba a emise škodlivých látek (dálniční provoz, 1. měření)
- Tabulka 16: Přehled naměřených provozních parametrů (dálniční provoz, měření č. 2)
- Tabulka 17: Spotřeba a emise škodlivých látek (dálniční provoz, 2. měření)