JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Zemědělská a dopravní technika

Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Ověření spotřeby energie automobilů se spalovacím motorem a elektrickým motorem

Vedoucí práce: Ing. Ivo Celjak, CSc.

Autor: Bc. Stanislav Chada

České Budějovice, 2020

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Zemědělská fakulta

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Bc. Stanislav CHADA**
Osobní číslo:	**Z18137**
Studijní program:	**N4101 Zemědělské inženýrství**
Studijní obor:	**Zemědělská a dopravní technika**
Téma práce:	**Ověření spotřeby energie automobilů se spalovacím motorem a elektrickým motorem**
Zadávající katedra:	**Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky**

Zásady pro vypracování

Cíl práce:

Cílem práce je stanovení jízdních odporů působících na vybraný automobil se spalovacím motorem a automobil poháněný elektrickým motorem shodné hmotnosti v závislosti na režimu jízdy v městském a mimoměstském jízdním cyklu a porovnání hodnot měrné dráhové spotřeby energie automobilů.

Metodický postup:

1. Studium literatury týkající se řešené problematiky (jízdní odpory, dopravní trasy, výpočet spotřeby energie) a vypracování rešerše.
2. Zpracování přehledu všech faktorů ovlivňujících jízdní odpory vozidla v pohybu.
3. Teoretický výpočet spotřeby pohonných hmot v závislosti na režimu jízdy, na charakteru dopravní trasy a na technických parametrech automobilu (velikost a hmotnost).
4. Zpracování metodiky pro sběr dat hlavních faktorů ovlivňujících jízdní odpory a pro zjištění spotřeby energie na zvoleném úseku dopravní trasy.
5. Sběr potřebných dat u vybraných automobilů ve vybraných jízdních režimech na zvoleném úseku dopravní trasy pro stanovení měrné dráhové spotřeby energie.

Rozsah pracovní zprávy:	**60 – 80 stran**
Rozsah grafických prací:	**dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce:	**tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Celjak, I.: Konstrukce a provoz elektricky poháněných automobilů. 2018, 168 s, učební text, KZDMT, ZF, JČU České Budějovice, dostupné z: http://kzt.zf.jcu.cz/studentum/vyukove-materialy/

Bradáč, A. a kol.: Rádce majitele automobilu. LINDE Praha, 1998, ISBN 70-7201-119-7, 549 s.

Gscheidle, R. a kol.: Příručka pro automechanika. Europa Lehrmitterl, Germany 2015, ISBN 978-3-8085-2163-2, 685 s.

Hromádko, J.: Spalovací motory. GRADA, 2011, 296 s.

Pošta, J.: Opravárenství a diagnostika, Informatorium. 2010, ISBN 978-80-7333-073-6, 192 s.

Vlk, F. Dynamika motorových vozidel. ISBN 80-238-5273-6, Nakladatelství VLK, Brno 2000

Sloboda, A. a kol.: Konštrukcia kolesových a pásových vozidiel – teória, konštrucia, riziká. VENALA, Košice, 2008, ISBN 978-80-89232-28-4, 548 s.

Vémola, A.: Diagnostika automobilů. Litera, 2006, ISBN 80-85763311, 196 s.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ivo Celjak, CSc.**
Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Datum zadání diplomové práce: **22. ledna 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **15. dubna 2020**

V Českých Budějovicích dne 25. února 2019

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 1668, 370 05 České Budějovice

prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení:

Prohlašuji, že v souladu s § 47 b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to – v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce.

Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum…… Podpis studenta……

Poděkování:

Děkuji rodině za velkou podporu, jaké se mi dostalo vždy, když bylo nejvíce potřeba. Rád bych také poděkoval Ing. Ivu Celjakovi, CSc za metodické vedení práce a za jeho pozitivní přístup v průběhu celé práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat firmě ACR auto a.s. a panu Tomanovi za zapůjčení vozidla potřebného k vlastnímu měření.

Abstrakt:

V diplomové práci se zaobírám porovnáním přímé energetické náročnosti vozidel se spalovacím motorem a elektromobilů. Snahou je teoretická kalkulace a zároveň její ověření v reálném provozu při působení jízdních odporů. Praktickému testování jsem podrobil Škodu Fabii třetí generace s motorem 1,2 TSI a BMW I3S. Následně dle naměřených hodnot následuje posouzení, která koncepce je energeticky náročnější a zároveň stanovení faktorů, které ovlivnily výsledek.

Klíčová slova: energetická náročnost; kalkulace; reálný provoz; jízdní odpory

Abstract:

In my thesis I deal direct comparison of energy performance of vehicles with combustion engines and electric vehicles. The aim is to make a theoretical calculation and at the same time verify it in real operation under the influence of driving resistance. I tested the third-generation Škoda Fabia with 1.2 TSI and electric car BMW I3S for practical testing. Then, the measured values are followed by an assessment of which concept is more energy intensive and at the same time determining the factors that influenced the result.

Keywords: energy intensity; calculation; real traffic; driving resistances

Obsah

Úvod ... **8**

1 Literární přehled ... **9**

1.1 Emise silniční dopravy ... 9

1.1.1 Přehled škodlivých složek emisí vzniklých spalováním ... 10

1.1.2 Alternativní pohony-možné řešení ... 16

1.1.2.1 Využití vodíku ... 17

1.1.2.2 Spalování CNG ... 19

1.1.2.3 Elektromobilita a hybridy ... 21

2 Cíle práce ... **27**

3 Metodika ... **28**

3.1 Teoretická metodika – parametry trasy ... 28

3.2 Výběr testovaných vozidel ... 30

3.3 Způsob sběru jízdních dat ... 32

3.4 Způsob měření na dopravní trase ... 33

3.5 Ověření naměřených hodnot výpočtem ... 34

3.6 Vypočtené hodnoty ... 37

4 Diskuse ... **49**

Závěr ... **54**

Seznam použité literatury a zdrojů ... **55**

Seznam obrázků: ... **57**

Seznam tabulek: ... **59**

Úvod

Při nadále vzrůstajících nárocích na přepravu (přepravní rychlost, komfort posádky, bezpečnost, nosnost, aj.) vzrůstá i práce, kterou musí osobní automobil vykonat, aby překonal odpory vzniklé při uvedení vozidla do provozu. Mezi hlavní důvody patří neustále se zvyšující hmotnost vozidel z důsledku zesílení pasivních deformačních zón, zvyšující se výbavy vozidel, zvyšování hodnot rozměrů vozidel a vyšší nároky obsluhy na jízdní komfort. S navýšením výkonové náročnosti se setkáváme s vyšší energetickou náročností a s tím spojenou spotřebou pohonných hmot vozidel. Byť jsou dnes vozidla více hospodárná než před dvaceti lety, stále je tento problém aktuální.

Spotřeba paliva, která se vztahuje vzhledem k dokonalosti spalování a účinnosti přeměny energie patří mezi jeden ze základních faktorů, které mají vysoký podíl na emisích a tím pádem i na dopadech na zemské klima. Studie Evropské unie uvádí, že v roce 2016 silniční doprava zastupovala 72 % vytvořených emisí v dopravě. Z toho 60,7 % vyprodukovaly osobní automobily. Proto je na místě zavádět alternativní možnosti pohonu, ať už se jedná o elektromobily, nebo o vozidla spalující CNG, LPG, nebo vodík. Diskutabilní je ale dopad těchto alternativ na životní prostředí. Ať už v samotné elektrické energii, kterou je potřeba vyrobit, nebo v emisích vyprodukovaných spálením alternativních paliv. Výše zmíněnými problémy se v práci zabývám (http://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika, „staženo dne:3.2.2020“).

1 Literární přehled

1.1 Emise silniční dopravy

I přes inovační řešení koncepcí spalovacích motorů pro osobní i užitková vozidla se neustále zvyšuje podíl dopravy na emisích, a tudíž změně klimatu. V roce 2018 vzrostla v důsledku emisí teplota o 1,5 °C v návaznosti na závazek OSN v rámci Pařížské dohody, kde se státy zavázaly v roce 2015 držet globální oteplování pod 2 °C za rok. Mimo globálního oteplování je doprava v Evropské unii zodpovědná za 30 % vzniklých emisí, přičemž 72 % z těchto emisí způsobuje silniční doprava. Zároveň zdroje uvádí, že znečištění ovzduší, které vyplývá ze zvýšených emisí, je zodpovědné ročně za smrt zhruba 370 000 obyvatel v EU, z toho 9000 lidí z České republiky. Ministerstvo životního prostředí České republiky uvádí, že silniční doprava patří v současnosti mezi třetí největším znečišťovatelem, hned po energetice a průmyslu (http://www.blokovygrant.cz/download.php?id=830&typ=m, „staženo dne:3.2.2020“).

Proto výrobci spalovacích motorů inovují jak systém spalování (přímé vstřikování, přeplňované motory, aj.), tak i systémy dodatečné úpravy spalin (DPF filtry, SCR katalyzátory a vstřikování močoviny). Pozitivní ale je, že tyto změny přinesly od roku 1995 pokles emisí o 80 %. Hodnoty vycházející z brožury společnosti CEBIA s odkazem na web http://reducingco2together.eu/ poukazují na snížení oxidu uhličitého o 36 %, oxidů dusíku o 84 % a podíl pevných částic se snížil dokonce o 90 % za posledních 20 let, což dokazuje, jak rasantní je snížení v tomto směru (https://www.cebia.cz/cs/download/cebia-summary/cesky-trh-po-afere-dieselgate.pdf, „staženo dne: 10.9.2019“).

V roce 2017 (po aféře Dieselgate) průměrné emise ze vznětových motorů činily 117,9 $g*km^{-1}$ a paradoxně zážehové motory vypouštěly průměrně 121,6 $g*km^{-1}$. Zároveň je ale vyzdviženo, že ve výše zmíněném roce celých 45 % prodaných vozidel bylo vybaveno dieselovými agregáty, vozidla se zážehovými pohony tvořila dokonce 53 %. Zbytek zaujímají vozidla s alternativními pohony a elektromobily (https://www.cebia.cz/cs/download/cebia-summary/cesky-trh-po-afere-dieselgate.pdf, „staženo dne: 10.9.2019“).

Postoj automobilových společností vůči inovacím popisuje na webu Donna Fuscaldo. Uvádí zde, že značky jako Mercedes-Benz a Volkswagen nebudou dále vyvíjet spalovací motory a zaměří se na elektromobilitu. Za společnost Mercedes-Benz Markus Schaefer, vedoucí vývoje, prohlásil, že vývoj na spalovacích motorech bude probíhat pouze pro zlepšení stávajících motorů (osazených například ve vozidlech tříd S, E a v SUV). Nynější hlavní cíl však je elektrický pohon a vývoj akumulátorů (https://interestingengineering.com/daimler-has-no-plans-to-develop-next-generation-combustion-engines, „staženo dne:28.1.2020“).

Hlavní stratég společnosti německého Volkswagenu, Michael Jost koncem prosince 2018 uvedl, že v roce 2026 vyvine VW poslední generaci automobilů, jenž bude poháněna spalovacími motory. Tímto má dojít k snížení výroby na absolutní minimum. V návaznosti na toto prohlášení Volkswagen vyčlenil na nákup baterií potřebných pro výrobu elektromobilů 50 milionů euro, uvedl pro agenturu Reuters. https://www.thedrive.com/news/24853/volkswagen-ceo-we-have-sourced-batteries-for-50-million-electric-cars

V návaznosti na světový trend implementace elektromobilů do sériových produkcí v červnu 2019 Klaus Froelich (člen představenstva pro rozvoj) za společnost BMW uvedl, že rokem 2025 by bylo možné, aby 30 % prodejů byly elektrifikované, případně hybridní osobní automobily. Zároveň uvádí předpokládaný konec výroby spalovacích motorů za 30 let zážehové a 20 let vznětové (https://europe.autonews.com/automakers/bmw-diesels-survive-least-20-more-years-gasoline-engines-30, „staženo dne:28.1.2020“).

1.1.1 Přehled škodlivých složek emisí vzniklých spalováním

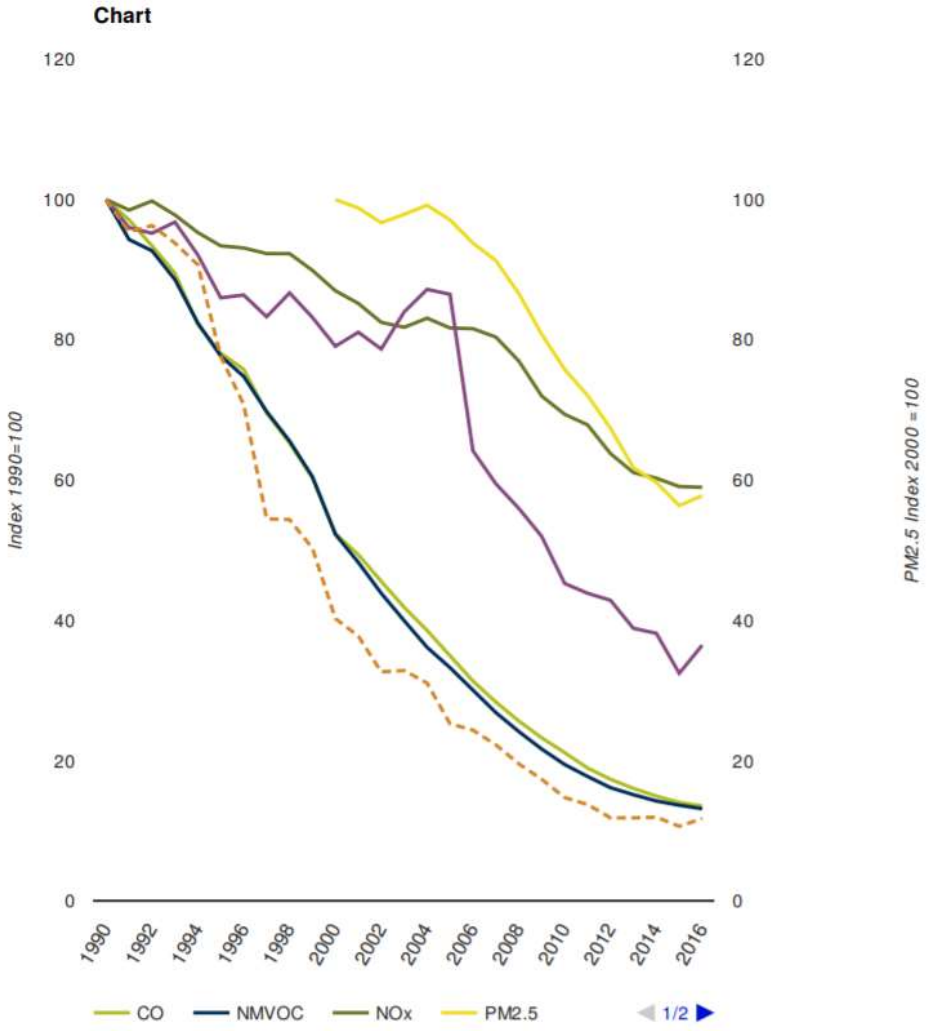
Při spalování fosilních paliv ve spalovacích motorech vznikají emise, které jsou závislé na typu paliva a jeho kvalitě, úrovně spalování a na dodatečné úpravě spalin. Pomineme používání vodíku, který je téměř bezemisní, vzhledem k velice pomalému uvádění do běžného provozu.

Paliva jako jsou benzín, nafta, případně LNG, LPG, nebo CNG produkují emise, jako jsou vodní páry, CO_2, oxidy dusíku, oxid uhelnatý, polycyklické aromatické uhlovodíky (označované zkratkou PAH), fenoly, ketony, těkavé organické sloučeniny a pevné částice (označované jako PM a číselným značením, které uvádí velikost částic

v jednotkách μg*m^{-3}) Jako jednou z dalších složek emisí jsou platinové kovy, pocházející z katalyzátorů. U starších automobilů se lze setkat s oxidem siřičitým (SO_2) a u starších paliv bylo možné se setkat se složkami olova (Pb) (http://www.blokovygrant.cz/download.php?id=830&typ=m, „staženo dne:9.9.2019“).

Složení emisí lze ovlivnit ve třech bodech. První z možných úprav může být vytváření směsi, zejména ve vstřikovačích (ovlivnění rozprášení, vstřikovací tlaky, rozvrstvení směsi). Další potenciál pro zlepšení lze nalézt v optimalizaci spalovacího prostoru (víření směsi ve válci, použití deflektorů na pístech, tvar hlavy válců). Třetí bod spočívá v dodatečné úpravě spalin, kde je hlavní cíl spálit ještě zcela nespálené palivo, jak je toho dosaženo např. pomocí katalyzátorů (VLK, 2002).

Vývoj dosažený inovací v technologiích a technologických řešeních spalovacích motorů v průběhu let 1990 až 2016 je vyobrazen na obrázku 1. Lze s jistotou říct, že se jedná o obrovský krok kupředu.



Obrázek 1 - Vývoj produkce emisí a jejich složení v průběhu let 1990–2016

zdroj:

https://www.eea.europa.eu/downloads/5e146f57267d46fb80a2b0489bc7f2e1/1567499531/transport-emissions-of-air-pollutants-6.pdf

(„staženo dne: 15.1.2020“)

Pevné částice (PM – anglickým názvem Particulate Matter)

Jedná se o saze, nebo dehet, který vzniká ve větší míře u dieselových agregátů. Jejich obsah v emisích je zapříčiněn zejména nedokonalým spalováním paliva, případně omezenou funkčností systémů dodatečné úpravy spalin. Jedná se v podstatě o emise z nedokonalého (difusního) spalování, ale svou roli hraje i spálení motorového oleje – svou roli může hrát v tomto směru i činnost stíracích pístních kroužků, které mohou zanechávat větší množství mazacího oleje na stěnách válce, nebo nedostatečné utěsnění ventilů ve vodítkách v hlavě motoru (VLK, 2002).

Jsou složeny z pevného uhlíku z více, než 50% obsahu, na něm je vázaná vodní pára, která přechází s klesáním teploty do kapalného stádia a stává se vodou. Další složkou jsou těkavé organické sloučeniny, dále mohou obsahovat sírany (https://cv.vscht.cz/files/uzel/0014041/0013~~c83NLE5VKDu8N600Ox9IJWcoFORU5h1dDwA.pdf?redirected , „staženo dne:9.10.2019“).

Nebezpečnost této frakce emisí spočívá zejména na schopnosti vázat na sebe další, neméně nebezpečné škodlivé látky a tím je importovat do organismu. Obecně lze říct, že tyto látky dráždí sliznice dýchacích cest, snižují schopnost organismu se čistit, tudíž zvyšují riziko infekcí. Škodlivost pevných částic je uváděna v závislosti na jejich velikosti, rozlišují se dvě, PM10 a PM2,5.Torakální frakce, jak je PM10 nazývána, proniká hlouběji do dýchacích cest. Při krátkodobějším inhalování způsobují potíže astmatikům, při dlouhodobém inhalování mohou zhoršovat fungování plic a snižuje se celková doba života (kvůli plicním a srdečně cévním onemocněním). Předpokládá se, že menší frakce PM2,5 na sebe váže látky PAU, polycyklické aromatické uhlovodíky, jež jsou karcinogenní. Je prokázáno, že při dlouhodobějším vystavení částicím PM2,5 narůstá mortalita, zvyšuje se i pravděpodobnost propuknutí bujení nádorů a kardiovaskulárních onemocnění (http://www.blokovygrant.cz/download.php?id=830&typ=m, „staženo dne:30.1.2020“).

Oxid uhelnatý (CO)

Další složkou emisí spalovacích motorů je oxid uhelnatý. Jedná se o toxickou látku, která vzniká nedokonalým shořením paliva. Vzniká při nedostatečném přístupu vzduchu a při vysokých teplotách. Pokud není dodržen optimální stechiometrický

poměr (vznětové motory 14,5:1 a zážehové motory 14,7:1) ve prospěch paliva, dochází ke zvýšené tvorbě oxidu uhelnatého. Problémem může být vydřená, odkapávající tryska, její špatné rozprášení paliva, případně zanesený vzduchový filtr (který znemožní optimální plnění vzduchem), špatné nastavení škrtící klapky, případně vadná lambda sonda. Nebezpečí hrozí zejména v uzavřených objektech, nebo dílenských jámách, kde je ohrožen personál pracující na vozidle (VLK, 2002).

Oxid uhličitý (CO_2)

Jednou z dalších složek je oxid uhličitý, který je dnes hlavním tématem, zejména kvůli oteplování planety. Jedná se o produkt spalování, pokud je spalovací proces dokonalý (jeho maximální hodnoty dosahují 14,7 % objemu). Zároveň, pokud snížíme spotřebu paliva, snížíme i emise CO_2 ze spalovacích agregátů. Pokud jsou však hodnoty velmi nízké (v souvislosti s emisemi HC a CO), může být problémem netěsnost ve výfukovém systému, kde následně dochází k přisávání vzduchu a tím zkreslení objektivních hodnot měření emisí. Obsah oxidu uhličitého v emisích zároveň vypovídá o stavu katalyzátoru, který při správném fungování zajišťuje snižování uhlovodíků, oxidů dusíku a oxidu uhelnatého oxidací. Tedy jeho nefunkčnost má za následek ještě mnohem vyšší emise CO_2, než jsou maximální hodnoty při dokonalém spalování spalovacího motoru (VLK, 2002).

Do roku 2021 by se měla finální hodnota v EU snížit na 95 $g*km^{-1}$. Po přepočítání lze stanovit, že průměrná spotřeba by měla činit u zážehových motorů 4,1 a u vznětových 3,6 litru na 100 kilometrů (https://www.cebia.cz/cs/download/cebia-summary/cesky-trh-po-afere-dieselgate.pdf, „staženo dne:10.9.2019“).

Uhlovodíky (HC)

Tato složka emisí pochází převážně z bohaté směsi, obdobně jako oxid uhelnatý. Důvodem je přebytek nespáleného a částečně spáleného paliva. Minimální hodnoty obsahu uhlovodíků v emisích se pohybují nejníž, pokud se poměr vzduchu vůči palivu λ pohybuje od 1,1-1,2. Udává se v jednotkách ppm z anglického parts per milion, kde platí 100 % objemu se rovná 1 000 000 ppm a 1 % objemu odpovídá 10 000 ppm (VLK, 2002).

Existují různé typy uhlovodíků v emisích. Prvním z nich jsou nasycené uhlovodíky, například parafiny. Nezapáchají, jsou mírně narkotické a dráždivé na kůži. Dalším

druhem jsou nenasycené uhlovodíky, jako olefiny a acetylény. Společně mají vliv na vytváření smogu a ovlivňují ozón. Další složkou jsou aromatické uhlovodíky neboli PAH. Zkratka pochází z anglického Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Jedná se o netěkavé anorganické složky, jejichž části jsou absorbovány na pevných částicích. Jedná se o nervové jedy s karcinogenními účinky (VLK, 2002)

Oxidy dusíku (No_x)

Vznikají při vysokém tlaku a teplotě, kdy dochází k oxidaci dusíku z nasávaného vzduchu. Tyto sloučeniny, jako jsou oxid dusičitý (NO_2), oxid dusnatý (NO) a oxid dusný (N_2O) se vyznačují dráždivostí dýchacích cest, pokožky a jsou silně jedovaté.

Jejich tvorbu může ovlivnit načasování vstřiku paliva, zejména pozdní vstřik se vyznačuje následkem snížení obsahu Nox ve spalinách. Odchylka o pouhý 1° od natočení klikového hřídele může vést ke zvýšení NOX emisí až o 5 %. Nepříznivý vliv na oxidy dusíku má také průběh vstřiku paliva, protože pokud palivo shoří moc rychle, zvyšuje se jejich podíl ve výfukových plynech (VLK, 2002)

Oxid siřičitý (SO_2)

Vzniká, když síru obsahující palivo (jehož hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1) po spálení reaguje s vzdušným kyslíkem. Při sloučení tohoto oxidu s vodou vznikají kyseliny, které následně zapříčiní vznik kyselých dešťů, které jsou z hlediska ekologie vysoce škodlivé.

Tabulka 1 - Obsah síry v palivech pro spalovací motory (2009)

	Benzín automobilový	Motorová nafta	Letecký petrolej	Paliva pro námořní dopravu (mazut apod.)
Obsah síry v palivu [%]	Až 0,5	0,001	0,3	1-5

zdroj:
https://cv.vscht.cz/files/uzel/0014041/0013~~c83NLE5VKDu8N600Ox9IJWcoFORU5h1dDwA.pdf?redirected
(„staženo dne: „9.10.2019“)

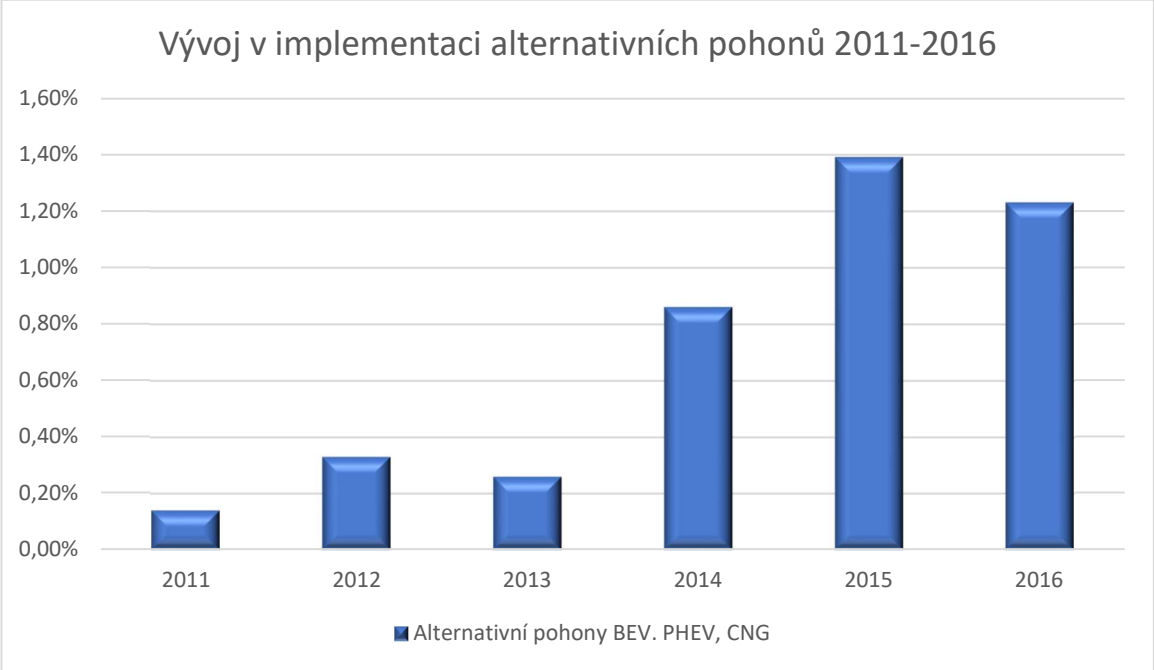
Následky působení oxidu siřičitého v podobě kyselých dešťů spočívají zejména ve vyplavování bazických iontů vápníku, sodíku a hořčíku z půdy, což má za následek prudkou změnu reakcí v půdě a vážné následky na půdní ekosystémy. Vegetace tak trpí nedostatkem potřebných živin a celkovým oslabením, čímž je náchylnější k napadení škůdci a chorobami. Vzhledem k původcům vzniku této sloučeniny je však silniční doprava zanedbatelná, protože tvoří pouze 0,09 % všech emisí SO_x (zdroj: http://www.blokovygrant.cz/download.php?id=830&typ=m, „staženo dne:9.9.2019“).

Kovy

Mezi další složky emisí spalovacích motorů patří kovy, jako jsou mangan, nebo olovo. Bývají součástí aditiv, přidávaných pro zvýšení oktanového čísla, zejména pak olovo. Sloučeniny olova se vyznačují jako vysoce toxické, dostávají se do organismu a zabraňují okysličení buněk. Olovo se jako složka paliv v některých zemích stále ještě používá (Afghánistán, KLDR apod.).

1.1.2 Alternativní pohony-možné řešení

Vzhledem k výše zmíněnému složení emisí a jeho potenciální škodlivosti je na místě se zamyslet nad možnými alternativami, které by mohly přispět ke zlepšení životního prostředí. Hlavním cílem je snížit zejména uhlíkovou stopu vozidel, různými prostředky. Mezi alternativy, které jsou vyvíjeny a zkoušeny patří například využití vodíku (ať jako palivo pro spalovací motory, nebo jako palivové články). Na obrázku 2 je vyobrazený graf z roků 2011–2016 znázorňuje, jak snaha prosadit alternativní pohony probíhala.



Obrázek 2 - Alternativní pohony v silniční dopravě

zdroj: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2018-transport-in-the-eu-current-trends-and-issues.pdf

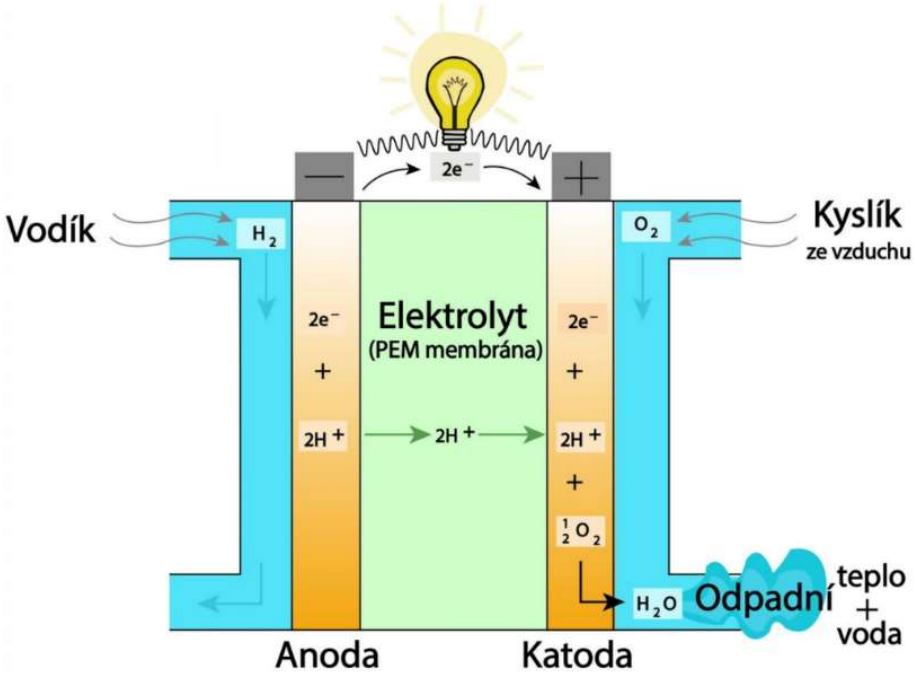
(„staženo dne: 9.9.2019“)

1.1.2.1 Využití vodíku

Spalování vodíku, ať už zkapalněného, nebo stlačeného je možné použít jako náhrada za konvenční paliva (benzin, nafta) s důležitým rozdílem ve složení emisí. Ty tvoří pouze vodní páry a kysličník dusíku, v omezeném množství. Uvádí se úbytek emisí až o 99,9 % oproti zážehovému motoru. Současné nevýhody použití vodíku jako paliva ale limitují jeho rozšíření v dopravě. Tyto nevýhody jsou cena výroby vodíku a výbušnost vodíku po smísení se vzduchem, což potvrzuje incident z 11. června 2019, kdy v Norsku vybuchla vodíková čerpací stanice. (http://www.hybrid.cz/konec-vodikovych-aut-v-norsku-vybuchla-vodikova-cerpaci-stanice, „staženo dne: 10. 9. 2019“).

Pro spalování vodíku je motor upraven pomocí elektronicky ovládaného směšovacího systému, který zajišťuje mísení vodíku se vzduchem ve správném poměru. Vzhledem k tomu, že je nasáván přebytek vzduchu, sníží se teplota ve válci a odvede se do nasátého vzduchu. Tudíž klesá teplota spalování a nízká teplota spalování zabraňuje vzniku NO_x, jedná se tak o prakticky bezemisní systém.

Další možností je využití vodíku v palivových článcích. Ty mají funkci generátoru elektrické energie. Princip funkce je zřejmý z obrázku 3 a spočívá v přenosu elektronů mezi dvěma elektrodami, anodě a katodě, které jsou odděleny membránou. Na anodu je přiveden vodík, který po sloučení s kyslíkem na anodě.



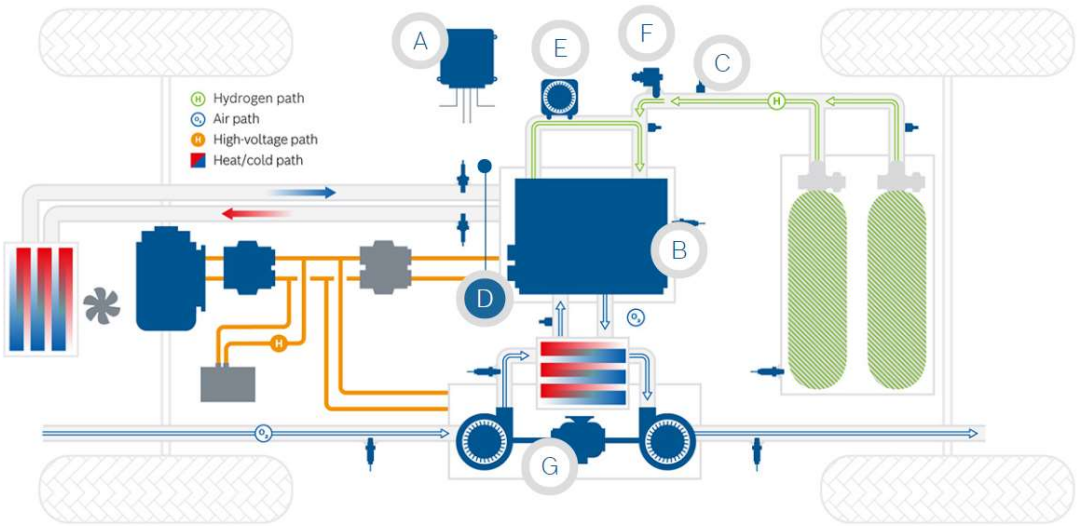
Obrázek 3 - Princip palivového článku

zdroj: http://i.imgur.com/NUQ0Uoa.jpg

(„staženo dne 5.11.2019“)

Samotná zástavba funkce systému palivového článku je popsána na obrázku 4 od společnosti BOSCH, která se zabývá vývojem výrobou tohoto systému. Palivové články jsou zastavěny do zásobníku energie (pozice B), který zajišťuje výrobu elektrické energie pro automobil. Zásobník je tvořen soubory palivových článků. V palivových článcích probíhá chemická reakce tzv. studeného spalování (slučování vzdušného kyslíku s vodíkem). Z této reakce vzniká elektřina, voda a teplo. Aby byl dostatek kyslíku pro uskutečnění reakce, jsou vozidla vybavena elektrickým kompresorem (pozice G), který vhání extrahovaný kyslík ze vzduchu do systému a reguluje jeho tlak. Dále pro dosažení reakce je potřebný vodík, který je zásobován pomocí vodíkového vstřikovače (pozice F). Ten na povel řídící jednotky palivového článku (FCCU-Fluid cell control unit, na obrázku pozice A) dodává potřebné množství vodíku (průtok až 3 $g*s^{-1}$ plynu a tlaky až 0,16 MPa). Pro skončení reakce je oddělena voda a nespotřebovaný vodík anodovým recirkulačním ventilátorem (pozice E). Tento

vodík je napojen zpětně na zásobní větev a může být znovu použit na reakci uvnitř palivového článku (https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/fuel-cell-electric-vehicle/, „staženo dne:4.12.2019“).



Obrázek 4 - Systém s palivovým článkem firmy BOSCH

zdroj: https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/fuel-cell-electric-vehicle/

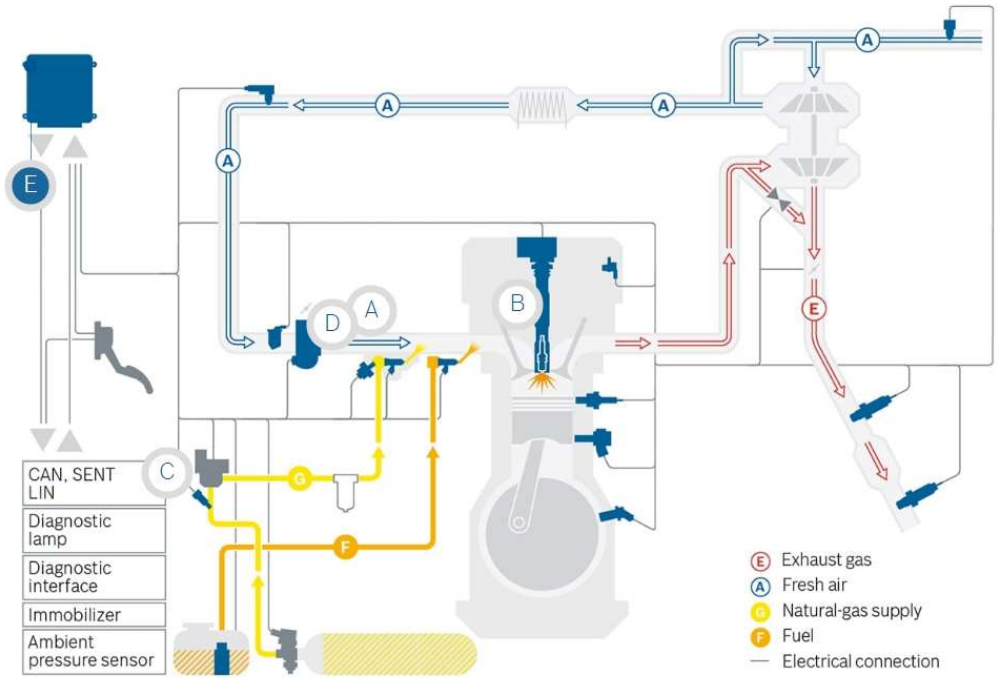
(„staženo dne 26.11.2019“)

1.1.2.2 Spalování CNG

Další neméně zajímavou možností je spalování CNG (Compressed natural gas= stlačený zemní plyn). Tento pohon bývá využit, jako náhrada za vozidla vybavená vznětovým, či zážehovým motorem. Sériové osobní automobily používají pro svůj provoz spalovacích motorů speciálně upravených pro spalování CNG, se zajištěním vysoké bezpečnosti této technologie (díky několika násobnému jištění). Mezi jeho hlavní přednosti patří tišší chod motoru (snížení hluku ze 60 %- 70 % vně a o 50 % uvnitř automobilu), snížení oxidů dusíku a oxidu uhelnatého, zásadní snížení obsahu pevných částic ve spalinách a snížení emisí CO_2 o cca 10-15 %. Společnost Bosch uvádí dokonce o 17 % a zmiňuje zároveň rasantní navýšení točivého momentu (https://bioage.typepad.com/.a/6a00d8341c4fbe53ef01b8d1562714970c-popup, „staženo dne: 10. 9. 2019“).

Mezi některé další výhody lze zařadit nulové ztráty paliva při tankování a palivo bez potenciálně karcinogenních přísad, rasantní úbytek kouřivosti, nebo snížení tvorby ozónu v atmosféře při zemi (https://www.cng.cz/uzitecne-informace/ekologie, „staženo dne: 10. 9. 2019“).

Na obrázku 5 od firmy BOSCH jsou detailně vyobrazeny úpravy pro spalování CNG. Základem celého systému je palivová nádrž (vysokotlaký zásobník) která je obvykle plněna tlakem 25 MPa CNG, tyto zásobníky procházejí tlakovou zkouškou až na 60 MPa (https://www.cngplus.cz/o-cng/bezpecnost.html, „staženo dne:3.11.2019“). Za tlakovým zásobníkem se nachází elektromagnetický ventil (Cut-off solenoid), který automaticky zastavuje přívod plynu v závislosti na použití CNG. Dále je plyn pod tlakem přiváděn k regulátoru tlaku (pozice C), který obvykle reguluje na tlak do 1 MPa v zásobníku (railu), kde je akumulován. Rail je vybaven senzorem, který snímá teplotu a tlak (pozice D) a tak jsou zajištěna data pro řídící jednotku (pozice E). Následně v závislosti na datech z řídící jednotky dochází ke vstřiku pomocí vstřikovacího ventilu (pozice A) do sání. Odtud je celá směs dopravována do válce a zažehnuta zapalovací svíčkou pozice B (https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/compressed-natural-gas/, „staženo dne:26.11.2019“).



Obrázek 5 - Systém pro spalování CNG firmy BOSCH

zdroj: https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/compressed-natural-gas/

(„staženo dne 26.11.2019“)

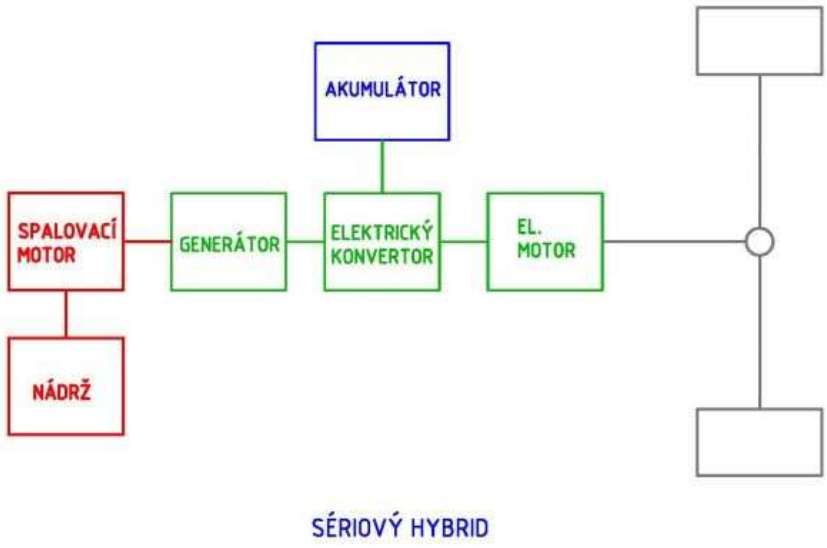
V tiskové zprávě Český plynárenský svaz zveřejnil informaci o vzrůstající spotřebě CNG v České republice v roce 2018 o více než 12 % a počet vozů na stlačený zemní plyn vzrostl na 23 tisíc automobilů. S tím souvisí i rozšiřování sítí čerpacích stanic, díky kterému je potenciál k dalšímu zvyšování počtů vozů s tímto pohonem (http://www.cng4you.cz/cng-info/tiskove-zpravy.html/185_1096-spotreba-cng-v-cr-loni-stoupla-o-vice-nez-12-procent/1, „staženo dne: 10. 9. 2019“).

1.1.2.3 Elektromobilita a hybridy

V poslední době je velice diskutovanou tématikou elektromobilita a nahrazení klasických automobilů se spalovacími motory elektromobily, případně hybridy. Vlk hybridy ve své knize popisuje jako koncepci ke snížení základních problémů elektromobilů, jako jsou nízký dojezd, nebo dlouhá doba nabití baterií a zároveň zachovat v určitých oblastech bezemisní provoz. Existují tři hlavní konstrukce hybridů

a to sériové, oddělené a paralelní. Prvním, sériově vyráběným hybridem se stala Toyota Prius roku 1997 s paralelní koncepcí (VLK, 2002).

Sériový hybrid, jehož blokové schéma je vyobrazeno na obrázku 6, pohání elektromotor s energií dodávanou z baterií. Spalovací motor slouží pro dobíjení baterií a jeho chod je řízen tak, aby co nejvíce snížil emise. Ztráty v transformaci energie jsou tak vysoké, že dlouhodobý provoz spalovacího motoru je vysoce nákladný a ve výsledku méně ekologický. Mezi hlavní výhody sériových hybridů patří zejména využití potenciálu elektromotoru, který má lepší průběh krouticího momentu ve vyšším rozsahu otáček než spalovací motor, absence převodovky a zároveň minimální zvýšení hmotnosti oproti čistým elektromobilům (např. Audi A1 etron, kde Wankelův motor ve spojení s generátorem způsobilo nárust hmotnosti o pouhých 70 kg) (https://oenergetice.cz/elektromobilita/hybridni-systemy-pro-pohon-automobilu, „staženo dne: 14.1.2020“).



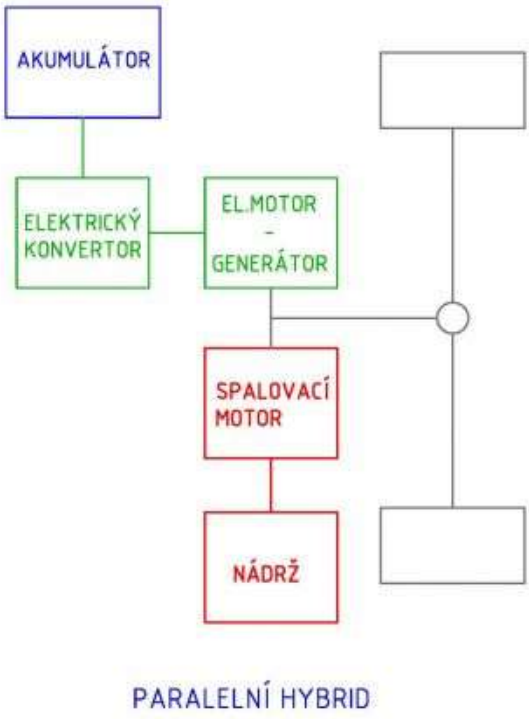
Obrázek 6 – Blokové schéma sériového hybridu

zdroj: https://oenergetice.cz/wp-content/uploads/2015/10/serie.jpg

(„staženo dne: 17.1.2020“)

Paralelní hybridy (v některých zdrojích uváděné jako mild hybridy) jsou značně výhodnější, jelikož točivý moment spalovacího motoru je převáděn přímo na kola

automobilu a v případě potřeby dobíjí baterie. Obrázek 7 znázorňuje blokové schéma paralelního hybridu a princip fungování. Výhoda této koncepce spočívá v možnosti použití spalovacího motoru a elektromotoru zároveň, například při vyšším zatížení, jako jsou stoupání, nebo potřeba okamžitého zrychlení (VLK, 2000).



Obrázek 7 – Blokové schéma paralelního hybridu

zdroj: https://oenergetice.cz/wp-content/uploads/2015/10/serie.jpg
(„staženo dne: 17.1.2020“)

Další velice prosazovanou alternativou jsou elektromobily. Jedná se o automobily vhodné zejména pro městský provoz, rozvážku, případně hromadnou dopravu osob. Jejich dílčí cíl je primárně dislokovat emise ze spalovacích motorů mimo městské zástavby. Pro jejich provoz je používána elektrická energie vyráběná v emisních a bezemisních zdrojích. Pro maximalizaci účinku ve snížení emisí by tyto zdroje však měly být zejména bezemisní např. jaderné elektrárny, případně obnovitelné zdroje energie (CELJAK, 2018).

Při pohledu do historie lze konstatovat, že první elektromobily jsou mezi námi již dlouhou dobu. První pokusy sestrojit automobil s elektrickým pohonem jsou známy z roku 1835, kdy profesor Sibrandus Groningenu navrhl koncepci malého

elektromobilu a následně jej se svým asistentem Christopherem Beckerem sestavili. Vývoj postupoval a roku 1900 jezdilo ve Spojených státech amerických více elektromobilů než automobilů se spalovacími motory. Zejména kvůli absenci ručního startování klikou. Dalším zásadním milníkem byl rok 1947, kdy japonská automobilka Nissan uvedla na trh automobil Nissan TAMA, který se vyznačoval dřevěnou, oplechovanou konstrukcí a dojezdem 100 km na jedno nabití s maximální rychlostí 30 $km*h^{-1}$. Roku 1975 začíná automobilka Fiat úspěšně uvádět na trh své elektromobily a roku 1990 začíná prodávat Fiat Panda Elettra, který se vyráběl až do roku 1993. V roce 1990 již začíná být jasná potřeba snížení emisí ze spalovacích motorů a společnost General Motors spouští v Californii projekt Zero-emissions s cílem nahradit část automobilů se spalovacími motory v řádech procent (do 1988 2 % a do roku 2003 až 10 %). Tento projekt ale bohužel roku 2003 skončil s důvodem nedostatku kvalitních a cenově dostupných baterií. Roku 2003 se ale začíná vyvíjet ikona na poli elektromobilů v automobilce Tesla Motors s názvem Tesla Roadster vyobrazený na obrázku 8 (http://www.elektromobilita.cz/cs/o-nas/historie-elektromobility.html, „staženo dne: 5.1.2020“).

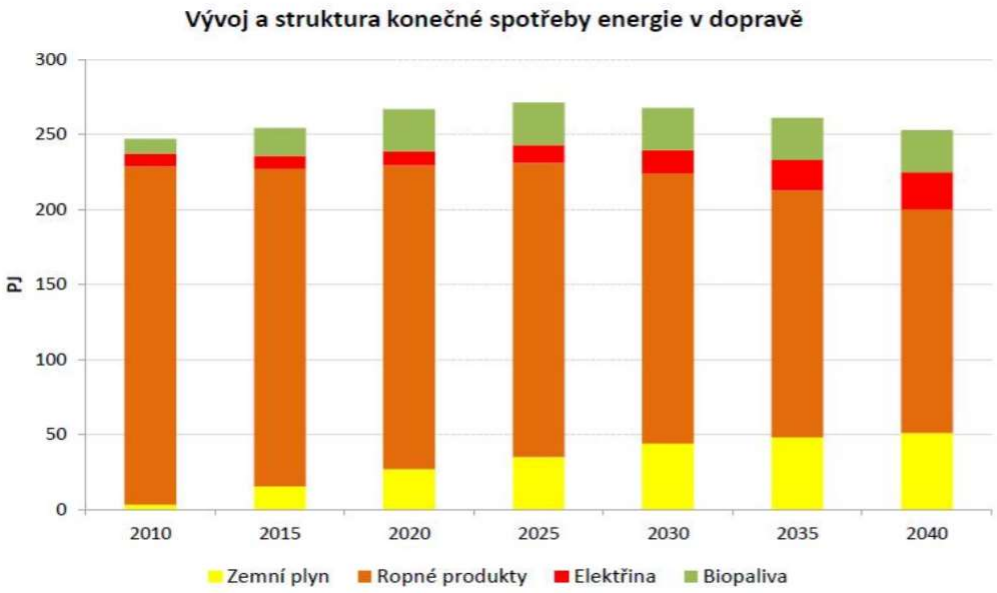
Obrázek 8 – Tesla Roadster 2008

zdroj: https://www.elektrina.cz/data/images/article/585-tesla-motors-source-old-tesla-roadster-3.jpg

(„staženo dne: 14. 2. 2020“)

O dva roky později se do hry opět vrací firma Nissan a vyrábí PIVO, první elektro automobil s Li-Ion baterií. V roce 2008 je uveden na trh první Tesla Roadster. V letech 2009–2011 probíhalo testování více než 500 elektromobilů s bateriemi 35 kWh s dojezdem 160 km. V roce 2010 je uvedena na trh první generace Nissanu Leaf. Rok 2012 přinesl novinku jménem Škoda Octavia Green E line, jež se vyznačuje dojezdem 150 km, 180 Li-Ion článků baterie s výkonem 26,5 kWh. O rok později se zahajuje v České republice prodej Nissanu Leaf druhé generace, ještě ten rok automobilka BMW zavádí do produkce model I3. V roce 2015 se uskutečnila dohoda na základě Pařížské konference o změnách klimatu, kde se 13 států shodlo na omezení automobilů se spalovacími motory a zároveň stanovilo požadavek, aby do roku 2050 byla všechna vozidla bezemisní. V návaznosti na tento požadavek společnost BMW oznamuje, že do 10 let bude všechny vozy svého portfolia elektrifikovat. V roce 2016 jsou v Německu zavedeny dotace (4000 € a pro plug-in hybridy 3000 €). V návaznosti na tento fakt firma Volkswagen uvádí cíl produkovat milion automobilů s elektrickým pohonem ročně a uvést do provozu elektromobil s dojezdem 500 km a jehož plné nabití zabere 15 minut v cenové hladině běžného Volkswagen Golf (http://www.elektromobilita.cz/cs/o-nas/historie-elektromobility.html, „staženo dne: 5.1.2020“).

Implementace elektromobilů v České republice však postupuje velice pomalu, jak značí graf na obrázku 9. Tento graf vydaný ministerstvem průmyslu a obchodu svědčí ale o snaze prosazovat alternativní paliva a pohony v České republice a o předpovídaném růstu zejména ve spotřebě zemního plynu a rasantním snížení spotřeby ropných produktů (BA a MN) (https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/52841/60959/636207/priloha006.pdf, „staženo dne:11.1.2020“).



Obrázek 9 – Graf předpokládaného využití paliv v dopravě

zdroj: https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/52841/60959/636207/priloha006.pdf, („staženo dne:11.1.2020“).

2 Cíle práce

Cílem práce je stanovení jízdních odporů působících na vybraný automobil se spalovacím motorem a automobil poháněný elektrickým motorem v závislosti na režimu jízdy v mimoměstském jízdním cyklu a porovnání hodnot měrné dráhové spotřeby energie automobilů. V práci se mám zaměřit na:

1. Zpracování přehledu všech faktorů ovlivňujících jízdní odpory vozidla v pohybu.
2. Teoretický výpočet spotřeby pohonných hmot v závislosti na režimu jízdy, na charakteru dopravní trasy a na technických parametrech automobilu (velikost a hmotnost).
3. Zpracování metodiky pro sběr dat hlavních faktorů ovlivňujících jízdní odpory a pro zjištění spotřeby energie na zvoleném úseku dopravní trasy.
4. Sběr potřebných dat u vybraných automobilů ve vybraných jízdních režimech na zvoleném úseku dopravní trasy pro stanovení měrné dráhové spotřeby energie.

3 Metodika

3.1 Teoretická metodika – parametry trasy

Měření probíhalo na předem zvolené trase (obrázek 10) po silnici 2 třídy v částečně zalesněném a kopcovitém terénu. Trasa začínala na benzinové stanici EKOS Netolice v.o.s. a pokračovala dále na hlavním tahu směrem na Prachatice. Cíl trasy byl určen na benzinové stanici na Oboře, která sloužila jako točna pro měření trasy opačným směrem.

Obrázek 10 - Trasa určená k měření

zdroj: www.mapy.cz

(„staženo dne 26.11.2019“)

Jelikož je pro mě velice důležitou položkou odpor jízdy do svahu, bylo nezbytné si vytyčit části trasy (jízdní úseky), kde je stejný úhel svahu, případně se mění v zanedbatelné míře. Vyznačené průjezdní úseky jsem tedy označil dle nadmořské výšky (obrázek 11), kterou jsem zjistil ze serveru mapy.cz.

Obrázek 11 - Nadmořská výška trasy

zdroj: www.mapy.cz

(„staženo dne 26.11.2019“)

Trasu jsem finálně rozčlenil do šesti jízdních úseků (viz tabulka 2), které měly obdobnou charakteristiku z hlediska výškového profilu. Dále však nutno vzít v potaz, že od úseku 1 až do půlky úseku druhého, trasa vedla v blízkosti městské zástavby, a tudíž byla ovlivněna dopravními omezeními (maximální povolená rychlost v rámci křižovatky). Úseky 3 až 6 dále procházely lesnatým terénem a množstvím zatáček, tudíž byly limitovány řadou dalších rychlostních omezení z důvodu přizpůsobení rychlosti jízdy stavu a povaze vozovky.

Tabulka 2 - Rozčlenění jízdních úseků

Jízdní úsek	Délka úseku [m]	Nadmořská výška-start [m]	Nadmořská výška-cíl [m]	Výškový rozdíl stoupání [m]
Úsek č.1	440	424	415	-9
Úsek č.2	4000	415	448	33
Úsek č.3	466	448	467	19
Úsek č.4	700	467	476	9
Úsek č.5	1100	476	539	63
Úsek č.6	400	539	545	6

Další důležitou součástí mého měření byl odpor větru. Ten jsem změřil anemometrem GM816 firmy Benetech s výslednou průměrnou hodnotou 3,5 $km*h^{-1}$. Průměrnou hodnotu bylo nezbytné určit z důvodu rozmanité trasy vedoucí lesnatým terénem, který částečně znemožňuje vyšší proudění vzduchu.

3.2 Výběr testovaných vozidel

Po zvolení trasy bylo nezbytné vybrat automobily, které budou testovány. První, vybavený spalovacím zážehovým motorem a druhý, zastupující koncepci elektro automobilů. První zmíněné vozidlo vyrobila automobilka ŠKODA Mladá Boleslav v roce 2016 a bylo vybaveno motorem 1,2 TSI v kombinaci se šestistupňovou převodovkou. Jedná se o model Fabia třetí generace vyráběný od roku 2014 (viz obrázek 12), tudíž porovnání s koncepčně mladším elektromobilem by měl zaostávat.

Obrázek 12 – Testované vozidlo ŠKODA FABIA

Výběr přesto považuji za vhodný, protože je cenově dostupný a hojně rozšířený. Parametry automobilu z technického průkazu jsou vypsány v tabulce 3. Z této tabulky považuji za velmi důležitá data týkající se spotřeby a produkce CO_2, která následně použiji při výpočtech a porovnávání.

Tabulka 3 - Data z technického průkazu Škody Fabia

Technické parametry				
Druh vozidla		Osobní automobil; AB Hatchback		
Tovární značka, typ		Škoda Fabia		
Výrobce		Škoda auto a.s., Mladá Boleslav		
Motor	Výrobce, typ	Volkswagen AG		
	Palivo	BA		
	Spotřeba dle předpisu 136/2014 W [dm3/ 100 km]	6,1	4,1	4,8
	Zdvihový objem [cm3]	1197		
	Max. výkon [kW]/ ot [min-1]	81,00/5600		
Emise	Vozidlo je homologováno podle Předpisu EHS/ES/EU			
	Předpis EHS/ES/EU	136/2014 W		
	CO2 [g*km-1]	141/93/110		

Druhý zvolený automobil zastupuje řady elektromobilů. Byl vyroben firmou BMW a vybaven synchronním elektromotorem disponujícím výkonem 135 kW. Jednalo se o vylepšenou verzi BMW I3S disponující vyšším výkonem motoru.

Obrázek 13 – Testované BMW I3S

V důsledku této změny se vozidlu změnila hmotnost o 20 kg oproti původní verzi, ale nabízí vyšší maximální točivý moment. Baterie nabízejí dispoziční elektrickou práci 33,2 kWh (použitelná dispoziční elektrická práce je udávána 27,2 kWh), což stačí přibližně na 200 km dojezdu, v závislosti na stylu jízdy. Udávaná kombinovaná spotřeba by se měla pohybovat od 14 do 14,6 kWh*100 km^{-1}.

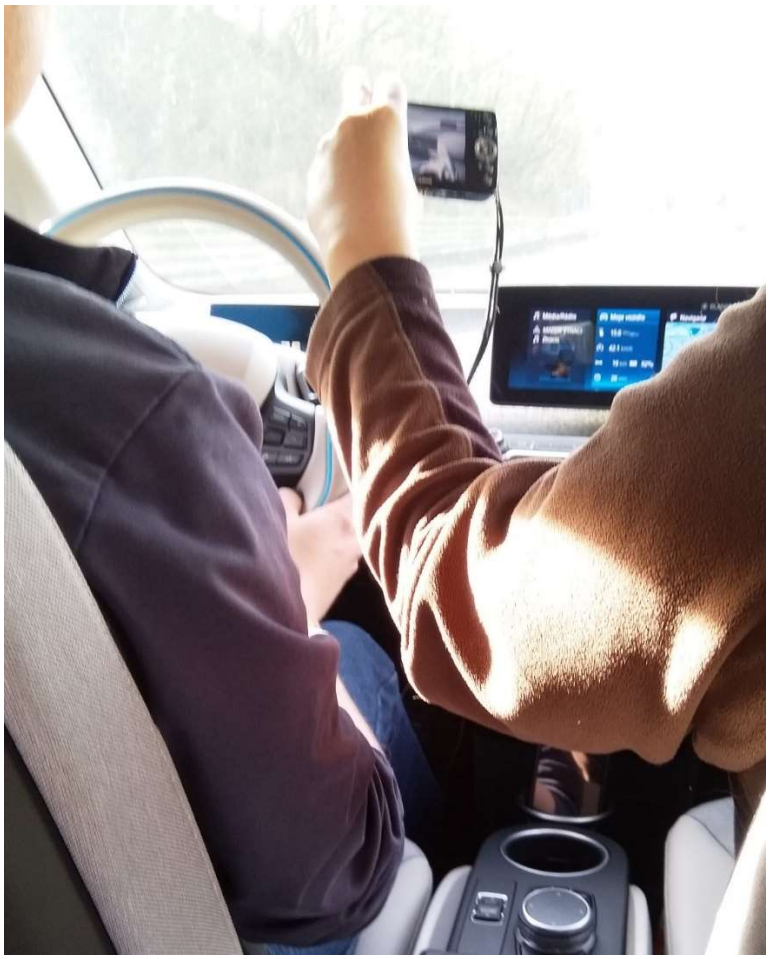
Tabulka 4 - Data z prospektu dostupnému k BMW I3S

Technické parametry		
Druh vozidla		Osobní automobil; AB Hatchback
Tovární značka, typ		BMW I, BMWI-1
Výrobce		BMW GMBH
Motor	Výrobce, typ	
	Palivo	EL
	Max. výkon [kW]	135

Oba zvolené osobní automobily byly provozovány na totožné dopravní trase, při obdobných vlivech prostředí, avšak lišily se provozní rychlostí. Zároveň měření probíhalo o víkendu, takže byl mnohem nižší provoz, takže odpory navazující přímo na hustotu provozu byly nižší. Přesto jízda byla vcelku plynulá se snahou o maximální efektivitu.

3.3 Způsob sběru jízdních dat

Průjezd celé trasy byl za asistence nahráván pomocí kompaktního fotoaparátu Canon IXUS 185 viz obrázek 14. Tyto hodnoty jsem následně z videí přepsal do tabulek pro každý dílčí úsek trasy. Odečítal jsem časy průjezdu úseků, dobu zrychlování, délku úseku trasy a výše zmíněnou rychlost. Měření dle mého názoru bylo vysoce přesné, maximálně vyhovující požadavkům.



Obrázek 14 – Způsob zachycení jízdních dat

3.4 Způsob měření na dopravní trase

Jako první jsem započal měření s vozidlem BMW, při naměřené venkovní teplotě 11 °C a změřeným větrem 3,5 km*h^{-1}. Vozidlo nabité na 100 % jsem podrobil testu, který zahrnoval třikrát průjezd trasy tam a zpět. Po projetí zmíněných 42,6 km jsem vozidlo zapojil do sítě na nabíjecí adaptér a odečetl spotřebu elektrické energie, která dosáhla 6,61 kWh. Tato spotřeba zhruba odpovídala spotřebě vozidla odečtené z palubního počítače automobilu po skončení měření, a to 15,4 kWh*100 km^{-1}.

Následně jsem měření opakoval s vozidlem ŠKODA, při totožných teplotních a povětrnostních podmínkách, ale provoz vzhledem k odpoledním hodinám klesal. Vozidlu jsem maximálně doplnil nádrž u benzinové stanice EKOS Netolice v.o.s. a následně se vydal absolvovat měření. Opět jsem trasu třikrát projel tam a zpět, přičemž jsem se výslednou spotřebou benzinové Fabie pohyboval na 5,2 l*100 km^{-1}.

3.5 Ověření naměřených hodnot výpočtem

Pro ověření naměřených hodnost bylo nezbytné si určit jízdní odpory, které na osobní automobil působí, společně s odporem větru, valivým odporem, odporem zrychlení a odporem stoupání do svahu dle vztahu 1 (DOLAN, 2018)

$$\boldsymbol{P_e = P_s + P_{vz} + P_a + P_v} \quad (1)$$

Kde:

P_e – Efektivní výkon (kW)

P_s – výkon potřebný pro překonání svahu (kW)

P_{vz} – výkon ztracený odporem vzduchu (kW)

P_a výkon ztracený akcelerací (kW)

P_v výkon ztracený odporem valení (kW)

Jako první jsem si stanovil odpor jízdy do svahu, jenž vyžadoval nejprve vypočítat sinus úhlu dílčího úseku stoupání. Ten jsem stanovil z délky jízdního úseku a rozdílu nadmořských výšek počátku a konce úseku. Největší rozdíl v nadmořských výškách byl v úseku číslo pět, tudíž zde byl odpor z celé trasy vedoucí na Oboru největší. Pro výpočet síly odporu stoupání jsem využil vztah 2 (DOLAN, 2019)

$$\boldsymbol{F_{os} = sin_{\angle\alpha} * G} \quad (2)$$

Kde:

F_{os} síla odporu stoupání (N)

G tíha vozidla (m*g) (N)

Po vypočtení ztraceného výkonu jsem dále využil vzorec 3, ve kterém jsem výše vypočtenou sílu násobil průměrnou rychlostí v úseku, kterou jsem vypočítal ze záznamů průjezdu vozidla trasou.

$$\boldsymbol{P_s = \frac{F_{os} * v_p}{1000}} \quad (3)$$

Dále jsem využil vzorec č.4, který slouží k výpočtu síly odporu vzduchu. Jako součinitel odporu vzduchu jsem zvolil hodnotu 0,30 pro BMW I3S a pro Škodu Fabii

koeficient 0,32 (informace získané z informačních brožur k vozidlům). Velikost čelní plochy vozidla I3S činila 2,38 m^2, velikost čelní plochy u Škody byla nižší (2,1m^2). Pro rychlost proudění jsem použil výše zmíněnou průměrnou hodnotu 3,5 $km*h^{-1}$.

$$\boldsymbol{F_{vz} = c_{vz} * \frac{\rho}{2} * S_x * \left(v_p + v_z\right)^2} \quad (4)$$

kde:

F_{vz}	síla odporu vzduchu	(N)
C_{vz}	součinitel odporu vzduchu	
ρ	objemová hmotnost vzduchu v 15 °C	($kg*m^{-3}$)
S_x	velikost čelní plochy vozidla	(m^2)
v_p	rychlost jízdy automobilu v úseku	($m*s^{-1}$)
v_z	rychlost proudění vzduchu	($m*s^{-1}$)

Následně bylo nezbytné vypočítat výkon ztracený odporem vzduchu, aby bylo možné vypočítat výkonovou bilanci automobilu. Pro tento výpočet jsem využil vzorec 5, kde je použita síla odporu vzduchu, vypočtena v předchozím kroku a dále průměrná rychlost v úseku.

$$\boldsymbol{P_{vz} = \frac{F_{vz} * v_p}{1000}} \quad (5)$$

Dále bylo nutné vypočítat odpor ztracený akcelerací a pro jeho výpočet jsem použil vzorec 6. Zde je nezbytné znát jízdní záznam a vypočítat zrychlení automobilu, dosažené rychlosti jízdy a dobu trvání zrychlení.

$$P_a = \frac{\frac{a}{g} * G ** vp}{1000} \qquad [kW] \qquad (6)$$

kde:

G	tíha vozidla	(N)
a	hodnota zrychlení	($m*s^{-2}$)
v_p	dosažená rychlost jízdy	($m*s^{-1}$)
v_o	počáteční rychlost před zrychlováním	($m*s^{-1}$)
τ	součinitel vlivu rotačních hmot (použitý koeficient 1,1)	
g	tíhové zrychlení	($m*s^{-2}$)

Po vypočtení všech odporů bylo nezbytné spočítat spotřebu vozidel. Po sečtení všech odporů působících na vozidlo na dopravní trase bylo nezbytné výslednou náročnost v [kW] vynásobit účinností motorů (pro spalovací motor jsem použil koeficient 0,32 a pro elektromotor 0,93) a tak zjistit příkon nezbytný k provozu vozidla. Poté bylo důležité převést [kW] na [kWh]. Dále bylo nezbytné přepočítat hmotnost spáleného paliva na [kWh]. Pro benzín Natural 95 (E5) jsem použil hodnotu 12,9 [$kWh*kg^{-1}$]. Po vypočtení hmotnosti paliva bylo potřeba jej převést na objem, abych získal spotřebu v litrech (https://www.engineeringtoolbox.com/co2-emission-fuels-d_1085.html, „staženo dne:28.1.2020“).

Jako poslední jsem použil vzorec č.7 pro výpočet emisí vzniklých provozováním vozidel na dopravní trase. Množství oxidu uhličitého vzniklého spálením jednoho litru paliva (m_p) pro zážehové motory se rovná 2392 gramů na litr paliva (https://www.autolexicon.net/cs/articles/vypocet-emisi-co2/, „staženo dne:28.1.2020“).

$$\boldsymbol{E_v = \frac{m_x}{1000} * m_p} \qquad [g * km^{-1}] \qquad (7)$$

kde:

E_v	průměrné emise vzniklé spálením paliva	($g*km^{-1}$)
m_p	množství CO_2 vniklého spálením litru paliva	($g*l^{-1}$)
m_p	spotřeba paliva	($l*100\ km^{-1}$)

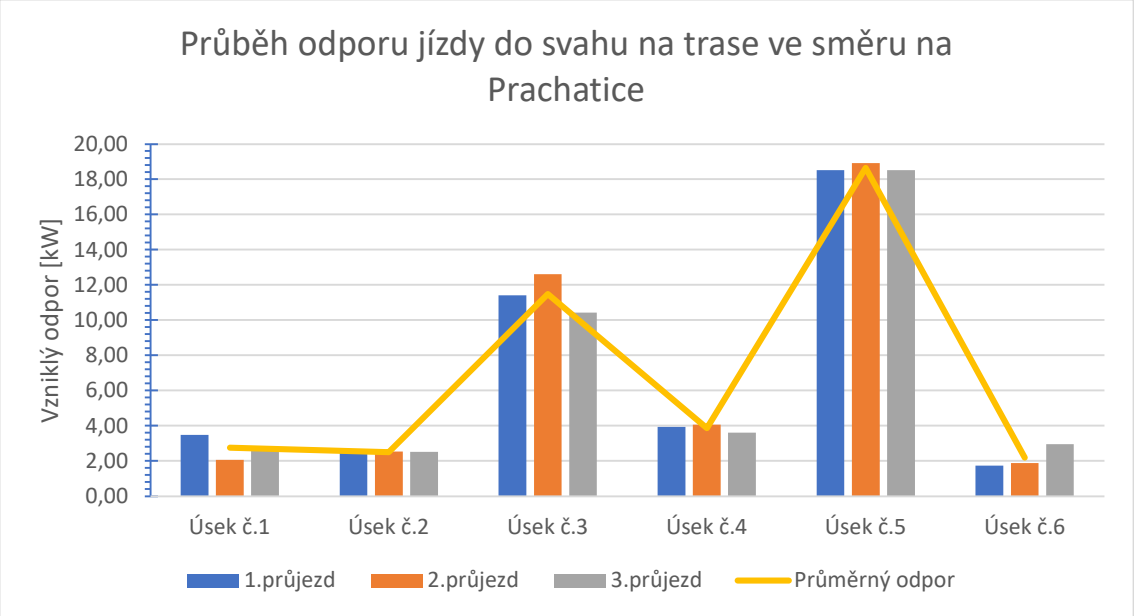
Při výpočtu emisí elektromobilu jsem vycházel ze statistik Energostatu, který udává podíl výroby elektrické energie v České republice k datu 15.2.2020 a času nabíjení od 16:00 v následujícím rozložení. Hnědouhelné elektrárny se podílely na produkci ze 35,7 %, a černouhelné elektrárny z 2,1 %. Tudíž jsem na základě výše uvedených údajů vypočtenou hodnotu spotřeby vozidla BMW procentuálně vynásobil hodnotami CO_2 pro jednotlivé druhy elektráren dle energetického mixu. Získané hodnoty byly ale vztaženy na 1 kWh, ale je nezbytné vydělit ujetou vzdáleností, aby bylo možné jej porovnat s automobilem vybaveným spalovacím motorem, který má udané hodnoty emisí CO_2 v $g*km^{-1}$ (https://oenergetice.cz/energostat , „staženo dne:28.2.2020“).

3.6 Vypočtené hodnoty

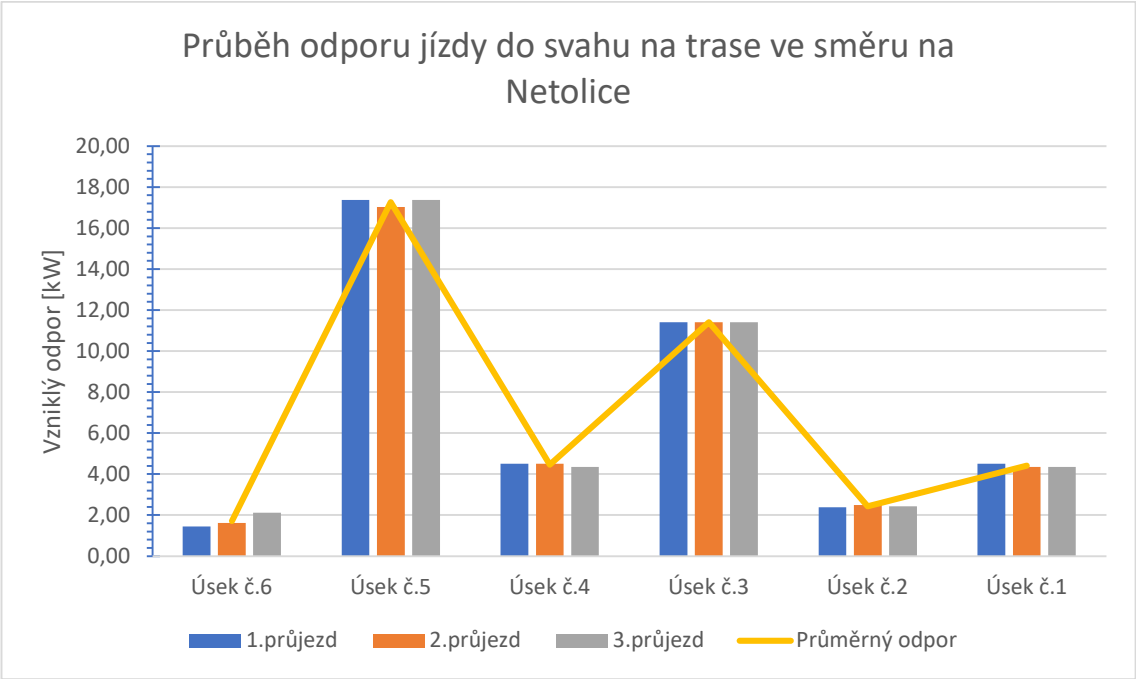
Nejprve jsem vypočítal odpor jízdy do svahu s následujícími výsledky. V tabulkách 5 a 6 jsou uvedeny hodnoty vypočteného odporu do svahu obou vozidel ve všech průjezdech dílčích úseků. Pro názornost jsem každou tabulku doplnil grafy 14 až 17. Lze jasně vidět zvyšující se náročnost při strmějším stoupání vozidla například v úseku č.5, nebo úseku č.3.

Tabulka 5 – Vypočtené hodnoty odporu jízdy do svahu vozidla ŠKODA

Ps-Svahu [kW]				
Jízdní úsek – směr Prachatice	1. průjezd	2. průjezd	3. průjezd	Průměr odporů [kW]
Úsek č.1	3,481	2,065	2,707	2,751
Úsek č.2	2,453	2,535	2,507	2,499
Úsek č.3	11,409	12,610	10,417	11,479
Úsek č.4	3,938	4,065	3,601	3,868
Úsek č.5	18,514	18,925	18,514	18,651
Úsek č.6	1,726	1,883	2,959	2,189
Jízdní úsek – směr Netolice	1. průjezd	2. průjezd	3. průjezd	Průměr odporů [kW]
Úsek č.1	1,449	1,614	2,110	1,724
Úsek č.2	17,380	17,032	17,380	17,264
Úsek č.3	4,501	4,501	4,352	4,451
Úsek č.4	11,409	11,409	11,409	11,409
Úsek č.5	2,375	2,493	2,426	2,432
Úsek č.6	4,512	4,351	4,351	4,405



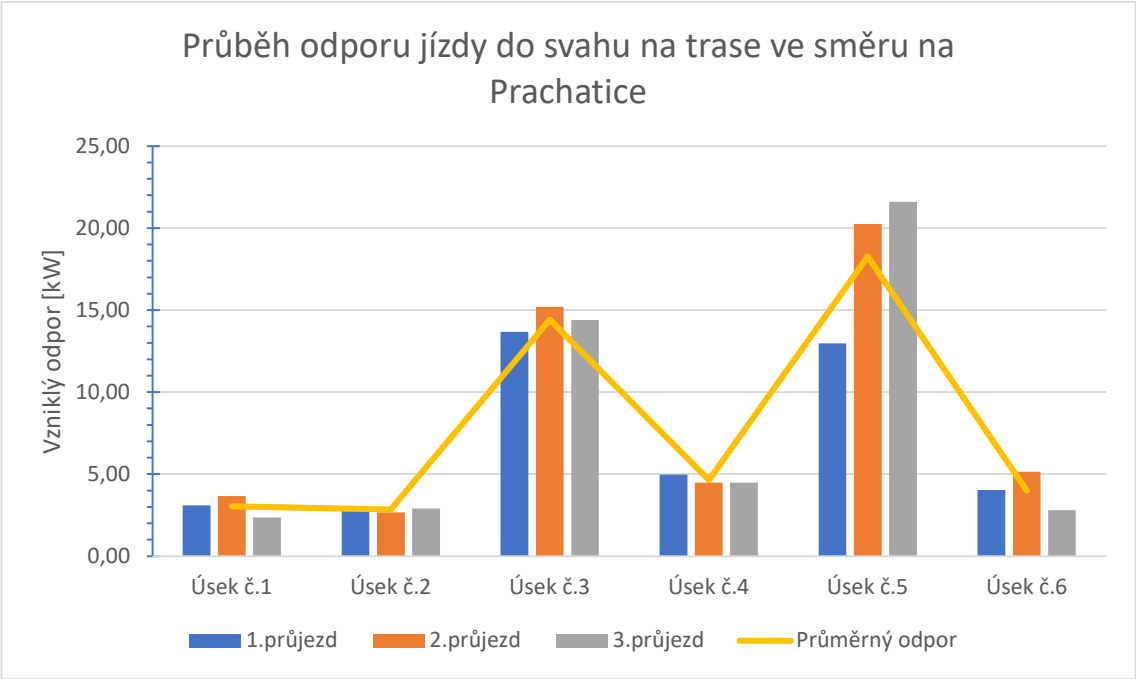
Obrázek 15 – Graf průběhu odporu jízdy do svahu vozidla ŠKODA ve směru na Prachatice



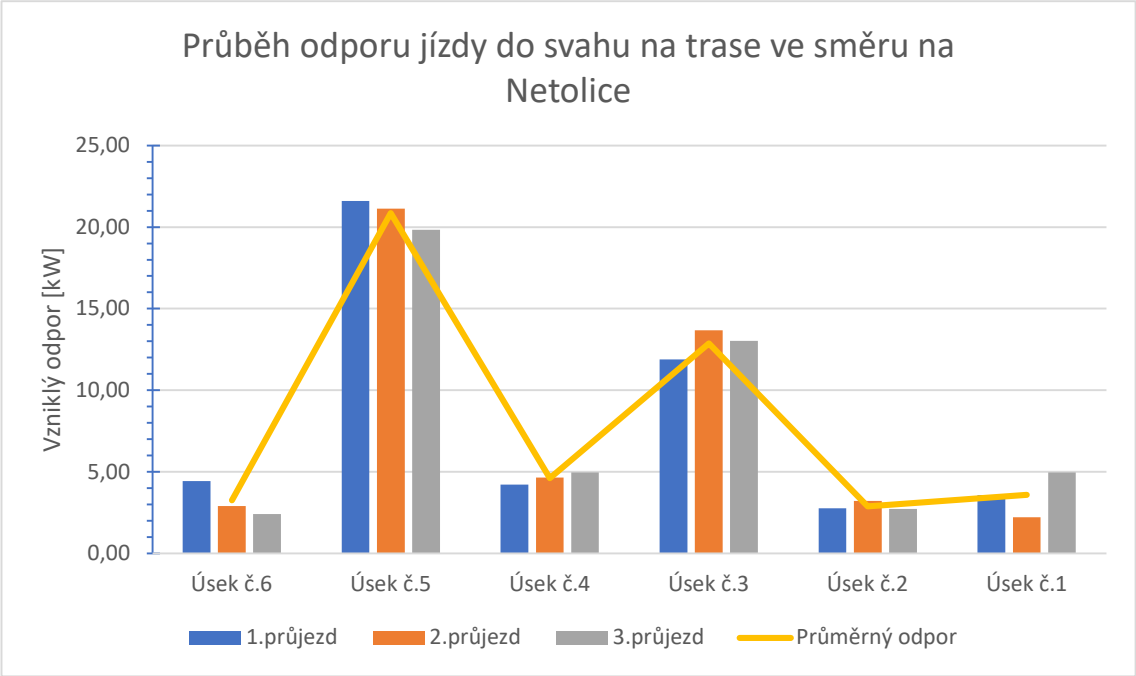
Obrázek 16 – Graf průběhu odporu jízdy do svahu vozidla ŠKODA ve směru na Netolice

Tabulka 6 – Vypočtené hodnoty odporu jízdy do svahu vozidla BMW

Ps-Svahu [kW]				
Jízdní úsek – směr Prachatice	1. průjezd	2. průjezd	3. průjezd	Průměr odporů [kW]
Úsek č.1	3,090	3,659	2,356	3,035
Úsek č.2	3,012	2,668	2,893	2,858
Úsek č.3	13,673	15,192	14,392	14,419
Úsek č.4	4,966	4,485	4,485	4,645
Úsek č.5	12,964	20,256	21,606	18,275
Úsek č.6	4,030	5,150	2,809	3,996
Jízdní úsek – směr Netolice	1. průjezd	2. průjezd	3. průjezd	Průměr odporů [kW]
Úsek č.1	4,435	2,906	2,408	3,250
Úsek č.2	21,606	21,137	19,843	20,862
Úsek č.3	4,213	4,635	4,966	4,605
Úsek č.4	11,889	13,673	13,022	12,861
Úsek č.5	2,754	3,219	2,710	2,894
Úsek č.6	3,565	2,207	4,965	3,579



Obrázek 17 – Graf průběhu odporu jízdy do svahu vozidla BMW ve směru na Prachatice



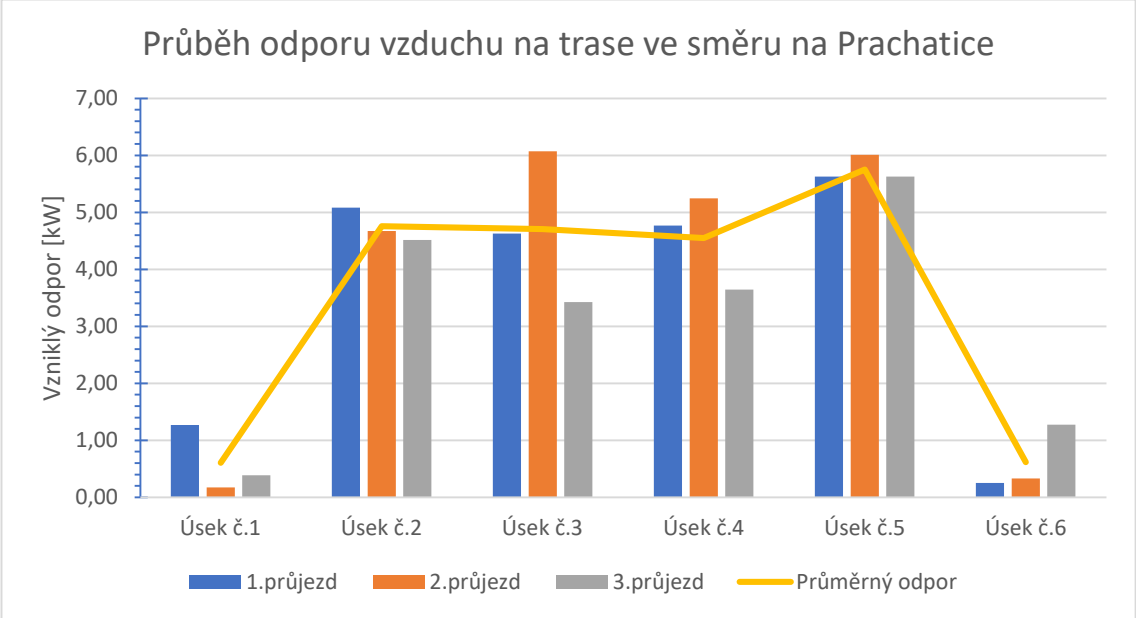
Obrázek 18 - Graf průběhu odporu jízdy do svahu vozidla BMW ve směru na Netolice

Vypočtené hodnoty odporu vzduchu v tabulkách 7 a 8 se pohybovaly v konstantních hladinách a krom rozjezdu a uvedení vozidla do klidové polohy. Odpor nabývá

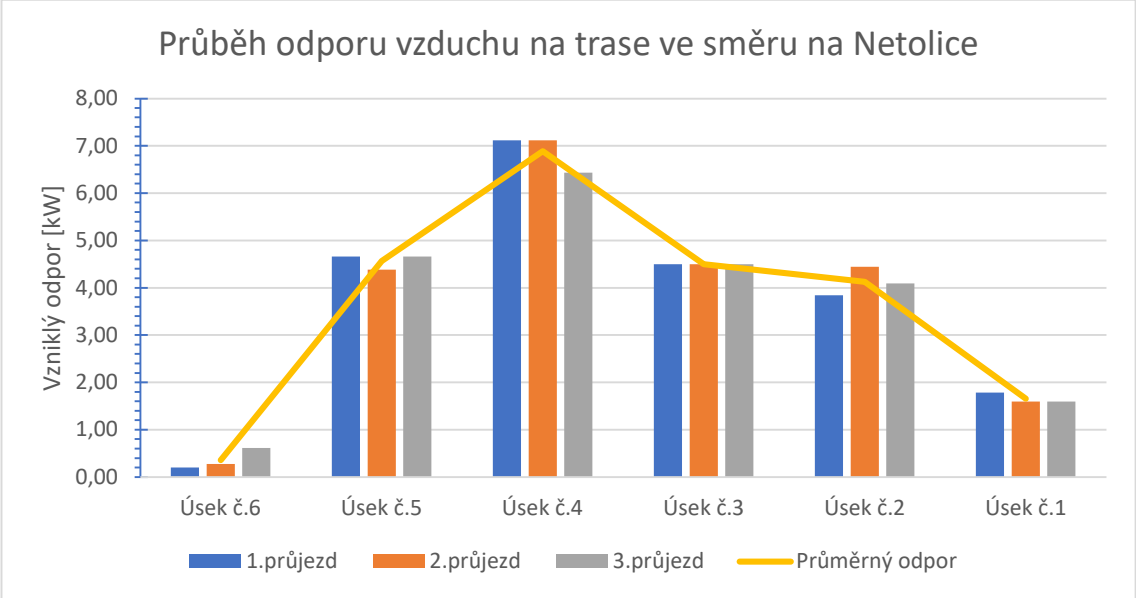
obdobných hodnot kromě uvedení vozidla do pohybu a uvedení vozidla do klidu, jak ukazují grafy 18 až 21 odkazující na tabulky.

Tabulka 7 - Vypočtené hodnoty odporu vzduchu vozidla ŠKODA

Pvz – vzduchu [kW]				
Jízdní úsek – směr Prachatice	1. průjezd	2. průjezd	3. průjezd	Průměr odporů [kW]
Úsek č.1	1,271	0,171	0,385	0,609
Úsek č.2	5,085	4,671	4,517	4,758
Úsek č.3	4,628	6,073	3,423	4,708
Úsek č.4	4,767	5,243	3,643	4,551
Úsek č.5	5,628	6,012	5,628	5,756
Úsek č.6	0,253	0,328	1,273	0,618
Jízdní úsek – směr Netolice	1. průjezd	2. průjezd	3. průjezd	Průměr odporů [kW]
Úsek č.1	0,199	0,275	0,614	0,363
Úsek č.2	4,657	4,383	4,657	4,565
Úsek č.3	7,116	7,116	6,431	6,888
Úsek č.4	4,498	4,498	4,498	4,498
Úsek č.5	3,841	4,442	4,094	4,126
Úsek č.6	1,781	1,597	1,597	1,659



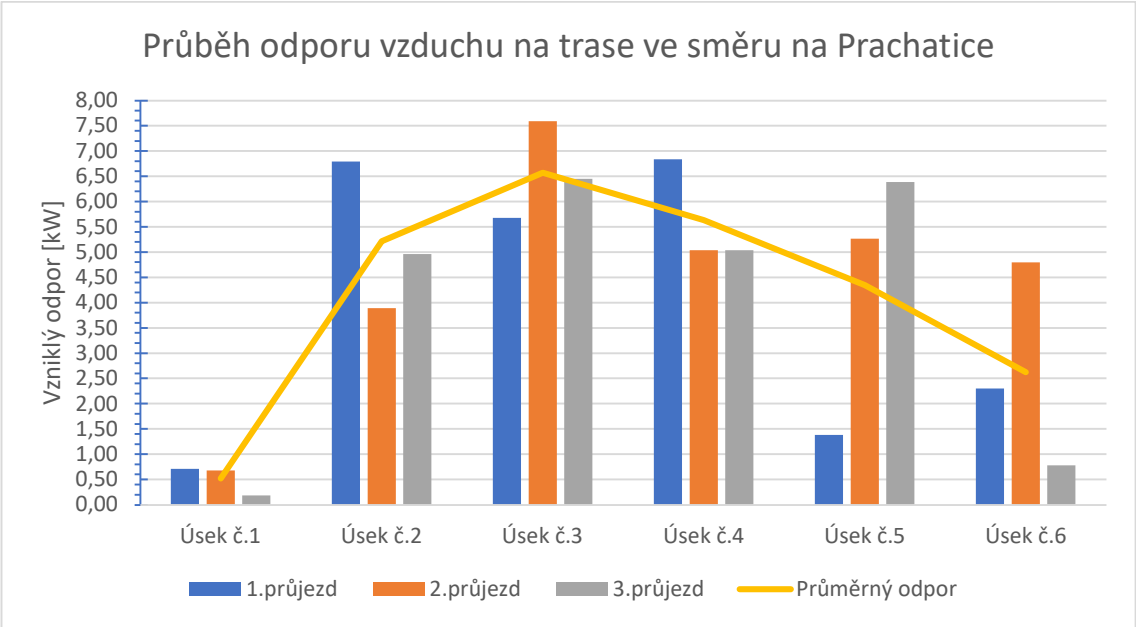
Obrázek 19 - Graf průběhu odporu jízdy do svahu vozidla ŠKODA ve směru na Prachatice



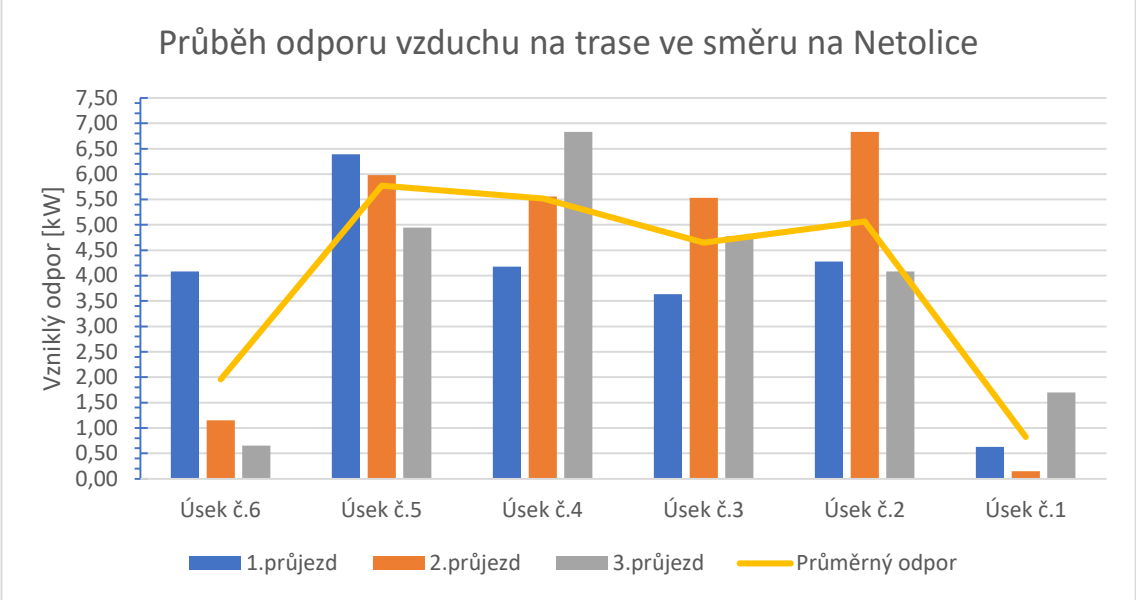
Obrázek 20 - Graf průběhu odporu jízdy do svahu vozidla ŠKODA ve směru na Prachatice

Tabulka 8 - Vypočtené hodnoty odporu vzduchu vozidla BMW

P_{vz} – Odpor vzduchu [kW]				
Jízdní úsek – směr Prachatice	1. průjezd	2. průjezd	3. průjezd	Průměr odporů [kW]
Úsek č.1	0,709	0,679	0,181	0,523
Úsek č.2	6,795	3,893	4,963	5,217
Úsek č.3	5,675	7,588	6,452	6,572
Úsek č.4	6,833	5,035	5,035	5,635
Úsek č.5	1,380	5,263	6,388	4,344
Úsek č.6	2,300	4,799	0,779	2,626
Jízdní úsek – směr Netolice	1. průjezd	2. průjezd	3. průjezd	Průměr odporů [kW]
Úsek č.1	4,081	1,148	0,653	1,960
Úsek č.2	6,388	5,980	4,948	5,772
Úsek č.3	4,174	5,556	6,833	5,521
Úsek č.4	3,637	5,532	4,779	4,649
Úsek č.5	4,280	6,833	4,081	5,065
Úsek č.6	0,628	0,149	1,697	0,825



Obrázek 21 - Graf průběhu odporu vzduchu vozidla BMW ve směru na Prachatice

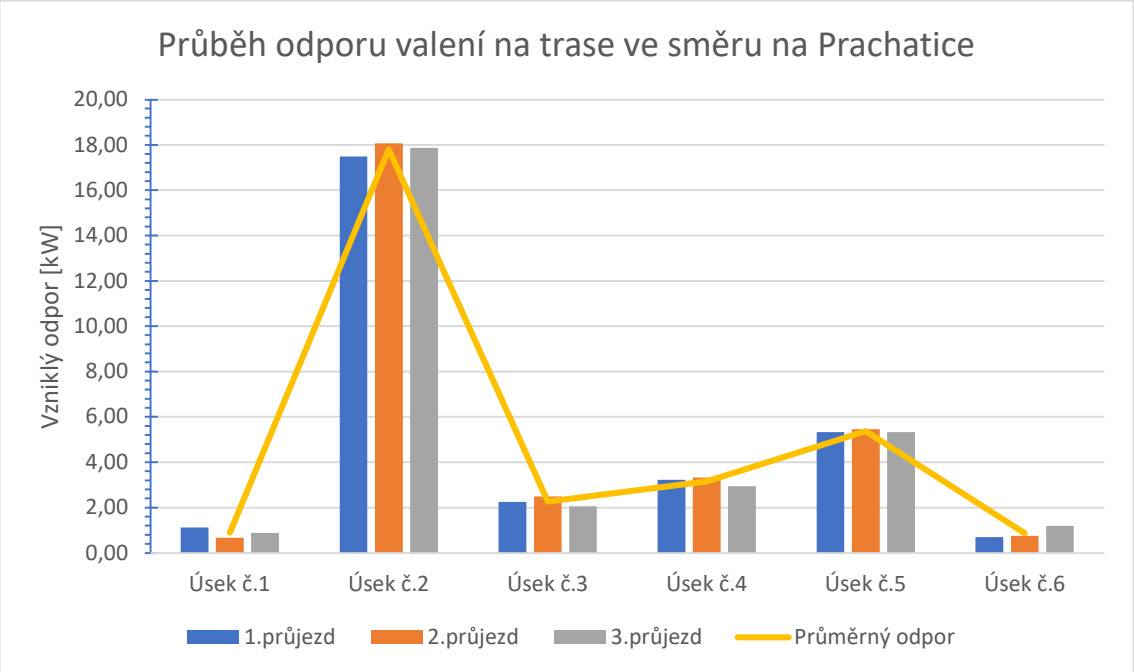


Obrázek 22 - Graf průběhu odporu vzduchu vozidla BMW ve směru na Netolice

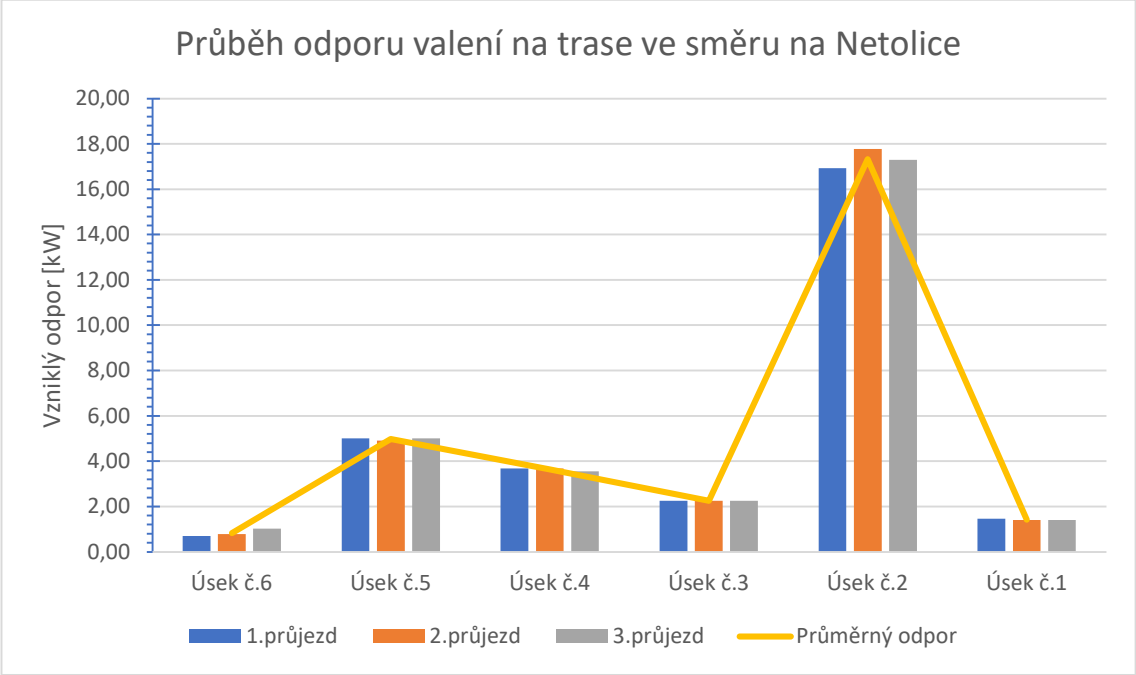
Dále v tabulce 9 a 10 jsou výsledky výpočtů hodnot valivých odporů obou vozidel. Tabulky jsou doplněny grafy, které názorně ukazují, že nejvyšší odpor valení nabýval průměrných hodnot až do 20 kW v druhém dílčím úseku trasy.

Tabulka 9 - Vypočtené hodnoty valivého odporu vozidla ŠKODA

P_v– Odpor valení [kW]				
Jízdní úsek – směr Prachatice	1.průjezd	2.průjezd	3.průjezd	Průměr odporů [kW]
Úsek č.1	1,123	0,666	0,874	0,888
Úsek č.2	17,484	18,073	17,872	17,810
Úsek č.3	2,252	2,489	2,056	2,266
Úsek č.4	3,216	3,320	2,941	3,159
Úsek č.5	5,334	5,452	5,334	5,373
Úsek č.6	0,690	0,753	1,184	0,876
Jízdní úsek – směr Netolice	1.průjezd	2.průjezd	3.průjezd	Průměr odporů [kW]
Úsek č.6	0,701	0,781	1,021	0,835
Úsek č.5	5,007	4,907	5,007	4,974
Úsek č.4	3,676	3,676	3,554	3,635
Úsek č.3	2,252	2,252	2,252	2,252
Úsek č.2	16,932	17,773	17,296	17,334



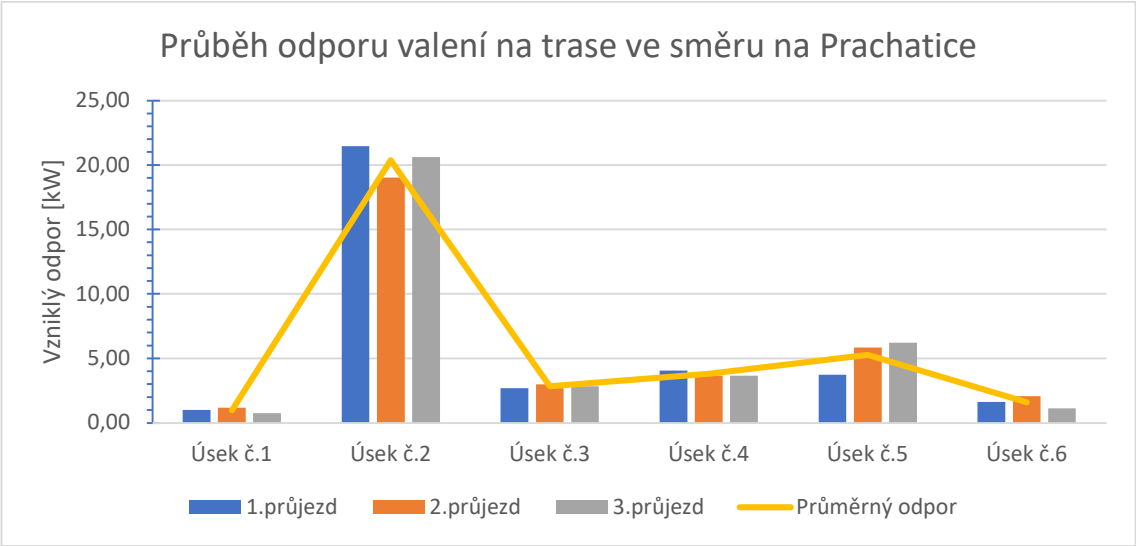
Obrázek 23 - Graf průběhu valivého odporu vozidla ŠKODA ve směru na Prachatice



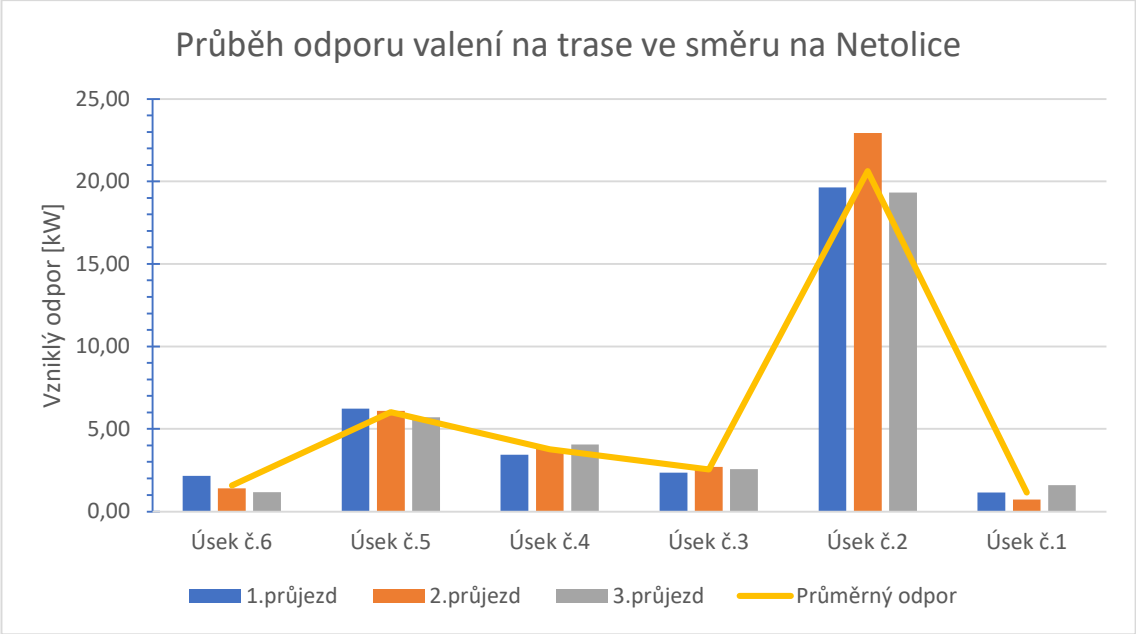
Obrázek 24 - Graf průběhu valivého odporu vozidla ŠKODA ve směru na Netolice

Tabulka 10 - Vypočtené hodnoty valivého odporu vozidla BMW

P_v– Odpor valení [kW]				
Jízdní úsek – směr Prachatice	1.průjezd	2.průjezd	3.průjezd	Průměr odporů [kW]
Úsek č.1	0,997	1,180	0,760	0,979
Úsek č.2	21,467	19,020	20,622	20,370
Úsek č.3	2,698	2,998	2,840	2,845
Úsek č.4	4,055	3,663	3,663	3,794
Úsek č.5	3,733	5,832	6,221	5,262
Úsek č.6	1,612	2,060	1,124	1,598
Jízdní úsek – směr Netolice				
Úsek č.6	2,147	1,406	1,165	1,573
Úsek č.5	6,221	6,086	5,713	6,007
Úsek č.4	3,441	3,785	4,055	3,760
Úsek č.3	2,346	2,698	2,569	2,538
Úsek č.2	19,630	22,942	19,320	20,631
Úsek č.1	1,150	0,712	1,602	1,155



Obrázek 25 - Graf průběhu valivého odporu vozidla BMW ve směru na Prachatice



Obrázek 26 - Graf průběhu valivého odporu vozidla BMW ve směru na Netolice

Po vypočtení dílčích odporů jsem hodnoty sečetl, vypočetl spotřebu a vše zapsal do tabulky 11. Z této tabulky následně vycházejí hodnoty výpočtu emisí vytvořených spálením paliva na trase. V úvahu jsem propočítal i hodnoty emisí uvedené výrobcem vozidla v technického průkazu, dle mediánu spotřeby zobrazené v palubním počítači v průběhu jízdy a reálnou spotřebu v litrech. Tyto hodnoty jsem zapsal do tabulky 12.

Tabulka 11 - Výsledná náročnost [kWh]a přepočet spotřeby ŠKODA FABIA

	Náročnost na jízdní úsek [kW]	Vypočtená spotřeba [kWh]	Vypočtená spotřeba [kg]	Vypočtená spotřeba [l]
1. jízda	176,12	1,53	0,12	0,16
1. jízda zpět	121,25	1,05	0,08	0,11
2. jízda	222,03	1,93	0,15	0,20
2. jízda zpět	78,45	0,68	0,05	0,07
3. jízda	118,92	1,03	0,08	0,11
3. jízda zpět	73,64	0,64	0,05	0,07
			Vypočtená spotřeba paliva v úseku [l]	0,71

Tabulka 12 – Spotřeba a emise vozidla ŠKODA FABIA

Spotřeba	Nejnižší dle palubního PC [l*100 km^{-1}]	Medián dle palubního PC [l*100 km^{-1}]	Udávaná výrobcem [l*100 km^{-1}]	Vypočítaná po skončení měření [l*42,1 km^{-1}]	Skutečně změřená [l*42,1 km^{-1}]
Po projetí měřených úseků	5,20	5,35	5,60	2,36	2,18
Emise CO2 [g*km^{-1}]	120,64	124,12	129,92	54,70	50,58

Při výpočtu spotřeby jsem pro vozidlo BMW postupoval obdobně, jako v předchozím případě. Vypočetl jsem příkon a na jeho základě spotřebu v kWh a hodnoty umístil do tabulky 13. Data jsem následně sečetl a zjistil celkovou energetickou náročnost zjišťovaných odporů. V následující tabulce 14 jsem pro elektromobil stanovil emise CO_2 dle spotřeby elektrické energie.

Tabulka 13 - Výsledná náročnost [kWh]a přepočet spotřeby BMW I3S

	Náročnost na jízdní úsek [kW]	Potřebný příkon [kW]	Vypočtená spotřeba [kWh]
1. jízda	191,00	205,38	0,57
1. jízda zpět	96,62	103,90	0,29
2. jízda	202,62	217,87	0,61
2. jízda zpět	184,67	198,56	0,55
3. jízda	189,91	204,20	0,57
3. jízda zpět	100,96	108,56	0,30
		Celková spotřeba elektrické energie v úseku [kWh]	2,88

Tabulka 14 – Spotřeba a emise vozidla BMW I3S

Spotřeba	Nejnižší dle palubního PC [kWh*100 km^{-1}]	Medián dle palubního PC [kWh*100 km^{-1}]	Udávaná výrobcem [kWh*100 km^{-1}]	Vypočítaná po skončení měření [kWh*42,1 km^{-1}]	Skutečně změřená [kWh*42,1 km^{-1}]
Po projetí měřených úseků	15,40	16,30	14,40	6,06	6,56
Emise CO2 [g*km^{-1}]	78,95	83,57	73,82	31,08	33,63

4 Diskuse

Automobil ŠKODA FABIA na testovaných úsecích projevil velice hospodárný provoz, kterému dle mého úsudku pomohla právě výše zmíněná šestistupňová převodovka. Přeplňovaný motor se choval velice kultivovaně a poskytoval dostatečný výkon, což jsem ocenil zejména v kopcovitém terénu v úseku čtyři až šest. Šestý převodový stupeň jsem pro změnu využil hlavně ve třetím dílčím úseku, který jsem tak mohl projet s relativně nízkými provozními otáčkami motoru. Ze třech projetí trasy tam a zpět vycházela nejnáročněji druhá trasa, a to zejména trasa na Oboru, kde primárním důvodem zvýšení energetické náročnosti byla zvýšená hustota provozu. Náročnost byla zvýšena oproti ostatním průjezdům trasy odporem jízdou do svahu (ovlivnila jej vyšší pojezdová rychlost), ale také odpor ztracený akcelerací, který v kopcovitém terénu vytvořil markantní nárust výkonové náročnosti. Je nutné zmínit, že díky předvídání jsem při průjezdech dva a tři úseky zpět směrem na Netolice velkou část jízdních odporů snížil na velmi nízké hodnoty (73 kW a 76 kW).

Celková náročnost na trase se pohybovala od 73 kW do 222 kW ztracených na trase dlouhé 7,1 km, což na 1 km trasy činí jízdou ze svahu minimálně 10 kW a maximálně 31 kW při jízdě do svahu. Poměr celkové výkonové náročnosti (za celé měření-3x trasa směr Prachatice, 3x trasa směr Netolice) vztažené k hmotnosti automobilu činí průměrně 0,105 $kW*kg^{-1}$. Po vypočtení spotřeby paliva a porovnání výpočtu se skutečností výpočty zkreslovaly o 1,47 litru spotřebovaného paliva, což může být ztráta odpory komfortního zařízení (topení, rádio apod.), případně odpory, které jsem nebral v úvahu pro tuto práci. Skutečná spotřeba tedy byla 2,18 l benzinu Natural 95 (E5) a při ceně 31,30 Kč za litr vychází projetí měřené trasy (42,1 km) na 68,2 Kč. Naměřená skutečná spotřeba paliva je přímou návazností na emise vzniklé spalováním. Emise vzniklé na trase činily 50,576 g CO_2.

Automobil BMW I3S mně při testování velice překvapil silnou akcelerací, velice tichým chodem a vykazoval poměrně hospodárný provoz, byť s jistou odchylkou od spotřeby udávané v prospektech k vozidlu. Všechny průjezdy trasy se pohybovaly v obdobných hodnotách ztrátových odporů, za vyzdvižení stojí třetí průjezd trasy ve směru na Prachatice, kdy se povedlo snížit ztrátový výkon o 13 kW oproti druhé jízdě. Nejhospodárnější průjezd trasou směrem na Netolice se podařil při prvním průjezdu, který byl nižší o 4 kW v porovnání se třetí jízdou. Při porovnání s druhým

průjezdem se povedlo snížit náročnost o necelých 87 kW. Zvýšená náročnost druhého průjezdu trasy lze připsat faktu, že byla udržována vyšší pojezdová rychlost, a to zejména v oblasti stoupání (zhruba o 22 $km*h^{-1}$ v porovnání s první jízdou), a zároveň silnějšímu brždění, což mělo za cíl snížení spotřeby agresivnějším používáním rekuperace brzdného účinku. Celkové náročnosti průjezdů se pohybovaly řádově výše než u druhého měřeného vozidla, v hmotnostním přepočtu vůči hmotnosti vozidla je průměr hodnot nižší o 0,01 $kW*kg^{-1}$ po zmíněných ujetých 42,1 km. Průměrnou spotřebu palubní počítač vozidla po skončení měření odhadoval na 15,4 $kWh*100\ km^{-1}$, což po přepočtu na ujeté kilometry odpovídá 6,48 kW. Skutečný odběr ze sítě činil 6,56 kWh, což značí při ceně 4 $Kč*kWh^{-1}$ při vysokém tarifu elektřiny znamená cenu 26,2 Kč za ujetí 42,1 km a 11 Kč při možnosti dobíjení elektromobilu v nízkém tarifu (1,8 $Kč*kWh^{-1}$).

Pro názornější demonstraci a porovnání výše sepsaných informací jsem výsledky zapsal do tabulky 15, která poukazuje na rozdíly mezi oběma automobily. Jasně lze ze souhrnu vyčíst, že odpor svahu byl u vozidla BMW v některých případech rasantně vyšší, než u automobilu ŠKODA. Například při druhé jízdě na Prachatice, kde rozdíl byl dokonce 6,14 kW. Na druhou stranu při porovnání odporů akcelerace BMW vítězí (při 2. jízdě směr na Prachatice s rozdílem 34,3 kW).

Tabulka 15 - Porovnání vypočtených hodnot

	ŠKODA	BMW	ŠKODA	BMW	ŠKODA	BMW	ŠKODA	BMW
Jízdní trasa	P_s-Svahu [kW]		P_{vz}-Vzduchu [kW]		P_a-Akcelerace [kW]		P_v-valení [kW]	
1. jízda směr Prachatice	34,56	35,55	21,63	23,69	89,83	97,19	30,10	34,56
1. jízda směr Netolice	-32,60	-41,33	22,09	23,19	101,74	79,83	30,02	34,93
2. jízda směr Prachatice	37,95	44,09	22,50	27,26	130,82	96,51	30,75	34,75
2. jízda směr Netolice	-32,70	-43,36	22,31	25,20	58,04	75,69	30,79	37,63
3. jízda směr Prachatice	35,29	43,83	18,87	23,80	98,52	87,05	30,26	35,23
3. jízda směr Netolice	-33,33	-37,98	21,89	22,99	54,54	81,53	30,53	34,43

Je nutné dodat, že odpor akcelerace velice závisí na zkušenostech řidiče s používáním vozidla a na hustotě provozu, tudíž mohou tyto výsledky zkreslovat. Zároveň pokud by trasa procházela městem, odpor by nabyl řádově vyšších hodnot (rozjezdy a brždění). S jistotou lze ale říct, že zkušený řidič je schopen jej nepochybně snížit.

Po výsledcích z jednotlivě vypočtených odporů se nabízí měření zobjektivnit, a to tím, že vozidla porovnáme vzhledem k jejich hmotnosti a také vztažením výkonové náročnosti na jeden kilometr. Toto srovnání je vyobrazeno v tabulce 16, která zároveň poukazuje na to, že se odpory po vztažení k hmotnosti liší jen v několika málo případech.

Tabulka 16 - Výsledné výkony po přepočtu

	ŠKODA	BMW	ŠKODA	BMW	ŠKODA	BMW
Jízdní trasa	∑ Ztrátových výkonů [kW]		Výkon potřebný na 1 km jízdy [kW*km^{-1}]		Výkon potřebný vztažený na kg hmotnosti [kW*kg^{-1}]	
1. jízda směr Prachatice	176,12	191,00	24,81	26,90	0,13	0,12
1. jízda směr Netolice	121,25	96,62	17,08	13,61	0,09	0,06
2. jízda směr Prachatice	222,03	202,62	31,27	28,54	0,16	0,13
2. jízda směr Netolice	78,45	95,15	11,05	13,40	0,06	0,06
3. jízda směr Prachatice	182,94	189,91	25,77	26,75	0,14	0,12
3. jízda směr Netolice	73,64	100,96	10,37	14,22	0,05	0,07

Na základu výše uvedených výpočtů se nabízí otázky, zda ekologická zátěž, jakou produkuje vozidlo se spalovacím motorem, nahradit elektromobilem, nebo vozidlem spalujícím CNG. Zároveň nastává otázka, jaký je bod zlomu návratnosti investice při výměně automobilu. Data vozidel s elektrickým pohonem a vozidla disponujícím spalovacím motorem jsou vypsány v tabulce 17 a jasně odpovídají na otázku návratnosti a také na otázku ekologického dopadu po ujetí jednoho kilometru. Vybral jsem cíleně automobily s menší hmotností z důvodu nižší ekologické zátěže a zároveň porovnal cenu na jejich provoz (myšleno pohonné hmoty, případně cenu za dobíjení). Cenu benzinu jsem stanovil 32 Kč*l^{-1}, cenu motorové nafty na 28 Kč*l^{-1} a cenu CNG 26 Kč*l^{-1}. Nabíjení elektromobilů jsem vzal v úvahu nabíjení na vysoký a nízký tarif, přičemž jsem počítal v návratnosti s oběma variantami s následujícími výsledky. Pokud by vlastník Škody Fabia chtěl vyměnit vůz za ekologičtější s co nejrychlejší návratností, nejspíše by zvolil VW ECO UP, který z daného výběru vychází nejlépe. Návratnost investice jsem počítal jako rozdíl ceny a ušetřené náklady na

kilometr, z čehož vychází, že je nezbytné ujet s automobilem minimálně 41566 km, což odpovídá kompenzaci po dvou letech při měsíčním nájezdu 1732 km.

Tabulka 17 - Porovnání dostupnosti vozidel a jejich parametry

Vozidlo	Rok výroby	Pořizovací cena [Kč]	Cena provozu [Kč*km-1]	CO_2 vzniklé provozem (nebo nepřímo) [g*km-1]
ŠKODA FABIA III 1.2 TSI	2016	306900	1,43	103,64
BMW I3S	2018	1144000	0,52 / 0,23 *1	38,25
ŠKODA CITIGOe iV Style (36,8 kWh baterie)	2020	512000	0,66 / 0,30 *2	41,984
VW ECO UP! 1.0 CNG	2014	333900	0,78	70,29

Závěr

Výsledky zjištěné měřením a výpočty poukazují na to, že největší zásahy do dynamiky vozidla činí odpor vzniklý akcelerací, hmotnost vozidla a vysoká, nebo kolísavá rychlost. Lze říct, že pokud by řidiči byli schopni zajistit maximálně plynulou jízdu, s pozvolnou akcelerací, jízdní odpory by se snížily, a tudíž by se zároveň snížila spotřeba pohonných hmot (tudíž i emise). Díky tomu by došlo také ke snížení emisí z brzdového systému, který se obrušuje a vzniká tak karcinogenní prach. V návaznosti na plynulost provozu by bylo možné očekávat zvýšení jeho bezpečnosti, protože by se prodloužily reakční doby.

Porovnání z pohledu výkonové bilance vztažené k hmotnosti automobilů bylo vyrovnané, bez vyšších rozdílů (průměr odporů vztažený k celkově ujeté vzdálenosti se lišil pouze o 0,01 kW). Nelze tedy tvrdit, že by jedno, či druhé vozidlo mělo rasantně nižší odpory vzhledem ke své hmotnosti. Lze ale tvrdit, že používání spalovacího motoru a spalování automobilového benzínu je finančně několikanásobně dražší (o 44 Kč na vysoký tarif a o 58 Kč na tarif nízký), než provozní náklady na pohon elektromobilu.

Tento poznatek poukazuje na fakt, že elektromobilita na základě naměřených a vypočtených hodnot je nepochybným krokem vpřed, ale je nezbytné, aby výroba energie nespoléhala převážně na uhelné elektrárny, které jsou velkým znečišťovatelem (99 $kg*Gj^{-1}$), nýbrž aby se spoléhala spíše na jaderné elektrárny, případně na obnovitelné zdroje. Zároveň by bylo velice vhodné snížit hmotnost elektromobilu.

Zásadním bodem jsou také emise, které byly nepochybně nižší u elektromobilu. Pokud se ale na problém zaměříme i z ekonomického hlediska a vezmeme výše zmíněný modelový příklad, že vlastník Škody Fabia 1.2 TSI by chtěl automobil vyměnit za více ekologicky šetrný, přicházelo by v úvahu několik alternativ (dva elektromobily a jedno vozidlo na CNG). Vzhledem k finanční náročnosti lze říct, že nejlépe z porovnání vychází Volkswagen EcoUP, kde vychází návratnost po ujetí 3464 km (při spotřebě 3 $l*100\ km^{-1}$ CNG) a zároveň bude produkovat o zhruba 30 gramů CO_2 na kilometr méně. Pak je zde druhá varianta ŠKODA CITIGOe iV, která by měla emise nižší dokonce o 60 gramů na kilogram. Zde je ale problémem vyšší pořizovací cena, která zapříčiní prodloužení návratnosti o dva roky při 5552 km měsíčně při návratnosti do čtyř let.

Seznam použité literatury a zdrojů

Seznam literatury:

CELJAK, I.: (2018). Učební text k předmětu: Konstrukce, technické systémy a provoz elektricky poháněných automobilů, Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky, ZF, JČU České Budějovice,

DOLAN, A. (2018) Učební text k předmětu: Traktory a dopravní prostředky I, Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky, ZF, JČU České Budějovice,

DOLAN, A. (2019) Učební text k předmětu: Traktory a dopravní prostředky II, Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky, ZF, JČU České Budějovice,

VLK, F. (2000). *Koncepce motorových vozidel: koncepce vozidel, alternativní pohony, komfortní systémy, řízení dynamiky, informační systémy*. Brno, Nakladatelství a vydavatelství František Vlk, ISBN 80-238-5276-0.

VLK, F. (2002) *Příslušenství vozidlových motorů*. Brno, Nakladatelství a vydavatelství František Vlk, ISBN 80-238-8755-6.

Internetové zdroje:

https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika „staženo dne:3.2.2020“

http://www.blokovygrant.cz/download.php?id=830&typ=m, „staženo dne:3.2.2020“

https://www.cebia.cz/cs/download/cebia-summary/cesky-trh-po-afere-dieselgate.pdf, „staženo dne: 10.9.2019“

http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/konz_dny_a_seminare/2006/2_emise_z_automobilove_dopravy.pdf, „staženo dne:12.1.2020“

https://interestingengineering.com/daimler-has-no-plans-to-develop-next-generation-combustion-engines, „staženo dne:28.1.2020“

https://www.thedrive.com/news/24853/volkswagen-ceo-we-have-sourced-batteries-for-50-million-electric-cars, „staženo dne:27.1.2020“

https://europe.autonews.com/automakers/bmw-diesels-survive-least-20-more-years-gasoline-engines-30, „staženo dne:28.1.2020“

http://www.blokovygrant.cz/download.php?id=830&typ=m, „staženo dne:9.9.2019“

https://cv.vscht.cz/files/uzel/0014041/0013~~c83NLE5VKDu8N600Ox9IJWcoFORU5h1dDwA.pdf?redirected „staženo dne:9.10.2019“

http://www.blokovygrant.cz/download.php?id=830&typ=m, „staženo dne:30.1.2020“

https://www.cebia.cz/cs/download/cebia-summary/cesky-trh-po-afere-dieselgate.pdf, „staženo dne:10.9.2019“

https://cv.vscht.cz/files/uzel/0014041/0013~~c83NLE5VKDu8N600Ox9IJWcoFORU5h1dDwA.pdf?redirected „staženo dne:9.10.2019“

http://www.hybrid.cz/konec-vodikovych-aut-v-norsku-vybuchla-vodikova-cerpaci-stanice, „staženo dne: 10. 9. 2019“

https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/compressed-natural-gas/, „staženo dne:26.11.2019“

https://bioage.typepad.com/.a/6a00d8341c4fbe53ef01b8d1562714970c-popup, „staženo dne: 10. 9. 2019“

https://www.cng.cz/uzitecne-informace/ekologie, „staženo dne: 10. 9. 2019“

https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/compressed-natural-gas/, „staženo dne:26.11.2019“

http://www.cngplus.cz/o-cng/bezpecnost.html „staženo dne:21.11.2019“

http://www.cng4you.cz/cng-info/tiskove-zpravy.html/185_1096-spotreba-cng-v-cr-loni-stoupla-o-vice-nez-12-procent/1, „staženo dne: 10. 9. 2019“

https://oenergetice.cz/elektromobilita/hybridni-systemy-pro-pohon-automobilu, „staženo dne: 14.1.2020“

http://www.elektromobilita.cz/cs/o-nas/historie-elektromobility.html, „staženo dne: 5.1.2020“

https://www.autolexicon.net/cs/articles/vypocet-emisi-co2/, „staženo dne:28.1.2020“

Seznam obrázků:

Obrázek 1 - Vývoj produkce emisí a jejich složení v průběhu let 1990–2016 12
Obrázek 2 - Alternativní pohony v silniční dopravě 17
Obrázek 3 - Princip palivového článku 18
Obrázek 4 - Systém s palivovým článkem firmy BOSCH 19
Obrázek 5 - Systém pro spalování CNG firmy BOSCH 21
Obrázek 6 – Blokové schéma sériového hybridu 22
Obrázek 7 – Blokové schéma paralelního hybridu 23
Obrázek 8 – Tesla Roadster 2008 24
Obrázek 9 – Graf předpokládaného využití paliv v dopravě 26
Obrázek 10 - Trasa určená k měření 28
Obrázek 11 - Nadmořská výška trasy 29
Obrázek 12 – Testované vozidlo ŠKODA FABIA 30
Obrázek 13 – Testované BMW I3S 31
Obrázek 14 – Způsob zachycení jízdních dat 33
Obrázek 15 – Graf průběhu odporu jízdy do svahu vozidla ŠKODA ve směru na Prachatice 38
Obrázek 16 – Graf průběhu odporu jízdy do svahu vozidla ŠKODA ve směru na Netolice 39
Obrázek 17 – Graf průběhu odporu jízdy do svahu vozidla BMW ve směru na Prachatice 40
Obrázek 18 - Graf průběhu odporu jízdy do svahu vozidla BMW ve směru na Netolice 40
Obrázek 19 - Graf průběhu odporu jízdy do svahu vozidla ŠKODA ve směru na Prachatice 41
Obrázek 20 - Graf průběhu odporu jízdy do svahu vozidla ŠKODA ve směru na Prachatice 42
Obrázek 21 - Graf průběhu odporu vzduchu vozidla BMW ve směru na Prachatice 43
Obrázek 22 - Graf průběhu odporu vzduchu vozidla BMW ve směru na Netolice ... 43
Obrázek 23 - Graf průběhu valivého odporu vozidla ŠKODA ve směru na Prachatice 44
Obrázek 24 - Graf průběhu valivého odporu vozidla ŠKODA ve směru na Netolice45
Obrázek 25 - Graf průběhu valivého odporu vozidla BMW ve směru na Prachatice 46

Obrázek 26 - Graf průběhu valivého odporu vozidla BMW ve směru na Netolice... 46

Seznam tabulek:

Tabulka 1 - Obsah síry v palivech pro spalovací motory (2009) 15
Tabulka 2 - Rozčlenění jízdních úseků 29
Tabulka 3 - Data z technického průkazu Škody Fabia 31
Tabulka 4 - Data z prospektu dostupnému k BMW I3S 32
Tabulka 5 – Vypočtené hodnoty odporu jízdy do svahu vozidla ŠKODA 38
Tabulka 6 – Vypočtené hodnoty odporu jízdy do svahu vozidla BMW 39
Tabulka 7 - Vypočtené hodnoty odporu vzduchu vozidla ŠKODA 41
Tabulka 8 - Vypočtené hodnoty odporu vzduchu vozidla BMW 42
Tabulka 9 - Vypočtené hodnoty valivého odporu vozidla ŠKODA 44
Tabulka 10 - Vypočtené hodnoty valivého odporu vozidla BMW 45
Tabulka 11 - Výsledná náročnost [kWh]a přepočet spotřeby ŠKODA FABIA 47
Tabulka 12 – Spotřeba a emise vozidla ŠKODA FABIA 47
Tabulka 13 - Výsledná náročnost [kWh]a přepočet spotřeby BMW I3S 48
Tabulka 14 – Spotřeba a emise vozidla BMW I3S 48
Tabulka 15 - Porovnání vypočtených hodnot 51
Tabulka 16 - Výsledné výkony po přepočtu 52
Tabulka 17 - Porovnání dostupnosti vozidel a jejich parametry 53